

De eutrofiëring en het voorkomen van *Oscillatoria agardhii* gom. in de randmeren van Flevoland

1. Inleiding

In dit artikel wordt een deel van de resultaten vermeld van een onderzoek waarmee de auteur in 1969 begonnen is. Het is de bedoeling van dit onderzoek om inzicht te verkrijgen in de eutrofiëring van de wateren rondom Flevoland. Wat is eutrofiëring, hoe komt eutrofiëring tot uiting, welke factoren zijn maatgevend voor de eutrofiëring en welke maatregelen zijn van belang om de eutrofiëring tegen te gaan? Om deze vragen te beantwoorden is onderzoek nodig naar de stoffen die eutrofiërend werken en



IR. C. BERGER
Rijksdienst voor de
IJsselmeerpolders

naar de biologische veranderingen binnen het aquatische oecosysteem ten gevolge van een zwaardere belasting van het water met deze stoffen.

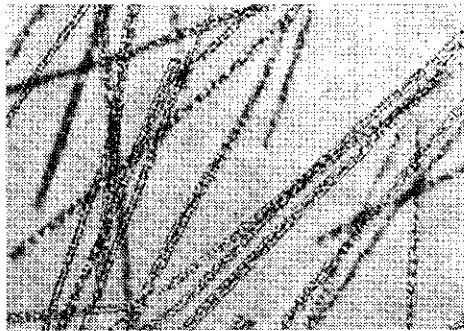
De eutrofiëring komt in de eerste plaats tot uiting binnen de gemeenschappen van de producenten waartoe het phytoplankton en de hogere waterplanten behoren. In dit artikel komen alleen de verschuivingen in de samenstelling en de biomassa van het phytoplankton ter sprake. De ontwikkelingen die door de eutrofiëring teweeg zijn gebracht binnen de gemeenschap van de hogere waterplanten worden buiten beschouwing gelaten.

Wordt een water belast met plantenvoedende stoffen, voorkomend in diverse soorten afvalwater, dan neemt de ontwikkeling van het phytoplankton toe en treden er verschuivingen in de samenstelling op. Toeneming van de fosfaatbelasting wordt meestal als de belangrijkste stimulerende factor gezien in deze ongunstige verschuivingen.

Nu wordt de groei van het phytoplankton niet alleen bepaald door de beschikbaarheid van plantenvoedende stoffen, maar ook door de lichtintensiteit. Het lichtintensiteitsverloop wordt voornamelijk door de dichtheid van de algen en door zwevende zanden slibdeeltjes bepaald. De waterbeweging heeft dus ook invloed op de produktiviteit van de algen.

De waterbeweging, de slibbelasting, de belasting met plantenvoedende stoffen zijn in de randmeren zodanig (gewest) dat *Oscillatoria agardhii* Gom. de dominante algensoort is.

Eerst komen de waterbalans en de vervuiliingsbronnen van de randmeren ter sprake. Vervolgens worden de meetmethoden in het veld, de wijze van bemonsteren en de



Oscillatoria agardhii Gom.

analysemethoden in het laboratorium besproken. Dan worden de belangrijkste uit de literatuur bekende gegevens over *O. agardhii* genoemd. De chemische samenstelling, de dichtheid en de samenstellingen van het phytoplankton in de randmeren worden in de volgende paragraaf toegelicht, waarna de primaire produktie wordt behandeld. De betekenis van hogere waterplanten in het eutrofiëringsproces van ondiepe meren wordt benadrukt. Tenslotte wordt in een nabeschuiving het onderzoekresultaat zo duidelijk mogelijk geïnterpreteerd met het oog op de maatregelen die getroffen moeten worden om de waterkwaliteit in de randmeren te verbeteren.

De apparatuur waarmee de primaire produktie gemeten is.



TABEL 1 - Oppervlakte (ha), diepte (m) en verontreiniging (1 i.e. is een BOD_5 van 54 g O_2) randmeren.

Meer	Oppervlakte	Diepte	Verontreiniging
Drontermeer	600	1,20	60.000 i.e. gezuiverd sinds 1966
Veluwemeer	3.400	1,40	140.000 i.e. gezuiverd sinds 1971 + bio-industrieel afvalwater
Wolderwijd	2.600	1,50	bio-industrieel afvalwater
Eemmeer	1.900	1,90	550.000 i.e. (1970) + bio-industrieel afvalwater
Gooimeer	2.400	2,10	

2. De waterbalans en de vervuiling

Na het sluiten van de dijk in Oostelijk Flevoland in 1957 ontstonden het Drontermeer en het Veluwemeer. Beide meren staan via een 700 m lang kanaal bij Elburg in open verbinding met elkaar en vormen waterhuishoudkundig een eenheid. Sedert dijksluiting van Zuidelijk Flevoland in 1958 bestaat het Wolderwijd. Het Eemmeer en het Gooimeer staan via het IJmeer in open verbinding met het IJsselmeer.

Door de randmeren loopt een vaargeul van 4 à 5 meter diepte en 74 à 100 meter breedte. De gemiddelde diepte van de randmeren t.o.v. NAP is vermeld in tabel I. Van 1962 t/m 1968 is op het Drontermeer en het Veluwemeer jaarlijks gemiddeld 6 cm water aangevoerd, komend van de volgende bronnen: 12 % regenval, 12 % gemalen oude land (Drontermeer), 24 % beekjes oude land (Veluwemeer), 15 % grasmaai Lovink (Flevoland) in droge zomertijd en 37 % inzijging vanaf de Veluwe.

De afvoer kwam voor 53 % door de sluizen tot stand, voor 10 % door verdamping en voor 37 % door wegzijging naar Flevoland (Dienst der Zuiderzeewerken). De verblijftijd in het Drontermeer en het Veluwemeer is dus ongeveer twee maanden. De waterbalans van de andere randmeren is niet bekend. De verblijftijd in het Gooimeer en het Eemmeer wordt eveneens op twee maanden geschat. De verblijftijd in het Wolderwijd is mogelijk langer.

Het Veluwemeer wordt niet alleen vervuurd door het effluent van de zuiveringsinstallatie van Harderwijk, maar ook door een aanleg van beken die erin uitmonden. Tussen Elburg en de rivier de Eem, dus voornamelijk in het stroomgebied van het Veluwemeer en het Wolderwijd, worden jaarlijks meer dan 70.000 mestkalveren opgefokt (Dorfmeyer, 1971). Vooral het Wolderwijd ontvangt een onbekende hoeveelheid afvalwater van deze intensieve vorm van landbouw. De rivier de Eem ontving in 1970 400.000 i.e. ruw afvalwater. Van 1970 tot en met 1973 zijn zuiveringsinstallaties met een gezamenlijke capaciteit van 350.000 inwonerequivalenten gebouwd (Korenne, 1973). Het Eemmeer en het Gooimeer zijn in 1973 met 200.000 i.e. ongezuiverd huishoudelijk afvalwater belast. Het IJmeer o.a. belast met 500.000 i.e. ongezuiverd Amsterdams afvalwater (Werkgroep

EUROPE

ATLANTIC OCEAN

NORTH SEA

HOLLAND

AMSTERDAM

THE HAGUE

ROTTERDAM

GERMANY

BELGIUM

ENKUIZEN

IJSSELMEER

AMSTERDAM

Ymeer

75

Goel meer

69

Leem meer

68

67

66

55

54

53

52

51

50

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

39

38

37

36

35

34

33

32

31

30

29

28

27

26

25

24

23

22

21

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0 5 10 15 km

sample spot

extensive sample spot

pumping station

brook nr in table 5

monsters zijn direct gefixeerd met 10 ml formaline ($\pm 38\%$ waterige oplossing van formaldehyde). Opgeloste zuurstof, zuurgraad en temperatuur zijn ter plaatse gemeten. Chlorophyll-a is bepaald volgens Moed (1971). Het overige chemische onderzoek volgens Hofstee en Fien (1971). Het asrvij drooggewicht is bepaald volgens Pavoni (1969). Het vers gewicht is na het tellen in een haemocytometer en het meten van celvolumina berekend (Rhode e.a., 1958). Een uitvoeriger beschrijving van bovengenoemde werkwijze wordt gegeven door Berger en Bij de Vaate (1974).

De primaire produktie is gemeten met de zuurstofmethode in flessen van 250 ml.

Belangrijk onderzoek aan *Oscillatoria rubescens* is gedaan door Staub (1961) en Zimmermann (1969). Daaruit blijkt dat slechts weinig licht nodig is voor zijn groei en dat meer dan 2000 lux al belemmerend is. Deze hoeveelheid wordt zelfs op een donkere winterdag aan het wateroppervlak overschreden. Naarmate de temperatuur hoger is, is de optimale lichtintensiteit ook hoger (Zimmermann, 1969). Door deze eigenschap komen *O. rubescens* en *Oscillatoria agardhii* in diepe, met afvalwater verontreinigde buitenlandse meren meestal op diepten voor variërend van 5 tot 20 meter (Findenegg, 1965, 1971; Schäperklaus, 1941; Edmondson, 1972; Eberly,

1959, 1964; Skulberg, 1968; Ahlgren, 1970; Gibson e.a., 1971; Baker e.a., 1969). De dichtheid waarmee beide *Oscillatoria* species op grotere diepte voorkomen, is vaak veel kleiner dan die van *Oscillatoria agardhii* in de randmeren. Alleen waar *O. agardhii* in buitenlands water hoofdzakelijk binnen 2 à 3 meter diepte voorkomt (Baker e.a., 1969; Skulberg, 1968; Ahlgren, 1970) wordt een dichtheid, tot uitdrukking komend in secchischijfwaarden, en een vers of een droog gewicht bereikt die 50 - 100 % bedraagt van die van het phytoplankton in de randmeren. In stilstaand water in een gematigd klimaat is *O. agardhii* de algensoort die de grootste dichtheid en produktiviteit kan bereiken (Westlake, 1963).

