

De plas Vechten: veranderingen in waterkwaliteit van een geïsoleerd en gestratificeerd systeem, 1963-1991.

Inleiding

Sinds het begin van de jaren zestig onderzoeken medewerkers van het Centrum voor Limnologie te Nieuwersluis, voorheen het Limnologisch Instituut, routinematig de fysisch-chemische eigenschappen en het fytoplankton van de relatief diepe plas Vechten. De plas ligt in het agrarisch gebied ten noorden van de A12 in de gemeente Bunnik, op enige kilometers oostelijk van het knooppunt Lunetten, en wordt gekenmerkt door een stabiele thermische gelaagdheid (stratificatie) gedurende de zomer, waarbij de diepste laag, het hypolimnion, zuurstofloos wordt [Steenbergen & Verdouw, 1982].



C. L. M. STEENBERGEN
Nederlands Instituut voor
Oecologisch Onderzoek
Centrum voor Limnologie
Nieuwersluis



H. J. KORTHALS
Nederlands Instituut voor
Oecologisch Onderzoek
Centrum voor Limnologie
Nieuwersluis



F. G. WORTELBOER
Rijksinstituut voor
Volksgezondheid en
Milieuhygiëne
Bilthoven

Al eerder verzamelde Leusink [1956] een aantal gegevens over deze plas. De meest complete serie waarnemingen stamt echter uit de periode 1963-1980. Een aantal fysisch-chemische gegevens uit de beginperiode zijn samengevat door Golterman [1971, 1975] en Parma [1971]; het fytoplankton is beschreven door Salomé [1967] en Blaauboer [1982].

Na 1980 werd, behalve in de jaren 1981, 1983, 1986 en 1987, een beperkt aantal waarnemingen door ons voortgezet tot op heden. In de tweede helft van de jaren tachtig werd voor het eerst in het voorjaar en vroege zomer een massale opbloei van Cyanophyceae waargenomen met als dominante soort *Oscillatoria agardhii* [Steenbergen & Korthals, 1990]. Een dergelijk verschijnsel kan duiden op een versnelde eutrofiëring [Berger, 1987], ofschoon een bloei van Cyanophyceae ook incidenteel kan optreden zonder direct aanwijsbare oorzaken, zoals door Lingeman *et al.* [1987] is beschreven voor de Grote Maarsseveense Plas. Onder versnelde eutrofiëring verstaan we een

Samenvatting

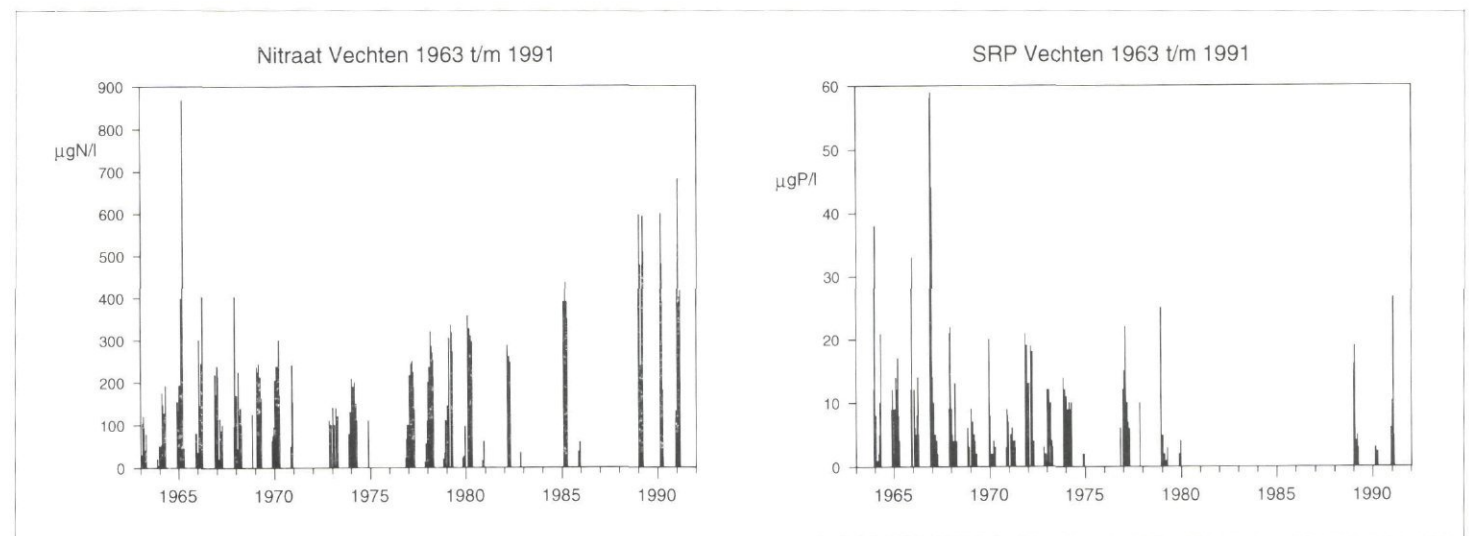
Sinds 1962 onderzoeken medewerkers van het Centrum voor Limnologie routinematig de plas Vechten. De plas ligt geïsoleerd tussen weilanden en akkers en wordt gevoed door water uit neerslag en via het grondwater; de verblijftijd van het water is ruim 5 jaar. Uit de serie van waarnemingen kon worden afgeleid dat de plas eutroof is geworden met sinds 1987 een jaarlijks terugkerende massale opbloei van *Oscillatoria agardhii*. Onderzoek aan de stratigrafie van pigmenten in het diepe sediment van de plas bracht aan het licht dat de biomassa van het fytoplankton de laatste twee decennia stapsgewijze is toegenomen, maar vóór die periode redelijk stabiel was met concentraties karakteristiek voor een mesotroof systeem. Significant was de toename van de anorganische stikstof sinds begin jaren zeventig; gelijktijdig met deze stijging nam de biomassa van het fytoplankton toe. Gezien de lange verblijftijd van het water zal de stikstofverrijking voor een groot deel afkomstig zijn van neerslag en in mindere mate van aanvoer met het grondwater. De molaire verhouding totaal stikstof versus totaal fosfaat (TN:TP) steeg significant van 57 naar 98 in de periode 1963-1991. Dit betekent een evolutie van de plas naar fosfaatlimitatie. Maatregelen om in geïsoleerde, gestratificeerde plassen een redelijke waterkwaliteit te handhaven worden besproken.

