

## 1. Inleiding

Het natuurgebied 'De Oude Venen' ligt in het lage midden van Friesland, in het laagveengebied dat zich vanuit noord-west Overijssel noordwaarts voortzet (afb. 1). Vooral in de zeventiende en achttiende eeuw vond hier vervening plaats, die een landschap achterliet van legakkers, petgaten en veenplassen.



G. BOLIER  
TU Delft, vakgroep  
Gezondheidstechniek &  
Waterbeheersing



B. VAN DER VEER  
TU Delft, vakgroep  
Gezondheidstechniek &  
Waterbeheersing\*



T. H. L. CLAASSEN  
Provincie Friesland  
Afdeling Watersystemen\*\*

De daarna in gang gezette verlanding en het sinds 1934 door It Fryske Gea gevoerde beheer bepalen het huidige halfnatuurlijke laagveenmoerasgebied. Ruim 20% van het bij It Fryske Gea in eigendom zijnde gebied bestaat uit open water. Eutrofiëring is één van de knelpunten, waarmee dit gebied (en overigens vergelijkbare andere gebieden elders) te kampen heeft.

In december 1988 kwam het 'Projectvoorstel voor integrale eutrofiëringsbestrijding in de Oude Venen, Friesland' [Provincie Friesland, 1988] gereed. In vervolg op het CUWVO-rapport 'Aanbevelingen voor bestrijding van de eutrofiëring van de Nederlandse oppervlaktewateren' [1983] was dit het eerste proefproject in deze zin in Friesland. Ter onderbouwing van de (voorgenomen) maatregelen en voor het volgen van effecten vindt sinds medio 1987 uitgebreid waterkwaliteitsonderzoek plaats in dit grootste Friese laagveenmoerasgebied. Er zijn in 1989 en 1990 – voordat maatregelen werden genomen – ook bioassayproeven met algen uitgevoerd, gericht op het in kaart brengen van de (oorzaken van de) eutrofiëringsproblematiek in dit gebied.

## Samenvatting

In het natuurgebied 'De Oude Venen', gelegen bij Eernewoude (Friesland) is een proefproject voor integrale eutrofiëringsbestrijding, opgezet door de provincie Friesland en uitgevoerd. Het gebied bestaat uit verschillende deelgebieden, gevoed door polder- of door boezemwater.

De maatregelen die in het kader van dit project zijn genomen, zijn: hydrologische isolatie, visstandbeheer en baggeren. Hierdoor worden verschillende aspecten van het ecosysteem in meer of mindere mate beïnvloed. In drie deelgebieden zijn de maatregelen afzonderlijk of in combinatie uitgevoerd.

Voordat uitvoering van de maatregelen plaatsvond zijn bioassays in vijf gebieden uitgevoerd om na te gaan of N of P het algengroeilimiterend nutriënt is (AGP-nat.pop.). Daarnaast zijn ook bioassays uitgevoerd met bodemmateriaal om de hoeveelheid biologisch beschikbaar P hierin te bepalen (AGP-bodem).

Het algengroeilimiterend nutriënt varieert per watersysteem en per seizoen. Er is in het jaar een verloop te zien van P-limitatie in de winter naar N-limitatie in het najaar. De meeste P-limitatie treedt op in het boezemwater, in de meer geïsoleerde poldergebieden is N het belangrijkste limiterend nutriënt.

Uit de AGP-bodem blijkt dat het verschil in P-concentratie in de bodem samenhangt met de mate van beïnvloeding van een systeem door boezemwater. Bioassays blijken nuttige informatie te geven over het algengroeilimiterend nutriënt en de mogelijke invloed van de bodem op de algengroei. Met deze resultaten en door de opzet van dit proefproject kunnen de te verwachten effecten van de verschillende combinaties van maatregelen worden aangegeven.

## Maatregelen

Het gebied 'De Oude Venen' kent een grote verscheidenheid aan landschappelijke en waterhuishoudkundige eenheden. Het westelijk gedeelte ligt 'voor de boezem' en heeft een streefpeil van -0,52 cm NAP. Het oostelijk gedeelte behoort voor het grootste deel tot de polder Eernewoude, met een zomerpeil van -1,30 m NAP en een winterpeil van -1,60 m NAP.