Een hoge lichtintensiteit was voor een zeer dichte populatie van *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix*, die zich in bakken op 0,5 m diepte bevond op de duur sterk remmend. Bij voldoende voedsel wist de populatie zich echter goed te handhaven (Brook e.a., 1971). Het najaar is zowel voor *O. rubescens* als *Oscillatoria agardhii* de favoriete periode: Lough Neagh 1959 met *O. agardhii* (Gibson, e.a. 1971); *Oscillatoria rubescens* in vele Oostenrijkse alpenmeren (Findenegg, 1965) en in een aantal Zwitserse meren (Vollenweider, 1950; Zimmermann, 1969) en *Oscillatoria agardhii* in vele Friese meren (Bij de Vaate, in druk).

Informatie afkomstig van meren uit andere gebieden kan niet zondermeer gebruikt worden om verschijnselen in de randmeren te verklaren, maar de bovengenoemde feiten zijn zo algemeen dat ze goed herkenbaar terugkomen in de randmeren waar o.a. een grote belasting met organische stof en voldoende aanvoer van planten-voedende stoffen geleid hebben tot het voorkomen van *O. agardhii* in grote dichtheden. In ondiepe meren is deze grote dichtheid noodzakelijk om voldoende zelfbeschaduwing te krijgen. In diepe meren komt de alg in een zone met een kleine lichtintensiteit voor en kan dan tevens profiteren van de organische stoffen die in ondiepere zones door andere algensoorten worden geproduceerd en uitgescheiden.

4.3. Voedingsstoffen

Ook de gegevens betreffende de stikstof- en fosfaatbehoefte van *O. agardhii* en *Oscillatoria rubescens* zijn niet in strijd met de resultaten van ons onderzoek in de randmeren.

Een N : P verhouding van ± 7 wordt voor phytoplankton normaal geacht (Redfield e.a., 1963). Blauwalgen hebben meestal een hogere N : P verhouding (Water Quality Criteria, 1968). In tegenspraak hiermee is dat tijdens bloeien van blauwalgen elders in Nederlands oppervlaktewater de gehalten

aan deeltjesstikstof en deeltjesfosfaat even hoog zijn als tijdens bloeien van algen behorend tot andere afdelingen (Golterman, 1974). De N : P verhoudingen gevonden in een zone zeer rijk aan *O. rubescens* (Stadelmann, 1971) van 22 en in een populatie *Oscillatoria agardhii* (Ahlgren, 1972) van 13 wijzen erop dat de stikstofbehoefte van *O. agardhii* zelfs voor een blauwalg aan de hoge kant is. Het geslacht *Oscillatoria* behoort niet tot de algen die stikstof kunnen binden (Huber-Pestalozzi, 1938; Staub, 1961). Ook Vollenweider (1950) wijst op de grote stikstofbehoefte van *Oscillatoria rubescens*. Anorganische stikstofverbindingen zijn in water met veel *O. rubescens* vaak uitgeput. Totale uitputting van anorganische stikstof en fosfaat trad op in het voorjaar van 1969 in Lough Neagh tijdens een bloei van *Oscillatoria redekei* v. Goor, terwijl in september daarop bij een wat hoger gehalte aan opgeloste stikstof en fosfaat *Oscillatoria agardhii* voorkwam (Gibson e.a., 1971). De genoemde hoge N : P verhoudingen duiden op een relatief lage fosfaatbehoefte (zie ook tabel III). *Oscillatoria rubescens*, in vele Zwitserse meren bij fosfaatt niveaus van minder dan 10 $\mu\text{g P-PO}_4/\text{l}$ voorkomend, wordt gezien als een alg met een geringe fosfaatbehoefte (Zimmermann, 1969; Vollenweider, 1950).

Wordt de belasting met (huishoudelijk) afvalwater verminderd of geheel weggenomen, dan verdwijnt zowel *O. agardhii* als *Oscillatoria rubescens* (Edmondson, 1972; Ahlgren, 1972; Findenegg, 1973). Een terugkeer in het najaar is wel mogelijk.

4.4. Groei

Staub (1961), Zimmermann (1969), Vollenweider (1950), Thomas (1968), Ahlgren (1970) en Edmondson e.a. (1956) zien *Oscillatoria rubescens* en/of *Oscillatoria agardhii* als autotrofe algen. Saunders (1972) gelooft daarnaast ook in een heterotrofe levenswijze van *O. agardhii*, met name in donkere, dus laag produktieve, perioden. Stikstofhoudende organische stof speelt een rol in de ontwikkeling van *O. agardhii* (Cornelius und Bandt, 1933) en polypeptiden stimuleren de groei (Fogg and

Westlake, 1955); organische stof stimuleert de groei van *O. agardhii*, maar is niet persoons noodzakelijk (Fogg, 1969).

4.5. Visstand

Tenslotte blijkt zowel *O. agardhii* als *Oscillatoria rubescens* een funeste invloed op de visstand te hebben (Schäperklaus, 1941; Edmondson e.a., 1956; Blok, 1969).

4.6. Het voorkomen van *Oscillatoria div. sp.* in Nederland

Leentvaar (ongepubliceerd rapport, 1960) heeft het plankton van 52 Nederlandse meren in het voorjaar, de zomer en het najaar van 1960 onderzocht en de aantallen in drie categorieën verdeeld: aanwezig, veel en massaal. In 39 gevallen kwam een plankter massaal voor en 35 maal betrof het een blauwalg, waarvan 11 maal *Oscillatoria limnetica* Lemm., *Oscillatoria redekei* kwam in 33 en *Oscillatoria agardhii* in 24 van de 52 meren voor.

Blok (1960, ongepubliceerd rapport) constateert dat in de Langerse plassen *O. agardhii* in grote dichtheid voorkomt en dat de visstand sterk teruggelopen is. Uit bemonsteringen van 1972 constateert hij een sterke achteruitgang van de benthische fauna in de randmeren.

De produktie van aal is verminderd hoewel het Wolderwijd sinds 1971 een herstel te zien geeft (Oudelaar, mondelinge mededeling 1974). Ook is door Blok (1972) geconstateerd dat stroming in het zuidwestelijk deel van de Friese boezem het voorkomen van *O. agardhii* sterk heeft doen verminderen.

Vrij snel na de afsluiting van de Lauwerszee wordt *O. agardhii* de dominante alg in het Lauwersmeer (Berger en Bij de Vaate, 1974). In het noordwestelijke merengebied van Overijssel komt *Oscillatoria div. sp.* op veel plaatsen massaal voor (Prov. Waterst. Overijssel, 1973). Ook in veel Friese meren is met name in de herfst *Oscillatoria agardhii* de dominante algensoort (Bij de Vaate, 1974). Vanaf juli 1974 is *O. agardhii* dominant in het noordelijk deel van het IJsselmeer (RIJP-dossier).

TABEL II - Procentuele verdeling van blauwalgen (*Aphanizomenon flos aquae*, *Oscillatoria agardhii* *Oscillatoria limnetica* en *Oscillatoria redekei*) op 6 plaatsen op 0,2 m diepte — plaats 6 op 3 dieptes. a — 0,2 m, b — 2,0 m, c — 4,0 m — in het Drontmeer op 23 mei 1972.

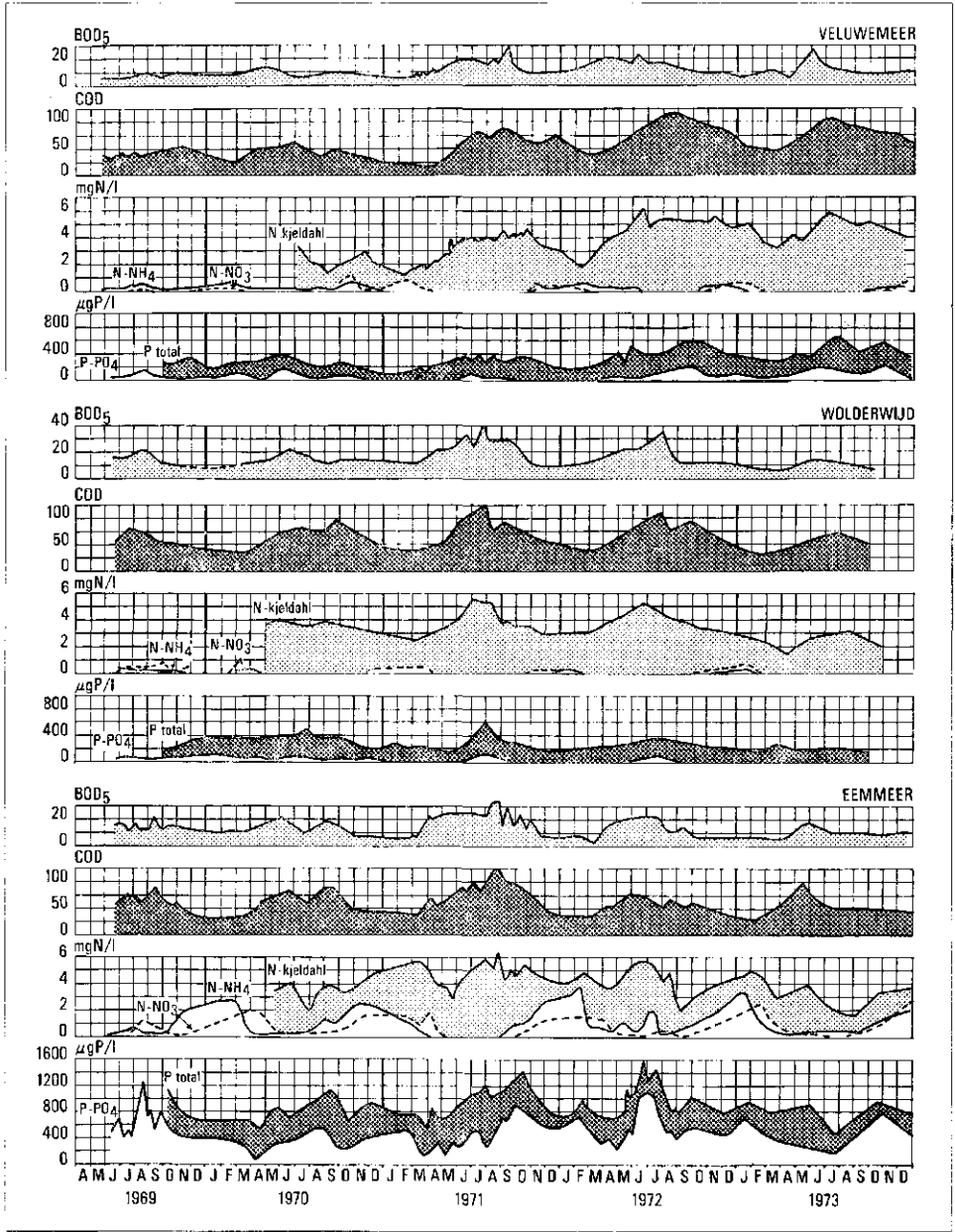
Plek	ochtend				middag			
	Aph. f.a.	Osc. ag.	Osc. lim.	Osc. red.	Aph. f.a.	Osc. ag.	Osc. lim.	Osc. red.
1	19	9	18	44	13	8	7	53
2	20	7	15	50	13	7	19	49
3	19	6	22	41	18	8	13	48
4	12	7	20	51	21	4	19	48
5	17	9	21	43	19	5	15	54
6a	27	11	15	44	27	9	14	46
6b	27	7	18	43	21	3	11	55
6c	16	5	20	50	21	4	17	50