verrijking met voor de groei van fytoplankton noodzakelijke nutriënten door menselijk handelen [Edmondson, 1969; Golterman, 1975]. Zoals bekend kan de massale opbloei van bepaalde soorten, die vaak ontstaat door de verrijking, zodanige vormen aannemen dat overlast ontstaat voor de gebruikers van het water zoals waterwinbedrijven en vissers en voor omwonenden en recreanten [Golterman, 1970; Paerl, 1988]. De waterbloei van *O. agardhii* in de plas Vechten heeft zich nadien ieder jaar herhaald, met in windstille perioden de vorming van een drijfslaag met diep rode kleur. Dit vormde de aanleiding om de oude waarnemingen te vergelijken met de huidige situatie in een poging een mogelijke verhoging van nutriënten en hun herkomst op het spoor te komen. Potentiële bronnen van nutriënten voor typen wateren als de plas Vechten zijn uit- en afspoeling van verbindingen vanuit de landbouw en aanvoer via het grondwater en de neerslag [Van der Werff, 1989; Hendriks & Ter Keurs, 1992].

In dit artikel geven we een overzicht van het verloop in de tijd van de stikstof- en fosfaatconcentraties, de twee nutriënten waarvan de meest volledige tijdreeksen voorhanden zijn en die een belangrijke rol spelen bij eutrofiëring, en we bespreken de veranderingen in de structuur en de biomassa van de fototrofe micro-organismen aan de hand van chlorofyl-gegevens en pigmentstratigrafie in het diepe sediment van de plas. Het is onze intentie de mogelijke oorzaken van de veranderingen te belichten en te wijzen op maatregelen die kunnen leiden tot behoud van een aanvaardbare waterkwaliteit van dit type plassen.

Het onderzoeksgebied

De plas Vechten is ontstaan omstreeks 1941 als gevolg van zandwinning voor de aanleg van de autoweg Utrecht-Arnhem. De plas heeft een oppervlakte van 4,7 ha en bestaat uit twee identieke putten met een maximale diepte van 12 m, gescheiden door een smal gedeelte met een maximale diepte van 6 m. De plas wordt als viswater verpacht. Door zijn morfometrie en het klimaat wordt de plas gekarakteriseerd als warm monomictisch, dat wil zeggen dat slechts eenmaal per jaar volledige menging optreedt namelijk gedurende de winter (november-april). De plas is omgeven door lage oeverwallen, die beplant zijn met populieren, elzen en wilgen. De oeverwallen beletten de directe uitwisseling van water tussen de plas en de omringende sloten. Het drainagegebied beslaat ongeveer 2 ha en is in gebruik als hooiland en voor het weiden van vee; het wordt regelmatig bemest met kunstmest en dierlijke mest. De bodem bestaat uit een kalkhoudende kleilaag (holocene) op fluviatiele zandafzettingen doorsneden met dunne horizontale kleibanden. Na de zandwinning werd de oorspronkelijke oppervlakkige kleilaag in de plas gedumpt zodat de bodem van de plas beneden een diepte van 8 m bestaat uit klei gemengd met zand; hierop heeft zich in de loop der jaren het sediment afgezet dat rijk is aan organische stof (gyttja). De kleilagen belemmeren de verticale grondwaterbeweging met als gevolg dat de plas, naast directe neerslag, wordt gevoed door de horizontale grondwaterstroming die in het gebied loopt van zuid-oost naar noord-west. Het waterpeil beweegt zich tussen 50 en 80 cm +NAP. De gemiddelde verblijftijd van het water in de plas wordt



Afb. 1 (A) - Concentraties van nitraat ($\text{NO}_3\text{-N}$) in de plas Vechten gemeten tijdens de periode van totale menging (november-april) gedurende het tijdvak 1963-1991.
Afb. 1 (B). Als onder (A) voor concentraties van opgelost reactief fosfaat (SRP).

geschat op ruim 5 jaar. De totale wateraanvoer wordt voor 2/3 deel gevormd door neerslag en voor 1/3 deel door instroming van grondwater [Wortelboer, niet gepubliceerde gegevens].

Methoden

De routinewaarnemingen in de plas Vechten zijn begonnen in de tweede helft van 1962 en hebben betrekking op watermonsters die om de 14 dagen genomen zijn in het midden van de beide diepe putten op een halve meter onder het oppervlak en op een halve meter boven de bodem. Omdat tijdens de stratificatie in fysisch-chemisch en biologisch opzicht er grote verschillen optreden tussen de diverse waterlagen zijn vanaf 1974 de monsters genomen op vaste dieptes over de gehele waterkolom. Daarom zijn bij het vergelijken van de waarnemingen, gedaan vanaf 1962, alleen de waarden bruikbaar die gemeten zijn tijdens de periode van complete menging, dus gedurende de winter. Vanaf het begin tot 1968 werd gemonsterd met een handpomp; later werd een waterhapper gebruikt. Tellingen van fytoplankton zijn verricht aan bezinkingsplankton na fixatie met Lugol's oplossing (10% eindconcentratie) met een omkeermicroscop.

Sedimentkolommen werden gestoken in plexiglas buizen in het diepste gedeelte van de oostelijke put. Deze kolommen omvatten de gehele circa 30 cm dikke ongestoorde sedimentlaag inclusief een gedeelte van het onderliggende klei-zand pakket. De kolommen werden gesneden in 1 cm dikke plakjes waarin de analyse van fotosynthetische pigmenten werd uitgevoerd als beschreven door Korthals & Steenbergen [1985]. Het sediment werd gedateerd met behulp van de

radionucliden lood-210 en cesium-137 [Steenbergen *et al.*, 1989].

