

# Mogelijke gevolgen van de fosfaat eutrofiëring van het oppervlaktewater\*)

## 1. Inleiding

Der traditie getrouw denken wij dat Nederland een waterrijk land is. Deze misvatting wordt veroorzaakt door het grote aantal van onze sloten en plassen en heeft alleen betrekking op de oppervlakte van onze wateren. Er is echter maar ongeveer 5 km<sup>3</sup> water, daar deze grote oppervlakte niet samengaat met een vergelijkbaar grote diepte. Wanneer wij ons realiseren dat het Comomeer 27 km<sup>3</sup> water bevat, dus vijf keer zo groot is, en dat de grote Amerikaanse meren (Bovenmeer, Michigan, Erie, Huron en Ontario) 25.000 km<sup>3</sup> water bevatten, dus vijfduizend keer zo veel als wij tot onze beschikking hebben, geloof ik, dat de opvatting, dat Nederland een waterrijk land is, herziening behoeft. Vijf km<sup>3</sup> is weinig, want in de prognose voor het jaar 2000 wordt aangegeven, dat bevolking en industrie samen al 5 km<sup>3</sup> water nodig hebben. Dit betekent, dat wij zonder een continue nieuwe toevoer, op 31 december met lege plassen zouden zitten. Het is verder bijzonder weinig ten opzichte van de 90 km<sup>3</sup>, die door ons land stromen naar zee, hetgeen overigens niet alleen maar een verliespost is, doch noodzakelijk om het zout uit de zee terug te dringen. En in droge zomers blijkt het gedurende dat seizoen passerende gedeelte zelfs daarvoor ontoereikend. Nederland is dus een waterarm land en daarom moeten wij met het water zuinig omgaan. Wij moeten ons bewust zijn, dat het water in Nederland niet alleen gebruikt wordt als drinkwater voor de bevolking en voor de industrie. Ook de landbouw heeft veel water nodig. Niet alleen wordt water uit de polders uitgeslagen; er wordt ook 's zomers veel water ingelaten ten bate van de landbouw. Verder hebben wij water nodig voor de recreatie. Er zijn nog geen concrete cijfers bekend over de enorme toename van de waterrecreatie. Wel is bekend, dat bv. in de laatste vijf jaren de waterrecreatie in Friesland is verdubbeld. Verder hebben wij het oppervlaktewater helaas ook nog nodig om ons rioolwater in te lozen, hetgeen merkwaardigerwijze in ons land zonder blikken of blozen gecombineerd wordt met de recreatie. Het afvalwater van twee à drie miljoen mensen komt in het IJsselmeer, dat daarnaast drinkwaterreservoir en recreatie-object is. De combinatie van afvalwaterlozing en recreatie zien wij ook in het Veluwerandmeer, waar de uitlaat van het ongezuiverde rioolwater van Harderwijk slechts twee à drie km van de opgespoten stranden verwijderd is. Een dergelijke gang van zaken blijft soms jarenlang vrijwel onopgemerkt, totdat ineens een calamiteit gemeld wordt. Bijvoorbeeld moest men in Zweden plotseling een zwarte lijst maken van meren waarin de snoek meer dan 1 mg kwik bevat per kg vis (drooggewicht), zodat de desbetreffende autoriteiten de bevolking aldaar nu hebben aangeraden niet vaker dan één keer per week snoek te eten. Iets minder bekend is het feit, dat in Zweden door neerslag van zwaveldioxyde, dat door de verbran-

\*) Gecombineerde tekst van een voordracht voor de Vereniging voor Waterleidingsbelangen in Nederland gehouden op 18-12-69 te Utrecht en voor de Sectie Milieuhygiëne van de Algemene Nederlandse Vereniging voor Sociale Geneeskunde op 3 februari 1970 in het Koninklijk Instituut van Ingenieurs te Den Haag.

ding van fossiele brandstof in de lucht is gekomen, grote meren zijn verzuurd, zodat de forel is uitgestorven. Maar dergelijke situaties en ook de Rijnvervuiling laat ik nu maar buiten beschouwing, want het zijn verschijnselen, die in principe gemakkelijk te vermijden zijn, al moeten wij er blijkbaar aan wennen, dat ze jaarlijks terugkeren.

## 2. Primaire produktie en fosfaat eutrofiëring

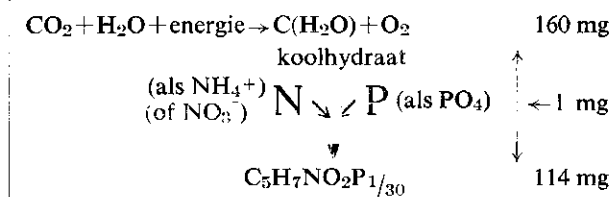
Nu wil ik uw aandacht vragen voor de minder zichtbare vervuiling van het oppervlaktewater door de anorganische bemesting, een vervuiling, die overigens minder gemakkelijk te vermijden is.

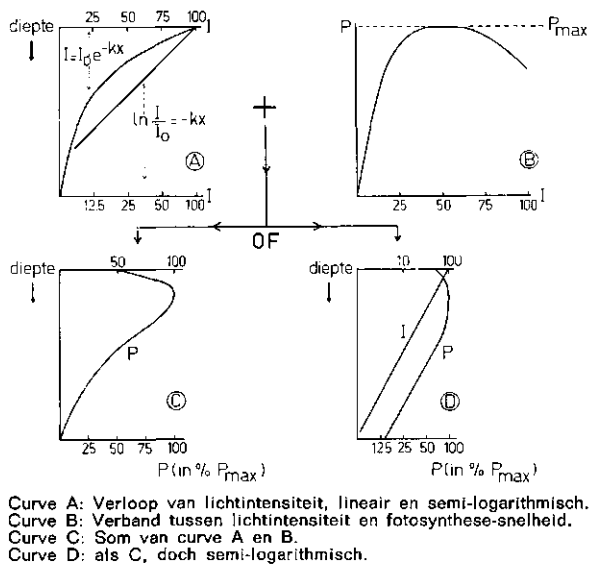
Over deze eutrofiëring is al zo veel geschreven en gesproken, dat het eigenlijk overbodig moest zijn er alweer over te spreken. De moeilijkheden die wij gaan krijgen wanneer wij enerzijds doorgaan met grote hoeveelheden nutriënten in het water te lozen, terwijl wij anderzijds de afvalwarmte van de kernenergiecentrales daarbij gaan voegen, wettigen het echter toch wel dat wij onze aandacht aan deze problemen geven.