Het westelijk gedeelte dat waterhuishoudkundig deel uitmaakt(e) van de Friese boezem, kent dezelfde eutrofiëringsverschijnselen als de Friese boezem.

's Zomers sterke opbloei van algen, met dominantie van de blauwalg *Oscillatoria agardhii* in het fytoplankton en van de brasen in het visbestand. Door de (boezem)wateraanvoer 's zomers naar het poldergebied – ter compensatie van wegzijging en verdamping – treden ook hier vergelijkbare eutrofiëringsverschijnselen op. Op basis van resultaten verkregen na hydrologische isolatie van het gebied '9-Mêd' in 1985 [De Haan & Hosper, 1988], van experimenten met actief biologisch beheer elders, visstandopnamen in winter en voorjaar van 1988 in delen van de Oude Venen [Grimm &

Kampen, 1988], en het gegeven van een soms zeer dikke baggerlaag werd het volgende maatregelenpakket opgesteld (zie tabel I).

Dit levert een getrappt stelsel van maatregelen op in drie onderling vergelijkbare deelgebieden in relatie tot gebieden waar geen maatregelen worden getroffen (Sanemar, boezemwater en 9-Mêd, sinds 1985 afgesloten). Deze opzet maakt het mogelijk het effect van deze afzonderlijke en combinaties van maatregelen te volgen en te extrapoleren, zodat dit (proef)project een basis kan leggen voor maatregelen in andere gebieden.

Hydrologische isolatie lijkt een eerste vereiste om de waterkwaliteit te verbeteren, niet alleen in verband met de eutrofiëringssituatie [De Haan & Hosper, 1988], maar ook in verband met de invloed van microverontreinigingen [Claassen, 1989; Hosper, 1989] en van gebiedsvreemd water [Grontmij, 1991]. Genoemde, voor de boezem liggende gebieden, zijn afgesloten met keileemdammen, afgewerkt met riet-doorgroei-bare schanskorfmatten; 40-Mêd met materiaal dat ter plaatse aanwezig was.

TABEL I – Overzicht van maatregelen per deelgebied (zie afb. 1) in het proefproject integrale eutrofiëringsbestrijding de Oude Venen.

Maatregelen deelgebied	(Hydrologische) isolatie	Vis(stand) beheer	Baggeren
Hoannekrite	+		
Tusken Sleatten	+	+	
40-Mêd (oost)	+	+	+

\* Nu werkzaam bij Hoogheemraadschap van Rijnland.

\*\* Nu werkzaam bij Waterschap Friesland, afdeling Watersystemen.



TABEL III – Halfjaargemiddelden voor de zomer 1989, de winter 89-90 en de zomer 1990 voor zeven parameters op vier lokaties (zie afb. 1).

Deelgebied parameter	1. Sânemar			2. Hoannekrite			5. Tusken Sleatten			7. 40 Mèd-Oost		
	z'89	89-90	z'90	z'89	89-90	z'90	z'89	89-90	z'90	z'89	89-90	z'90
zichtdiepte (cm)	21	30	20	38	45	38	25	60	33	30	55	22
pH	8,8	8,0	8,9	7,8	7,4	7,7	8,7	7,9	8,4	8,4	7,4	9,0
orthofosfaat ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0,48	0,08	0,05	0,22	0,12	0,51	0,05	0,03	0,08	0,10	0,02	0,11
totaal fosfaat ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	1,10	0,25	0,25	0,42	0,18	0,64	0,30	0,14	0,25	0,30	0,10	0,44
nitraat-stikstof ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0,3	2,7	0,2	< 0,1	1,4	< 0,1	< 0,1	0,6	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1
totaal stikstof ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	4,8	6,1	4,3	3,2	4,4	4,8	4,2	3,3	3,9	4,0	2,2	5,7
chlorofyl- $\alpha$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	118	67	113	75	22	86	160	62	124	137	25	304
totN/totP $\approx$ N/P	4,4	24,4	17,2	7,6	24,4	7,5	14,0	23,6	15,6	13,3	22,0	13,0

### Waterkwaliteit

Sinds medio 1987 wordt een uitgebreid monitoringprogramma in de Oude Venen uitgevoerd. Vanaf 1988 worden onder meer de punten 1 t/m 7 bemonsterd en fysisch-chemisch onderzocht, evenals het fytoplankton, het zoöplankton en de macrofyten (afb. 1). In het kader van het bioassay-onderzoek zijn de lokaties 1 t/m 12 bemonsterd. In tabel III zijn enkele fysisch-chemische karakteristieken vermeld voor de drie deelgebieden en het boezemwater.