5. De chemische samenstelling en het phytoplankton

De chemische samenstelling van het water wordt in belangrijke mate bepaald door het phytoplankton. De gehalten aan totaal fosfaat en aan totaal stikstof (d.i. N_{kjeldahl} waarin alle stikstofverbindingen behalve de nitraten besloten zijn) worden meestal sterk door de biomassa van het phytoplankton bepaald. Alleen in meren die zeer zwaar belast zijn met fosfaat en stikstof kunnen opgeloste fosfaten en opgeloste anorganische en organische stikstof het gehalte aan totaal stikstof aanzienlijk doen stijgen. Als een zeer zware fosfaatbelasting in een ondiep water wordt een belasting van 8 g P/m² jaar of groter gezien.

Parameters die een maat zijn voor het gehalte aan organische stof zoals de BOD₅ en de COD worden in zeer eutrofe wateren zoals de randmeren ook sterk beïnvloed door de biomassa van het phytoplankton. Gemeten naar de BOD₅-waarden van ongefilterd water wordt in de randmeren de BOD₅ in de zomer voor 70 % veroorzaakt door de ademhaling en afbraak van het phytoplankton, indien blauwalgen dominant zijn (RIJP dossier). Daarnaast kan het dode zwevende materiaal (slib en detritus) de concentraties aan totaalfosfaat, totaalstikstof, BOD₅ en COD ook beïnvloeden. Gebleken is dat elk randmeer, uitgezonderd het Gooimeer, zowel qua chemische samenstelling als qua soortensamenstelling van het phytoplankton vrijwel homogeen is (RIJP dossier). De soortensamenstelling van het phytoplankton is één van de scherpste beoordelingscriteria voor een water en speciaal gedurende een verschuiving in de samenstelling van de soorten zijn algendeterminaties veelzeggend voor de verschillen die in een bepaald meer kunnen optreden. In tabel II zijn de vier belangrijkste algensoorten genoemd die in het Drontermeer aanwezig waren op een moment dat de oortensamenstelling sterk aan verandering onderhevig was. Een maand later bestond het phytoplankton voor 90 % uit *Oscillatoria agardhii*. Uit tabel II blijkt hoe sterk homogeen het Drontermeer is. Het Veluwe-meer, het Wolderwijd en het Eemmeer zijn ook vrij homogeen. Het Gooimeer vertoont vaak een gradiënt in de chemische hoedanigheid.

Het ontbreken van een gradiënt in het Veluwe-meer en het Drontermeer — twee neren met een duidelijke puntbelasting in het uiterste zuidwestelijk deel (effluënten van resp. Harderwijk en Elburg) — is veelbetekenend. Het zegt namelijk iets over de snelheid waarmee de menging door stromen, golven en turbulentie tot stand komt. In kleine meren als de randmeren speelt de wind in deze menging een belangrijke rol. Het ontbreken van een gradiënt in het



Afb. 2 - Gegevens betreffende de chemische hoedanigheid in het Veluwe-meer (47), het Wolderwijd (54) en het Eemmeer (68).

Drontermeer en het Veluwe-meer kan ook duiden op oververzadiging met planten-voedende stoffen. In dat geval zal een lozing van het effluent van een zuiveringsinstallatie geen gradiënt in de planktonsamenstelling veroorzaken. Het plankton heeft tijd nodig om zich in te stellen op veranderingen van abiotische

TABEL III - Enige gegevens betreffende de (plotselinge) wijzigingen in de chemische en biologische hoedanigheid.

	Veluwe-meer (47)				Eemmeer (48)	
	1957 *	7/5/71	2/7/71	16/9/71	6/7/72	18/7/72
BOD ₅ (mg/l)	2,0	13,6	19,4	16,2	17,7	—
COD (mg/l)	15	54	75	81	77	53
N _{kjeldahl} (mg/l)	1,3	2,5	3,5	4,1	5,3	3,7
P _{totaal} (mg/l)	0,13	0,22	0,25	0,25	1,36	1,29
Chlor. a (µg/l)	—	152	290	330	257	200
Aantal plankters x 10 ³ per ml	—	37	15	48	14	0,2
% <i>O. agardhii</i>	0	2	93	89	95	9
% <i>O. spp.</i>	0	20	95	95	95	9

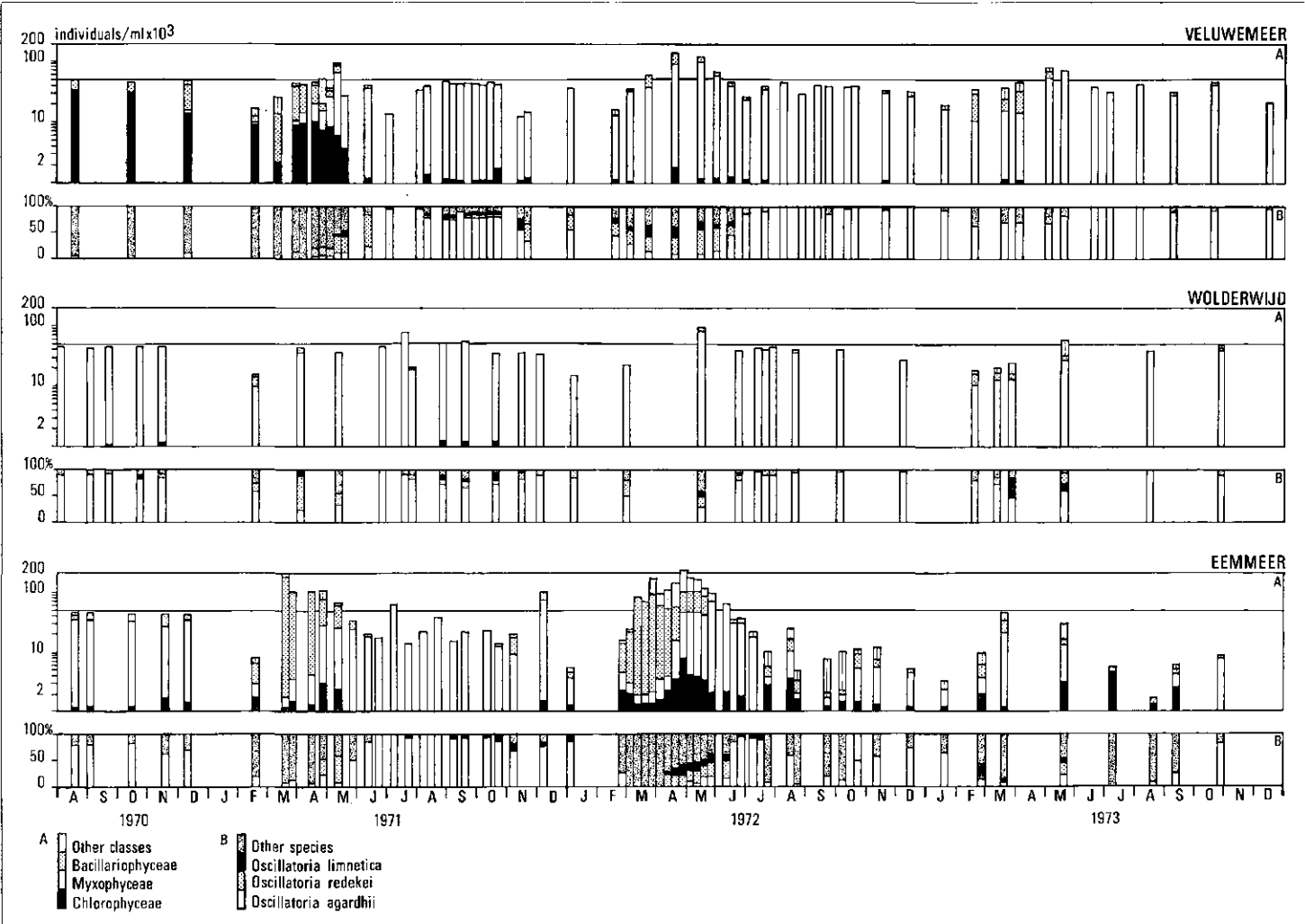
* geschatte waarden

factoren. De deelsnelheid van de verschillende planktonsoorten zal sterk regulerend zijn voor de snelheid waarmee de soortensamenstelling zich aanpast aan een chemische gradiënt. De snelheid waarin menging optreedt kan vergeleken met de deelsnelheid van de planktonindividueen zo groot zijn dat het plankton geen kans krijgt zich op de chemische gradiënt in te stellen. Bovendien zal er moeilijk een chemische gradiënt kunnen ontstaan, indien de menging snel plaatsvindt. Bij algendeterminaties in het Drontermeer, het Velumemeer en het Wolderwijd bleek in het voorjaar van 1974 wel een gradiënt te bestaan in het percentage waarmee de voornaamste planktonsoort in het phytoplankton voorkwam. In ieder geval is dan de mengsnelheid niet altijd zo groot dat gradiënten niet kunnen ontstaan. Het ontbreken van een gradiënt ten gevolge van oververzadiging van de randmeren met plantenvoedende stoffen wordt versterkt door het feit dat in alle randmeren dezelfde algensoort sterk dominant is en vaak in