Resultaten

Stikstof en fosfaat

De stikstofkringloop in de plas Vechten is beschreven door Verdouw & Dekkers [1982]. Elk jaar bereiken ammonium- en nitraatconcentraties hun maximum in de periode december-januari; in 1977, het jaar van hun onderzoek, met respectievelijk $300 \mu\text{g N.l}^{-1}$ en $200 \mu\text{g N.l}^{-1}$. Na januari, tijdens de winterbloei van diatomeeën, die ammonium als stik-

Drijflaag van *Oscillatoria agardhii* aan de oever van de plas Vechten (voorjaar 1992).



stofbron prefereren boven nitraat, daalt de ammoniumconcentratie tot waarden onder de $5 \mu\text{g N.l}^{-1}$. Nitraatconcentraties dalen in de vroege zomer ook tot waarden onder de $5 \mu\text{g N.l}^{-1}$; in het epilimnion ten gevolge van opname door fytoplankton en in het hypolimnion door denitrificatie. Het nitrietgehalte van de plas is verwaarloosbaar laag ($< 10 \mu\text{g N.l}^{-1}$). Tijdens de stratificatie hoopt zich in het anaërobe hypolimnion ammonium op tot waarden vlak boven het sediment van $3.000\text{-}5.000 \mu\text{g N.l}^{-1}$. Bij de omkering en totale menging van de plas in november wordt deze hoeveelheid verspreid over de gehele waterkolom waarna door nitrificatie een gedeelte ervan wordt omgezet in nitraat. Het verloop van de nitraatconcentraties gemeten tijdens de winters gedurende de periode 1963-1991 is weergegeven in afb. 1 A. Er is een opvallende toename in het nitraatgehalte van de plas te constateren. De gemiddelde waarde van $153 \mu\text{g N.l}^{-1}$ in de jaren zestig is gestegen tot $240 \mu\text{g N.l}^{-1}$ in de jaren tachtig. De gemiddelde waarden gemeten tijdens de winters van de laatste jaren zijn verder gestegen en bedroegen voor 1989, 1990 en 1991 respectievelijk 346, 447 en $347 \mu\text{g N.l}^{-1}$. De winterse waarden van ammonium variëren zeer sterk van jaar tot jaar met maxima van 200 tot $400 \mu\text{g N.l}^{-1}$; een opwaartse trend is niet duidelijk aanwezig. De cijfers voor totaal stikstof (TN), hoewel minder frequent gemeten en zeer variabel, tonen toch een licht opwaartse trend; de gemiddelde winterwaarden namen toe van ongeveer $550 \mu\text{g TN.l}^{-1}$ in de jaren zestig tot ongeveer $750 \mu\text{g TN.l}^{-1}$ nu.

Details van de fosfaatkringloop in de plas Vechten zijn gedurende 1979 onderzocht door Wisselo [1980]. De concentratie van

opgelost reactief fosfaat (SRP) was laag (0-8 $\mu\text{g P.l}^{-1}$); totaal opgelost fosfaat (STP) bedroeg 10-25 $\mu\text{g P.l}^{-1}$ en totaal fosfaat (TP) 16-36 $\mu\text{g TP.l}^{-1}$. De verdeling van de anorganische fosfaatfracties over de waterkolom was gedurende de winter redelijk homogeen. Tijdens de stratificatie komt in het anaërobe hypolimnion door de reductie van ijzerfosfaat uit het sediment ijzer en fosfaat in oplossing. Totaal fosfaat vertoonde maxima op diepten met hoge fytoplanktondichtheden. De SRP-concentraties gemeten tijdens de winters in de periode 1963-1991, weergegeven in afb. 1 B, wisselen zeer sterk van jaar tot jaar met gemiddelden van 5-25 $\mu\text{g P.l}^{-1}$ en vertonen geen duidelijke opwaartse of neerwaartse trend. Hetzelfde geldt ook voor de overige fosfaat fracties met voor totaal fosfaat jaargemiddelden van 13-43 $\mu\text{P.l}^{-1}$. De molaire totaal N:totaal P verhouding (TN:TP) is zeer variabel van jaar tot jaar. De beschikbare waarnemingen uit de winterperiodes zijn gegroepeerd in drie tijdvakken: de jaren zestig toen het nitraatgehalte stabiel was, de jaren zeventig vanaf het begin van de nitraattoename en drie recente jaren (zie tabel I). Het verschil in TN:TP is niet significant tussen de periodes 1963-1968 en 1970-1979 ($p < 0,10$), maar wel significant tussen de periodes 1963-1968 en 1989-1991 ($p < 0,01$). Blijkbaar wordt de toename van nitraat weerspiegeld in een verhoogde TN:TP verhouding en evolueert de plas in de richting van fosfaatlimitatie [vergelijk Berger 1989; Goldman 1988].

Fototrofe populaties en chlorofyl
Blaauboer [1982] heeft de periodiciteit van de dominante soorten en de veranderingen in samenstelling van het fytoplankton in de plas Vechten beschreven. In de winter domineren diatomeeën van de groep Centrales namelijk *Stephanodiscus astraea* en *Cyclotella comta*. In de periode 1963-1984 waarin deze soorten zijn geteld, wisselen hun totale aantallen zeer sterk met maxima vaak tussen 500 en 1.000 x 10³ cellen.l⁻¹; een duidelijke trend is er niet. Tot voor kort werd het fytoplankton in het voorjaar en vroege zomer beheerst door

TABEL I – Gemiddelden en standaardafwijkingen (s) van de molaire verhoudingen van totaal stikstof:totaal fosfaat (TN:TP) voor drie periodes in de plas Vechten. De cijfers hebben betrekking op monsters genomen tijdens de totale menging van de plas; n is het aantal waarnemingen.