De zichtdiepte is zeer beperkt en reikt in het boezemwater (1) zomers niet verder dan 20 cm. In de drie deelgebieden worden 's winters zichtdiepten bereikt van 45 tot 60 cm. De pH vertoont een seizoensfluctuatie, die nauw samenhangt met de algengroei.

Alleen Hoannekrite (2) blijft 's zomers beneden de AMK-norm van  $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  voor chlorofyl, ondanks de hoge fosfaatgehalten. Vrijwel overal is het fosfaatgehalte 's winters (aanzienlijk) lager dan 's zomers. Anorganisch stikstof en voor Sânemar (boezemwater) ook totaal stikstof is 's winters juist hoger dan 's zomers, een gevolg van uit- en afspoeling. De verhouding totaal N/totaal P voor het zomerhalfjaar fluctueert in het boezemwater tussen 10 en 17. In Tusken Sleatten (5) en 40-Mèd (7) is deze verhouding resp. circa 13 en 14-16. Hoannekrite (2) daarentegen heeft 's zomers een erg lage N/P-verhouding van circa 7 à 8, gerelateerd aan hoge P-gehalten. Gelet op het orthofosfaat en nitraatgehalte (tabel III) zal hier 's zomers eerder N dan P algengroeilimiterend zijn.

Uit het verloop van bijvoorbeeld het chloridegehalte kan worden afgeleid, dat de beïnvloeding door boezemwater het grootst is in Hoannekrite en Tusken Sleatten en geringer is in 40-Mèd.

### 3. Algenonderzoek, resultaten en conclusies

#### 3.1. Opzet

De mate van eutrofiëring van een watersysteem kan worden afgeleid uit het

gehalte aan chlorofyl- $\alpha$ , stikstof- en fosforverbindingen of de verhouding tussen deze twee nutriënten. De invloed van eutrofiëring op het aquatisch ecosysteem is hieruit slechts ten dele af te leiden. Een aanvullende beoordeling aan de hand van biologische parameters die reageren op veranderingen in milieufactoren, vooral nutriënten, is dan noodzakelijk. Deze informatie kan verkregen worden met behulp van zogenaamde bioassays, in dit geval algengroeiopotentietoetsen (AGP-toetsen). Hiermee wordt inzicht verkregen in de directe relatie tussen de algengroei en het gehalte aan (beschikbare) nutriënten. De toetsen worden onderscheiden naar dat deel van het ecosysteem waarop zij gericht zijn en waarover zij informatie verschaffen, te weten:

- water
- natuurlijke algengroei
- bodem

Op basis van het pakket aan (voorgenomen) maatregelen (tabel I) zijn in vijf (deel)gebieden bemonsteringen uitgevoerd ten behoeve van bioassayproeven voor de natuurlijke algengroei [Bolier & Van der Veer, 1992] en de bodem [Roijackers, 1989]. In tabel IV is een overzicht opgenomen van de lokaties met bemonsteringsdata.

De samenstelling naar soorten en aantallen (biomassa) van de algenbiocoenose van het buitenwater is seizoensafhankelijk.

TABEL IV – Overzicht van bemonsteringsdata (per deelgebied) voor bioassays van natuurlijke algengroei en waterbodem.

Deelgebied	Plaats:		Periode:			
	Lokatie	Zomer	Najaar	Winter	Voorjaar	
Sânemar	1, 8	18-7-89	16-10-89/16-11-89	16-1-90	17-4-90	
Tusken Sleatten	4, 5, 9	1-8-89	31-10-89	7-2-90	4-5-90	
Hoannekrite	2, 3	1-8-89	31-10-89	7-2-90	4-5-90	
40-Mèd	7, 10, (11, 12)	18-7-89	16-10-89/16-11-89	16-1-90	17-4-90	
9-Mèd	6	18-7-89	16-10-89/16-11-89	16-1-90	17-4-90	

TABEL V – P- en N-verrijkingen [naar De Vries &amp; Klapwijk, 1987].

