

De invloed van fosfaat op het aquatisch milieu

Het begrip eutrofiëring is al oud. Vermoedelijk komt het uit de oude Duitse visvijver wetenschap. Deze visvijvers waren veelal op zure grond gevestigd en men constateerde dat de toevoeging van CaCO_3 de vijvers voedselrijker, of te wel „eutroof” maakte. De functie van het carbonaat was uiteraard de hoeveelheid koolzuur beschikbaar voor algengroei en de pH te verhogen. Nog lange tijd is de calciumconcentratie als maat voor de eutrofie van een water gebruikt. Later trad duidelijk een begripsverschuiving op. In de eerste plaats heeft men gemerkt, dat de macronutriënten — Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- en SO_4^{--} — niet de hoeveelheid van de aanwezige organismen reguleren, doch deze slechts selecteren (Golterman, 1970), terwijl men in de tweede plaats constateerde, dat een optimale algengroei voor visvijvers bepaalde problemen oproept voor alle andere functies, die men een meer of plas wil geven. Terwijl een medicus iemand van 200 kilo niet meer wel-doorvoed noemt, maar overvoed, zouden wij veel meer over hyperτροφ in plaats van eutroof, d.w.z. wel van nutriënten voorzien moeten spreken.

In de meeste natuurlijke meren is niet het koolzuur, maar zijn de micronutriënten beperkend voor de algengroei. In de Nederlandse wateren evenals de meeste Europese (zie OECD-rapport NR/ENV/W. 73.189 neemt het fosfaat de sleutelpositie in. Dit is niet overal het geval. In de grote meren van Uganda — Edward en Albert bijvoorbeeld — komen hoge fosfaat-concentraties voor (Edward tot $600 \text{ mg PO}_4\text{-P per m}^3$)¹⁾ zonder een intense algengroei. Mede in verband met een goed begrip van wat in onze wateren gebeurt rijst de vraag welke faktor in Albert wel de algengroei beperkt. Talling (1965) en Viner (1972) menen dat dit een stikstof tekort is. Viner meent, dat dit verklaard moet worden doordat de bodem in Uganda stikstof-arm is, zodat de optredende erosie wel fosfaat, maar geen stikstof naar Lake Edward toevoert. Echter leidt een hoge fosfaat concentratie gepaard aan een stikstof-tekort meestal tot het opbloeien van stikstof bindende blauwalgen. In Lake George waar een stikstof-tekort de algengroei beperkt, wordt inderdaad een belangrijk deel van de benodigde stikstof via stikstof fixatie gebonden (Horne en Viner, 1971). Daar Lake Albert voortdurend veel water uit Lake George ontvangt, met daarin grote hoeveelheden blauwwieren, lijkt het derhalve niet onmogelijk dat toch nog een andere faktor beperkend in Lake Albert is.

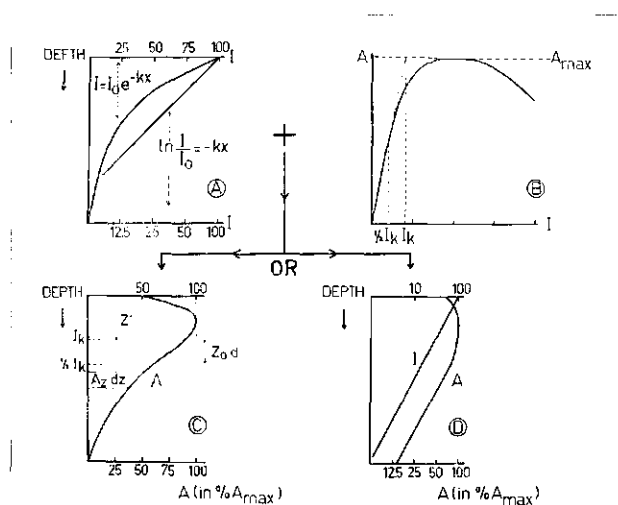
De beperkende rol van de micronutriënten kan in twee stappen gedemonstreerd worden:

- I. door analyse van de curve die de relatie tussen fotosynthese en diepte beschrijft;
- II. door vergelijking van enerzijds de hoeveelheden C, N, P in algen („standing crop”) en de hoeveelheden benodigd voor de algengroei („nutrient demand”) met anderzijds de concentraties zoals wij die in het oppervlaktewater zelf vinden.

ad. I. In afb. 1 (a, b, c) is afgebeeld de afhankelijkheid van de fotosynthese van de diepte. Daar in een vorig artikel (Golterman, 1970 b) de constructie van deze curve al beschreven werd kan hier volstaan worden met eraan te herinneren dat de A_{max} ²⁾ in curve B bepaald wordt door

¹⁾ Voor de te gebruiken afkortingen wordt de IBP handleiding gebruikt. Zo betekent $\text{PO}_4\text{-P}$: anorganisch fosfaat fosforus. Tot-P: het totale fosfaat fosforus (ongefiltreerd). Bij alle genoemde concentraties wordt steeds de hoeveelheid element (P of N of Si opgegeven).

²⁾ Overeenkomstig internationaal gemaakte afspraken wordt als afkorting voor fotosynthese thans A gebruikt (assimilatie).



Afb. 1 - Verband tussen fotosynthese en diepte.

A relatie tussen diepte en licht (log en lineair).

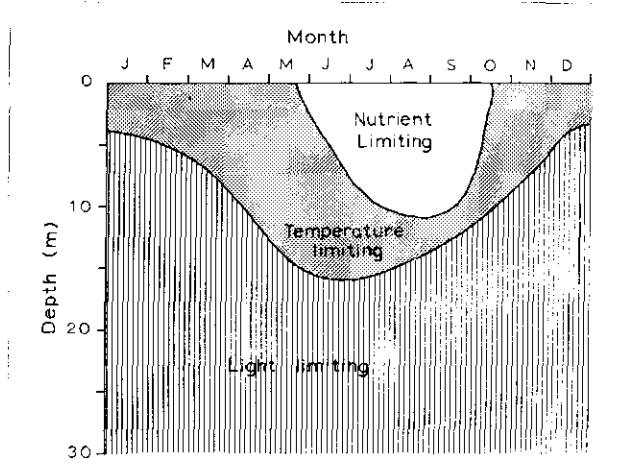
B relatie tussen licht en fotosynthese.

C relatie tussen diepte en fotosynthese (lineair).

D relatie tussen diepte en fotosynthese (log).

de concentraties van de aanwezige nutriënten. A_{max} in curve B vinden we ook in curve C weer terug. Uiteraard vinden wij beneden de laag van de nutriëntenbeperking een laag waarin licht beperkend wordt. Niet alleen in de diepte neemt het licht zo sterk af, dat het aldaar de beperkende faktor kan worden, ook uiteraard in de winter zal de fotosynthese door licht beperkt worden. In zeer diepe plassen, waarin door stratificatie een koude diepere laag voorkomt onder een warme oppervlakte laag is het mogelijk, dat de fotosynthese temperatuur-afhankelijk is. Een diagram, waarin deze 3 factoren fraai zijn gescheiden (afb. 2) is gegeven door Takahashi en Nash (1973). Bij de beoordeling van dit diagram moeten wij eraan denken, dat de problemen van te grote algenvloei zich 's zomers voordoen en dat onze plassen ondiep zijn. De algengroei zal dus in Nederland vrijwel steeds plaats vinden onder nutriënt beperkende omstandigheden. Uitzonderingen hierop bestaan uiteraard; in de Randmeren, zoals het Gooimeer, is de fosfaatcon-

Afb. 2 - Beperkende factoren voor de algengroei als functie van tijd en plaats (Takahashi and Nash, 1973).



TABEL I - Zomerconcentraties van koolstof (organisch of bicarbonaat), resp. stikstof (som van organisch-N, ammonium en nitraat) en fosfaat (totaal en anorganisch opgelost) (mg per m²):

- I: in algen (gebaseerd op een standing crop van 200 mg/m² chlorophyl),
- II: benodigd voor de algenproductie (gebaseerd op produktiemetingen van het Limnologisch Instituut) en
- III: in plassewater, Bicarbonaat-C is berekend uit een gemiddelde bicarbonaat concentratie van 2 meq/l.

	mg per m ²		
	C	N	P
I algen	7.000	1.400	70 - 140
II algenproductie	1.500 - 3.500	300 - 700	30 - 70
III plassewater	48.000	2.000 - 4.000	100 - 200 P _{tot} 0 - 20 PO ₄ -P

tratie zo hoog dat die niet langer beperkend meer is, terwijl in sommige humusrijke plassen (o.a. Tjeukemeer) de lichtpenetratie zo gering is, dat voor de waterkolom als zodanig waarschijnlijk wel het licht beperkend is. Het is wellicht nuttig erop te wijzen, dat als nutriënten niet langer beperkend zijn, zelfschaduwing de algen groei zal gaan beperken, zodat er een theoretische maximale algenconcentratie moet bestaan. Door Talling (1971) en Talling et al (1973) wordt deze voor de euphotische zone geschat op ongeveer 300 mg chlorophyl per m².