dezelfde dichtheid voorkomt, terwijl de randmeren elk een andere belasting met nutriënten hebben. *Oscillatoria agardhii* is namelijk in juli 1971 in het Drontermeer en het Veluwemeer dominant geworden en vanaf het begin van onze determinaties in 1970 in het Wolderwijd, het Eemmeer en het Gooimeer dominant geweest. In de periode van juli 1972 tot mei 1974 zijn alleen in het Eemmeer en het Gooimeer andere algensoorten dominant geweest. De overgang van groenalgen naar *O. agardhii* in het Veluwemeer en de overgang van *O. agardhii* naar groenalgen in het Eemmeer en de gevolgen hiervan ten aanzien van enkele chemische parameters zijn weergegeven in tabel III. Omdat *O. agardhii* een alg is met een grote stikstofbehoefte, reageert het gehalte aan totaalstikstof scherp op veranderingen in de dichtheid van deze alg. Het fosfaatgehalte blijft tijdens de wijziging in de algensamenstelling in beide meren ongeveer gelijk. In het Veluwemeer komt dit, omdat de algen behorend tot het geslacht *Scenedesmus*

relatief vrij veel fosfaat nodig hebben. In het Eemmeer is het hoge P-PO₄ gehalte de oorzaak. Uit afb. 2 blijkt dat de concentratie van een aantal variabelen (BOD, COD, N_{kjeldahl}) een jaarlijkse gang vertoont die gekoppeld is aan de biomassa van het phytoplankton. Deze biomassa is in de zomer immers groter dan in de winter. Het totaalfosfaatgehalte toont dezelfde tendens, maar hier wordt dit meer veroorzaakt door het feit dat de concentratie aan P-PO₄ 's zomers hoger is dan 's winters. Dit is in tegenstelling met de meeste (buitenlandse) meren waar 's zomers het gehalte aan P-PO₄ minimaal is, omdat het door het phytoplankton opgenomen is. Vermoedelijk is in de randmeren het vrijkomen van P-PO₄ ten gevolge van mineralisatie van aangevoerde en opgehoopte organische stof in de zomer belangrijker dan de P-PO₄ opname door het phytoplankton. Opvallend is het zeer hoge gehalte aan P-PO₄ in het Eemmeer dat veroorzaakt is door een belasting van 20 tot 30 g P/m² . jaar.

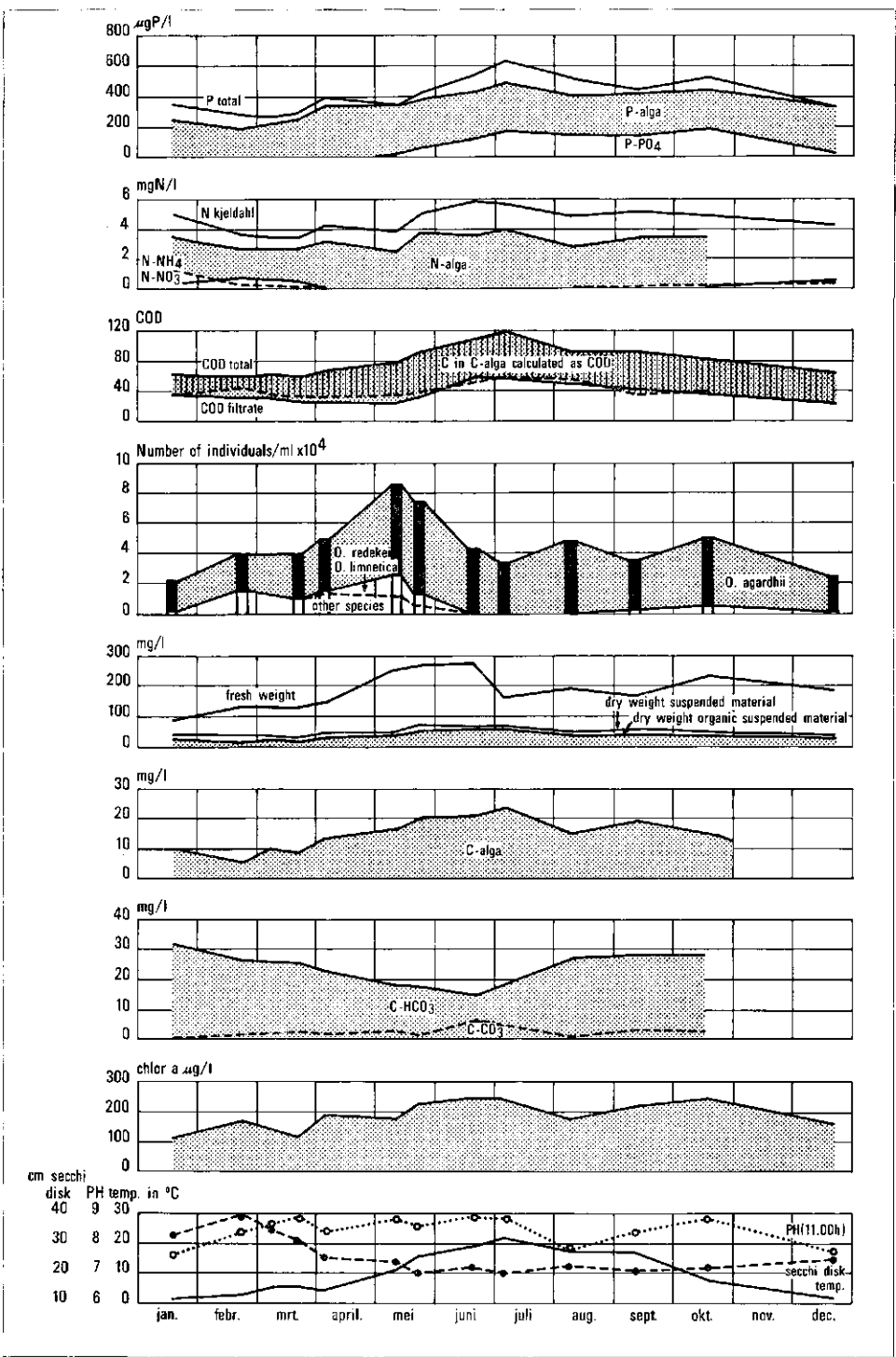
Afb. 3 - Het aantal individuen per ml x 10³ (log. verdeling), de verdeling in chlorophyceae, mixophyceae, bacillariophyceae en overige afdelingen (lineaire verdeling), en de procentuele verdeling in *Oscillatoria agardhii*, *Oscillatoria redekei*, *Oscillatoria limnetica* en overige soorten.



De anorganische stikstofverbindingen zijn in de zomer vaak uitgeput ten gevolge van opname door het phytoplankton. Dit wil dan nog niet zeggen dat stikstof beperkend is voor de groei van het phytoplankton. Hoewel *O. agardhii* niet tot de planktonsoorten behoort die luchtstikstof kunnen binden, moet overdracht van luchtstikstof via bacteriën niet uitgesloten worden. Het hogere N-NH₄ gehalte in de winter is mede veroorzaakt door de zeer langzame nitrificatie beneden een bepaalde temperatuur. In de zomer van 1971, toen *O. agardhii* dominant was in het Eemmeer, is de concentratie van de anorganische opgeloste stikstof toch nog tot nul genaderd bij een totaalstikstofgehalte van 6 mg/l. In het Veluwemeer is de overgang van groenalgen in de zomer van 1971 duidelijk te constateren. De zomers van 1972 en 1973 vertonen met name in de COD hogere maxima dan in de zomers voor 1971. Het Wolderwijd is in 1973 armer aan fosfaat en stikstof dan in voorgaande jaren. Ook de biomassa van het phytoplankton is in 1973 en 1974 in het Wolderwijd klein vergeleken met de hoeveelheid plankton in de andere randmeren. Hier wordt later op teruggekomen.

In afb. 3 worden o.a. aantallen individuen per ml vermeld. Met het tellen van de individuen is begonnen in 1971. In 1970 zijn deze aantallen vastgesteld op 50.000 individuen per ml. Het Veluwemeer toont evenals het Wolderwijd en het Eemmeer in het voorjaar een top in het aantal individuen. Het Drontermeer kan hier gelijk gesteld worden met het Veluwemeer, indien het gaat om de samenstelling en de biomassa van phytoplankton (RIJP-dossier). Vanaf juli tot ver in het najaar is in de randmeren waar *O. agardhii* dominant is een soort plafond aanwezig van gemiddeld 40.000 individuen per ml. Wordt het aantal individuen groter, dan gaat door minder licht (zelfbeschaduwing) de produktiviteit naar beneden. Daalt het aantal plankters beneden 40.000 per ml, dan zal door meer licht de produktiviteit stijgen en stijgt het aantal plankters, etc. Het Wolderwijd laat een zeer gelijkmatig beeld zien, zowel qua aantallen individuen als in de soortensamenstelling. De genoemde vermindering van de biomassa in 1973 in het Wolderwijd komt n. a. b. nog niet tot uiting. Uit de drooggewichten is gebleken dat het planktonichter is geworden, zodat per biomassaeenheid het aantal plankters per ml gestegen is.