Verrijking	Verrijkt met	Toename concentratie
ruw	niets	geen
+ P	$\text{K}_2\text{HPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$	$0,5 \text{ mg P}\cdot\text{l}^{-1}$
+ N	$\text{KNO}_3$	$10 \text{ mg N}\cdot\text{l}^{-1}$
+ P + N	$\text{K}_2\text{HPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3$	$0,5 \text{ mg P}\cdot\text{l}^{-1} + 10 \text{ mg N}\cdot\text{l}^{-1}$

In het kader van het eutrofiëringproject de Oude Venen zijn in vier seizoenen bioassays uitgevoerd.

AGP-bodem is alleen in 40-Mèd uitgevoerd. Over de nalevering van bio-beschikbaar-N vanuit de bodem is weinig bekend. Onderzoek hiernaar is in dit kader niet uitgevoerd.

Als 'referentie' voor de drie deelgebieden in het proefproject dienen het Sânemar (als boezemwater) en 9-Mèd (al langer geïsoleerd).

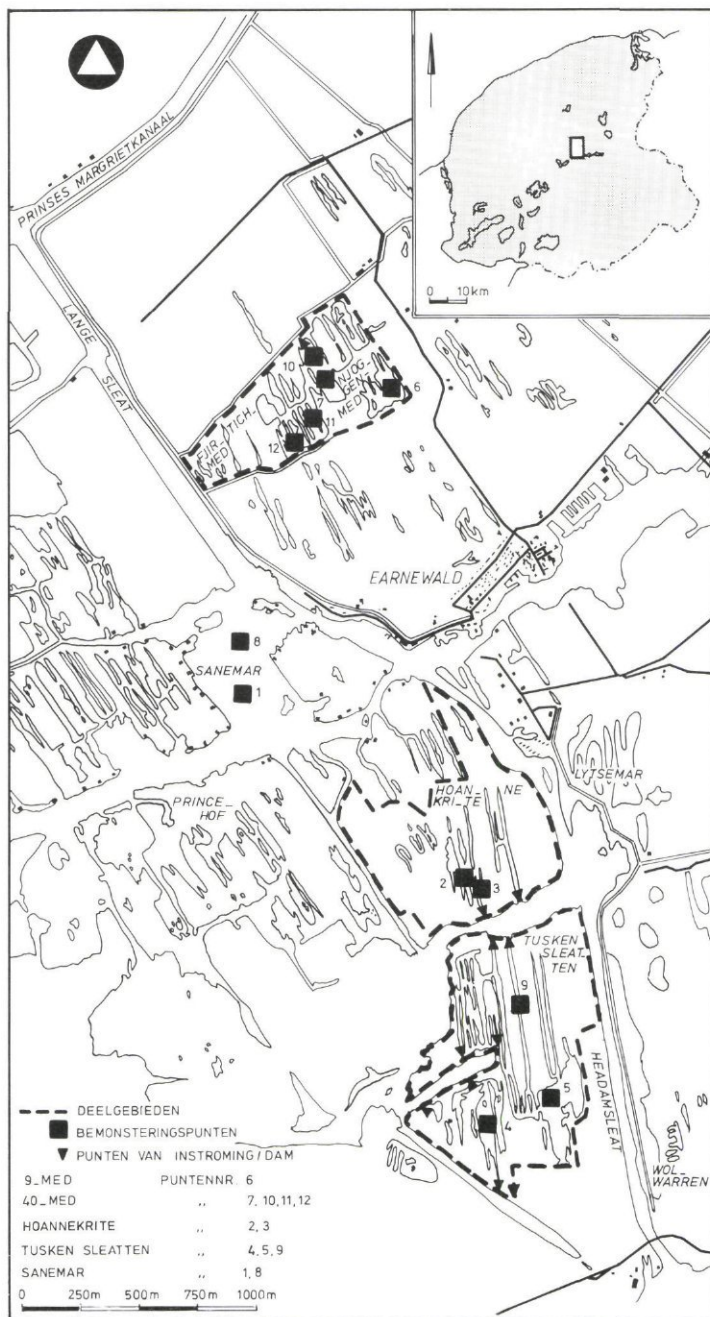
In het navolgende worden eerst de AGP-natuurlijke algengroei besproken, gevolgd door de AGP-bodem.