De grote toevoer van nutriënten — vooral van fosfaten — aan het Nederlandse oppervlaktewater leidt ertoe, dat de groei van algen door de fotosynthese — primaire produktie genaamd — onrustbarend toeneemt. Anders dan in de landbouw, waar koolzuur beperkend kan zijn (men denke bv. aan de produktieverhoging in kassen, door de verbrandingsgassen van petroleumkachels niet naar buiten af te voeren), is in het water koolzuur meestal geen beperkende factor. Zeker niet in ons relatief hard water, dat gewoonlijk 50—100 mg koolzuur per liter bevat, waarvan maximaal maar enkele procenten per dag bij de fotosynthese verbruikt worden. Hoewel dit koolzuur normaliter als bicarbonaat aanwezig is, maakt dit voor de fotosynthese geen verschil, daar bicarbonaat een even goede koolstofbron is als CO<sub>2</sub>. (Misschien zou koolzuurbeperving in relatief zure meren kunnen voorkomen.)

De snelheid van de primaire produktie in het water wordt beperkt door de hoeveelheid licht of door de hoeveelheden van die nutriënten, die nodig zijn om de eerste produkten van de fotosynthese — koolhydraten — om te zetten in alle andere celbestanddelen (voornamelijk eiwit). Een overzicht hiervan is gegeven in afb. 1, waarin tevens een kwantitatief verband gelegd wordt — in eerste benadering nog statisch gezien — tussen de verschillende stoffen, die aan deze reacties deelnemen.

Afb. 1 - Schematisch overzicht van de vorming van organisch celmateriaal uit eenvoudige chemische verbindingen. De getallen rechts geven de geproduceerde hoeveelheden zuurstof (boven) en organisch materiaal (beneden) aan, wanneer 1 mg P in algen wordt vastgelegd.





Afb. 2 - Verloop van de lichtintensiteit en fotosynthesesnelheid als functie van de diepte.

Er blijkt, dat wanneer 1 mg P aanwezig is — en voldoende licht — 114 mg algen (berekend op drooggewicht basis) gevormd kan worden en dat 160 mg zuurstof geproduceerd wordt, die, daar het water reeds met zuurstof verzadigd is, in de lucht terecht komt.

Door Talling (1957) is een mathematisch model ontworpen, dat het verband aangeeft tussen fotosynthesesnelheid in heldere, diepe meren en de diepte. Deze relatie is opgebouwd uit twee componenten, namelijk de relatie tussen hoeveelheid licht en de diepte

$$(I = I_0 e^{-kx}, \text{ of } \ln \frac{I}{I_0} = -kx)$$

en de relatie tussen de hoeveelheid licht en de fotosynthese

$$(P = P_{\max} \frac{a I}{\sqrt{1+(aI)^2}}, \text{ Smith 1936}).$$

De sommering van deze twee functies (de bovenste grafieken in afb. 2) leidt tot de curve, die het verband aangeeft tussen diepte en fotosynthese (onderste twee curven in afb. 2). De fotosynthese is uitgedrukt in mg C.m<sup>-3</sup>; het oppervlak besloten tussen deze curve en de y-as geeft de fotosynthese in mg C.m<sup>-2</sup>.

Uit curve D van afb. 2 blijkt dat er twee waterlagen te onderscheiden zijn, de bovenste, waar licht ruimschoots doordringt (of zelfs schadelijk kan zijn) en een onderste laag, waar licht als beperkende factor aanwezig is. In de bovenste laag is dus een duidelijke nutriënt-beperking. Afbeeldingen 3 en 4 (uit Rodhe 1965) bewijzen, dat dit theoretisch model ook werkelijk in de natuur gevonden wordt. In deze afbeeldingen kunnen duidelijk weinig produktieve (Tarfala) en tamelijke produktieve meren (Lago di Varese, Lake Erken, Bodensee) onderscheiden worden.

Speciaal uit afb. 4, waar de fotosynthese logaritmisch tegen de diepte is uitgezet (diepte in Z<sub>o,d</sub> eenheden; d.w.z. de lengte van de waterkolom, waarin het licht tot de helft afneemt) blijkt, dat alleen op grotere diepte, onder de meest produktieve laag, de fotosynthese evenredig met de diepte en dus met het licht afneemt.

Toenemende eutrofiëring leidt tot een grotere fotosynthese in de bovenlaag gepaard aan een verminderde lichtpenetratie naar de grotere diepte, veroorzaakt door het „zelfschaduw effect” van de grotere hoeveelheid algen in de bovenlaag. Aan een grotere hoeveelheid algen is gekoppeld een grotere respiratie — dus O<sub>2</sub>-verbruik — die — anders dan de fotosynthese — niet met het toenemen van de diepte afneemt. Secundair leidt een grotere hoeveelheid algen ook tot het toenemen van het gehalte aan organische verbindingen, hetgeen eveneens tot een vergrote zuurstof-consumptie leidt.

Een en ander is geschematiseerd in afb. 5, waaruit blijkt, dat de O<sub>2</sub> consumptie (oppervlakte ABCD) ten opzichte van de fotosynthese (AEF) sterk toeneemt. Als dan vervolgens een massale algen-sterfte optreedt kan het water snel anaerob worden. De door de toenemende hoeveelheid algen verminderde lichtpenetratie — het steeds minder steil lopen van „I”-lijn in afbeelding 5 — maakt de laag, die geen licht ontvangt, steeds groter.

De fotosynthese in de bovenste laag wordt dus beperkt door de nutriënten concentratie, veelal de fosfaat concentratie.