Het Eemmeer vertoont zowel in de biomassa als in de algensamenstelling een grillig verloop. Dit moet toegekend worden aan wisselende afvoeren van de rivier de Eem en de eveneens wisselende aanvoer van water uit de schonere westelijke meren:



Afb. 4 - Gegevens betreffende enkele chemische parameters en de phytoplanktonsamenvatting van het Veluwemeer (47) in 1973.

het Gooimeer, het IJmeer en het IJsselmeer. De kiezelalgen (bacillariophyceae) komen vooral in het voorjaar voor. Het verdwijnen van de kiezelalgen is niet veroorzaakt door siliciumuitputting, omdat het gehele jaar 5 tot 10 mg SiO₂ per liter aanwezig is (RIJP-dossier). Het is niet duidelijk waarom het Eemmeer na juli 1972 tot aan mei 1974 een water met relatief weinig phytoplankton is. Ook is de samenstelling van het phytoplankton gunstiger dan

in het Veluwemeer en het Wolderwijd. In de overgangperiodes (april, mei) naar een volledige bezetting met *O. agardhii* zijn *Oscillatoria redekei* v. Goor en/of *Oscillatoria limnetica* Lemm. vaak de meest voorkomende algensoorten. Soms behoort *Aphanizomenon flos aqua* (L.) Ralfs hier ook toe (zie ook tabel II). Andere blauwalgensoorten, afgezien van korstondige bloeien van *Microcystis aeruginosa* Kütz, zijn minimaal aanwezig.

Onder P alga, N alga en C alga in afb. 4 moet verstaan worden het fosfaat, de stikstof en de koolstof die het materiaal bevat dat op het glasvezelfilter achter blijft. Dit materiaal bestaat niet alleen uit phytoplankton, maar ook uit zoöplankton, slib en detritus (dood organisch materiaal). De opgeloste fosfaatverbindingen buiten P-PO₄ vormen, vergeleken met de opgeloste stikstofverbindingen buiten de N-NH₄ en N-NO₃ als stikstofbron, een kleine fosfaatbron.

Het toenemen van de koolstof in de algen gaat gepaard met een afname van de carbonaatkoolstof in het water. De toestroming van atmosferische koolstof (koolzuur) is door de lage diffusiesnelheid klein. De toename van carbonaat koolstof vanaf juni moet voor een deel door mineralisatie van organische stof tot stand gekomen zijn. Het drooggewicht is een betrouwbaarder maat voor de biomassa dan het versgewicht (Bij de Vaate, in druk) en het chlorophylgehalte als biomassaparameter is onbetrouwbaar (RIJP-dossier). Het gemiddelde drooggewicht van het gesuspenderde organische materiaal in afb. 4 is 32,8 mg/l en van alle gesuspenderde delen 42,1 mg/l. De minimale verschillen tussen het totale drooggewicht (inclusief de asrest) en van het organische deel bedragen 9 en 12 % en dit doet vermoeden dat gemiddeld 15 à 20 % van alle gesuspenderde delen uit slib en detritus bestaat. De C : N : P verhouding van slib en detritus is niet bekend. De H : P verhouding van het residu op het glasvezelfilter is gemiddeld 11 : 1.

In tabel IV wordt een overzicht gegeven van enige jaarlijkse gemiddelde parameters in het Drontermeer, het Veluwemeer en het Wolderwijd vanaf 1970. Het Drontermeer en het Veluwemeer tonen veel overeenkomst. Het Wolderwijd laat in de jaren 1973 en 1974 een duidelijke verbetering zien. In het Wolderwijd zijn de groeiomstandigheden — met uitzondering vermoedelijk van de nutriëntenaanvoer in de laatste jaren — voor *Oscillatoria agardhii* altijd beter geweest dan in de overige randmeren. Het Wolderwijd is vanaf 1970 een water waarin *O. agardhii* sterk dominant is. Andere algensoorten — kiezelalgen in het voorjaar, groenalgen daaropvolgend — komen in het Wolderwijd zeer weinig voor.

TABEL V - Gemiddelden van voorjaar 1971 t/m zomer 1974. Ieder gemiddelde is tot stand gekomen uit 10 tot 18 waarnemingen. Het beeknummer is vermeld in afb. 1 (gegevens van het Zuiverings-schap Veluwe).

meer	beek	beeknummer	BOD ₅	N _{kjeldahl}	P _{totaal}
Drontermeer	Gelderse Gracht	①	4,3	2,2	0,31
	Eektermeer	②	2,1	1,2	0,28
	Puttener beek	③	2,4	1,8	—
Veluwemeer	Anthuizerbeek	④	2,7	1,5	0,27
	Hierdense beek	⑤	2,8	1,9	0,30
Wolderwijd	Weisteegbeek	⑥	74,4	25,9	6,60
	Hortse beek	⑦	53,4	24,1	4,64
	Schuitenbeek	⑧	3,6	4,0	0,72

TABEL VI - Gegevens over het drooggewicht van het gesuspenderde organische materiaal en de asrest (zand, klei, diatomeënskeletten, etc.) in een aantal meren van jan. 1973 t/m aug. 1974 in mg/l.

meer		gem. dr. gew. gesusp. org.	gem. asrest	aantal monsters	stand. afwijking	stand. afwijking
Drontermeer	(36)	38,5	10,0	9	20,3	4,8
Veluwemeer	(47)	32,2	9,4	16	13,2	4,9
Wolderwijd	(54)	18,7	5,9	7	9,0	1,3
Eemmeer	(68)	13,9	17,9	10	11,5	14,9
IJmeer	(75)	10,8	35,7	10	8,9	21,6
Markerwaard	(11)	13,6	24,3	10	10,8	19,7
IJsselmeer	(12)	9,6	24,4	9	6,1	23,8

Het aantal individuen per ml is in het Wolderwijd zeer constant (afb. 3). Waarom is het Wolderwijd gunstiger voor de groei van *O. agardhii* dan de andere randmeren? Een van de meest opvallende verschillen tussen het Wolderwijd en de andere randmeren is dat het Wolderwijd niet belast wordt met het effluent van een zuiveringsinstallatie. Daarentegen is de belasting met bioindustriële afvalwater groter dan van enig randmeer. De Weisteegbeek en de Horstsebeek voeren zeer sterk verontreinigd water aan (tabel V). Een tweede oorzaak is vermoedelijk gelegen in het slibgehalte van het Wolderwijd. Dit slibgehalte is namelijk zeer laag en de fluctuaties zijn minimaal. Het is gebleken uit waarnemingen van januari 1973 tot augustus 1974 dat de *Oscillatoria*-wateren (Drontermeer, Veluwemeer en Wolderwijd) een kleinere asrest, en mede daardoor ook geringere fluctuaties van deze asrest, bevatten dan de niet *Oscillatoria*-wateren in deze periode (Eemmeer, IJmeer, Markermeer, IJsselmeer) (tabel VI). Een grote asrest zal voor een groot deel uit slib bestaan daar de fluctuaties van de asrest minimaal beïnvloed worden door fluctuaties in de hoeveelheid kiezelalgen. Slibfluctuaties hebben het gevolg dat de

lichtintensiteit varieert. Een variërende lichtintensiteit is voor algensoorten met een laag optimaal lichtintensiteitsniveau waarschijnlijk een grotere handicap om tot ontwikkeling te komen dan voor meer lichtminnende algensoorten, met name bij de overgang van weinig naar veel licht. In het Wolderwijd is de lichtintensiteit zo goed als onafhankelijk van het slibgehalte in de genoemde periode. De lichtintensiteit wordt gereguleerd door de dichtheid van de *Oscillatoria*-populatie en omgekeerd. De wat grotere fluctuaties in de hoeveelheid algen blijven dan ook achterwege en dan ontstaat het eerder genoemde plafond van 40.000 individuen per ml in de zomer en de herfst. In de niet *Oscillatoria*-wateren is het doorzicht gekoppeld aan de asrest (tabel VII). De correlatiecoëfficiënt van het doorzicht en het drooggewicht van het gesuspenderde organische materiaal is in het Wolderwijd onverwacht klein. Terugkerend naar tabel IV kan ook opgemerkt worden dat het Wolderwijd gunstig is voor de ontwikkeling van *Oscillatoria agardhii*, omdat deze algensoort zich nog steeds weet te handhaven bij een relatief laag voedselniveau. De oorzaak van de verbetering die het Wolderwijd in 1973 en

TABEL IV - Jaargemiddelden van het Drontermeer (36), het Veluwemeer (47) en het Wolderwijd (54) voor het doorzicht (in cm), N_{kjeldahl}, P_{totaal}, de COD (in mg/l) en chlorophyl a (in µg/l).

Drontermeer						Veluwemeer						Wolderwijd						
pH	doorzicht	N _{kj.}	P _{tot.}	COD	chl. a	pH	doorzicht	N _{kj.}	P _{tot.}	COD	chl. a	pH	doorzicht	N _{kj.}	P _{tot.}	COD	chl. a	
1970	—	33	3,1	0,34	60	—	39	2,4	0,27	47	—	—	32	3,6	0,26	75	—	
1971	8,9	39	3,2	0,41	60	228	8,9	36	3,2	0,24	59	194	8,9	29	4,0	0,27	80	220
1972	9,2	26	4,8	0,50	82	281	9,3	23	5,1	0,41	88	283	8,8	27	3,8	0,25	74	191
1973	8,5	27	4,2	0,46	81	208	8,5	26	4,5	0,41	80	187	8,3	39	2,3	0,19	48	92
1974	8,5	28	4,4	0,41	75	—	8,7	23	4,7	0,45	84	220	8,5	32	2,7	0,19	53	—

TABEL VII - Negatieve correlatiecoëfficiënten van doorzicht (1) — asrest (2), doorzicht — drooggewicht gesuspendeerd organisch materiaal (3) en doorzicht — drooggewicht gesuspendeerd materiaal (2 + 3 = 4) in een aantal meren van januari 1973 t/m augustus 1974.

meer	1-2	1-3	1-4	aantal monsters
Drontermeer (36)	0,1	0,7	0,7	7
Veluwemeer (47)	0,2	0,9	0,8	15
Wolderwijd (54)	0,03	0,6	0,6	5
Eemmeer (68)	0,7	0,7	0,8	10
IJmeer (75)	0,8	0,8	0,8	9
Markerwaard (11)	0,8	0,5	0,7	9
IJsselmeer (12)	0,8	0,2	0,8	7
Oscillatoriameren (36, 47, 54)	0,2	0,8	0,8	27
Niet Oscillatoriameren (68, 75, 11, 12)	0,7	0,5	0,7	35
Alle meren	0,2	0,7	0,6	62

TABEL VIII - Correlatiecoëfficiënten van de bruto produktie met een aantal parameters en van de specifieke bruto produktie (= bruto produktie per chlorofyl a gehalte) met deze parameters in het Veluwemeer in 1973.

	straling	temperatuur	P-PO ₄	P _{totaal}	Chlorofyl a
Bruto produktie	0,61	0,88	0,24	0,28	0,25
Specifieke bruto produktie	0,56	0,86	0,36	0,41	—

1974 te zien geeft is niet bekend. Waarschijnlijk is de belasting met bioindustriële afvalwater door de ontplooidde activiteiten op de Veluwe zo sterk verminderd dat de gemeten verbetering hier het gevolg van is. Deze verbetering is echter niet te constateren in de concentraties van organisch materiaal in de Weisteegbeek en de Horstse beek (tabel V).