#### 3.2. AGP-natuurlijke algengroei Bemonstering en analyses

De watermonsters zijn genomen volgens het schema van tabel IV. Het betreft zowel boezemwater (Sânemar, Tusken Sleatten, Hoannekrite) als polderwater (40-Mèd, 9-Mèd). De ligging van de bemonsteringslokaties is aangegeven in afbeelding 1. De natuurlijke algengroei is met behulp van een Rüttner-waterhapper bemonsterd over een hoogte gelijk aan de zichtdiepte. Het zoöplankton is verwijderd door filtratie over planktongaas (maaswijdte  $80 \mu\text{m}$ ). Hierdoor kunnen vooral in de zomer grotere (kolonies) algen zijn verwijderd. In het veld zijn temperatuur, pH en zichtdiepte (Secchi-schijf) bepaald. De AGP-toetsen zijn in triplo uitgevoerd na toevoeging van de verrijkingstoffen zoals aangegeven in tabel V. Na beëindiging van de AGP-toets is chlorofyl- $\alpha$  bepaald als biomassaparameter. Determinatie van de algensamenstelling na afloop van de AGP-toets is in een beperkt aantal gevallen uitgevoerd.

*Uitvoering algengroeiopotentietoets met natuurlijke populatie (AGP-nat.pop.)*  
De toegevoegde P- en N-verrijkingen staan in tabel V.





Afb. 1 - Ligging van deelgebieden Hoannekrite, Tusken Sleatten en 40-Mêd in de Oude Venen met de lokaties van de bemonsteringspunten.

de natuurlijke algenpopulatie (AGP-nat.pop.) is verricht door de TU Delft, [Bolier & Van der Veer, 1992], de AGP-bodem door de LU Wageningen [Roijackers, 1989].

Andere herstelmaatregelen in de Oude Venen worden uitgevoerd in het kader van het herstelplan leefgebied otter, natuurontwikkeling en integraal waterbeheer [Hosper, 1990; Claassen, 1992].

## 2. Gebiedsbeschrijving

### Algemeen

Zoals al is opgemerkt kent de Oude Venen verschillende deelgebieden. Het westelijk deel wordt doorsneden en vormt een onderdeel van de Friese boezem. Kenmerkend is de waterrecreatie, die zich 's zomers uit in een gekrioel van mensen en boten. Het sterke geëutrofiëerde Sânemar, waarin onderwaterplanten geheel afwezig zijn is hierin gelegen (bemonsteringslokaties 1 en 8).

De gebieden Hoannekrite (bemonsteringslokaties 2 en 3) en Tusken Sleatten (bemonsteringslokaties 4, 5 en 9) behoorden voor de isolatie in juni 1991 ook tot de Friese boezem. Hier bleef enige rust heersen door drijvende balken met daarop vermeld 'verboden toegang'. Fraai zijn dan ook de nymphaeiden vegetaties van *Nuphar lutea* en *Nymphaea alba*, onderwaterplanten ontbreken echter ook hier. De gebieden 9-Mêd en 40-Mêd liggen binnen de polder Earnewoude. Sinds april 1985 is 9-Mêd hydrologisch geïsoleerd van toevoerwater uit de boezem. Voor de isolatie in maart 1991 werd het gebied 40-Mêd 's zomers van boezemwater voorzien, evenals het achterliggende poldergebied. Vooral in het oostelijk gedeelte (bemonsteringslokaties 7 en 10) trad jaarlijks een sterke algengroei op en bevond zich een dikke baggerlaag, plaatselijk tot aan het wateroppervlak. Door een zeer nauwe doorgang was het gebied 40-Mêd west van grote boezemwaterinvloed gevrijwaard, wat zich manifesteerde in beter helder water en enige submerse vegetatie. De drie beschouwde gebieden zijn qua grootte, fysiognomische structuur en ligging ten opzichte van (oorspronkelijk) toestromend grondwater vanuit het oosten onderling goed vergelijkbaar (zie afb. 1).