Perioden	TN:TP	(s)	n
1963-1968	56,9	48,3	30
1970-1979	81,5	62,8	24
1989-1991	97,8	58,4	28

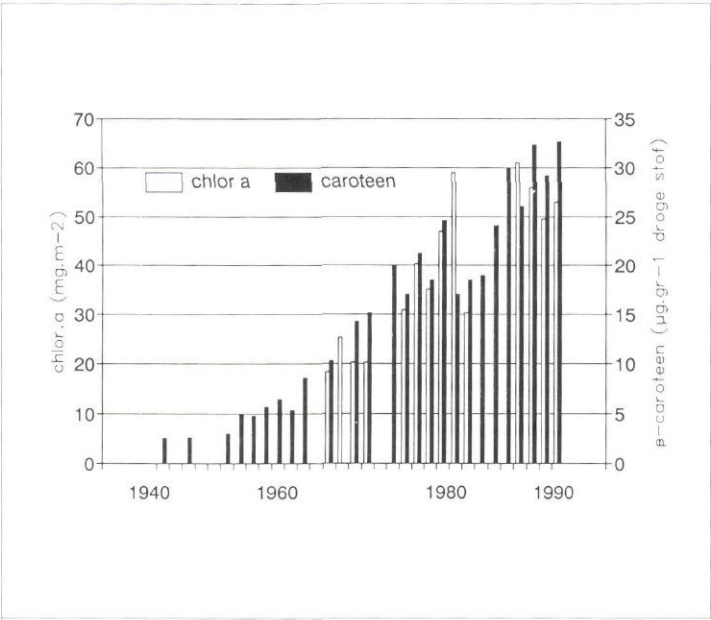
TABEL II – Jaargemiddelden, standaardafwijkingen (s) en uiterste waarden van het doorzicht in de plas Vechten gemeten met Secchischijf (doorsnede 20 cm); opgave in meters, n is het aantal waarnemingen.

Jaar	Jaargemiddelden	(s)	Uiterste waarden	n
1978	2,71	0,71	1,75-4,50	30
1979	2,57	0,83	1,90-4,50	9
1980	2,78	0,67	1,80-3,75	13
1982	2,66	0,83	1,48-4,00	13
1988	1,85	0,50	0,80-3,00	67
1989	2,25	0,65	1,40-4,30	28
1990	1,80	0,75	0,70-3,80	30
1991	2,13	0,77	0,90-4,00	22

kleine flagellaten behorende tot de klasse van de *Cryptophyceae* en *Chrysophyceae*, door een groot aantal soorten van de klasse der *Chlorophyceae* en door stikstoffixerende *Cyanophyceae* waaronder *Anabaena spiroides*. De dominante soort in het epilimnion gedurende de zomer was *Ceratium hirundinella* (*Dinophyceae*). Deze soort was niet homogeen verdeeld over de waterkolom maar vertoonde een dagelijkse verticale migratie en had overdag maximale celaantallen op ongeveer 5 m diepte [Blaauboer, 1982]. De gemiddelde aantallen van *C. hirundinella* in mengmonsters van het epilimnion zijn van 1974 tot 1982 geleidelijk toegenomen van 107 naar 320 x 10³ cellen.l⁻¹. Een tweede belangrijke soort was *Mallomonas caudata* (*Chrysophyceae*); deze werd gevonden in het diepste deel van het epilimnion in aantallen tot 800 x 10³ cellen.l⁻¹. Een karakteristieke groep organismen in de plas Vechten zijn fototrofe zwavelbacteriën uit de klassen der *Chromatiaceae* en *Chlorobiaceae* met als voornaamste vertegenwoordigers *Chromatium spp.*, *Thiopodia spp.*, *Chloronema spp.* en *Chlorobium phaeobacteroides*. Zij ontwikkelen zich in de zomer in het diepste gedeelte van het metalimnion op de

grenslaag van zuurstof en vrij sulfide. Zij gebruiken de sulfide als electrondonor in hun fotosynthese waarbij de sulfide geoxydeerd wordt tot sulfaat. Gelijktijdig met de toename van vrij sulfide in het hypolimnion zijn de aantallen zwavelbacteriën de laatste twee decennia sterk toegenomen [Steenbergen & Korthals, 1982; Steenbergen *et al.*, 1989]. Het recente optreden van een geconcentreerde laag *Oscillatoria agardhii* in voorjaar en vroege zomer op een diepte tussen 2 en 3 m, met dichtheden tot 50 x 10⁶ draadjes.l⁻¹ en chlorofylconcentraties in 1990 en 1991 van respectievelijk 60 en 150 $\mu\text{g.l}^{-1}$ heeft in enige jaren geleid tot een vermindering van het jaarlijks gemiddeld doorzicht van 40-80 cm (tabel II). Dit heeft tot gevolg gehad dat sommige fytoplanktonsoorten en bacteriegroepen die leven op grotere diepte, door lichtbeperking in aantallen achteruit zijn gegaan of nagenoeg zijn verdwenen zoals *C. hirundinella*, *M. caudata* en *C. phaeobacteroides* [Sala Farré, 1990]. Een wezenskenmerk van een eutrofe plas is de overdadige aanwezigheid van fytoplankton. Daarom is het chlorofylgehalte een zeer bruikbaar criterium om de mate van eutrofiëring, de trofiegraad, van een plas vast te stellen. In de plas

Afb. 2. Het profiel van β -caroteen in de bodem van de plas Vechten met daarbij op dezelfde tijds de jaarlijkse gemiddelde concentraties van chlorofyl a gemeten in een aantal zomers gedurende het tijdvak 1969-1990. Datering volgens [Steenbergen *et al.*, 1989].



Vechten zijn sinds 1969 in mengmonsters van het epilimnion chlorofylgehalten bepaald voor primaire produktiemetingen [De Kloet 1982]. Deze zomergemiddelden van chlorofyl tonen over de perioden 1969-1976, 1977-1981 en 1987-1990 een duidelijk opwaartse trend, respectievelijk 21, 40 en > 60 mg chlorofyl·m⁻² (afb. 2). Berekend op grond van deze gemiddelde chlorofylcijfers is de trofiegraad van de plas Vechten veranderd van mesotroof naar eutroof (van 45 naar 60 op de schaal van Carlson [1977]).

Pigmentstratigrafie

Het sediment in de diepe putten van de plas Vechten bestaat uit een zuurstofloze circa 30 cm dikke laag zachte, zwart gekleurde, sulfide houdende substantie die rijk is aan organische stof, zogenaamde gyttja, afgezet op de grijze menglaag van zand en klei, de vroegere toplaag van de afgraving. Uit dateringen met lood-210 en cesium-137 bleek dat het weinig gestoord is en dat de ouderdom op ongeveer 5 jaar nauwkeurig kon worden gemeten. Al eerder werden de pigmentprofielen in het sediment gerelateerd aan de toename van de fototrofe populaties in de plas [zie Steenbergen *et al.*, 1989].