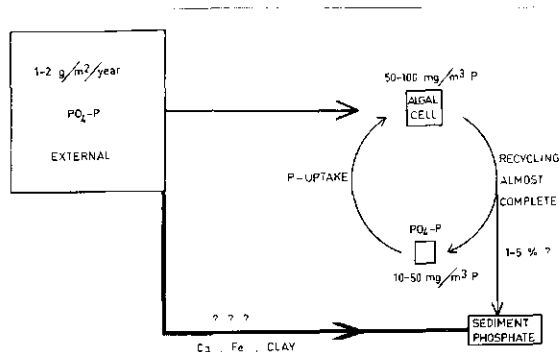
ad. II. In tabel I zijn enkele concentraties gegeven voor koolstof, stikstof en fosfaat zoals die 's zomers in „gemiddeld” Nederlandse oppervlaktewateren (diepte is 2 m) worden gevonden. Uit deze tabel blijkt de sleutelpositie van het fosfaat duidelijk.

De hoge concentraties stikstof moeten worden verklaard uit de hoge concentraties in polderwater (Tjeukemeer ontvangt 's winters water met 2 mg stikstof per liter) of uit de reeds genoemde stikstof fixatie.

Het is uit de fosfaat cijfers van tabel I duidelijk dat de potentiële fosfaat voorraad snel uitgeput zou zijn zonder een vernieuwde toevoer. Deze toevoer is tweërlei, nl. inwendig door mineralisatie van de gevormde algen of uitwendig, de kunstmatige eutrofiëring.

Indirekte beschouwingen (Golterman 1972 b, en 1973 a en b) en directe metingen (Golterman, 1971) maken het aannemelijk dat per dag 5 - 10 % van de door fotosynthese gegroeide algen weer worden afgebroken, hetgeen leidt tot een opnieuw ter beschikking komen van anorganische stikstof- en fosfaatverbindingen. Bij een gemiddelde cellulaire fosfaat concentratie van 200-400 mg/m² (100 µg/l) en een gemiddelde turnoversnelheid van 10-20 dagen leidt dit tot een fosfaattoevoer van ongeveer 20 mg PO₄-P per m² per dag. Het heeft mij altijd getroffen hoe efficiënt deze mineralisatie is. 70 - 80 % komt alweer in oplossing bij de autolyse die de bacteriële mineralisatie vooraf moet gaan, terwijl van de rest het grootste gedeelte door de bacteriën gebruikt wordt. De verliespost is derhalve niet veel groter dan omstreeks 5 %. Wanneer dit zich echter iedere 10 dagen afspeelt, is in het hele groeiseizoen van 200 dagen de verliespost toch ongeveer 100 %.

Naast deze inwendige fosfaat-toevoer ontvangen de Nederlandse plassen grote hoeveelheden fosfaat van buiten af. Om enkele voorbeelden te noemen: Veluwerandmeer 2 - 3 g/m², IJsselmeer 5 - 7 g/m², Loosdrechtse plassen 2 g/m² per jaar (Golterman, 1970 b; de Kloet, 1971). Wanneer wij deze toevoer vergelijken met de toch eigenlijk nog relatieve lage cellulaire fosfaatconcentraties kan men zich met verwondering afvragen waarom de cellulaire fosfaat concentratie niet explosief stijgt. De verklaring is tot nog toe steeds geweest dat het toegevoerde fosfaat rechtstreeks aan het bodemmateriaal gebonden zou worden (afb. 3). Dit beeld is echter te statisch; vervangen wij dit schema door een

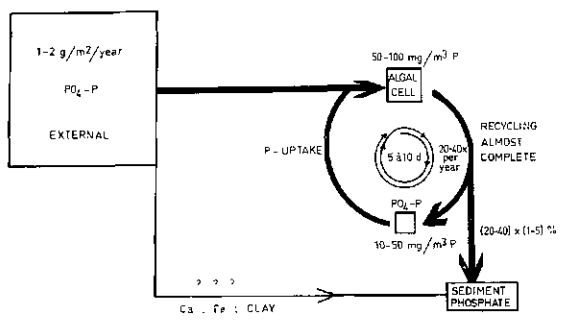


Afb. 3 - Allochthone fosfaat-toevoer en „interne” mineralisatie; De hoge algenturnover tijd nog niet in aanmerking genomen.

model waarin de turnoversnelheid van het fosfaat verdisconteerd is, dan blijkt dat de hoge uitwendige „belasting” —bv. 4-7 g/m²— toch in dezelfde orde van grootte ligt als de inwendige fosfaattoevoer, bv. 200 dagen x 20 mg PO₄-P per dag is 4 g/m² per jaar (afb. 4). De fosfaattoevoer van buitenaf leidt jaarlijks dus tot een toename van de fotosynthese met misschien maar een faktor 2. Een verdubbeling geeft gedurende 10 jaar overigens toch nog een aanzienlijke toename, maar gelukkig is de verliesfactor niet te verwaarlozen. Het toegevoerde fosfaat komt, in beide concepten, in de sedimenten terecht; volgens het schema van afb. 3 door een rechtstreekse precipitatie volgens dat van afb. 4 via algen materiaal. Wat de samenstelling van sedimenten betreft zal het waarschijnlijk niet veel verschil maken. Het als organisch precipiterende fosfaat zal bacterieel afgebroken worden en worden omgezet in ijzer- of calciumverbindingen of worden geadsorbeerd aan klei. Een gedeeltelijke rechtstreekse precipitatie kan onder bepaalde omstandigheden zeker plaats vinden; in feite is er een concurrentie tussen precipitatie en opname tijdens de algen-fotosynthese welk laatste proces van het ecosysteem als geheel afhangt. Zo speelt 's zomers de homeostase via de regulering door het zooplankton zeker ook een rol (Golterman, 1970), terwijl 's winters als de fotoassimilatie langzaam verloopt de accumulatie zeker aan de bodem zal plaats vinden, van waaruit het in het volgend voorjaar weer wordt nageleverd.

Ook op andere wijze kan de sleutelpositie van het fosfaat worden aangetoond. In een studie van 7 ondiepe meren in het kader van het Internationaal Biologisch Programma bleek er een zeer duidelijke correlatie te zijn tussen fosfaat concentratie en fotosynthese. Uit deze gegevens (zie tabel II) kan berekend worden dat gemiddeld de $A_{max} = 11 \times P_{tot}$ en tevens dat gemiddeld ΣA (in mg O₂/m²/d) = 100 Tot-P (in µg/l). De waarde voor Kilotes is bij deze berekening niet betrokken, daar in dit meer P niet meer beperkend is. Het is duidelijk dat in het meer met 220 mg/m³

Afb. 4 - Allochthone fosfaat-toevoer en „interne” mineralisatie; de algen-turnover tijd wel in aanmerking nemend. De externe toevoer is nu gelijk aan de interne toevoer.



TABEL II - Maximale fotosynthese en fosfaatconcentratie in enige ondiepe meren (IBP).

Naam meer	Tot.P mg/m ³	A _{max} mgO ₂ /m ³ /hr	A _{max} per mg chlorophyll	ΣA g O ₂ /m ² /d gem. hoog
Neusiedler Sec	25	300	12 - 18	0,5 1,9
Loch Leven	70	1.000	4 - 15	8 21
Lake Chad	130	900	33 - 37	20
Tjeukemeer	160	1.500	15 - 20	8 25
Lake George	220	3.000	23	12 16
Kilotes	2.500	4 - 9.500	20 - 25	

PO₄-P het fosfaat nog duidelijk de beperkende faktor is; de overgang van P-beperking naar verzadiging ligt vermoedelijk tussen de 500 en 1.000 mg/m³.

Soortgelijk statistisch onderzoek, nu niet naar de invloed van de P-concentratie, maar naar de P-loading en fotosynthese werd verricht door Shannon en Brezonik (1972), die met behulp van een multi-pele regressie analyse aantoonde, dat in 55 meren in Florida het fosfaat wederom de sleutelpositie innam. Zijn idee om de eutrofie van het water uit te drukken in TSI eenheden (index of throphic state) verdient zeker navolging. In de TSI eenheden zijn 7 parameters verwerkt, nl. de primaire productie, chlorophylgehalte, het totaal fosfaat- en stikstofgehalte, de Secchi schijf diepte en de verhouding tussen monovalente en bivalente ionen. In deze meren bleek de fosfaat loading de hoogste correlatie coëfficiënt met de TSI unit te hebben (0.786). Het is opvallend, dat een significante correlatie bestaat tussen enerzijds fotosynthese en anderzijds zowel de fosfaatconcentratie als de P „loading”. In de meeste ondiepe meren verwacht men in eerste instantie eigenlijk geen correlatie tussen „loading” en concentratie, door de adsorptie aan de bodem, maar toch blijkt het in de praktijk wel het geval te zijn. Dit is een indirect bewijs, dat het fosfaat de bodem althans 's zomers via de fotosynthese bereikt.

Een tweede methode om na te gaan welk element in eerste instantie de groei beperkt is die met het zg. bioassay. Het plassewater wordt, al dan niet verrijkt met stikstof, fosfaat of beide zouten tegelijk, aan cultures van algen aangeboden, waarna de toename van het aantal der algen wordt gevolgd. Nog mooier is het om de groei van de natuurlijke populatie zelf te volgen na het toevoegen van deze nutriënten. Hal-mann (1972) vond op deze wijze, dat in het meer van Galilea (Tiberias), dat normaal huishoudelijk afvalwater krijgt als voornaamste bron van verontreiniging, wederom het fosfaat de voornaamste beperkende faktor was. Bij dit type onderzoek is het overigens gemakkelijk een verkeerde uitkomst te krijgen: het toevoegen van één nutriënt boven de beperkende waarde maakt ogenblikkelijk een ander nutriënt beperkend. De toevoegingen moeten derhalve klein blijven en de resultaten moeten kritisch worden bekeken.