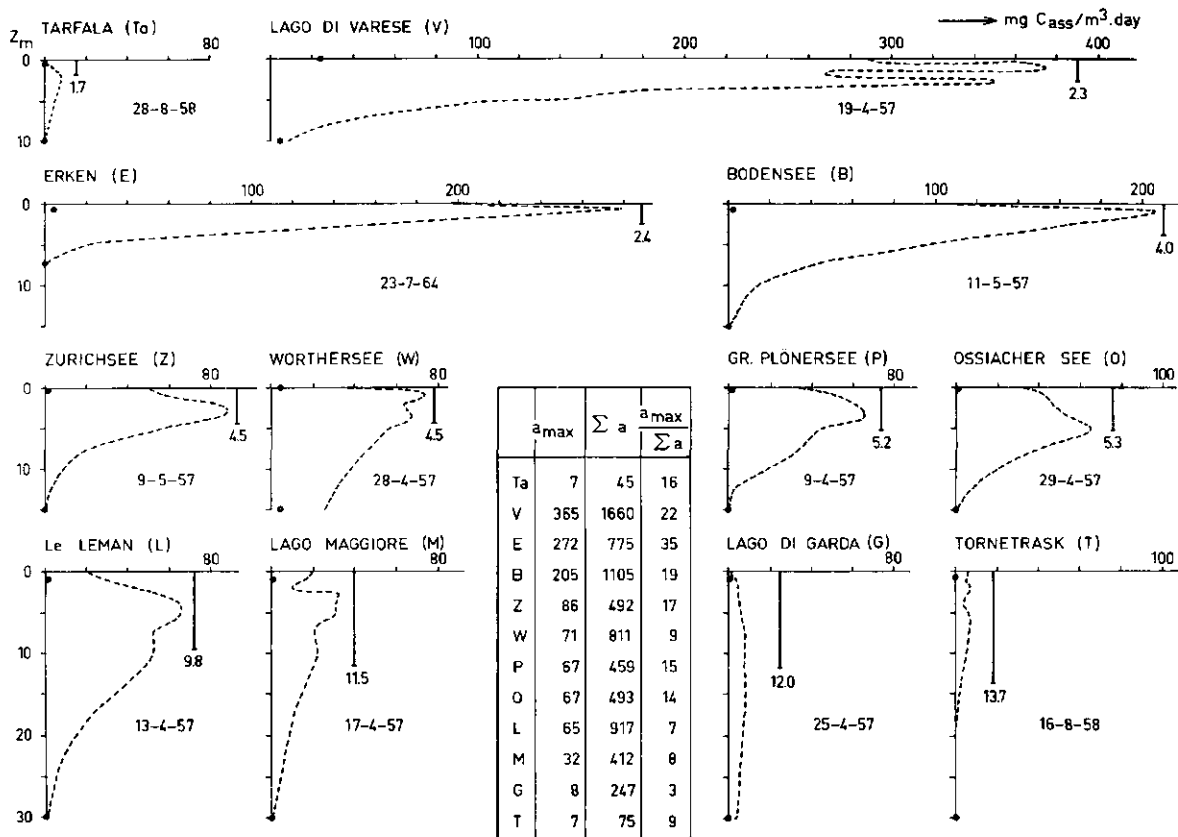
Gezien de geringe diepte van de meeste Nederlandse meren hebben wij veelal slechts een „bovenste” laag, d.w.z. een laag met nutriënt-beperking. Het ziet er echter naar uit, dat door onze grote bevolkingsdichtheid de nutriënten-beperking in onze wateren niet meer bestaat of bezig is te verdwijnen.

Het is jammer, dat in het water van de meren uit de genoemde publicatie van Rodhe geen fosfaatconcentratie bepaald is.

Onderzoek van de literatuur heeft mij wel een aantal waarden opgeleverd, doch tevens blijkt, dat er een enorme verwarring is. De ene auteur vermeldt organisch fosfaat, de tweede totaal fosfaat en een derde misschien cellulair fosfaat, en soms wordt helemaal niet aangegeven welk fosfaat bepaald is.

De gevonden waarden liggen eigenlijk altijd in de orde van grootte van enkele tot op zijn hoogst enkele tientallen mg.m<sup>-3</sup>. Misschien wordt er zo weinig naar de fosfaatconcentratie gekeken, omdat de concentratie op zich zelf nog niet het belangrijkste is. Ik wil dat demonstreren aan de fotosynthese in de Züricher See, waar ongeveer 500 mg C.m<sup>-2</sup> per dag wordt opgenomen. Dat betekent ongeveer 1000 mg droog algenmateriaal, en aannemend dat hierin 1% fosfaat gebonden is, is er dus een totale hoeveelheid fosfaat nodig van ongeveer 10 mg P.m<sup>-2</sup> . dag<sup>-1</sup>. In de 10 m diepe bovenlaag is dat dus maar ongeveer 1 mg per m<sup>3</sup>. Daar ongeveer 10 mg per m<sup>3</sup> aanwezig is, zou de fotosynthese na 10 dagen moeten stoppen. Kennelijk is de concentratie niet van zoveel belang voor het opbloeien van het phytoplankton, doch de snelheid waarmee het fosfaat wordt opgenomen en weer wordt afgegeven; in de Züricher See dus ongeveer éénmaal per 10 dagen.

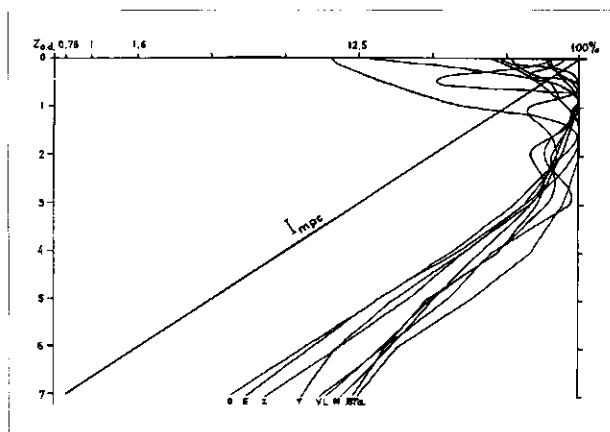
In de Vierwaldstättersee heeft Gächter (1968) als een der eerste auteurs de fotosynthese bepaald en de omloopsnelheden van de verschillende fosfaatfracties geschat. De door hem gevonden fotosynthesesnelheid ( $\pm 900$  mg C.m<sup>-2</sup> . dag<sup>-1</sup>) is duidelijk hoger dan die in de Züricher See gevonden werd. Ook de door hem gevonden omloopsnelheid voor het fosfaat is hoog; de door hem gemeten fosfaatconcentraties zijn maar weinig hoger dan in de Züricher See, zodat inderdaad de omloopsnelheid beslissend is voor de fotosynthese.



Afb. 3 - Verloop van de fotosynthesesnelheid als functie van de diepte in enkele meren. Zie Rodhe, 1965.