β -Caroteen is een zeer stabiel pigment, dat doordat het voorkomt in alle algen-groepen bruikbaar is als indicator voor veranderingen in de totale biomassa van het fytoplankton. Het β -caroteengehalte van de oudste sedimentlagen tot begin van de jaren zestig vertoont nauwelijks een toename en ligt tussen 6 en 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ droog sediment (afb. 2). Dit duidt op de aanwezigheid van een redelijk constante hoeveelheid fytoplankton. Er is in die eerste periode nooit een waterbloei van *Cyanophyceae* waargenomen, de jaarlijkse periodiciteit van het fytoplankton was zeer regelmatig en de samenstelling ervan duidde op een matig eutroof systeem [Leussink, 1956; Salomé, 1967]. Gedurende midden jaren zestig tot eind jaren zeventig verdubbelde het jaargemiddelde chlorofylgehalte in de plas (afb. 2). Dit wordt weerspiegeld in de toename van het β -caroteengehalte van het sediment afgezet in die periode; daarna was er enige jaren geen toename. Ook de toename van het chlorofyl tussen 1980-1986 komt tot uiting in het β -caroteengehalte van de recente sedimentlagen; beide variabelen zijn de laatste twee decennia met ruim een factor 3 toegenomen, de laatste 3 à 5 jaren lijkt de toename opnieuw tot staan gebracht (afb. 2).

Discussie

Een eutrofe plas verschilt in een aantal

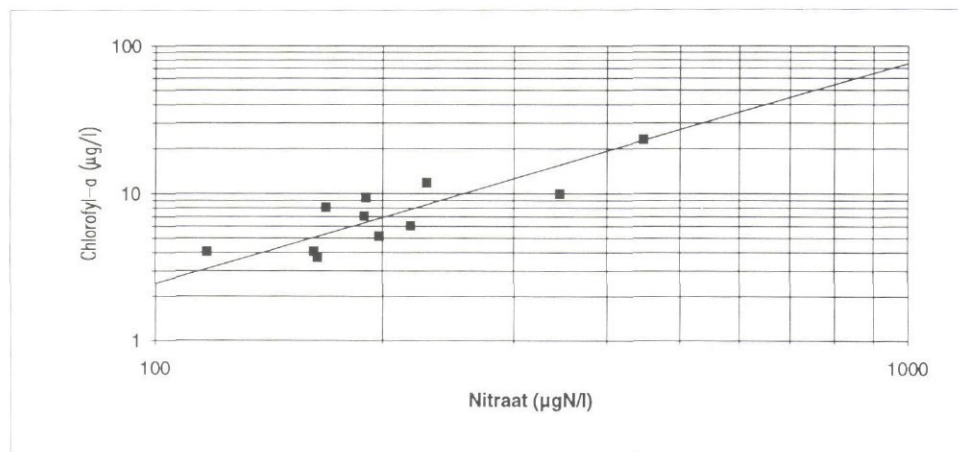
opzichten duidelijk van een niet-eutrofe plas. Edmondson [1969] noemt als voor-naamste verschillen de volgende punten:

1. Hoofdzakelijk in de winter, bij relatief lage fytoplanktondichtheden, zal een eutroof geworden plas hogere concentraties aan opgeloste nutriënten bevatten dan vóór de eutrofiëring.
2. Een eutrofe plas heeft een hoge produktie met als gevolg meestal grote fytoplanktondichtheden met periodiek een massale bloei van specifieke soorten.
3. Door de hoge produktie zal er meer materiaal sedimenteren, dit gaat gepaard met een toename van de concentratie aan relatief resistente moleculen in het sediment.
4. Er zal een verschuiving in de soorten-samenstelling plaatsvinden.

De waarnemingen met betrekking tot de plas Vechten vastgelegd in de tijdreeksen van stikstof, fosfaat en chlorofyl en aan de hand van de pigmentstratigrafie, volgen het hierboven beschreven patroon. De stadia van verrijking in de historie van de plas kan men aflezen uit de toename van het gemiddeld nitraat- en totaal stikstofgehalte in de winter die zich aftekenen omstreeks 1970, aan de stijgende hoeveelheid fytoplankton in de zomer, zoals weerspiegelt in het β -caroteengehalte van het sediment, en uit de massale opbloei van *Cyanophyceae* sinds enige jaren, die gepaard is gegaan met een snelle achteruitgang van andere soorten. Het is goed mogelijk dat een eventuele toegenomen belasting met fosfaat niet zichtbaar wordt door de hoge retentie van fosfaat in de bodem. De winterpopulaties van diatomeeën zijn gelijk gebleven. De meest waarschijnlijke reden hiervoor is dat de groei van de diatomeeën beperkt wordt door of SRP of silicium, twee nutriënten waarvan de jaarlijkse gemiddelde concentraties in de winter sterk variëren maar die sinds 1963 niet aantoonbaar zijn toegenomen [Van Paassen, 1989]. Naast de aanwijzingen verkregen uit het routine-onderzoek is er een aantal symptomen waargenomen, die geïnterpreteerd kunnen worden als secundaire tekenen van een toegenomen belasting met nutriënten. Best [1982] heeft de teruggang, tussen 1963 en 1980, van macrofytenbestanden beschreven en noemt als mogelijke oorzaak de verslechtering van het lichtklimaat onder water. Nu kunnen we constateren dat de vegetatie in de oeverzone nagenoeg volkomen verdwenen is en dat nog slechts een kale zandige bodem rest. Gons [1983] beschrijft hoe een dergelijke situatie kan ontstaan en wat de mogelijke gevolgen zijn; zo zal detritus niet meer worden

vastgehouden in de oeverzone maar zich ophopen op grotere diepte waardoor het aandeel van de anaërobe afbraakprocessen zal toenemen. Steenbergen & Korthals [1982] en Steenbergen *et al.* [1989] bevestigen een toename van vrij sulfide in het hypolimnion dat in de vroege jaren zestig slechts sporadisch voorkwam en waarvan de concentratie steeg tot een maximum van 6 μM H₂S in 1980 en tot 15 μM H₂S in 1985. In 1990 werden zelfs maxima van 35 μM H₂S gemeten [Sala Farré, 1990]. Significant is ook de geleidelijke stijging van de zuurstofnullijn tijdens de stratificatie van een diepte van 6,5-7,0 m in de jaren zestig [Golterman, 1971; Parma, 1971] tot 4-5 m thans [Hovenkamp, 1990]. De uitbreiding van de anaërobe waterlaag kan aanzienlijk hebben bijgedragen tot de interne belasting door een verhoogde afgifte van N en P door het sediment [Verdouw & Dekkers, 1982; Nürnberg & Peters, 1984]. Bij voortgaande eutrofiëring zal de kans op anaërobie en het vrijkomen van H₂S aan het einde van de stratificatieperiode groter worden.