TABEL III - Chemical analyses and other observations from the epilimnion of Lake 227 (Schindler 1971).

	Before fertilization			After fertilization	
	June 1968	July 1968	June 1969	August 1969	August 1970
Chlorophyll a, µg/liter	5.8	3.1	2-3	9-24	48-92
Phytoplankton cell volume, cm ³ /m ³	< 1	< 1	< 1	2-7	10-16
Dominant phytoplankton genera	<i>Ochromonas</i> <i>Chromulina</i>	← <i>Cryptomonas</i> and <i>Mallomonas</i> →		<i>Staurastrum</i> <i>Phacomyxa</i> <i>Spindylosum</i>	<i>Oscillatoria</i> <i>Lynghya</i> <i>Pseudoanabaena</i>
Reactive phosphorus µg/liter	< 1	< 1	0-1	< 1-3	< 1-4
Total dissolved P, µg/liter	no data	no data	3-5	2-8	3-16
Seston P, µg/liter	no data	no data	1-5	15-29	26-50
NO ₃ -N, µg/liter	7-8	7	0-10	70-117	< 1-3
Total dissolved N, µg/liter	no data	no data	130-160	210-310	270-565
Seston N, µg/liter	no data	no data	50-100	180-320	320-600
Σ CO ₂ , µmoles/liter	no data	no data	73-62	5-79	21-80
Seston C, µg/liter	no data	no data	600-900	1840-2760	3960-5120
Secchi disc visibility, m	2.2	2.5	3.0	1.2-1.3	0.70-0.95
pH	no data	no data	6.3-6.8	9.2-9.5	9.3-10.2

Op een dergelijke wijze heeft ten onrechte het gerucht zich verspreid, dat in het Bodenmeer ijzer de beperkende factor zou zijn. Dit is echter zeker niet waar voor het verleden: enerzijds is de fosfaat concentratie daar zo drastisch gestegen, dat de huidige concentratie de natuurlijke aanzienlijk overtreft, anderzijds berust de legende ook nog op een onjuist geïnterpreteerd bioassay.

Helaas wordt ook nu nog wel eens de opvatting verkondigd, dat CO₂ de beperkende faktor voor algengroei in plassen-water is. In laboratorium experimenten en in algenculturen, waarin nl. extra fosfaat wordt toegevoegd, is het inderdaad vaak moeilijk voldoende koolzuur toe te voeren. Iemand, die niet zeer regelmatig gedetailleerd de fotosynthese in een plas bestudeert kan gemakkelijk tot een onjuiste extrapolatie van deze laboratoriumwaarnemingen komen (Woldendorp, 1972).

Ongelukkiger is het, dat dit ook nog expres geschiedt, bijv. door het evenwicht te verwaarlozen dat bestaat tussen bicarbonaat en het fysisch opgeloste CO₂ (Lange, 1970). Deze laatste hoeveelheid is inderdaad slechts klein, ongeveer 0.5 mg CO₂ per liter. De meeste wateren bevatten echter veel grotere hoeveelheden bicarbonaat, hetgeen een even goede koolstofbron voor algen is als het CO₂ zelf. Schindler (1971) heeft overigens nog ten overvloede aangetoond, dat in water met alleen maar deze 0.5 mg CO₂ de diffusie van koolzuur uit de lucht overigens nog voldoende CO₂ opleverde voor een ongeremde algengroei, indien het fosfaatgehalte geleidelijk werd verhoogd met 0.34 g PO₄-P per m² per jaar (1959) en 0.48 g PO₄-P per m² per jaar (1970).

Het is opvallend te constateren, dat al na 1 à 2 jaar de normale algenpopulaties van *Cryptophyceae* en *Chrysophyceae* vervangen waren door de zo ongewenste populaties van blauwieren (zie tabel III).

Terwijl accumulatie aan de bodem de toename van de algenpopulaties eerst vertraagt, is het verschijnsel op zich zelf niet hoopgevend. Wanneer het ooit mocht lukken de kraan van de fosfaat toevoer dicht te draaien blijft een reserve in de bodem, die gedurende lange jaren een eventuele verbetering ook zal vertragen. Het is duidelijk, dat het gunstigste effect van accumulatie aan de bodem nu, op de lange duur gezien dubbel en dwars als een negatief effect terugkomt. De aarzeling om dit verschijnsel aan een meer zelf te bestuderen — met name het Veluwerandmeer — is dan ook onbegrijpelijk. Door zijn nog korte levensduur was de accumulatie nog betrekkelijk gering. Ieder jaar dat thans door aarzeling verloren gaat zal ettelijke jaren meer kosten om aan te tonen, dat een herstel van een acceptabele waterkwaliteit toch nog mogelijk is.

Bronnen van fosfaat:

Het bespreken van de verschillende fosfaat bronnen kan tegenwoordig wel kort geschieden. Het zou wellicht als een overbodige herhaling achterwege kunnen blijven, ware het

niet dat ik toch graag enkele kanttekeningen wil maken, vooral in verband met het feit, dat bepaalde kringen nog al eens — overigens ten onrechte — er op menen te moeten wijzen, dat in Nederland de eutrofiëring in ieder geval al via natuurlijke P-bronnen veroorzaakt zou worden.

De verschillende bronnen zijn de volgende:

- I. Industrie — inclusief de bio-industrie.
- II. Uitwassing uit landbouwgronden.
- III. Lozing van 4 g per hoofd van de bevolking per dag, waarvan de helft via onze wasmiddelen.
- IV. Z.g. natuurlijke bronnen d.w.z. erosie.

Ook de inlaat via het Rijnwater valt niet weg te cijferen; in feite zijn dit echter weer dezelfde bronnen.

Ad. I Industriële lozingen — wederom omvattend de bio-industrie — zijn veelal puntlozingen en kunnen en moeten derhalve voorkomen worden. Het valt te betreuren dat de wetgever dergelijke lozingen nog niet belast, terwijl deze belasting eenvoudiger te berekenen valt en grotere schade aanricht dan de belasting met organische stoffen. Een reële heffing — derhalve verschillend van die voor de organische stof — zal een direkte druk opleveren tot fosfaat verwijdering in dergelijke puntlozingen, hetgeen technisch gezien een simpele zaak is.

Ad. II De invloed van de landbouwgronden is moeilijk te evalueren; Kolenbrander (1971 intern rapport) geeft een waarde van 0.5 kg PO_4 -P per ha, hetgeen overigens nog maar op weinig gegevens berust. Meer onderscheid is nodig tussen uitwassing uit zand, klei en veengrond. Vooral uit de laatste kan veel fosfaat in het water komen. Zo ontvangt het Tjeukemeer in de herfst en winter miljoenen kubieke meters water met 1 g Tot-P per m^3 . Voor kleigrond kan Kolenbrander's waarde wel gevolgd worden. Zijn berekening om de invloed van de landbouw uit te drukken in een percentage van de totale belasting is misschien nog wel iets prematuur, daar de schatting van de totale belasting nog op weinig gegevens berust.

Ad. IV De laatste tijd is wel de opvatting verkondigd, dat een deltagebied als het onze in ieder geval het slachtoffer van een natuurlijke fosfaat-eutrofiëring zou worden. De zeepfabrikanten zien hierin een argument door te gaan met het gebruiken van polyfosfaten, hetgeen, — als het al juist was — een drog redenering is zo in de trant van dat als iemand een been mist je het andere er ook wel af kunt halen. De redenering is bovendien onjuist en misleidend. De meest voorkomende natuurlijke fosfaat-bron is erosie (Golterman, 1973b). Rotsachtig gesteente — met een gemiddeld fosfaatgehalte van 0.1-0.2 % — verweert en levert klei op, eveneens met een hoog fosfaatgehalte of, als de verwerking verder gegaan is, de oxyden van aluminium en ijzer met silicaat en fosfaat. In het laatste geval — uitloging genaamd — gaat de fosfaattoevoer niet gepaard met een stikstoftoevoer, daar stikstof veel eerder weggevoerd wordt dan fosfaat. Het principele verschil tussen natuurlijke en menselijke fosfaattoevoer is gelegen in het feit dat bij de laatste altijd een ideale stikstof-fosfaat verhouding voorkomt.

Wanneer de erosie leidt tot de toevoer van fosfaatrijke klei zoals ongetwijfeld in het geval van de Rijn — blijkt de opneembaarheid van het fosfaat voor algengroei een grote rol te gaan spelen. Een eerste aanwijzing dat het fosfaat in klei minder voor algen bereikbaar is dan voor hogere wortelende planten vinden wij in de nieuwe IJsselmeer polders. Gedurende de jaren van droogpompen werd nimmer een algenplaag geconstateerd, zoals thans bijv. in het Veluwerandmeer. Maar wie zich verlustigt in de kolosale opbloei van de moerasandijvie in het eerste jaar na droogvalling realiseert zich de grote hoeveelheden fosfaat die in de bodem moeten liggen opgeslagen.