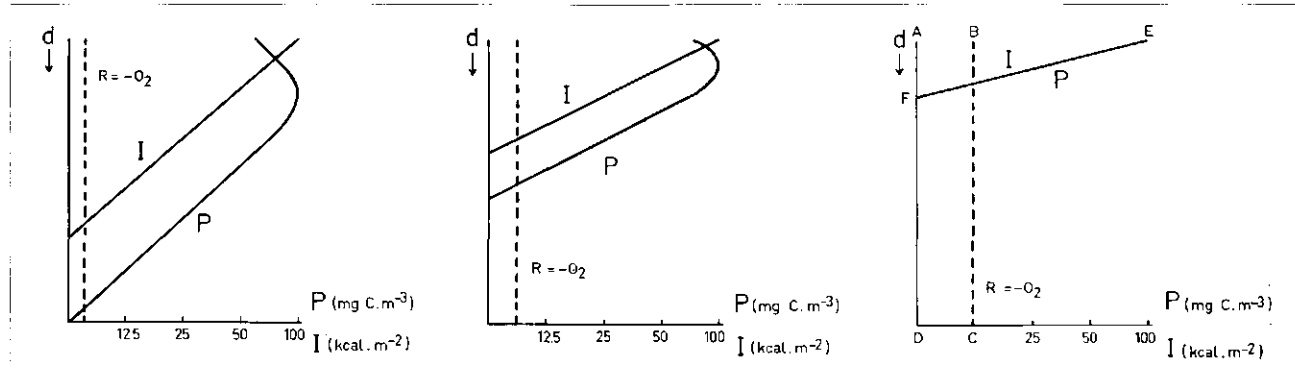
Over deze „turnover” snelheid bestaan op dit ogenblik nog slechts weinig gegevens. Er is dus kennelijk een factor in de algen of in de plassen, die bepaalt hoe vaak het fosfaat per jaar kan gebruikt worden.

Voor de fotosynthese in de Nederlandse veenplassen, waar wij onderzoek over gedaan hebben kan de maximale fotosynthese ( $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3}$ ) gelijk worden aan de totale fotosynthese ( $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-2}$ ), doordat de fotosynthetiserende laag ongeveer een meter dik of zelfs dunner kan worden. In het Tjeukemeer is de ademhaling (uitgedrukt in  $\text{O}_2$  consumptie) ongeveer de helft van de fotosynthese (uitgedrukt als  $\text{O}_2$  produktie), zodat het Tjeukemeer, wat zijn zuurstofvoorziening betreft in een precair evenwicht is. In Lake George, een meer, waarin de fosfaatconcentratie door natuurlijke oorzaken ongeveer  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  Tot-P is, heb ik enige tijd geleden gemeten, dat de ademhaling 's nachts meer dan de helft is van de fotosynthese



Afb. 4 - Als afb. 3, doch lichtintensiteit en fotosynthese nu semi-logaritmisch uitgezet. Zie Rodhe, 1965.

Afb. 5 - Afname van de lichtpenetratie en verschuiving van het fotosynthese maximum naar boven als gevolg van de fosfaateutrofiëring.



die daar — door de afnemende lichtpenetratie — het maximum van ongeveer 4000 mg C.m<sup>-2</sup>.dag<sup>-1</sup> bereikt heeft. In een nacht daalde de zuurstofconcentratie zeer snel, zodat wij tegen zonsopgang nog ongeveer 10—20 % zuurstof in het water konden meten.

Vervolgens trad een massale vissterfte op, die een omvang aannam zoals in Nederland alleen maar gevonden is na een acute vergiftiging.

Het proces van de fosfaateutrofiëring is pas na de oorlog gaan plaats vinden. De reden daarvan zijn de bevolkings-explosie en het veel grotere gebruik van fosfaten, zoals in de landbouw, de conservenindustrie en de wasmiddelen (polyfosfaten als waterontharders). Daar Nederland hiervan ongeveer 100 miljoen kg per jaar gebruikt en het P-gehalte ongeveer 5 % is, leidt dit alleen al tot een hoeveelheid fosfaat van ongeveer 400 g P per jaar of ongeveer 1 g P per dag per hoofd van de bevolking, welk fosfaat vrijwel geheel in het oppervlaktewater komt.

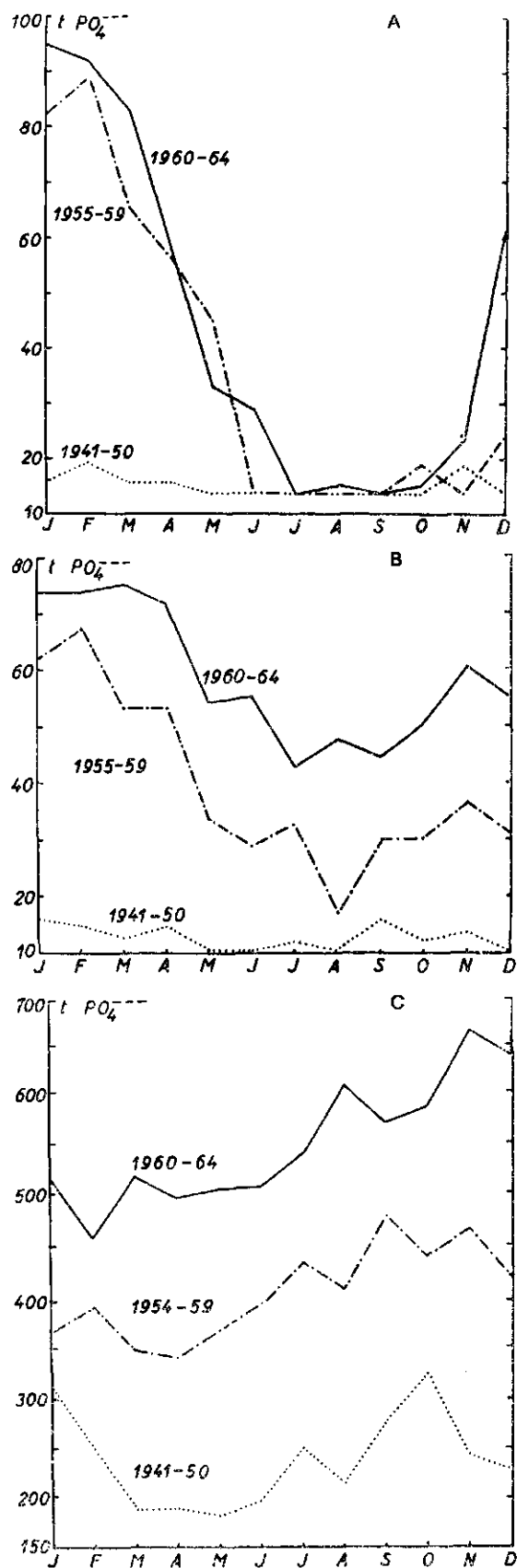
Zeer duidelijk wordt dit gedemonstreerd door een publicatie van Thomas (1955), waarin de toename van de gemiddelde maandelijkse fosfaatconcentratie grafisch is uitgezet (afb. 6, a, b en c). Uit de afbeeldingen blijkt, dat de totale hoeveelheid fosfaat in de hele Züricher See is toegenomen met een factor 3 à 4. In de zomer is door het bezinken van phytoplankton de concentratie in de bovenste 10 m nog ongeveer gelijk gebleven, maar tegen de winter neemt het fosfaat, speciaal in de bovenlaag, gestadig toe. In de waterlaag van 10—20 m en 20—136 m zijn de lijnen van de perioden 1940—1950; 1954—1959; 1960—1964 volledig gescheiden.