De fosfaat- en stikstofcijfers van de plas Vechten zijn in vergelijking met andere Nederlandse meren waarin *O. agardhii* opbloeit relatief laag (jaargemiddelden 650-1.500 $\mu\text{g N}\cdot\text{l}^{-1}$ totaal stikstof en 13-43 $\mu\text{g P}\cdot\text{l}^{-1}$ totaal fosfaat; vergelijk [Berger, 1989]) en liggen volgens de OECD-classificatie op de grens van mesotroof en eutroof [OECD, 1982]. Op grond van de overige waarnemingen, waaronder chlorofylgehalten (afb. 2) en zichtdieptes (tabel II), is de plas Vechten nu volgens OECD-normen als eutroof te karakteriseren met een trend naar een toenemende gevoeligheid voor fosfaat. Met het toenemen van nitraat en het schijnbaar stabiel blijven van fosfaat lijkt de plas Vechten op Lake Tahoe zoals beschreven door Goldman [1988], hoewel beide meren verder sterk verschillen. Onderzoek naar eutrofiëring van vergelijkbare type wateren als de plas Vechten is schaars. Veelal wordt eutrofiëring veroorzaakt door de inlaat van verrijkt water van elders of door directe lozingen van effluent van zuiveringsinstallaties. De oorzaken, effecten en te nemen maatregelen van dit type verrijking zijn al in een vroeg stadium onderkend [NAS, 1969; OECD, 1982]. Blijkbaar is geen van beide situaties van toepassing op de plas Vechten. De waterkwaliteit van geïsoleerde zandputten, die slechts gevoed worden met grondwater en neerslag, is over het algemeen redelijk tot goed [Van Donk, 1987]. Het is verontrustend dat de plas Vechten gevoelig is geworden voor opbloei van zogenaamde opportunisten-



Afb. 3. De relatie tussen wintergemiddelden van nitraat en zomer-gemiddelden van chlorofyl a, samengesteld uit gegevens van afb. 1 A en afb. 2. De regressievergelijking is $\log(y) = -2.5898 + 1.4896 \log(x)$ (p 0,001; $r = 0,879$).

tische soorten *Cyanophyceae*, die het vermogen hebben om bij de eerste tekenen van stratificatie, mits voldoende stikstof aanwezig is, zich snel uit te breiden. De verrijking met nitraat zou een belangrijke oorzaak kunnen zijn van de aanvankelijke toename van het fytoplankton en zou ook de huidige opbloei van *Cyanophyceae* kunnen verklaren; er is een duidelijke, zeer significante relatie tussen de wintergemiddelden aan nitraat en het chlorofylgehalte tijdens de zomer (afb. 3).

Bij de beschouwing over de herkomst van nutriënten moeten we onderscheid maken tussen de interne en externe bronnen. Naast de toegenomen interne belasting door de uitbreiding van het anaërobe hypolimnion zal de beschikbaarheid van nutriënten voor de groei van fytoplankton zijn toegenomen met het verdwijnen van de macrofyten en het perifyton, die tezamen in 1979 nog verantwoordelijk waren voor ongeveer 35% van de jaarlijkse netto primaire produktie in de plas [Gons, 1983]. De externe belasting met nutriënten is afkomstig van de landbouw en van de uitstoot van industrie en verkeer. De nutriënten bereiken de plas via afspoeling, ondiep en diep grondwatertransport en via de neerslag [Hendriks & Ter Keurs, 1992]. De nitraat- en ammoniumstikstof concentraties in het grondwater op 11 m diepte, enige kilometers oostelijk van de plas Vechten, bedroegen in de zomer van 1990 respectievelijk 280 en 180 $\mu\text{g N l}^{-1}$ [bron: RIVM, Bilthoven]. Vooral het nitraat in het grondwater is sterk toegenomen en was in de jaren zestig nog nauwelijks aantoonbaar. De totale depositie van stikstof is tijdens het bestaan van de plas meer dan verdubbeld (afb. 4); de huidige belasting van de plas bedraagt ruim 500 $\mu\text{g N l}^{-1} \text{jaar}^{-1}$. De grootste verrijking vond plaats in de periode 1965-1980

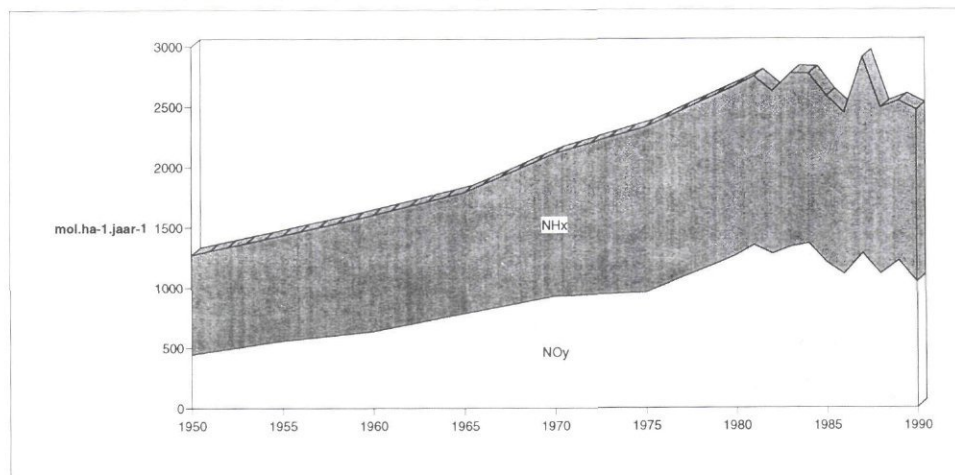
(afb. 4) en valt samen met de grootste toename in biomassa van het fytoplankton (afb. 2). Gezien de lange verblijftijd van het water (circa 5 jaar) zal depositie een overheersende rol spelen in de stikstofbelasting. Depositie van nutriënten is een moeilijk stuurbare bron; een reductie ervan is op korte termijn niet te verwachten [Boers & Zevenboom, 1992]. Adviezen over het behoud van de goede waterkwaliteit in dit type geïsoleerde plassen zijn schaars; daarvoor zijn de bronnen van hun geleidelijke verrijking met nutriënten te diffuus. Landelijke algemene maatregelen tot het terugdringen van stikstof en fosfaat in de bodem en lucht zijn in dit verband erg belangrijk [Van Geleuken, 1991]. Naast integraal waterbeheer zijn er specifieke beheersmaatregelen mogelijk, die de waterkwaliteit gunstig kunnen beïnvloeden. Van belang is een optimaal lichtklimaat rond de oevers waarbij de groei van macrofyten in de litorale zone wordt gestimuleerd. Macrofyten leveren in het algemeen een positieve bijdrage aan