De opneembaarheid van aan sedimenten gebonden fos-

faten valt experimenteel te benaderen. In oudere experimenten hebben wij (Golterman, Bakels, Möglin, 1969) aangetoond, dat bodemmateriaal uitstekend als fosfaatbron voor cultures van algen gebruikt kan worden. Speciaal een gedeelte van het in het slib aanwezige ijzer- en calciumfosfaat bleken hierbij opneembaar te zijn. Om na te gaan in hoeverre kleifosfaat opneembaar was, moesten wij de beschikking hebben over een klei, die niet al op een of andere manier met fosfaat in aanraking was gekomen. Via de Makkumer aardewerk fabriek kregen wij een hoeveelheid zeeklei, die zich buitendijks had afgezet omstreeks 1000 nC. Daar de desbetreffende grond eeuwen in bezit is van de fabriek lijkt fosfaatbesmetting via veeleert uitgesloten. Wanneer van deze klei zoveel aan een Scenedesmus cultuur werd gegeven als overeenkomt met 4 mg/l PO_4 -P werd geen groei van de cultuur waargenomen. Wel werd een goede groei verkregen als 1 mg/l extra PO_4 -P werd toegevoegd ondanks het feit dat een dergelijke hoeveelheid fosfaat snel door de klei wordt geabsorbeerd. Voorlopig neem ik aan, dat het niet opneembare fosfaat een deel van de eigenlijke klei-structuur uitmaakt (vervanging van OH groepen in het silicium-aluminium hydroxide netwerk), terwijl vers geabsorbeerd fosfaat via anionenwisseling reversibel is gebonden. Over de verschillende bindingswijzen van fosfaat aan klei heb ik meer gedetailleerd geschreven in een voordracht over natuurlijke fosfaatbronnen (Golterman, 1973 b).

Kortgeleden was ik in staat „onbesmette” klei te verzamelen in de Kaisi rivier in Uganda. Deze rivier stroomt van de hellingen van de Ruwenzori naar Lake Edward. De bedding is overwegend zandig, doch in enkele bochten lag op de zandlaag een laagje klei van enkele cm dik. Ook in het water zelf kwam gesuspendeerd slib voor tot ongeveer 200 mg/l met daaraan geabsorbeerd 0.8 mg/l PO_4 -P. Noch in deze rivier, noch ook in de baai waar hij in Lake Edward uitmondt was enige algengroei te bespeuren. Het neerslaan van fosfaat, gebonden aan klei, is voor het Bodemeer beschreven door Müller en Tietz (1966); ook hier blijkt het kleigebonden fosfaat voor algen niet beschikbaar te zijn. Experimenten met de Afrikaanse klei zijn thans in uitvoering. De konklusie lijkt echter gewettigd dat fosfaat, dat aangevoerd wordt door natuurlijke erosie zo aan klei gebonden is, dat het geen overdadige algengroei kan veroorzaken.

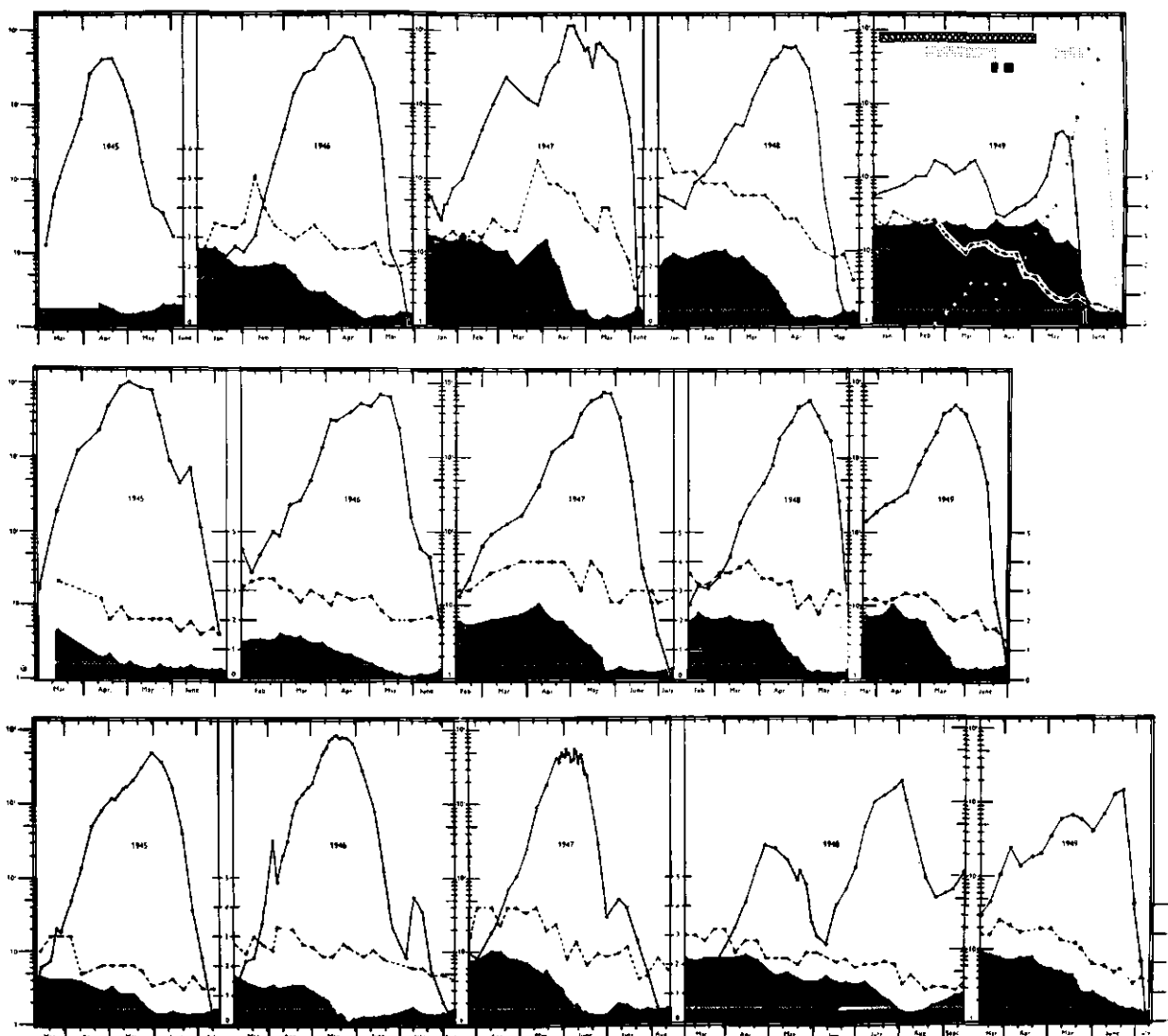
In het hierboven vermelde artikel (Golterman, 1973 b) wordt beredeneerd, dat bij natuurlijke erosie het water een silicium-fosfaatverhouding moet hebben van 100 : 1. De berekening berust op het P-gehalte van gesteenten, terwijl Viner (1972) in een aantal Afrikaanse rivieren deze verhouding inderdaad vaak vond. Met behulp van deze verhouding zou het in principe mogelijk moeten zijn de hoeveelheid natuurlijk fosfaat, die ons land via de Rijn binnen komt, te berekenen. Helaas wordt het onoplosbare (gesuspendeerde) silicaatgehalte van het Rijn-slib niet regelmatig bepaald. In enkele monsters die wij namen vonden wij ongeveer 20 mg SiO_2 per liter, hetgeen derhalve zou leiden tot een natuurlijk fosfaatgehalte van 0.1 mg/l PO_4 -P. Het is derhalve duidelijk, dat de natuurlijke P-toevoer naar ons delta-gebied klein is en voor een belangrijk gedeelte niet opneembaar is voor algen.

Fraktionering van bodemfosfaat:

Het zou bijzonder nuttig zijn als door een chemische fraktionering onderscheid gemaakt zou kunnen worden tussen opneembaar en niet opneembaar fosfaat. De vroeger door ons gebruikte klassieke landbouwkundige extractie met NaOH en H_2SO_4 is te agressief. In de eerste plaats is het moeilijk aan te geven welke verbindingen worden geëxtraheerd, terwijl in de tweede plaats het residu niet langer voor biologische experimenten geschikt is. Wij vonden een beter extractiemiddel in een 0.01 M oplossing van NTA³⁾ of DTPA⁴⁾. Wanneer voor een voldoende hoge pH zorg

³⁾ NTA: nitrilotriëtzijnzuur.

⁴⁾ DTPA: diethyleentriamine pentaëtzijnzuur.



Afb. 5 - Periodiciteit van *Asterionella formosa* in Windermere en Si-gehalte (Lund, 1949, 1950).

Getrokken lijn: *Asterionella*; zwart blok: SiO_2 concentratie.

Bovenste rij: Esthwaite water; middelste rij: Windermere Zuid; onderste rij: Windermere Noord.

gedragen wordt (± 7), kunnen zowel calcium- als ijzerfosfaat in oplossing gebracht worden. Op modder aldus behandeld uit het plasje Vechten konden geen algen meer groeien, hoewel nog vrij veel fosfaat aanwezig is. De hoeveelheid fosfaat, die met NTA geëxtraheerd kan worden, is ongeveer gelijk aan die, die de algen kunnen afnemen.