Met het oog op het grote belang van het werk van Thomas is in de literatuurlijst een opsomming van zijn werk over fosfaatbelasting opgenomen.

De fosfaattoename meten wij in Nederlandse plassen niet zo duidelijk als in de Züricher See, omdat de bodem in de Nederlandse plassen een veel grotere invloed heeft op de chemische samenstelling in het water dan in de diepe meren. Het grootste gedeelte van het fosfaat dat aan onze plassen wordt toegevoegd, wordt namelijk in de bodem vastgelegd.

In een vorige publicatie heb ik aangegeven, dat aan de Loosdrechtse plassen ongeveer 1 g.m<sup>-3</sup>, dus 2 g.m<sup>-2</sup> PO<sub>4</sub>-P per jaar toegevoegd wordt. Een derde komt van de omringende bevolking, ongeveer een derde via het toerisme, en een derde uit de Vecht wanneer in een droge zomer Vechtwater wordt ingelaten (Golterman, 1965). Een studie, die wij gemaakt hebben van de fosfaatbalans van het Veluwerandmeer (Harderwijk) geeft een toevoer van fosfaat aan van 2 à 3 g P.m<sup>-2</sup>. Wij kunnen constateren dat via het riool van Harderwijk ongeveer 66 %, het riool van Elburg 11 %, de beken 14 % en tenslotte via de poldergemalen 9 % van het fosfaat in het meer komt. De invloed van de recreatie en de invloed van de landbouw zijn niet te schatten en dus buiten beschouwing gelaten. Voorts zien wij dat de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Elburg vrijwel geen fosfaat verwijdert, hetgeen logisch is, aangezien de functie van een rioleringsinstallatie mineralisatie, het afbreken van organische stof en afbreken van ziektekiemen is. Het minerale fosfaat en de minerale stikstof worden gespuid op het water en aangezien er licht voldoende aanwezig is, wordt in de plas weer evenveel stof opgebouwd als er oorspronkelijk is afgebroken.

Voor dit onderzoek werden van 28-6-1967 tot 27-12-1967 monsters genomen uit alle wateraan- en waterafvoeren



Afb. 6 - a. Fosfaatgehalte in tonnen in de 0—10 m laag van de Zürichersee; gemiddelde waarden voor verschillende jaargetijden. b. Fosfaatgehalte in tonnen in de 10—20 m laag van de Zürichersee; gemiddelde waarden voor verschillende jaargetijden. c. Fosfaatgehalte in tonnen in de 20—136 m laag van de Zürichersee; gemiddelde waarden voor verschillende jaargetijden.

naar het Randmeer. De monsters werden bewaard na conservering met sterk  $H_2SO_4$ . Toen ons door de Rijksdienst der Zuiderzeewerken de waterhoeveelheden van de aanvoeren ter beschikking waren gesteld konden wij mengmonsters maken, veelal door evenveel milliliters uit alle monsters van een plaats in een fles te brengen als er  $m^3$  op die plaats in het randmeer stroomden. Hierdoor werd het gemiddelde fosfaatgehalte van alle aanvoeren bepaald, hoewel slechts enkele tientallen bepalingen gedaan behoeften te worden. De water- en fosfaatbalans ziet er als volgt uit:

TABEL I - Water-<sup>1)</sup> en fosfaatbalans van Veluwerandmeer in de tweede helft 1967.

Aanvoerspunt	$m^3$ water $\times 10^3$	Tot-P gehalte $mg/m^3$	Kg P	Aanvoer tonnen P
<i>gemalen:</i>				
Kamperveen	4.300	144	600	
Oldenbroek	6.100	261	1.600	
Oosterwolde	5.600	122	700	
Lovink	25.000	53	1.300	
		som gemalen		4,2
<i>bekende beken:</i>				
Hierdense	5.900	339	1.800	
Byselse	3.300	140	460	
Puttener	5.300	219	1.150	
		som beken		3,4
<i>riolen:</i>				
Harderwijk	3.800	8.200	31.300	31,3
Elburg (voor)		5.322	5.800	
Elburg (na)	1.100	4.800	5.200	5,2
		Totaal	44.100	44,1

<sup>1)</sup> Waterbalans verschaft door Dienst der Zuiderzeewerken.

Behalve de bemonsterde beken stromen ook nog een aantal andere beken in het randmeer. Veronderstelt men hierin een gelijke hoeveelheid fosfaat als in de „bekende beken”, dan is de totale P toevoer  $44,1 + 3,4 = 47,5$  ton per half jaar, dus 95 ton per jaar. Daar de totale inhoud ongeveer  $45 \times 10^6 m^3$  is, is dit dus een toevoer van ongeveer  $2 g P \cdot m^{-3}$  of  $2 \text{ à } 3 g P \cdot m^{-2}$ .

Er komen dus in onze wateren veel fosfaten, tot enkele grammen fosfor per  $m^2$ , die in het water niet terug gevonden worden, wat al eens de opmerking ontlokt heeft, dat het derhalve veilig in de bodem opgeslagen is. Daarom hebben wij experimenten verricht, waarbij bodem-materiaal gebruikt wordt als enige fosfaatbron voor algenculturen en waarin geen fosfaat gegeven werd in oplosbare vorm. De snelheid van de celdeling was in dit geval even groot als met opgeloste fosfaten. Voor deze experimenten verwijs ik naar een aparte publicatie hierover (Golterman, Bakels, Jakobs, 1969). Door de bufferende invloed van de bodem duurt het langer voor de eutrofiërings-processen tot schadelijke situaties leiden. Daarentegen kan een eventuele verbetering dan ook niet bereikt worden door het stopzetten van de fosfaattoevoer; dit had in de Züricher See wel een positief effect, mede overigens door de grote doorstroming. Het is voor de Nederlandse situatie extra ongunstig, dat vele van onze plassen geen doorstroming hebben en zelfs vaak een negatieve waterbalans.

Fosfaattoevoer leidt in het algemeen niet alleen tot een toename van de hoeveelheid algen, maar ook tot duidelijke verandering van de populatie, hetgeen zich vrijwel steeds uit in een specifieke opbloei van blauwieren. Blauwieren hebben waarschijnlijk bij drinkwater-inge-

nieurs niet zo'n slechte naam als bij biologen, want zij zijn vrij gemakkelijk uit te zeven, maar het zijn evenzeer de algen waar van bekend is, dat zij in grote hoeveelheden extra-cellulair organische stoffen afgeven, mis-schien onder andere toxinen.