de waterkwaliteit [Van Dijk & Van Donk, 1991]. Dit betekent dat regelmatig onderhoud in de vorm van snoeien en kappen van omringende houtwallen noodzakelijk is. Behalve een effect op het lichtklimaat zal het kappen van de nu tot 20 m hoge bomen rond de plas ook een effect hebben op de hydrodynamiek in de zeer beschut gelegen plas Vechten. Door een sterkere invloed van de wind zal een intensievere menging van het water optreden, waardoor de spronglaag (weer) dieper komt te liggen en de kans op het vrijkomen van H_2S vermindert. De mogelijkheid voor het optreden van een drijfslaag van *Cyanophyceae* wordt door de sterkere menging beperkt. Verder zou terughoudendheid geboden moeten zijn bij de bemesting van aangrenzende akkers en weilanden om de directe afspoeling van nutriënten naar de plas zoveel mogelijk te beperken [Van der Mei & Ter Keurs, 1991]. Tenslotte zou de integratie van geïsoleerde diepe meren en plassen inclusief hun drainagegebieden in natuur- en recreatieterreinen waardoor ze buiten de directe invloedssfeer van de landbouwpraktijken vallen, een goede maatregel kunnen zijn om hun relatief goede waterkwaliteit te behouden.

Conclusies

1. Geïsoleerde plassen zijn niet ge-vrijwaard van eutrofiëring: naast uit- en afspoeling van bemeste landbouwpercelen vormt depositie een belangrijke bron van nutriënten in het bijzonder van stikstof.
2. De duidelijke relatie tussen de nitraat-concentratie tijdens de winter en het chlorofylgehalte tijdens de zomer in de plas Vechten wijst op het grote belang om de uitstoot van stikstof te reduceren.
3. Uit de stratigrafie van het stabiele β -caroteen in het relatief ongestoorde sediment blijkt dat er geen vertraging is in

Afb. 4 - Het verloop van de stikstofdepositie boven de plas Vechten over het tijdvak 1950-1990, geschat aan de hand van modelberekeningen en (vanaf 1980) veldwaarnemingen [Erisman & Wortelboer, niet gepubl. gegevens].



de mate van verrijking en het effect ervan op de algenbiomassa.

4. De eutrofiëring veroorzaakte aanvankelijk een toename in de biomassa van de regulier aanwezige soorten. Het periodiek optreden van een massale opbloei van *Cyanophyceae* is blijkaar in relatief diepe plassen evenals in ondiepe wateren een fase in het proces van versnelde eutrofiëring.

5. Directe beheersmaatregelen tot het terugdringen van de effecten van eutrofiëring in geïsoleerde, gestratificeerde plassen moeten gericht zijn op het behoud van de macrofytenbestanden en op een maximale invloed van de wind. Het snoeien van houtwallen is daarbij in vele gevallen noodzakelijk.

Verantwoording

De auteurs zijn dank verschuldigd aan Aafje G. Frank-Landman, Marie-José Bär-Gilissen, Adi A. Cornelese, Francis H. M. Cottaar en E. M. J. Dekkers voor hun recente bijdragen aan het routine-programma en aan H. Roon, die door de jaren heen de onmisbare schakel vormde tussen de plas en het laboratorium; hij werd in 1990 opgevolgd door S. Visser.

Literatuur

Berger, C. (1989). *Habitat en ecologie van Oscillatoria agardhii Gomont*. Proefschrift Rijksuniversiteit van Groningen.

Best, Elly P. H. (1982). *The aquatic macrophytes of Lake Vechten, Species composition, spatial distribution and production*. Hydrobiologia 95: 65-77.

Blaauboer, Marianne C. I. (1982). *The phytoplankton species composition and the seasonal periodicity in Lake Vechten from 1956 to 1979*. Hydrobiologia 95: 25-36.

Boers, P. & Zevenboom, W. (1992). *Algengroei bestrijden met minder stikstof: een zaak van lange adem*. H₂O 25, nr. 8: 209-211.

Carlson, R. E. (1977). *A trophic state index for lakes*. Limnology and Oceanography 22: 361-369.

De Kloet, W. A. (1982). *The primary production of phytoplankton in Lake Vechten*. Hydrobiologia 95: 37-57.

Edmondson, W. T. (1969). *Cultural eutrophication with special reference to Lake Washington*. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 17: 19-32.

Goldman, C. R. (1988). *Primary productivity, nutrients, and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California-Nevada*. Limnology and Oceanography 33: 1321-1333.

Golterman, H. L. (1970). *Mogelijke gevolgen van de fosfaat-eutrofiëring van het oppervlaktewater*. H₂O 3, nr. 10: 209-215.

Golterman, H. L. (1971). *Stratifying lakes*. In *Progress Report Limnological Institute 1970*. Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Afd. Natuurkunde, Tweede Reeks, Deel 60, No. 2: 84-92.

Golterman, H. L. (1975). *Physiological Limnology*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Gons, H. J. (1983). *De koolstofkringloop in drie Nederlandse meren*. In: *Oecologie van meren en plassen*; Eds. Parma, S., Van Emden, H. M. en Castelein, J.

Wageningen, Pudoc, 1983 (Biologische Raad Reeks) pp. 85-119.