Hoewel de toepassing van dergelijke extracties zeker niet de laatste ontwikkeling zal zijn in de fraktionering van de modder-fosfaten, geloof ik wel, dat het een aantal nieuwe perspectieven opent. Zo wordt bv. de tot op heden vrij lastige analyse van eventuele organisch aanwezige fosfaten veel eenvoudiger. Er is voorts een kleine mogelijkheid, dat de NTA fraktionering op de lange duur een van de mid-delen is om een oplossing te vinden voor het thans onoplosbare probleem van een fosfaatbalans. In een vorige publikatie hebben wij aannemelijk gemaakt, dat bv. het Veluwerandmeer jaarlijks ongeveer 90 ton fosfaat ontvangt, terwijl de verliespost slechts 30 ton is. Het maken van een sluitende balans is echter tot op heden principieel onmogelijk.

Aannemende dat in het Veluwerandmeer thans 500-1000 ton fosfaat is opgeslagen, en dat dit fosfaat zich homogeen over de bovenste cm van de bodem heeft verdeeld (hetgeen

overigens zeker niet het geval is) dan blijkt 2,5 mg fosfaat zich per cm^3 — en dus per cm^2 — te hebben geaccumuleerd. Hoeveel fosfaat bevond zich echter in de bodem voor de vorming van het meer? Moeten wij daarvoor het fosfaat bepalen tot 1, 5, 10 of 50 cm diep? Maar indien zou blijken, dat het oorspronkelijke fosfaat — vermoedelijk klei gebonden — niet met NTA extraheerbaar is bestaat de mogelijkheid van een differentiatie tussen oud en vers fosfaat.

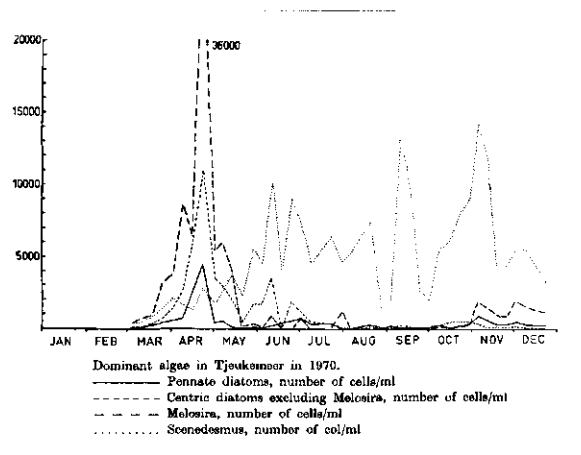
Het is merkwaardig te constateren dat de fosfaat-toevoer naar het Veluwerandmeer in 1970 niet veel verschilde van die in 1967. De vermeerde toevoer blijkt opgevangen te worden door het in gebruik komen van de zuiveringsinstallatie te Harderwijk. Deze installatie blijkt een onwaarschijnlijk hoge fosfaat retentie te hebben, vermoedelijk door de toevoer van aluminiumhoudend afvalwater. Het is derhalve merkwaardig, dat in Harderwijk niet al lang aluminium gebruikt wordt om de rest van het fosfaat tegen te houden. Nederland heeft een enorme behoefte aan experimenten om te bestuderen hoe een plas zich zal gaan gedragen als de fosfaat-toevoer inderdaad gestopt wordt. Spectaculaire verbeteringen zoals in het Meer van Zürich en Lake Washington, kunnen hier toch al niet verwacht worden.

Gevolgen van fosfaateutrofiëring

Aangezien hier eigenlijk al veel over geschreven is wil ik de gevolgen slechts in het kort samenvatten.

In de eerste plaats treedt door iedere overbemesting een verlies aan soorten op, dus een verlies aan diversiteit. Diversiteit nu is het principe dat het eigenlijk toch zeer instabiele evenwicht in het aquatische systeem moet handhaven. Door de zich voortdurend wijzigende fysische en chemische factoren, wisselen algenpopulaties elkaar voortdurend af. Erg bekend is het onderzoek van Lund over de periodiciteit van *Asterionella* en *Melosira*. Afb. 5 geeft een van Lund's vele grafieken, die zo typisch de opbloei en het afsterven van diatomeeën in het voorjaar beschrijft (zie ook Golterman, 1970). Ook in onze ondiepe plassen komen dergelijke vrijwel reproduceerbare successies voor, zie bv. afb. 6, waarin de successie van algen in het Tjeukemeer is samengevat. Een dergelijke successie, waarin algen zich voortdurend aanpassen aan de steeds wisselende chemische en fysische factoren is essentieel voor de normale biologische ontwikkeling in het aquatische ecosysteem. Het snelle wisselen der dominanten soorten kan alleen goed verlopen door de grote diversiteit, d.w.z. het voorkomen van vele andere soorten naast de dominanten. Door overbemesting zal een bepaalde soort, vermoedelijk door gunstige concurrentieverhoudingen andere soorten verdringen. Indien voor deze thans dominante soort chemische en fysische factoren ongunstig worden, kan een massaal afsterven veroorzaakt worden, zonder dat een natuurlijke opvolger aanwezig is, met alle rampzalige gevolgen van dien. Door grote diversiteit kan dat eenvoudig geschieden; steeds is er ruimschoots entmateriaal aanwezig voor die populatie, die zich „thuis voelt” onder de thans heersende chemische en fysische factoren. Verlies van diversiteit leidt onder Nederlandse omstandigheden tot opbloei van blauwwier populaties, die iedere waterbeheerder voor schier onoplosbare problemen stelt. Enkele hiervan moeten genoemd worden.

Door de aanwezigheid van gas *vacuolen* kunnen enkele soorten zich naar de wateroppervlakte begeven, waardoor de wel bekende „scum” ontstaat. Wanneer die zich door wind of stroming naar een bepaalde plaats bewegen, kan daar een bijzonder hinderlijke groene massa voorkomen. Door Fogg en medewerkers is aangetoond, dat veel blauwieren grote hoeveelheden organische stof tijdens de fotosynthese kunnen uitscheiden, soms tot 30 % van de opgenomen koolstof. Fraai valt dit te onderscheiden in Lake George waar het opgeloste organische koolstofgehalte 60 % van het cellulair gehalte is (resp. 10 en 17 mg C per liter). Het is dan ook de vraag of de verklaring, dat blauwieren zo intensief opbloeien in organische stof bevattend water — waar is. Waarschijnlijk worden hier oorzaak en gevolg verward. Het zou interessant zijn om te weten of het organische stofgehalte in het Nederlandse drinkwater stijgt in bv. de laatste 30 jaar. Helaas zijn de oudere analyses, gedaan met $KMnO_4$, volledig onbetrouwbaar. Bij deze uitgescheiden organische stoffen behoren sommige toxinen, die vermoedelijk tot de cyclische polypeptiden behoren. In het buitenland zijn al vele gevallen beschreven van vee- of vogelsterfte veroorzaakt door deze toxinen. Tot voor kort werden in Nederland deze verhalen niet erg au serieux genomen. Wie echter de opsomming van Schwimmer en Schwimmer (1968) leest, die 60 serieuze vergiftigingen beschrijft tussen 1878 en 1960 kan niet nalaten ernstig onder de indruk te komen. Fotokopieën van deze lijst zijn verkrijgbaar bij de redactie van H_2O . Schwimmer en Schwimmer geven voorts een tabel met 166 gevallen, waarin vergiftigingen konden worden veroorzaakt bij proefdieren door hen materiaal, verkregen uit gebieden waar vergiftigingen voorkwamen, toe te dienen [zie artikelen van: 1. Schwimmer, M. and Schwimmer, D. in: *Algae, man and the environment*; ed. by D. F. Jackson. New York, Syracuse Univ. Press, 1968. Blz. 279 - 358. 2. Schwimmer, M. and Schwimmer, D. in: *Algae and Man*, ed. by D. F. Jackson. New York, Plenum Press, 1964. Blz. 368 - 412 en 3. Gorham, P. R. in: *Algae and Man*, ed. by D. F.



Afb. 6 - Periodiciteit van phytoplankton in Tjeukemeer.

Jackson. New York, Plenum Press, 1964. Blz. 307 - 336.]. Het is onbegrijpelijk, waarom massale vee- en vissterftes zich nog niet in Nederland hebben voorgedaan (zie ook Kappers, H_2O 1973, in press). Misschien is de hoge pH van ons water, misschien adsorptie aan sedimenten hier de oorzaak van. Zolang deze oorzaak echter niet bekend is, is het veiliger er niet op te rekenen, dat het altijd wel zo zal blijven.

Door de overproductie van algen krijgen wij in de tweede plaats het verschijnsel van hoge O_2 gehalten overdag en lage 's nachts. Waarden tot 200 % worden in de Nederlandse plassen al geen zeldzaamheid. Door respiratie en mineralisatie daalt het O_2 gehalte 's nachts. Twee keer heb ik in Lake George een enorme vissterfte meegemaakt, en wie uren rondgevoerd heeft in een gebied van 100 km^2 bedekt met dode vis zal een dergelijke gebeurtenis niet licht vergeten en hoopt dat wij door tijdige maatregelen het tij nog net op tijd kunnen keren.

Het zal over enige tijd mogelijk zijn een eerste schatting te maken over de dagelijkse O_2 fluctuaties. Het chlorophylgehalte van het Nederlandse oppervlaktewater ligt gemiddeld in de orde van grootte van 50 - 100 % van het P-gehalte (beide uitgedrukt in mg/m^3). De gemiddelde O_2 productie is 20 - 30 $mg O_2$ per mg chlorophyl, terwijl de O_2 opname 's nachts ongeveer 1 $mg O_2$ per mg chlorophyl is (met daarboven een even grote O_2 opname door bacteriële O_2 opname ten koste van opgeloste organische stof). Wanneer deze gegevens gecombineerd worden met de uit de afvalwater-techniek wel bekende gegevens over O_2 diffusie moet het mogelijk zijn tot een model voor de dagelijkse O_2 fluctuaties als functie van het fosfaat gehalte te komen.