Het teruglopen van de in tabel IV genoemde parameters is gepaard gegaan met een sterke achteruitgang van de biomassa van het phytoplankton. Zo is het asvrije drooggewicht in het Wolderwijd verminderd tot 30 mg/l (8 monsters op 15 augustus 1974). In het Veluwemeer bedroeg het asvrije drooggewicht gemiddeld 63 mg/l (8 monsters op 25 juni 1974). Een opmerking van Sládeček (mondelinge mededeling, 1974), die voor de ontwikkeling van zijn saprobiesysteem het plankton van vele meren onderzocht heeft, plaatst de gegevens van tabel IV in een ander daglicht: 'Oscillatoria agardhii is een alg die zich na de verovering van een water, kan handhaven met een zeer lage produktie. Andere algensoorten komen niet aan bod ten gevolge van toxische afscheidingen. Een bewijs voor deze theorie bestaat echter niet'. De hier door Sládeček genoemde lage produktie stemt overeen met een onderzoek van Findenegg (1971), die in 30 alpenmeren van een dertiental algensoorten met een dominantie van 70 - 90 % de relatieve assimilatie (verhouding geassimileerde koolstof: koolstof in het vers gewicht) bepaald heeft. *Oscillatoria rubescens*, weliswaar de alg met het hoogste versgewicht, had de laagste relatieve assimilatie. Een continu dominant aanwezig zijn van één algensoort is zo onnatuurlijk dat handhaving door het uitscheiden van toxinen geloofwaardig is. Indien in de competitie

met andere algensoorten het uitscheiden van groeiremmende stoffen voor *O. agardhii* van belang is, dan wordt een constant lichtregiem van nog groter belang voor de alg. Een constant lichtregiem regelt niet alleen de dichtheid en daarmee de zelfbeschaduwning maar ook de hoeveelheid uitgescheiden stoffen die de groei van andere algensoorten moet tegengaan. Indien in een *Oscillatoria* water door het bezinken van slib de lichtintensiteit plotseling toeneemt, doen de volgende vragen zich voor: is de *Oscillatoria* populatie groot genoeg a. om voldoende zelfschaduwing te krijgen; b. om voldoende toxinen te produceren, teneinde die algen in hun groei af te remmen waarvoor het lichtregiem optimaler geworden is? Het is niet ondenkbaar dat het verdwijnen van *Oscillatoria agardhii* uit het Eemmeer in de periode van juli 1972 tot mei 1974 te danken is aan het winnen van zand in het Gooimeer. Deze zandwinning, die niet altijd even snel verloopt, veroorzaakt een wisselend slibgehalte, en dus een wisselend lichtregiem.

6. De produktiviteit in de randmeren

De produktiviteit van het phytoplankton is gemeten in het Drontermeer, het Veluwemeer, het Wolderwijd en het Eemmeer. Met name in het Veluwemeer (47) en het Eemmeer (68) is de produktiviteit vaak gemeten. In totaal zijn van 1971 tot en met 1973 ruim 300 produktiviteitsmetingen verricht. In de lichte flessen zal gedurende de incubatietijd in het algemeen het zuurstofgehalte toenemen. De produktie van zuurstof is in de lichte flessen dus groter dan de onttrekking van zuurstof door de ademhaling van het phytoplankton. De brutoproduktie wordt berekend uit het verschil in de zuurstofgehalten van de lichte en de

donkere flessen aan het einde van de incubatieperiode. De zuurstofdaling in de donkere flessen is een direkte maat voor de ademhaling. De nettoproduktie is gelijk aan de brutoproduktie verminderd met de ademhaling. De nettoproduktie wordt niet alleen beïnvloed door de produktie en de ademhaling van het phytoplankton maar ook door andere oorzaken. Een vrij belangrijke storende factor is de mineralisatie van organisch materiaal door bacteriën, die met zuurstofonttrekking gepaard gaat. Hoewel er door vele oorzaken verschillen ontstaan tussen de gemeten produktiviteit van algen in flessen en de werkelijke produktiviteit in het open water wordt de methode met de lichte en donkere flessen in eutroof water algemeen aanvaard. De wisselende ademhaling is er de oorzaak van dat meer dan één meting per dag nodig is om niet te grote fouten te maken bij het berekenen van de produktie per etmaal. In ongeveer 20 % van de 300 produktiviteitsmetingen is een negatieve ademhaling geregistreerd. Een negatieve ademhaling wil zeggen dat het zuurstofgehalte in de donkere flessen tijdens de incubatietijd gestegen is. In deze gevallen is de nettoproduktie gelijk gesteld aan de brutoproduktie, wat neerkomt op verwaarlozing van de ademhaling. De produktieve zone in de randmeren is ongeveer één meter dik. Een zwak doorlopen van de brutoproduktie tot wat grotere diepte is geen uitzondering. De produktie houdt niet op bij de 1 % lichtgrens, die vaak tussen 60 en 80 cm diepte voorkomt. Dit is in overeenstemming met de voorliefde van *Oscillatoria agardhii* voor een halfduistere omgeving. De P_{max} bevindt zich altijd op 10 cm diepte, indien *Oscillatoria agardhii* dominant is. De lichtintensiteit op 10 cm diepte varieerde in het Veluwemeer in 1972 van 20-50 % t.o.v. de lichtintensiteit aan de oppervlakte (I₀) en bedroeg op 20 cm diepte 5-22 % van I₀. Een brutoproduktie van 12 g zuurstof per m² per etmaal, gerekend over één meter water, wordt in de zomer gemakkelijk bereikt. De produkties per meer, die nog berekend moeten worden, worden sterk bepaald door de vaargeul, waarin de ademhaling overheerst. Uit een globale eerste benadering blijkt dat in 1971 en in 1972 in het Veluwemeer de jaarlijkse nettoproduktie 30 % van de brutoproduktie bedraagt. Bij deze berekening is het waterpeil gefixeerd op 0.0 m NAP. In zeer ondiepe meren wordt de nettoproduktie wel degelijk door het waterpeil beïnvloed, omdat op veel plaatsen in het meer de produktiecurve in het traject van positieve produktie de bodem bereikt. In tabel VIII is een aantal correlatiecoëfficiënten met betrekking tot de pro-

duktiviteit vermeld. Bij een toenemend aantal vrijheidsgraden mag de correlatiecoëfficiënt kleiner zijn om toch nog een positief verband tussen de twee variabelen aan te geven. Bij 18 paren cijfers geeft een correlatiecoëfficiënt van 0,400 95 % zekerheid dat er een positief verband tussen de betrokken variabelen aanwezig is. Een correlatiecoëfficiënt van 0,542 verhoogt de betrouwbaarheid in dit geval tot 99 % (Wijvekte, 1964).

De temperatuur lijkt sterker regulerend voor de productie van de straling. De straling kan echter beperkend zijn (Ringelberg, 1974). Gedurende een dag met veel zon is op 10 à 15 cm diepte dezelfde lichtintensiteit aanwezig als aan de oppervlakte op een sombere dag. De correlatiecoëfficiënt tussen de temperatuur en de straling bedraagt voor de waarden in tabel 8 0,53. Uitgaande van eenzelfde producerend vermogen, tot uiting komend in de specifieke brutoproduktie waarin het chlorofyl a gehalte op 100 µg/l gesteld is, verwacht men een stijging van de correlatiecoëfficiënten. Dit is alleen met het fosfaat het geval waarvan het totaalfosfaat nog juist binnen het 95 % betrouwbaarheidsgebied ligt dat correlatie veronderstelt met de verklarende variabele.

7. Hogere waterplanten

Naast het phytoplankton zijn er nog andere producenten die tezamen in ondiepe meren de productie van het phytoplankton vele malen kunnen overtreffen. Het epiphyton (algen die zich hechten aan waterplanten, de bodem etc.) kan jaarlijks per ha 1-6 ton droge stof produceren. Een productie van 6 ton is zowel voor het phytoplankton als voor de ondergedoken waterplanten te bereiken en de waterplanten in de oeverzone kunnen in een gematigd klimaat soms een productie van 45 ton droge stof per ha bereiken (Westlake, 1963). In 1961 vertoonde zowel het Drontermeer als het Veluwemeer een grote rijkdom aan waterplanten (Leentvaar, 1961). De ondergedoken waterplanten in het Drontermeer en het Veluwemeer zijn na aanvankelijke toename van diverse fonteinkruiden en aarvederkruiden in de loop van 1970 en 1971 bijna alle verdwenen (De Jong, 1970, RIJP-dossier). Als oorzaken van dit verschijnsel zouden aangevoerd kunnen worden gebrek aan licht- de uiterste lichtgrens waarbij waterplanten nog kunnen produceren ligt mogelijk bij 2 % licht (Segal, 1965) — stikstof- en/of fosfaatgebrek, een te hoge pH die aangeeft dat al het vrije koolzuur uit het water verdwenen is (sommige waterplanten kunnen de koolstof alleen als CO₂ bemachtigen (Österlind, 1949) of de veronderstelde, maar nooit bewezen, productie van remmende stoffen door *O. agardhii*.

Naar schatting wordt 1 gram P per m² per meer per jaar afgevoerd, indien jaarlijks 50 % van het riet langs het Drontermeer en het Veluwemeer gemaaid wordt en dit komt vrij veel voor (Berger, 1971). In aanmerking genomen dat de biomassa van de ondergrondse delen van de oevervegetatie vele malen groter is dan die van de bovengrondse delen (Westlake, 1965), rijst de vraag hoe het met de nutriëntenaanvoer naar de oeverzones gesteld is. Het is niet onmogelijk dat een groot deel van de geloosde fosfaten in de oeverzone opgeslagen is.