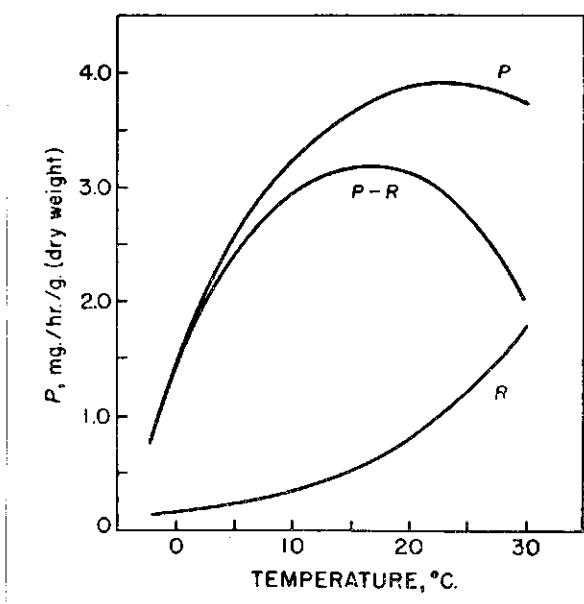
Tijdens de opbloei, zoals ik u die in Lake George heb beschreven, vonden wij evenveel koolstof in de algen als opgelost in het water. De verwijdering hiervan is bij de drinkwaterbereiding nog wel een groot probleem. De oorzaak van de specifieke opbloei van blauwalgen is een nog vrijwel onopgelost probleem.

### 3. Afvalwarmte lozing

Vervolgens wil ik uw aandacht vragen voor de dreigende verhoging van de temperatuur van het oppervlaktewater. Er is wel gesteld, dat het geoorloofd is, dat deze  $6^\circ C$  stijgt. Wanneer men dan vraagt, wat de wetenschappelijke argumentatie is, blijkt dat dit getal uit Engeland afkomstig is en dat het niet bekend was, waarom het nu juist  $6$  was. Het is niet onwaarschijnlijk dat de helft van een dozijn in Engeland nog steeds een fraai criterium is. Wij moeten er dus rekening mee houden, dat het oppervlaktewater aanzienlijk warmer zal worden en wij weten niet precies hoeveel, want in de praktijk blijken dergelijke prognoses altijd gemakkelijk overschreden te worden. Het Eriemeer is nu al  $2^\circ C$  warmer dan „normaal”. Door J. R. Clark (1969) en door C. C. Coutant (1969) zijn al grote overzichts-artikelen geschreven over het biologische effect van deze temperatuurverhoging op de in het water levende dieren. Weinig is bekend over de invloed op het phytoplankton. Warburg heeft er reeds in 1919 op gewezen, dat speciaal in zwak licht de temperatuurverhoging een sterke invloed heeft alleen op de ademhaling. Bij sterk licht gaan zowel de fotosynthese als de ademhalingsnelheid omhoog.

In afb. 7 wordt het effect van de temperatuur op de fotosynthese en ademhaling gedemonstreerd. De ademhalingsnelheid stijgt sterk met de temperatuur, de fotosynthesesnelheid eveneens. Door dat de laatste eerder een maximum bereikt, vermindert het nuttig rendement

Afb. 7 - Invloed van temperatuur op ademhaling en fotosynthese van *Ramalina farinacea* (zie Rabinowitch, 1956).



van de fotosynthese boven 15 °C. Het is niet bekend of dit voor alle algen geldt, ik wil alleen waarschuwen, dat dit bestudeerd moet worden, en dat er in de toekomst rekening mee moet worden gehouden.

Wanneer het licht afneemt, daalt de fotosynthese tot het punt waar de lichtintensiteit zo gering is, dat fotosynthese en ademhaling gelijk worden, het zogenaamde compensatiepunt. Uit afb. 8 blijkt, dat bij temperatuursverhoging het compensatiepunt naar grotere lichtintensiteit verschuift. Dat betekent dus, dat meer licht nodig is om het compensatiepunt te bereiken. De fotosynthetische laag wordt dus dunner. Als het compensatiepunt naar boven gaat, verschuift de balans tussen zuurstofconsumptie en zuurstofproductie weer naar de verkeerde kant. De verhoging van de temperatuur met de fosfaat eutrofiëring samen kan er — na korte of langere tijd — toe leiden, dat een catastrofe zoals in Lake George ook hier gaat voor komen.

#### 4. Bacteriologische aspecten

De toename van het aantal algen en van de concentratie van de opgeloste organische koolstofverbindingen in het water, kan van invloed zijn op de overleving van *E.coli* in het water, hetgeen door de temperatuursverhoging kan versterkt worden.

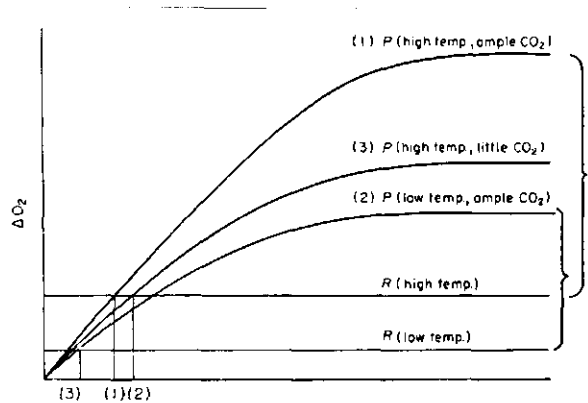
In het Veluwerandmeer wordt als voornaamste bron van de *E.coli* de rioering van Elburg en Harderwijk genoemd. Het is typerend voor het huidige Nederlandse beleid, dat de verwijdering van de bacteriën uit het effluent alleen kan geschieden door er maar weer iets aan toe te voegen, namelijk chloor.

Gezien de aard van het effluent en de korte verblijfstijd zal de chloordosering aanzienlijk moeten zijn en wij zullen moeten afwachten, wat het effect zal zijn. Door Van der Schaaf (pers. mededeling) is er al op gewezen, dat kortdurende chlorering de vaak door colloïden beschermde salmonella's, pathogene *E.coli* stammen, *Shigella*'s, enterovirussen en het polyomyelitis-virus niet zo gemakkelijk aantast.

Het wordt tijd ons te realiseren, dat wanneer er met alle geweld in rioolwater gezwommen moet worden, er niet langer volstaan kan worden met het bepalen van de — gemakkelijk bepaalde — indicator organismen, die zelf niet pathogeen zijn.