Ik geloof dat de consequenties voor de drinkwaterwinning van de hierboven omschreven verschijnselen zonder meer duidelijk zullen zijn. De betekenis van de toenemende algengroei voor de verminderde afsterving van niet in het water thuishorende bacteriën is nog niet bewezen, hoewel m.i. wel duidelijk. Op zichzelf is het zwemmen in groen water zeker niet schadelijk doch alleen onaesthetisch (sommige excellenties schijnen het overigens te prefereren). Maar de afnemende lichtpenetratie en de toenemende gehalten aan organische stof maken het redelijk mogelijk, dat bacteriën als *E. coli* gaan groeien i.p.v. afsterven in het oppervlaktewater. Veel van de hierboven genoemde verschijnselen zullen door de straks gaan optredende thermische pollutie nog worden versterkt. Het valt te verwachten dat de thans optredende voorjaarsopbloei van diatomeeën plaats zal gaan maken voor vooral in het vroege voorjaar optredende blauwierenopbloei, die immers veelal bij lage lichtintensiteit doch hoge temperaturen tot maximale groeisnelheid komen. Het is verontrustend te merken, dat de enige cijfers, die geproduceerd worden over de te verwachten opwarming spreken over een gemiddelde temperatuurverhoging van slechts enkele graden over het gehele jaar. Wij moeten ons

echter realiseren dat de hoeveelheid warmte, die volgens de vuistregels van de KEMA in januari en februari aan de plassen worden toegevoerd, overeenkomen met de natuurlijke warmte-instraling in maart/april. Wij krijgen dus straks plassen met in de winter hoge nutriënt concentraties en een hoge temperatuur, doch met een lage licht-instraling. Hoe een dergelijke situatie zich gaat ontwikkelen ligt geheel buiten mijn overigens rijke voorstellingsvermogen.

Bestrijding der eutrofiëring

Uitgaande van onze kennis van de bronnen der eutrofiëring is de bestrijding eigenlijk een simpele zaak. In de eerste plaats dient die gericht te zijn op de $1\frac{1}{2}$ kg PO_4-P , die wij allen per jaar spuien. Nog is de defosfatering in Nederland geen zaak van enige prioriteit, hoewel een ieder van ons kan uitrekenen, dat via de fosfaatlozing een hoeveelheid BOD geloosd wordt die vele malen (wellicht tienmaal) de directe BOD lozing overtreft. Gezien de enorme achterstand op het terrein van de rioolwaterzuivering is het dubbel jammer, dat in Nederland nog geen enkel initiatief is ontwikkeld door preventie de stroom afvalwater te beperken. Zonder zover te willen gaan als een krantekop die mij eens in de mond legde, dat ik de WC's wou afschaffen, geloof ik nog steeds, dat de thans op de markt zijnde vacuümtoiletten een welkome verlichting kunnen betekenen. Het is te betreuren, dat in de nieuwe wijken met de kolossale flatgebouwen zoals bijv. in de Bijlmermeer deze unieke kans volledig gemist is.

Ook de vervanging van polyfosfaten door NTA behoort thans tot de reële mogelijkheden (Golterman, 1971) Het was verrassend enige tijd geleden in de krant te lezen, dat Minister Langman met de zeepfabrikanten hierover onderhandelde. Dit was dezelfde excellentie, die meent dat het met de thermische pollutie wel mee zal vallen. Ik kan zijn uitspraak niet anders zien, dan die van Wim Kan, die zijn mededeling dat hij de minister van financiën wel financieel advies geeft, verdedigt met erop te wijzen, dat er ook paters zijn die voorlichting geven. Gelukkig blijken huisvrouwen verstandiger te zijn dan zeepfabrikanten en de ministers samen en hebben zij zich door de hogelijk misleidende advertentie van de zeepfabrikanten niet van slag laten brengen. Er schijnt thans een kentering gaande te zijn. De schade door de polyfosfaten aan onze plassen toegedaan is echter vrijwel onherstelbaar.

Behalve de vervanging van polyfosfaten door groene zeep en soda lijkt ook de vervanging door NTA thans een goede zaak. In het licht van wat hierboven werd vermeld over de toxinen-afscheiding door blauwieren lijkt het blijven vermelden van toxische eigenschappen van NTA een voorbeeld van grote hypocrisie. De proeven van Epstein (1972), die grote hoeveelheden NTA injecteerde met Cd en Hg en inderdaad een toxisch effect aantoonde, zijn thans achterhaald door experimenten waarbij NTA met dezelfde zware metalen oraal werd toegediend. Zoals te verwachten had NTA onder deze omstandigheden een gunstig effect. Als tweede bezwaar tegen NTA wordt wel genoemd het cheleerende effect, en de extractie daardoor van metalen uit de bodem. Het is duidelijk, dat deze opmerking alleen kan komen van hen, die niet bekend zijn met het feit, dat het Nederlandse oppervlakte water grote hoeveelheden humus bevat (tot enkele tientallen van mg/l onder plaatselijke omstandigheden) en dat deze humaten nog nooit grote problemen hebben opgeleverd.

Ook over de bio-industrie is al veel geschreven. Het is merkwaardig te constateren, dat wij kalveren kweken voor export naar Italië. Wanneer deze tak van industrie de kosten van zuivering niet kan betalen, moet deze industrie of gesubsidieerd worden of verdwijnen. Maar als belasting voor het milieu is zij thans onaanvaardbaar.

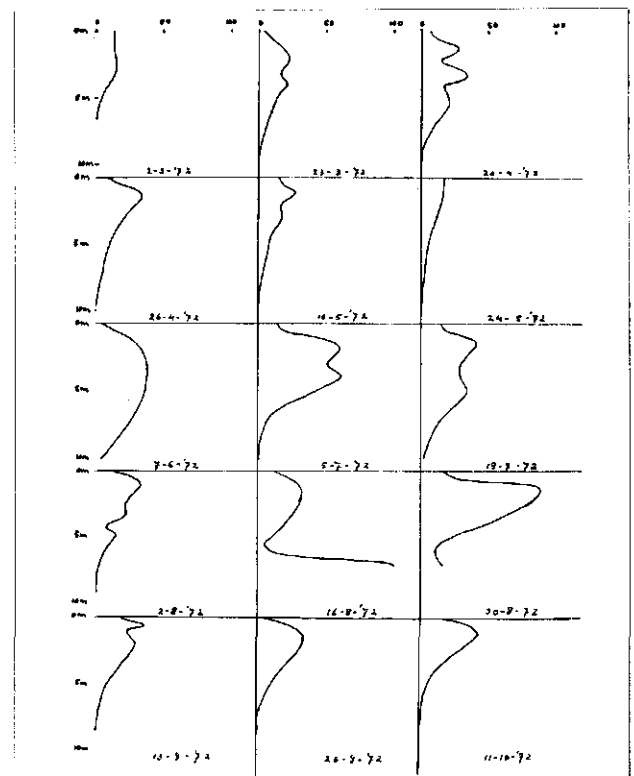
De grote hoeveelheden fosfaat in de Rijn worden door enkele officiële instanties gebruikt als excuus om er hier maar niets aan te doen. Wanneer men dit excuus gebruikt, wordt in de eerste plaats vergeten dat 70

à 80 % hiervan naar zee wordt afgevoerd. Afgezien van de politieke fout, die hier gemaakt wordt, is de stelling bovendien onjuist. De Vecht blijkt thans 2 tot 3 x zoveel fosfaat te bevatten als het Amsterdam-Rijnkanaal-water (Golterman, 1972). Ongetwijfeld zijn er veel plassen aan te wijzen bv. het hele Friesemerengebied, waar de Rijn-invloed gering is. Fosfaatverwijdering uit afvalwater als derde trap moet dan ook als minstens even belangrijk gezien worden als de reductie van BOD. Gezien de relatief lage kosten moet deze trap dan ook in iedere installatie worden ingebouwd; de kosten kunnen volledig gedekt worden door een heffing op de polyfosfaten.

Slotopmerkingen

De huidige waterbeheerder staat voor grote praktische problemen, die uitsluitend kunnen worden opgelost met behulp van een gedegen kennis van het natuurlijke systeem. Vaak treft het mij dat van de bestaande kennis niet altijd volop gebruik gemaakt wordt en dat de waterbeheerder weer opnieuw een deel van de weg aflegt, die allang is afgelegd. Een zeer duidelijk voorbeeld hiervan was een symposium in Knoxville over stuwmeren, waar alle oude ontdekkingen vol trots opnieuw verteld werden. Ik hoop, dat wij in Nederland dit niet zullen doen en dat waterbeheerders en limnologen samen een oplossing zoeken voor een goed waterbeheer. Hierbij is het essentieel, dat wij uitgaan van de natuurlijke gang van zaken en die zo mogelijk versterken. Dit is altijd beter dan te trachten tegen de natuurlijke processen in te gaan, daar uiteindelijk de natuur toch aan het langste eind trekt. Ik zou deze stelling met het volgende voorbeeld willen toelichten. Fosfaateutrofiëring en de daarop volgende verintensivering van de fotosynthese is nauw verbonden met de diepte van een plas. Grotere diepte leidt immers tot een geringe belasting per m^3 , hoewel uiteraard niet per m^2 , zodat de fotosynthese per m^2 minder zal afnemen dan die per m^3 . Voor de mineralisatie is een donkere laag tussen bv. 5 en 10 m echter alleen maar gunstig, daar O_2 -opname per m^3 minder wordt.