8. Nabeschuiving

In 1972 is zowel door de zuiveringsinstallatie te Elburg als die te Harderwijk per 100 dagen een hoeveelheid fosfaat geloosd die gelijk is aan de voorraad totaalfosfaat in het water van resp. het Drontermeer en het Veluwemeer (zuiveringsschap Veluwe, 1974). Eutrofiëring is dus een proces dat langzaam voorschrijdt. Weliswaar worden zeer veel plantenvoedende stoffen vastgelegd in de bodem en benut door hogere waterplanten, maar een belangrijke oorzaak van de geringe snelheid van de eutrofiëring — vergeleken met de grote hoeveelheid voedingsstoffen die geloosd wordt — is de zelfregulatie die binnen ieder ecosysteem aanwezig is (Odum, 1971). Bij een voortdurende zware belasting met plantenvoedende stoffen en organische stof is het milieu in het Drontermeer en het Veluwemeer na 14 jaar in een stadium gekomen dat de blauwalg *Oscillatoria agardhii* zich massaal kon handhaven. Daarvoor is o.a. door de steeds toenemende biomassa van groenalgen het organische stofgehalte van het water zover verhoogd en het doorzicht zo sterk verminderd dat ten aanzien van deze factoren aan de eisen van *O. agardhii* voldaan is.

Zou men de toevoer van fosfaat en organische stof plotseling stoppen dan zal door dezelfde zelfregulatie en door nalevering van stoffen die in de bodem opgeslagen zijn de eutrofiëring weer zeer langzaam afnemen. Veel uitspraken over de snelheid waarmee het Nederlandse oppervlaktewater opgeknapt wordt zijn gebaseerd op het verminderen van de belasting van dat oppervlaktewater met plantenvoedende en milieuvreemde stoffen en derhalve te optimistisch. Verbetering van het oppervlaktewater is namelijk niet hetzelfde als het verminderen van de belasting met plantenvoedende stoffen.

De fosfaatbehoefte van algen behorend tot het geslacht *Oscillatoria* is laag en dit blijkt uit een accumulatiefactor van 800.000, terwijl bij een aantal groenalengeslachten deze factor 300.000 is (Provasoli, 1958). Dit wil zeggen dat *Oscillatoria div. sp.* in staat is om bij zeer kleine concentraties

P-PO₄ in het water 800.000 maal deze concentratie te bereiken in het celmateriaal. Het verlagen van het fosfaatgehalte van het water zal in eerste instantie weinig invloed hebben op het al of niet voorkomen van *Oscillatoria agardhii*. Hiermee is niet gezegd dat defosfateren geen zin heeft. Evenals fosfaat wordt stikstof in het Drontermeer, het Veluwemeer en het Eemmeer niet als de beperkende groeifactor gezien. In het Wolderwijd ligt dit anders. Hoogstwaarschijnlijk is het verlagen van de stikstofaanvoer een doeltreffender middel om *O. agardhii* te bestrijden dan het verlagen van de fosfaataanvoer, omdat anorganische stikstof in de randmeren eerder uitgeput is dan P-PO₄. Niet bekend is echter in welke mate *O. agardhii* organische stikstofverbindingen kan opnemen, zoals weens verondersteld wordt (Cornelius und Bandt, 1933). Over het benutten van atmosferische stikstof door *O. agardhii* via bacteriën is eveneens weinig bekend. In anaëroob water kan *O. agardhii* wel de luchtstikstof benutten (Golterman, persoonlijke mededeling). Het effect van een stikstofverwijdering uit alle wateren die op de randmeren geloosd worden is dus niet te voorspellen.

Een water waarin *Oscillatoria rubescens* of *Oscillatoria agardhii* als dominante algen soort voorkomt zonder dat er sprake is van een belasting met organische stoffen, is mij uit de literatuur niet bekend. In talloze Amerikaanse wateren is geconstateerd dat de bloei van blauwalgen gekoppeld is aan het lozen van afvalwater met organische stoffen (Kuentzel, 1969; King, 1970).

De noodzaak van organische stof als leverancier van fosfaat en stikstof lijkt voor *O. agardhii* in veel meren niet waarschijnlijk. Veel oppervlaktewater in Nederland heeft een hogere belasting met fosfaat (Scholte Ubing, 1972) dan de randmeren tussen Kampen en Nijkerk en het IJsselmeer heeft bovendien een hogere stikstofbelasting (De Kloet, 1971) zonder dat *O. agardhii* dominant is. Het niet voorkomen van *Oscillatoria redekei* en *Oscillatoria agardhii* in 1972 in het Alkmaardermeer wordt door Leentvaar (1973) toegekend aan gebrek aan organische stof. Het fosfaatgehalte in het Alkmaardermeer is hoog. Het Wolderwijd — relatief laag belast met fosfaten en hoog belast met bioindustriële afvalwater — is zeer snel een *Oscillatoria*-meer geworden wat de mening versterkt dat een belasting met organische stoffen noodzakelijk is voor de ontwikkeling van *Oscillatoria agardhii*. De dominantie van *O. agardhii* in het IJsselmeer in 1974 treedt wel op in het noordelijk deel en niet in het zuidelijk deel waar organische stof als leverancier van fosfaat en stikstof,

evenals de concentraties aan opgeloste fosfaten en anorganische stikstof, waarschijnlijk van grotere betekenis is.

In welke mate de geloosde organische stoffen noodzakelijk zijn als koolstofbron voor *O. agardhii* in de randmeren is moeilijk te zeggen. De theorie dat organische stof nodig is als koolstofbron tijdens de bloei van blauwalgen heeft zowel voorstanders (Kuentzel, 1969; King, 1970) als tegenstanders (Goldmann e.a., 1974). Zomerse dagen met een produktie van 5 g C per m² per dag zijn in de randmeren geen uitzondering. Daar ongeveer 70 % van het gevormde celmateriaal verademd wordt, is dagelijks ongeveer 1,5 gram C per m² nodig. Dit tekort kan geleverd worden door bacteriële afbraak van aangevoerd organisch materiaal, door het koolzuur uit de atmosfeer en door de koolstofleverantie van de bodem. In ondiepe wateren kan de koolstofleverantie door de bodem van grote betekenis zijn voor de algengroei (Fogg, 1965).

Al met al is de hele koolstofhuishouding nog een duistere zaak en niet in het minst, omdat de koolstofbronnen in elkaar overgaan: geloosde dode organische stof in levend organisch celmateriaal en dit weer in dood organisch bodemmateriaal, etc. Er zijn echter enige publikaties (Goldman e.a., 1974, Schindler and Fee, 1974) die ervoor pleiten dat het koolzuur in de atmosfeer ook in een snel groeiende phytoplanktongemeenschap een snel aan te spreken koolstofbron is.

Het leveren van spore-elementen en/of vitaminen door organische stoffen kan van belang zijn voor *O. agardhii* (Saunders, 1972). Organische stof zou niet nodig zijn voor *O. agardhii*, omdat de alg autotroof zou zijn. In het laboratorium wordt de alg autotroof gekweekt (Mur, mondelinge mededeling). Whitton (1973) komt tot de conclusie dat de heterotrofe opname van organische stof door blauwalgen niet groter is dan bij andere algensoorten. *O. agardhii* heeft organische stof niet persé nodig voor zijn groei, maar wordt er wel door gestimuleerd (Fogg, 1969). In de competitie van de diverse algensoorten krijgt *O. agardhii* dan een voorsprong in met organische stof belaste wateren. Het handhaven van deze voorsprong door het uitscheiden van groeiremmende stoffen die andere algensoorten onderdrukken, is niet onwaarschijnlijk.

Het verminderen van de organische stofbelasting is hoogstwaarschijnlijk één van de beste middelen om *Oscillatoria agardhii* te vervangen door gunstiger algensoorten. Zodra deze gunstiger algensoorten echter een te grote produktie krijgen, worden de omstandigheden weer beter voor de groei van *O. agardhii*. Defosfateren als derde

reinigingstrap is dan ook noodzakelijk. Het verdient aanbeveling om een studie te maken van een vierde reinigingstrap. In deze vierde reinigingstrap moeten de gehalten aan organische stof en plantenvoedende stoffen nog eens gereduceerd worden. In ondiepe meren zoals het Drontermeer en het Veluwemeer zou een vierde reinigingstrap kunnen bestaan uit bezinkvelden, een halve meter diep, ingeplant met riet en met een oppervlakte die een verblijftijd van een aantal dagen waarborgt.

Dankbetuiging

Het phytoplanktononderzoek in het laboratorium is ontwikkeld en verricht door A. bij de Vaate. Hem en anderen die de chemische analyses en de bemonsteringen en metingen in het veld uitgevoerd hebben is de schrijver dank verschuldigd. Professor H. Postma wordt bedankt voor zijn kritische opmerkingen bij het door-nemen van het manuscript.

Literatuur

1. Ahlgren, G., 1970. *Limnological studies of lake Norrviken, a eutrophicated swedish lake*, Schw. Z. Hydrol. 32, 354-396.

2. Ahlgren, I. 1972. *Changes in lake Norrviken after sewage diversion*, Verh. Intern. Verein. Limnol. 18, 355-361.

3. Ardon, J. 1972. *Nieuwe lichtmeetapparatuur t.b.v. het kwaliteitsonderzoek van oppervlaktewater*, H₂O (5), 112-114.

4. Baker, A. L., Brook, A. J. and Klemer, A. R. 1969. *Some photosynthetic characteristics of a naturally occurring population of Oscillatoria agardhii Gom.*, Limn. Ocean. 14, 327-333.

5. Berger, C. 1971. *Enkele aspecten van de randmeren van Flevoland, De Waterkwaliteit, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders*, Flevovericht 79, 3-17.

6. Berger, C. en Vaate, A. bij de. *Chemische, bacteriologische en biologische kenmerken van het water in het Lauwersmeer van 1969 tot en met 1972*, H₂O, 8/74, 144-151.