Een tweede bron zijn echter de recreanten zelf. Duidelijk zien wij dit in afgesloten wateren als de Zandenplas en het Slotmeer, waar de hoge *E.coli* aantallen alleen door de recreanten veroorzaakt kunnen zijn. Wie de aantallen recreanten langs het Veluwerandmeer vergelijkt met het aantal daar beschikbare toiletten kan uitrekenen, dat de recreanten veel in het water zullen achter laten. Scholte Ubijng (1966) geeft hiervoor aan  $1.8 \times 10^9$  bacteriën per bader, hetgeen een voorzichtige schatting lijkt. Het aantal recreanten is geschat op  $1.2 \times 10^6$  op de stranden langs de nieuwe oever\*) en op 300.000 à 400.000 langs de oude oever. Aannemende dat gemiddeld iedere aanwezige recreant éénmaal het water heeft benut voor het doel waarvoor het toilet is gebouwd, levert dat  $1.4 \times 10^6 \times 1.8 \times 10^9$  bacteriën op, dus — aangezien het volume van het randmeer  $40 \times 10^9$  liter is —  $6 \times 10^4$  kiemen per liter. In dezelfde periode ( $\pm 100$  dagen) heeft Harderwijk  $100 \times 10.000 \text{ m}^3$  rioolwater geloosd, met  $500 \times 10^9$  kiemen per  $\text{m}^3$  (t.z.t. na zuivering  $5 \times 10^9$ ), hetgeen  $100 \times 10.000 \times 5 \times 10^9 = 1 \times 10^5$  kiemen per

\*) Schatting van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.



Afb. 8 - Invloed van temperatuurverhoging op de ligging van het compensatiepunt (Rabinowitch, 1951).

liter oplevert, d.w.z. maar iets meer dan de recreatie.

De factoren, die de overleving bepalen zijn (zie bijvoorbeeld Aubert et al, 1965) zijn de volgende:

1. adsorptie of sedimentatie;
2. destructie door zonlicht;
3. gebrek aan nutriënten;
4. toxinen van andere organismen;
5. consumptie door phagen, protozoa etc.;
6. temperatuur, zoutconcentratie, pH etc.

Door de algenopbloei wordt de factor zonlicht aanzienlijk gereduceerd en kan de nutriënt concentratie (extra cellulaire verbindingen van algen) toenemen.

Blauwwierenopbloei kan de gunstige werking van Protozoa tegengaan. Dit kan gebeuren door verdringing van het voedsel van de Protozoa of door invloed van de (nog hypothetische) toxinen.

Aubert (1965), Jongbloed (1928) en Louwe Kooijmans (1930) hebben duidelijk gedemonstreerd, dat *E.coli*, en andere bacteriën (o.a. *B.typhi*) in verontreinigd water kunnen groeien, of althans minder snel afsterven dan in zuiver water (zie Jongbloed - pag 24, 33, Louwe Kooijmans pag. 83, samengevat in Scholte Ubijng, 1966).

Het is overigens verontrustend, dat wij hiervoor op literatuur van 1928-1930 moeten terugvallen en dat over de directe invloed van zonlicht heel weinig, zonet niets bekend is. Jongbloed citeert uit het werk van Clemesha: „Vrij voorkomende faecale organismen worden in water door het zonlicht in den tijd van 3 à 4 dagen geheel verwijderd”, een mededeling berustend op waarnemingen in reservoirs in India. Ruys (1941) vond, dat *E.typhi* sneller uit water verdween in diffuus daglicht dan door protozoa-activiteit. *E.coli* bleek meer resistent dan *E.typhi*; maar ook in „bright” licht verdween ook *E.coli* sneller dan door toevoeging van Protozoa. Een recent artikel van Geldreich en Kennet (1969) geeft overlevings-tijden van verschillende bacteriestammen, die niet onge-lijk zijn aan die van de andere publicaties. Ook hier is echter geen onderzoek verricht naar de verschillende factoren afzonderlijk.

Aanwijzingen, dat de helderheid van het water een belangrijke factor is bij de overleving van deze bacteriën in het water vindt Keil (1966) in het bacterie-aantal in Ober- en Unter Warnow. Keil zelf suggereert een rechtstreekse invloed van de trophiegraad van het desbetreffende water.

Onderzoek naar de overlevingstijden in natuurlijke eco-systemen zijn derhalve broodnodig.

## 5. Bestrijding

Wat kunnen wij tegen de fosfaat eutrofiëring doen? In de eerste plaats geloof ik, dat het van belang is, dat er aandacht gegeven wordt aan het verschijnsel van de omgekeerde osmose. U weet, dat het op het ogenblik al mogelijk is, op semi-technische schaal, drinkwater uit zeewater te bereiden, door zeewater onder grote druk — tegen de osmotische druk in — door membranen te persen. Het proces is energetisch, en dus economisch, gunstig.

Rioolwater zou, na deze zuivering gepasseerd te hebben, terug kunnen vloeien naar de natuur. Het was bijzonder verheugend, enige tijd geleden een advertentie van de Provinciale Waterleiding van Noord-Holland te zien, waarin iemand gezocht werd, wiens taak het zal zijn de omgekeerde osmose te bestuderen. Het is van groot belang, dat daar nu al aan gewerkt wordt.

Een tweede methode van fosfaat-verwijdering is aangegeven door Thomas (1967). Het is mogelijk door ijzerzouten aan water toe te voegen, fosfaten neer te slaan en op die manier aan het water te onttrekken. Wuhrmann heeft een systeem bedacht, waarbij achter de twee trappen van de rioolwaterzuivering nog een derde wordt aangebracht, voor de bezinking van het ijzerfosfaat. Dat is kostbaar. Thomas nu heeft er op gewezen, dat het mogelijk is in de bestaande rioolwaterzuivering het fosfaat te verwijderen door de ijzerzouten toe te voegen al voor de mechanische zuivering. In dit geval wordt het fosfaat neergeslagen als ijzerfosfaat en wordt het met het actieve slib afgevoerd. Het is uiteraard veel gemakkelijker het fosfaat te verwijderen bij de hogere concentraties in het rioolwater dan in drinkwater waar de fosfaatconcentratie 10 tot 20 maal zo laag is.