Hendriks, J. H. W. & Ter Keurs, W. J. (1992). *Stikstofbelasting van oppervlaktewater door snel stikstoftransport op klei- en veengronden*. H₂O 25, nr. 6: 155-158.

Hovenkamp, Wouter (1990). *Population dynamics of coexisting Daphnia species in Lake Vechten*. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.

Korthals, H. J. and Steenbergen C. L. M. (1985). *Separation and quantification of pigments from natural phototrophic microbial populations*. FEMS Microbiology Ecology 3: 177-185.

Leussink, J. A. (1956). *Het plankton, de temperatuur, het zuurstofgehalte en hun onderling verband in de plas bij Vechten, gedurende een deel van 1956*. Doctoraal Verslag Biologie, Rijksuniversiteit van Utrecht.

Rapporten Vechten No. 1956-1. Limnologisch Instituut, Nieuwersluis/Oosterzee.

Lingeman, R., Heinis, F. and Veen, A. (1987). *Time series of physical, chemical and plankton parameters in Lake Maarsseveen I: 1980-1986*. Hydrobiological Bulletin 21: 25-38.

NAS (National Academy of Sciences), 1969. *Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives*. Washington D. C.

Nürnberg, G. and Peters, R. H. (1984). *The importance of internal phosphorus load to the eutrophication of lakes with anoxic hypolimnia*. Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 22: 190-194.

OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) (1982). *Eutrophication of waters; Monitoring, Assessment and Control*. OECD Report, Paris.

Paerl, H. W. (1988). *Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters*. Limnology and Oceanography 33: 823-847.

Parma, S. (1971). *Chaoborus flavicans (Meigen) (Diptera, Chaoboridae): an autecological study*. Proefschrift Rijksuniversiteit van Groningen.

Sala Farré, Montserrat (1990). *Report of a stay at the Limnological Institute in Nieuwersluis, The Netherlands*. Student Report nr. 1990-9.

Limnological Institute, Nieuwersluis/Oosterzee.

Salomé, B. Z. (1967). *Planktononderzoek in de plas Vechten*. Mededelingenblad van de Hydrobiologische Vereniging 1: 31-33.

Steenbergen, C. L. M. and Korthals, H. J. (1982). *Distribution of phototrophic microorganisms in the anaerobic and microaerophilic strata of Lake Vechten (The Netherlands)*. Pigment analysis and role in primary production. Limnology and Oceanography 27: 883-895.

Steenbergen, C. L. M. and Verdouw, H. (1982). *Lake Vechten: Aspects of its morphometry, climate, hydrology and physico-chemical characteristics*. Hydrobiologia 95: 11-23.

Steenbergen, C. L. M., Berger, G. W., Korthals, H. J. and Verdouw, H. (1989). *Pigment stratigraphy and trophic status: an evaluation of radiocesium-dated lacustrine sediment*. Geomicrobiology Journal 7: 207-222.

Steenbergen, C. L. M. and Korthals, H. J. (1991). *Water quality research in Lake Vechten: a spring bloom of Oscillatoria agardhii*. In *Progress Report Limnological Institute 1990*, eds. Parma, S. and Gulati, R. D. Amsterdam, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen 1991: 40-41.

Van Dijk, G. M. and Van Donk, E. (1991). *Perspectives for submerged macrophytes in shallow lakes restoration projects in The Netherlands*. Hydrobiological Bulletin 24: 125-131.

Van Donk, E. (1987). *The water quality of the two Maarsseveen lakes in relation to their hydrodynamics*. Hydrobiological Bulletin 21: 17-24.

Van Geleuken, B. (1991). *Het grondwaterbeschermingsbeleid en de nitraatverontreiniging: een waterdicht beleid?* H₂O 24, nr. 8: 203-207.

Van Paassen, F. J. M. (1989). *De plas Vechten:*

primaire produktie van fytoplankton in relatie tot nutriënten en aspecten van waterkwaliteit. Studentenverslag nr. 1989-8, Limnologisch Instituut, Nieuwersluis/Oosterzee.

Van der Mei, T. & Ter Keurs, W. J. (1991). *Het effect van een uitrijverbod op de stikstofbelasting van het oppervlaktewater*. H₂O 24, nr. 9: 239-243.

Van der Werff, P. A. (1989). *Effecten van de landbouw op de waterkringlopen*. H₂O 22, nr. 22: 672-676.

Verdouw, H. & Dekkers, E. M. J. (1982). *Nitrogen cycle of Lake Vechten: concentration patterns and internal mass-balance*. Hydrobiologia 95: 191-197.

Wisselo, A. G. (1980). *Onderzoek naar de fosforkringloop in de plas Vechten in 1979*. Intern Verslag nr. 1980-4, Limnologisch Instituut, Nieuwersluis/Oosterzee.

● ● ●

FDM realiseert vijfenzeventigduizendste aansluiting

Op 18 november jl. heeft de NV Flevolandse drinkwater Maatschappij (FDM) de vijfenzeventigduizendste aansluiting op het drinkwaterleidingnet gerealiseerd.

Deze feestelijke gebeurtenis vond plaats in de Punter te Lelystad bij de familie De Ruiter. De heer D. Bos, president-commissaris van de FDM, wethouder van de gemeente Almere, verrichtte de aansluitingshandeling: met een draai aan de afsluiter in de straat voorzag hij de familie De Ruiter van water.

Als jubileumgeschenk werd het huis van de familie De Ruiter uitgerust met waterbesparende apparatuur en ontvingen zij de vijfenzeventigduizendste watermeter met inscriptie en bloemen.

De eerste bewoners van Flevoland kregen bij het ontbreken van een waterleidingnet het noodzakelijke drinkwater geleverd in tankwagens. Na drooglegging en ontginning van Oostelijk Flevoland heeft het drinkwaterbedrijf vanaf 1957 een waterleidingnet aangelegd, waaraan de gemeente Kampen de eerste jaren drinkwater leverde. Het aantal aansluitingen nam gestaag toe: van 81 in 1958 tot vijftientigduizend in 1980, vijftigduizend in 1986 en vijfenzeventigduizend in 1992. (Persbericht FDM)

De heer D. Bos, president-commissaris van de FDM, verricht de vijfenzeventigduizendste aansluiting op de Punter in Lelystad.