7. Blok, E. 1960. Niet gepubliceerd rapport. Directie van Visserijen.

8. Blok, E. 1971, 1972. Niet gepubliceerde gegevens. Directie van Visserijen.

9. Brook, A. J., Baker, A. L. and Klemer, A. R. 1971. *The use of turbidity on studies of the population dynamics of phytoplankton populations with special reference to Oscillatoria agardhii var. isothrix*, Mitt. Internat. Verein. Limnol. 19, 244-252.

10. Cornelius, W. O. and Bandt, H. J. 1933. *Fischereischädigungen durch starke Vermehrung gewisser pflanziger Planktonen, ins besondere Geschmackbeeinflussung der Fische durch Oscillatoria*, Z.f. Fischerei und deren Hilfswiss. Band 31, 675-686.

11. Dienst der Zuiderzeewerken. Gegevens over de waterbalans van het Drontermeer en het Veluwemeer.

12. Dorfmeier, R. 1971. *Enkele facetten van milieuhygiëne in Gelderland*, Landb. Tijdschr. 83, 5, 178-187.

13. Eberly, W. R. 1969. *The metalimnetic oxygen maximum in Myers lake*, Invest. Indiana Lakes & Streams, Vol. V, 1, 1-46.

14. Eberly, W. R. 1964. *Primary production in the metalimnion of Mc. Lish lake (Northern Indiana), an extreme plustheterograde lake*, Verh. Intern. Limnol. XV, 394-401.

15. Edmondson, W. T. 1972. *The present condition of lake Washington*, Verh. Intern. Verein. Limnol. 18, 284-291.

16. Edmondson, W. T., Anderson, C. C. and Peterson. 1956. *Artificial eutrofication of lake Washington*, Limnol. Ocean. 1, 47-53.

17. Findenegg, I. 1965. *Relationship between standing crop and primary productivity*, Mem. Inst. Ital. Idrobiol. 18 Supp., 271-289.

18. Findenegg, I. 1971. *Unterscheidliche Formen der Eutrophierung von Ostalpenseen*, Schw. Z. Hydrol. Vol. 33, 85-95.

19. Findenegg, I. 1973. *Schriftelijke mededeling*.

20. Fogg, G. E. 1965. *Algae cultures and phytoplankton ecology*, Univ. of Wisc. Press., Madison and Milkauwee.

21. Fogg, G. E. 1969. *The physiology of an algae nuisance*, Proc. Roy. Soc. b. 1973, 175-189.

22. Fogg, G. E. and Westlake, D. F. 1955. *The importance of extracellular products of algae in fresh water*, Intern. Verein. Theor. Angew. Limnol., Vol. XII, 219-232.

23. Gibson, C. E., Wood, R. B. Dickson, Z. L. and Jawson, D. H. 1971. *The succession of phytoplankton in L. Neagh 1968-70*, Mitt. Intern. Verein. Limnol. 19, 146-160.

24. Goldman, J. C., Oswald, W. J. and Jenkins, D. 1974. *The kinetics of inorganic carbon limited algal growth*, JWPCF Vol. 46, 3, 554-574.

25. Golterman, H. L. 1974. *Nitrogen cycle and blue green algae*, part 1, H₂O, 7/74, 134-137; part 2, H₂O, 8/74, 152-155.

26. Golterman, H. L. 1974. *Persoonlijke mededeling*, Limnologisch Instituut. Nieuwersluis.

27. Hofstee, J. en Fien, H. J. 1971. I. *Analysemethoden voor grond, gewas, water en bodemvocht*, II. *Toelichting bij de analysemethoden voor grond, gewas, water en bodemvocht*, Kampen, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.

28. Huber-Pestalozzi, G. 1938. *Das Phytoplankton des Süßwassers*, In 'Die Binnengewässer' von prof. dr. August Thienemann, Band XVI, Teil 1, Stuttgart.

29. Jong, H. de. 1970. *De bestrijding van waterplanten in de randmeren van Oostelijk Flevoland*, Int. Rapp. 284, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Zwolle.

30. King, D. L. 1970. *The role of carbon in eutrophication*, JWPCF vol. 42, 12, 2035-2051.

31. Kloet, W. A. de. 1971. *Het eutrofiëringsproces in het IJsselmeergebied*, Meded. Hydrobiol. Ver., 5, 23-28.

32. Kooreneef, C. 1973. *Schriftelijke mededeling*, Prov. Waterst. Utrecht.

33. Kuentzel, L. E. 1969. *Bacteria, carbon dioxide and algae blooms*, Proc. 24th Ind. Waste Conf., 1928-1039.

34. Leentvaar, P. 1960. Niet gepubliceerd rapport. RIVON.

35. Leentvaar, P. 1961. *Hydrobiologische waarnemingen in het Veluwemeer*, De Levende Natuur, 64, 273-279.

36. Leentvaar, P. 1973. *Aquatische oecologie*, Postac. Cursus 'Veehouderij en Milieu', Wageningen.

37. Moed, J. R. 1971. *Effect of combined of light and silicon depletion on Asterionella formosa Hass.*, Proc. Int. Ass. Theor. Appl. Limnol. vol. 18, 3.

38. Mur, L. 1974. Persoonlijke mededeling. Universiteit Amsterdam.
39. Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of Ecology*, third edition.
40. Oesterlind, S. 1949. *Growth conditions of the alga Scenedesmus quadricauda*, Symb. Bot. Ups. X, 3, 1-141.
41. Oudelaar, H. N. 1973. Mondelinge mededeling. Directie van de Visserijen.
42. Pavoni, M. 1969. *Beziehung zwischen Biomasse und Stickstoffgehalt des Phytoplanktons und die daraus ableitbare Anwendung der Bestimmungsmethoden für die Praxis*, Schw. Z. Hydrol. 31, 110-127.
43. Provasoli, L. 1958. *Growth factors in unicellular marine algae*. Persp. Mar. Biol., Burzati Traverso, A. A., 385-403.
44. Provinciale Waterstaat Overijssel. Jaarverslag 1973.
45. Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, 1963. *The influence of organisms and the composition of sea water*, In 'The Sea' ed. M.N. Hill, vol. 2, 26-77.
46. Ringelberg, J. 1974. Persoonlijke mededeling. University Amsterdam.
47. Rohde, W., Vollenweider, R. A. and Nauwerck, A. 1958. *The primary production and standing crop of phytoplankton*. In: Buzzati-Traverso, A.A., Persp. in Mar. Biol.
48. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. 1966 - heden. Intern dossier.
49. Saunders, G. M. 1972. *Potential heterotrophy in a natural population of Oscillatoria agardhii var. Isothrix Skuja*, Limn. Ocean. V, 17 (5), 704-711.
50. Schäperklaus, W. 1941. *Seenverslechterung*, Reichsanst. für Fischerei, 38, 3, London, 345-375.
51. Schindler, D. W. and Fee, E. J. 1974. *Experimental lakes area: wholelake experiments in eutrophication*, J. Fish. Res. Board Can. Vol. 31, 5, 937-953.
52. Scholte Ubing, D. W. 1972. *Kwaliteit van oppervlaktewater in Nederland*, werkrapport A 68, IG, TNO.
53. Segal, S. 1965. *Een vegetatie-onderzoek van de hogere waterplanten in Nederland*, Wetensch. Meded. Kon. Ned. Natuurk. Ver.
54. Skulberg, O. M. 1968. *Studies on eutrophication of some Norwegian inland waters*, Mitt. Intern. Verein. Limnol. 14, 187-200.
55. Sládeček, V. 1974. Personal communication.
56. Stadelmann, P. 1971. *Stickstoffkreislauf und Primärproduktion im mesotrophen Vierwaldstätter See (Horwer Bucht) und im eutrophen Rotsee, mit besonderer Berücksichtigung des Nitrats als limitierendes Faktors*, Schw. Z. Hydrol. Vol. 33, 1-66.
57. Staub, R. 1961. *Ernährungsphysiologische-Autökologische Untersuchungen an der planktische Blaualge Oscillatoria rubescens DC*, Schw. Z. Hydrol. 23, 82-198.
58. Thomas, E. A. 1968. *Die Phosphattrophierung des Zürichsees und anderer Schweizer Seen*, Mitt. Intern. Verein. Limnol. 14, 231-242.
59. Vaatte, A. bij de. 1974. *Onderzoek naar het voorkomen van de blauwvier Oscillatoria agardhii Gom. in een aantal Groningse en Friese wateren*, Werkdokument 1974 - 145 Bbw, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
60. Vaate, A. bij de. Rapport in voorbereiding.
61. Vollenweider, R. A. 1950. *Oekologische Untersuchungen von planktischen Algen auf experimenteller Grundlage*, Schw. Z. Hydrol. vol. XII, 193-262.
62. Water Quality Criteria. 1968. Report on the national technical advisory Committee to the secretary of the Interior, Washington.
63. Werkgroep Coördinatie Kwaliteitsonderzoek Randmeren. 1972. Rapport inzake een studie van de kwaliteit van het water in de randmeren langs Flevoland, 's-Gravenhage 1972.
64. Westlake, D. F. 1963. *Comparisons of plant productivity*, Biol. Rev. (38), 385-425.
65. Westlake, D. G. 1965. *Some basic data for investigations of the productivity of aquatic macrophytes*, In: C. R. Goldman (ed.) 'Primary productivity in aquatic environments', Mem. Inst. Ital. Idrobiol. 18, Suppl. Univ. Calif. Pr., 232-248.
66. Whitton, B. A. 1973. *Freshwater plankton*, In 'The biology of blue green algae', ed. N. G. Carr and B. A. Whitton, Blackwell Scient. Publ., 353-367.
67. Wijvekate, M. L. 1964. Verklarende statistiek. Aula 39, zesde druk.
68. Zimmermann, U. 1969. *Oekologische und physiologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge Oscillatoria rubescens DC unter besonderer Berücksichtigung von Licht und Temperatur*, Schw. Z. Hydrol. 31, 1-58.
69. Zuiveringsschap Veluwe, 1974. Schriftelijke mededelingen.