Een tweede mogelijkheid is — speciaal bij de drinkwaterbereiding — bij het bouwen van spaarbekkens meer gebruik te maken van de diepte. Het is nuttig te onderzoeken of de eutrofiëring tegen gegaan kan worden door diepere spaarbekkens voor drinkwater te maken, ook al is de hoeveelheid water die benut kan worden niet groter. Een belangrijk punt is verder, dat gelukkig in de landbouw — de fosfaatbron die wij niet kunnen meten — door de tegenwoordige wetenschappelijke begeleiding, het fosfaat spaarzamer wordt toegepast. Verder is het uiteraard noodzakelijk de polyfosfaten uit de wasmiddelen te weren. Het is niet nodig als waterontharder polyfosfaten te gebruiken. Er zijn op het ogenblik wel degelijk gelijkwaardige mogelijkheden, hoewel het misschien technisch nog niet mogelijk is hier grote hoeveelheden van te bereiden. Een mogelijkheid tot verbetering van het water — waar ik al eerder op gewezen heb — is de separatie van het WC-water en het gewone keuken- en badwater. Het is niet nodig bij iedere WC-spoeling 10 à 15 liter water te gebruiken. Door Liljendahl is in Zweden een systeem ontwikkeld waarbij geen gebruik gemaakt wordt van water als transportmiddel, maar van een vacuümleiding. Speciaal bij de bouw van grote flats in nieuwe wijken van steden is dit een oplossing die technisch mogelijk is en die financieel-economisch aantrekkelijk is. In deze WC's, waar per spoeling ongeveer 50 cc water gebruikt wordt, worden faeces verzameld in grote tanks in de kelder. Zij kunnen gemakkelijk gedroogd worden en hebben zelfs gretig aftrek gevonden in de landbouw. De rioolwaterzuivering, die dan alleen nog het overblijvende keuken- en badwater betreft, zal uiteraard een veel simpeler probleem zijn dan op het ogenblik. Aangezien het keuken- en badwater een groot volume is ten

opzichte van het WC-water, kan hierdoor veel worden vereenvoudigd. Ik weet, dat in kringen van ingewijden deze opmerking van mij niet au sérieux genomen wordt. Het systeem wordt echter door Electrolux op de markt gebracht (zie H<sub>2</sub>O, januari 1970, pag. 18).

Ik geloof, dat de milieubeschermers zich niet meer tevreden mogen stellen met het toepassen van bekende technieken, maar de taak hebben de technici onder het oog te brengen, naar welke nieuwe technische ontwikkelingen deze laatste moeten streven. Het is nodig om — wanneer wij praten over de invloed van de mens op zijn milieu — ons te realiseren, dat het hier nimmer processen betreft die wij niet zelf in de hand hebben. Technisch is immers wat nodig is, meestal ook mogelijk.

## Literatuur

- Aubert, M., Lebout, H. and Aubert, J., 1965. *Effect of marine plankton in destruction of enteric bacteria*. In: Adv. in Water Poll. Res., vol. 3; ed. by E. A. Pearson. Proceedings of a Conference held in Tokyo, 1964. Pages 303-314.
- Clark, J. R., 1969. *Scient. American*, 220; 19.
- Countant, C. C., 1969. *Journ. Water Poll. Contr.*, 41 (6).
- Gächter, R., 1968. *Phosphorhaushalt und planktische Primärproduktion im Vierwaldstättersee (Horwer Bucht)*. *Schweiz. Zeitschr. Hydrol.*, 30 (1); 1-66.
- Geldreich, E. E. and Kennet, B. A., 1969. *Concepts of faecal streptococci in stream pollution*. *Journ. Water Poll. Control Fed.*, 41; R 336.
- Golterman, H. L., 1965. *Hydrobiologische problemen van de Vechtplaspen*. *Akademiedagen*, deel 17; gehouden te Utrecht april 1965; 23-36.
- Golterman, H. L., Bakels, C. C. and Jakobs-Möglin, J., 1969. *Availability of mud phosphates for the growth of algae*. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 17; 467-479.
- Jongbloed, J. M., 1928. *Het afsterven van bacterium coli in steriel water; bijdrage tot de kennis der zelfreiniging van water*. *Dissertatie te Amsterdam*, 1928.
- Keil, R., 1966. *Zum Thema Bakterienbefunde in Hafengewässern*. *Gesundheitswesen u. Desinfektion*, 58 (4); 49-53.
- Louwe Kooijmans, L. H., 1930. *Onderzoekingen over de Streptokokken uit verontreinigd water*. *Dissertatie te Amsterdam*, 1930.
- Rabinowitch, E. I., 1945-1956. *Photosynthesis and related processes*. 2 vols. New York, London, 1945-1956.
- Rodhe, W., 1965. *Standard correlations between pelagic photosynthesis and light*. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 18 Suppl.; 365-381.
- Ruys, A. Ch., 1940/1941. *On the behaviour of E. typhi in surface water*. *Ant. Leeuwenhoek*, 7; 93-103.
- Schoite Ubung, D. W. en Kats, W., 1966. *Vervuiling en kwaliteitsbeheer van het water in ondiepe recreatieplassen*. *Water*, 50 (6); 78.
- Talling, J. F., 1957. *The phytoplankton population as a compound photosynthetic system*. *New Phytologist*, 56; 133-149.
- Thomas, E. A., 1955. *Phosphatgehalt der Gewässer und Gewässerschutz*. *Bull. Schweiz. Vereins Gas- und Wasserfachmännern*, Nr. 9 + 10.
- Thomas, E. A., 1960. *Rotalgenrasen und Blaualgenteppe im Zürichsee*. *Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, 105; 297-305.
- Thomas, E. A., 1961. *Die Verschmutzung des Zürichsees und die Strömungs- und Durchflussverhältnisse bei Rapperwil*. *Bull. Schweiz. Verein Gas- und Wasserfachmännern*, Nr. 3 + 4; 3-16.
- Thomas, E. A., 1962. *Die Eutrophierung von Seen und Flüssen, deren Ursprung und Abwehr*. *Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, 107 (3); 127-140.
- Thomas, E. A., 1963. *Die Veralgung von Seen und Flüssen, deren Ursache und Abwehr*. *Bull. Schweiz. Verein. Gas- und Wasserfachmännern*, Nr. 6 + 7; 3-12.
- Thomas, E. A., 1964. *Massenentwicklung von Lamprocystis roseo-persicina als tertiäre Verschmutzung am Ufer des Zürichsees*. *Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, 109 (3); 267-276.
- Thomas, E. A., 1965. *Der Verlauf der Eutrophierung des Zürichsees*. *Mitt. Oesterr. Sanitätsverwaltung*, 66 (5); 3-11.
- Thomas, E. A., 1965. *Phosphat-Elimination in der Belebtschlamm-anlage von Männedorf und Phosphat-Fixation in See- und Klärschlamm*. *Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich*, 110; 419-434.
- Thomas, E. A., 1967. *Die Phosphat-Hypertrophie der Gewässer*. *Chemisch weekblad*, 63 (26 + 27); 305-319.
- Thomas, E. A., 1968. *Die Phosphatutrophierung des Zürichsees und anderer Schweizer Seen*. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 14; 231-242.