Afb. 7 - Fotosynthese profielen van de stratificerende zandput Vechten. Naast een aantal klassieke „Talling” curven kunnen enkele afwijkingen door inhomogene algenverdeling opgemerkt worden (10-5-72; 5-7-72 e.a.) (mg C per m^2 per 4 uur).

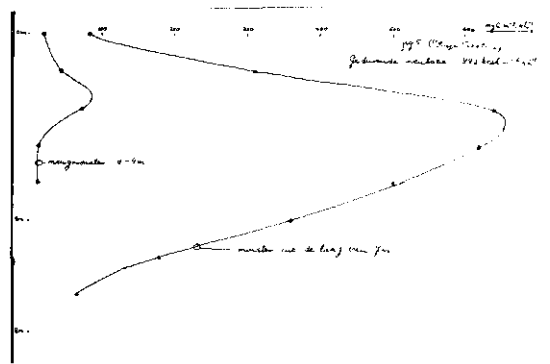


Dit principe kan voor Nederland verder ontwikkeld worden. Bij de bouw van grote spaarbekkens zoals bv. in de Biesbosch kan m.i. een nog grotere diepte worden nagestreefd, met als opzet een thermische stratifikatie, die eventueel met kunstmatige middelen tot stand kan worden gebracht. Het ontstane hypolimnion kan dan als natuurlijke vuilnisbak dienen voor de bezinkende dode algen. Deze algen kunnen door hun zuurstofontwikkeling eerst bijdragen tot de afbraak van de organische stof, ten tweede het water verregaand ontharden, waarna zij ten derde al bezinkend de nutriënten naar het hypolimnion kunnen afvoeren. Eventueel kan dit laatste gestimuleerd worden door het toevoeren van aluminium om een té grote algenopbloei te voorkomen. In tijden van voldoende schoon water toevoer — de herfst — kan het vuile water van het hypolimnion naar zee worden afgevoerd. De huidige gedachte om de algengroei te doen verminderen door een door luchtdoorborreling verkregen doormenging berust op een aantal onjuiste veronderstellingen en houdt geen rekening met de natuurlijke gang van zaken. Het navolgen van wat in de Londense drinkwaterreservoirs bereikt is, is onjuist, gezien de volledig andere omstandigheden. M.i. zal een doorluchting de problemen alleen groter maken.

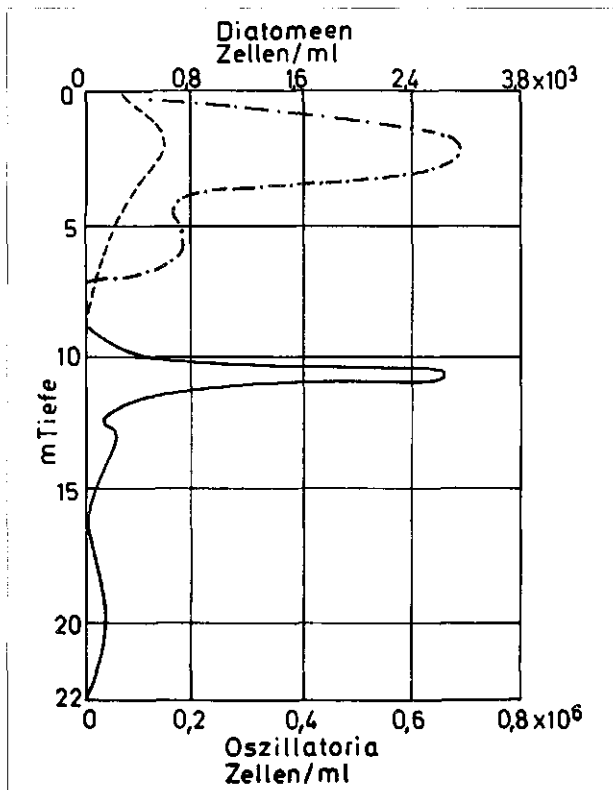
Het principe, oorspronkelijk ontwikkeld door Talling (1971 en vroegere publikaties) en later door Steel (1970, 1972) in een mathematisch model verder uitgewerkt is juist: door de algen uit de laag van bv. 0-5 m te dwingen een periode door te brengen in een donkere laag van bv. 5-10 m treedt door vergrote respiratie een vermindering van de netto groei op. Maar het model gaat er wel van uit, dat in deze diepere laag geen algen voorkomen. In de zeer eutrofe plas-sen is dit nu het punt waar het in feite mis gaat, daar veelal juist onder de spronglaag een ophoping van blauw-wieren voorkomt, die daar een ideale diepte vinden, waarin ze nog net wat licht krijgen en ook de van de bodem af omhoog diffunderende nutriënten. Zo vonden wij bv. onder de spronglaag van het plasje Vechten *Oscillatoria* sp. in hoeveelheden overeenkomende met 300 µg chlorophyl per liter (epilimnion 5 à 10 µg/l) en een zeer grote fotosynthese capaciteit (zie afb. 7 en 8). Omkering door doorborrelen van dit systeem gaat tegen de natuurlijke gang van zaken in en moet derhalve vervangen worden door gebruik te maken van wat van nature vanzelf zou gebeuren. Stimuleren van een natuurlijke tendens is altijd beter dan onze tendens trachten om te keren, hetgeen in dit geval weleens tot een enorme vergroting van de fotosynthese aanleiding zou kunnen geven.

De ophoping van *Oscillatoria* onder de spronglaag is overigens een niet alleen Nederlands verschijnsel, doch komt veel voor. In afb. 9a en b is een ophoping van *Oscillatoria profifiga* in de Kononjer-See weergegeven, waaruit blijkt hoe blauw-wieren zich vaak op plaatsen bevinden die ecologisch gezien dicht bij bacteriële niches liggen. Een soortgelijk geval is beschreven voor *Oscillatoria agardhii* (Baker et al, 1969), die aantoont dat een dergelijke, bijna in het donker verblijvende populatie toch dezelfde fotosynthese karakteristiek heeft als bv. de voorjaars diatomeeën populaties. Wanneer dergelijke niet-homogene systemen door lucht doorblazen gehomogeniseerd worden, treedt vergroting der fotosynthese op, doordat enerzijds meer chlorophyl naar de bovenste lagen wordt getransporteerd dan omgekeerd, terwijl de luchtdoorborreling een ongunstig effect op het zooplankton kan hebben. In een nieuwe publikatie van Steel (1972) wordt al gezinspeeld op de mogelijkheid het zooplankton te oogsten om algengroei te bestrijden. Ook op deze wijze kunnen wij gebruik maken van een natuurlijk proces i.p.v. te trachten dit op zijn kop te zetten.

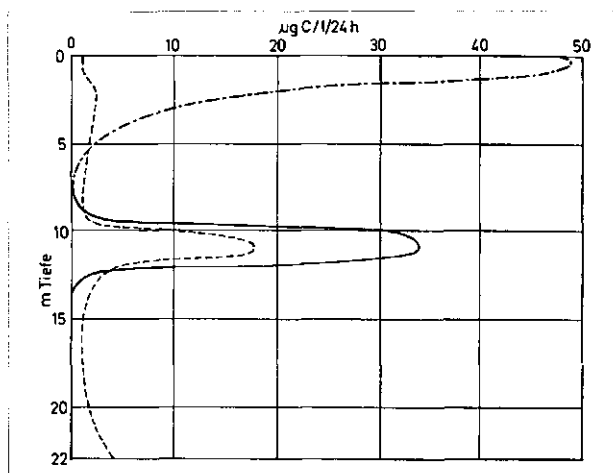
Het is niet voldoende bekend, dat ook drinkwaterwinning tot indirecte eutrofiëring kan leiden. De wateronttrekking aan de Loosdrechtse plassen — vooral die van het kwelwater in de Bethunepolder, dat eigenlijk nodig is om de kwaliteit van het Loosdrechtse gebied te handhaven — leidt ertoe dat steeds grotere hoeveelheden Vechtwater moeten worden inge-



Afb. 8 - Fotosynthese-diepte curve van een mengmonster van 0-4 m diepte en een van 7 m diepte.



Afb. 9a - Verdeling van diatomeeën (---), *Oscillatoria* (—) en *Microcystis* (-.-.-).



Afb. 9b CO_2 fixatie door *Microcystis* en diatomeeën (-.-.-), door *Oscillatoria* en fotosynthetiserende S-bacteriën (—) en chemosynthese (---). Beide figuren uit Lake Kononjer, Gorlenko en Kusnezow (1972).

laten. Gezien het stijgende fosfaat-gehalte van de Vecht zal dit zonder twijfel tot grote problemen aanleiding geven. Gezien wat hierboven gezegd is over diepe meren geloof ik, dat de drinkwaterwinning uit de Vinkeveense plassen ernstig moet worden bestudeerd.

Vervolgens wil ik enkele opmerkingen maken over de relatie fosfaat-fluor. Fluor apatiet, $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$, is een bijzonder onoplosbare stof, het heeft een oplosbaarheid produkt van 10^{-107} . Dit betekent, dat in water met bv. 2 meq Ca alleen fosfaat of fluor aanwezig kan zijn. Het hoge fosfaat-gehalte van de Rijn leidt er toe, dat wij in Nederland van onze natuurlijke fluor bron zijn afgesneden. Drinkwater fluoridering moet derhalve gezien worden als een herstel van ons natuurlijk milieu, dat verstoord is door de hoge fosfaatconcentraties, waardoor wij van de natuurlijke bron van één onzer nutriënten afgesneden zijn. De hele narigheid met de drinkwaterfluoridering is veroorzaakt door de ongelukkige titel van het eerste rapport van de gezondheidsraad. Fluor is geen medicijn, het is een nutriënt, alhoewel het bewijs hiervan moeilijk te geven zal zijn. (Het omgekeerde valt echter helemaal niet te bewijzen). Van de grote onoplosbaarheid van fluor apatiet kon gebruikt worden om fosfaat in een derde trap neer te slaan. Per mg fluor wordt namelijk 4.5 mg fosfaat-P neergeslagen. Drinkwater fluoridering kan mogelijkwijs leiden tot een fosfaat retentie in de rioolwaterzuivering, hoewel het neerslag zeer fijn is. Maar misschien hoeft het neerslag niet in de installatie vastgehouden te worden; het is zo onoplosbaar dat het vermoedelijk eenmaal in de bodem van onze plassen terechtgekomen — niet bereikbaar is voor algen. Wij ontmoeten hier overigens een fraaie juridische puzzle: U mag het drinkwater slechts onder bepaalde voorwaarden fluorideren. De nieuwe wet op de oppervlaktewater-verontreiniging verzet zich echter in het geheel niet tegen de fluoridering van plassewater, bv. om het fosfaat te verwijderen uit het effluent van de reeds genoemde rioolwaterinstallaties, dat overal nog rijkelijk onze plassen instroomt. Fluoridering van plassewater lijkt dan ook een oplossing van twee problemen en in ieder geval een herstel van een oorspronkelijke toestand.

Tenslotte nog dit. Vele malen wordt mij gevraagd een norm te noemen voor een aanvaardbare fosfaatconcentratie. Deze vraag oversimplificeert echter het probleem. Over-eutrofiëring leidt zeker tot problemen, die bij verminderde fosfaattoevoer afnemen. Veel hangt er echter van af, wat wij willen en kunnen accepteren. Accepteren wij een verschil in O_2 gehalte tussen dag en nacht van bv. 50 %, dan moeten wij de fosfaatconcentratie lager houden dan wanneer wij 100 % verschil accepteren. Accepteren wij een algensoep met zo nu en dan eens vissterfte, dan kunnen wij ieder fosfaatgehalte accepteren. Voor natuurbeschermingsplassen zullen wij de maximale fosfaatconcentratie weer extreem laag willen houden, bv. 10 of hooguit 20 mg/m^3 . Aan de andere kant kunnen wij in humusrijke plassen, waar licht eerder beperkend wordt — weer meer — misschien wel 100 - 200 mg/m^3 accepteren. Veel hangt er derhalve af van de diepte, aard en bestemming van de plas waarover wij praten. Een algemene norm bestaat niet. Maar het ontbreken van een norm betekent echter niet, dat wij onze gang maar kunnen gaan.

Literatuur

Baker, A. L., Brook, A. J. and Klemer, A. R. *Some photosynthetic characteristics of a naturally occurring population of Oscillatoria agardhii Gomont.* Limnol. Oceanogr., 14 (3); 327-333 (1969).

Epstein, S. S. *Toxicological and environmental implications on the use of Nitrotriacetic acid as a detergent builder.* Int. J. Environm. Stud., 3; 13-21 (1972).

Fogg, G. E., Nalewajko, Cz. and Watt, W. D. *Extracellular products of phytoplankton photosynthesis.* Proc. Roy. Soc., B., 162; 517-534 (1965).

Golterman, H. L. *De invloed van het menselijk handelen op de biocoenosen in het water.* In: Biosfeer en Mens. Wageningen, PUDOC, 1970, blz. 80-103 (1970).

Golterman, H. L. b. *Mogelijke gevolgen van de fosfaat-eutrofiëring van het oppervlaktewater.* H_2O , 3 (10); 209-215 (1970).

Golterman, H. L. *De vervanging van polyfosfaten in wasmiddelen door NTA.* H_2O , 4 (24); 557-559 (1971).

Golterman, H. L. *De zegeprelende Vecht.* H_2O , 5 (2); 33-34 (1972).

Golterman, H. L. *Vertical movement of phosphate in freshwater.* TNO-nieuws, 27; 96-101 en 144-153 (1972).

Golterman, H. L. a. *The role of phytoplankton in detritus formation.* In: IBP-UNESCO Symposium, Pallanza 23rd-27th May, 1972 (in press) (1973).

Golterman, H. L. b. *Natural phosphate sources in relation to phosphate budgets: A contribution to the understanding of eutrophication.* Water Res., 7; 3-17 (1973).

Golterman, H. L. c. *Deposition of river silts in the Rhine and Meuse Delta.* Freshw. Biol., 3 (in press) (1973).

Golterman, H. L., Bakels, C. C. and Jakobs-Möglin, J. *Availability of mud phosphate for the growth of algae.* Verh. Internat. Verein. Limnol., 17; 467-479 (1969).

Gorham, P. R. *Toxic algae.* In: Algae and Man; ed. by D. F. Jackson, New York, Plenum Press, 1964, Blz. 307-336 (1964).

Halmann, M. *Chemical ecology. Evidence for phosphate as the only factor limiting algal growth in Lake Kinneret.* Israel Journ. Chem., 10; 841-855 (1972).

Horne, A. J. and Viner, A. B. *Nitrogen fixation and its significance in tropical Lake George, Uganda.* Nature, 232; 417-418 (1971).

Kappers, F. I. *Giftige blauwwallen en de drinkwatervoorziening.* H_2O , 6 (15) 396-400 (1973).

Kloet, W. A. de. *Het eutrofiëringproces van het IJsselmeergebied.* Mededel. Hydrobiol. Ver., 5, (1); 23-38. (1971).

Lange, W. *Cyanophyta-bacteria systems: Effects of added carbon compounds or phosphate on algal growth at low nutrient concentrations.* Journ. Phycol., 6; 230-234 (1970).

Lund, J. W. G. *Studies on Asterionella. I. The origin and nature of the cells producing seasonal maxima.* Journ. Ecol., 37 (2); 389-419 (1949).

Lund, J. W. G. *Studies on Asterionella formosa Hass. II. Nutrient depletion and the spring maximum.* Journ. Ecol., 38 (1); 1-14 (1950).

Lund, J. W. G. *The seasonal cycle of the plankton diatom, Melosira italica (Ehr.) Kütz. subsp. subarctica O. Müll.* Journ. Ecol., 42 (1); 151-179 (1954).

Lund, J. W. G. *Further observations on the seasonal cycle of Melosira italica (Ehr.) Kütz. subsp. subarctica O. Müll.* Journ. Ecol., 4 (31); 90-102 (1955).

Müller, G. and Tietz, G. *Der Phosphor-Gehalt der Bodensee-Sedimente, seine Beziehung zur Herkunft des Sediment-Materials sowie zum Wasserkörper des Bodensees.* Neues Jb. Miner. Geol. Paläont. Abh., 105 (1); 41-62 (1966).

Schwimmer, M. and D. Schwimmer. *Medical aspects of phyco-logy.* In: Algae, man and the environment; ed. by D. F. Jackson. Schwimmer, M. and Schwimmer, D. *Animal intoxications from algal blooms.* In: Algae, man, and the environment; ed. by D. F. Jackson, New York, 1968, Blz. 280-284.

New York, Syracuse Univ. Press, 1968, Blz. 279-358 (1968).

Schwimmer, M. and Schwimmer, D. *Algae and medicine.* In: Algae and man, New York, Plenum Press, 1964, Blz. 307-336.

Shannon, E. E. and Brezonik, P. L. *Relationships between lake trophic state and nitrogen and phosphorus loading rates.* Environm. Sci. Technol., 6 (8); 719-725 (1972).

Schindler, D. W. *Carbon, nitrogen and phosphorus and the eutrophication of freshwater lakes.* Journ. Phycol., 7; 321-329 (1971).

Steel, J. A. *The application of fundamental limnological research in water supply system design and management.* Symp. zool. Soc. Lond., Nr. 29; 41-67 (1972).

Takahashi, M. and Nash, F. *The effect of nutrient enrichment on algal photosynthesis in Great Central Lake, British Columbia, Canada.* Arch. Hydrobiol., 71 (2); 145-158 (1973).

Talling, J. F. *The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes.* Int. Rev. ges. Hydrobiol., 50 (1); 1-32 (1965).

Talling, J. F. *The underwater light climate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton.* Mitt. Internat. Verein. Limnol., 19; 214-243 (1971).

Talling, J. F., Wood, R. B., Prosser, M. V. and Baxter, R. M. *The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton: Evidence from Ethiopian soda-lakes.* Freshw. Biol., 3 (1); 53 (1973).

Viner, A. B. *Intécol Symposium: Interaction between land and water.* In press (1973).

Woldendorp, J. W. *Limiterende voedings-elementen bij de groei van algen.* Stikstof, 69; 348-360 (1971).