Naast isolatie kan ook baggeren gezien worden als bronbestrijding. Door de hoge kosten is deze maatregel vooralsnog voorzien in één gebied. Visbeheer wordt meer beschouwd als symptoombestrijding, maar noodzakelijk om de doorbraak van een troebelwater- naar een helderwatersysteem te bewerkstelligen en om het effect van de andere maatregelen (isolatie en baggeren) te ondersteunen. In tabel II is schematisch aangegeven waarop de maatregelen in meer of mindere mate invloed hebben.

Inmiddels zijn genoemde maatregelen uitgevoerd [Claassen, 1992] voor een totaalbedrag van f 1.263.000,-. De financierende partijen waren het Rijk, EG

en de provincie Friesland. De provincie coördineert en financiert ook het begeleidend onderzoek. De monitoring (inmiddels op 13 lokaties in het oppervlaktewater) verricht de provincie in eigen beheer, specifiek onderzoek wordt uitbesteed. De algengroeiopotentietoets met

TABEL II - Beïnvloeding van enkele ecosysteem-aspecten door de maatregelen in het proefproject.

Aspecten	Maatregelen t.a.v.	Isolatie	Visbeheer	Baggeren
fosfaat	interne nalevering	-	+	++
	externe aanvoer	++	-	-
secundaire voedselketen lichtklimaat	brasm/zoöplankton	-	++	-
	interne troebeling	-	+	+
	externe aanvoer zwevende stof	+	-	-
diepte	vrije waterkolom	-	-	+

+++ = veel invloed; ++ = beperkte invloed; - = weinig/geen invloed.



*Kweekcondities:*

- temperatuur  $16^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- 12 uur donker, 12 uur licht, belichting  $24 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- continue menging, circa 70 rpm.

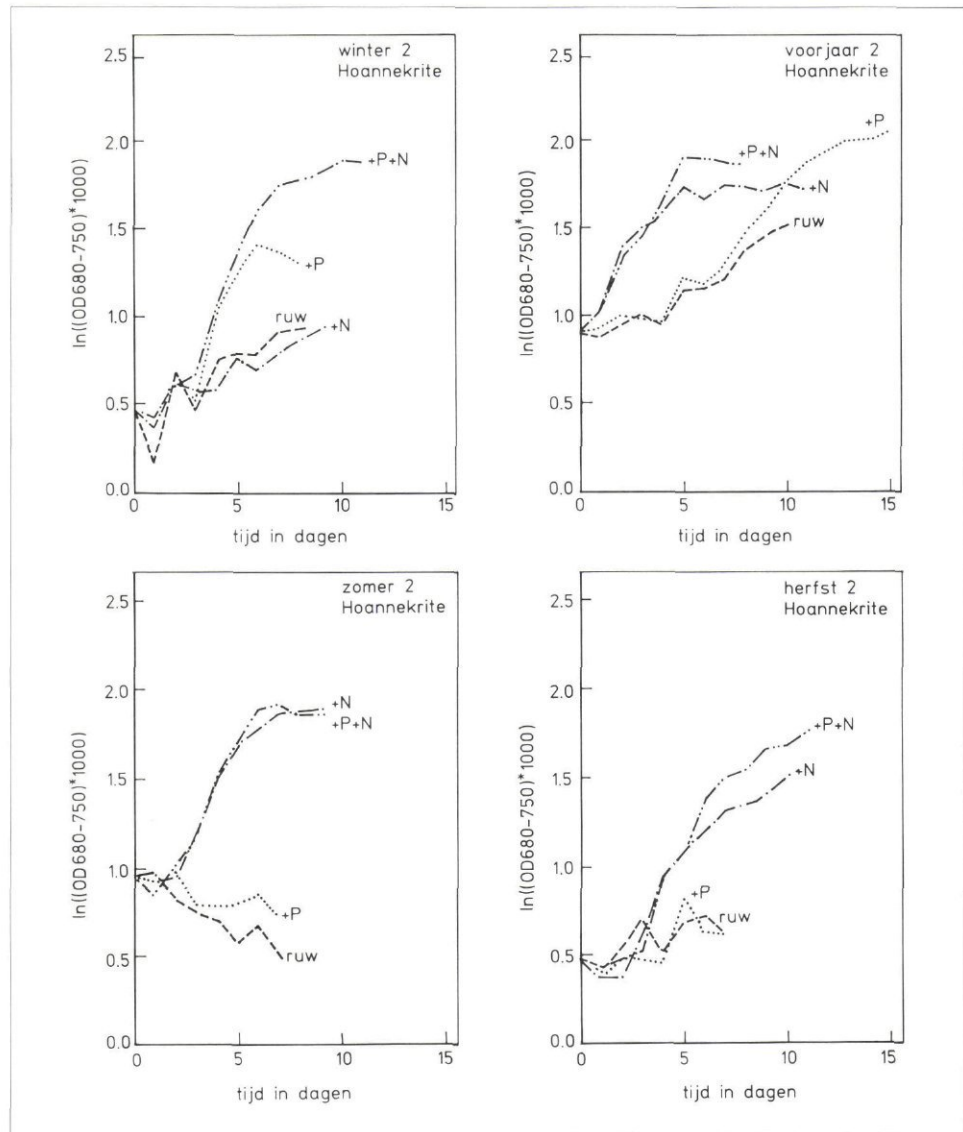
Voor een goede  $\text{CO}_2$ -voorziening van de cultures zijn de erlenmeyers voor slechts 25% gevuld en afgesloten met een omgekeerd bekersglas [STORA, 1986]. De optische dichtheid bij 680 nm ( $\text{OD}_{680}$ ) gecorrigeerd met de  $\text{OD}_{750}$  is als indicator voor de hoeveelheid algenbiomassa [STORA, 1986] dagelijks bepaald met een Perkin-Elmer 551S UV/VIS spectrofotometer met integrerende bol, nodig voor het meten in troebele vloeistoffen. De afbreekcriteria voor beëindiging van de AGP-nat.pop. zijn als volgt geformuleerd:

- \* verandering van  $\text{OD}_{680}-\text{OD}_{750}$  twee dagen achtereen  $\leq 5\%$ ;
- of \* instabiel verloop van  $\text{OD}_{680}-\text{OD}_{750}$ ; toe- en afname volgen elkaar op in een korte periode;
- of \* sterke bleking en toename van de troebeling van de cultuur (vaak veroorzaakt door bacteriegroei).

*Resultaten en conclusies*

Een selectie van enkele meetgegevens wordt hier besproken. In afbeelding 2 zijn van de bemonsteringslocatie Hoannekrite (punt 2) de groeicurves in de vier verschillende seizoenen weergegeven. Groeicurves van vier verschillende bemonsteringslocaties in de zomer zijn weergegeven in afbeelding 3. Het optreden van groei in de 'ruw' series is het gevolg van het opheffen van in het veld optredende groeilimiterende fysische factoren zoals temperatuur en licht of biologische factoren zoals graas door zoöplankton. Door een hoge concentratie algen in het water kan door uitdoving licht een groeibepalende factor worden. Door de beperkte dikte van de waterlaag in de laboratoriumcultures wordt de lichtbeperking opgeheven.

Tijdens de AGP-toetsen treedt er een duidelijke verschuiving op in de algenpopulatie. De flagellaten (*Chrysophyceae* en *Cryptophyceae*) verdwijnen. Bij geen of alleen P-toevoeging is een toename van blauwalgen te zien waaronder N-fixerende soorten. In de 'ruw' serie treedt ook een toename op van de seizoensgebonden groepen, zoals grotere groenalgensoorten in het najaar en diatomeeën in de winter. Toevoeging van N heeft slechts enige stimulerende invloed op de blauwalgen. De groenalgen nemen toe, zowel het aantal soorten als individuen. Toevoeging van zowel N als P geeft meestal een versterking te zien van het effect van de



Afb. 2 - Hoannekrite (lokatie 2): Groeicurves van de natuurlijke algenpopulaties in de verschillende seizoenen, na toevoeging van nutriënten.

enkelvoudige toevoeging. Alleen in het najaar treedt in deze serie een toename van de blauwalgen op.

Uit de afbeeldingen 2 en 3 blijkt dat het groeilimiterend nutriënt varieert per seizoen en per watersysteem (deelgebied). De resultaten van alle toetsen, uitgevoerd in de verschillende seizoenen zijn onderverdeeld naar watersysteem samengevat in tabel VI.

TABEL VI - Algen groeilimiterend nutriënt in de verschillende watersystemen en in de verschillende seizoenen.

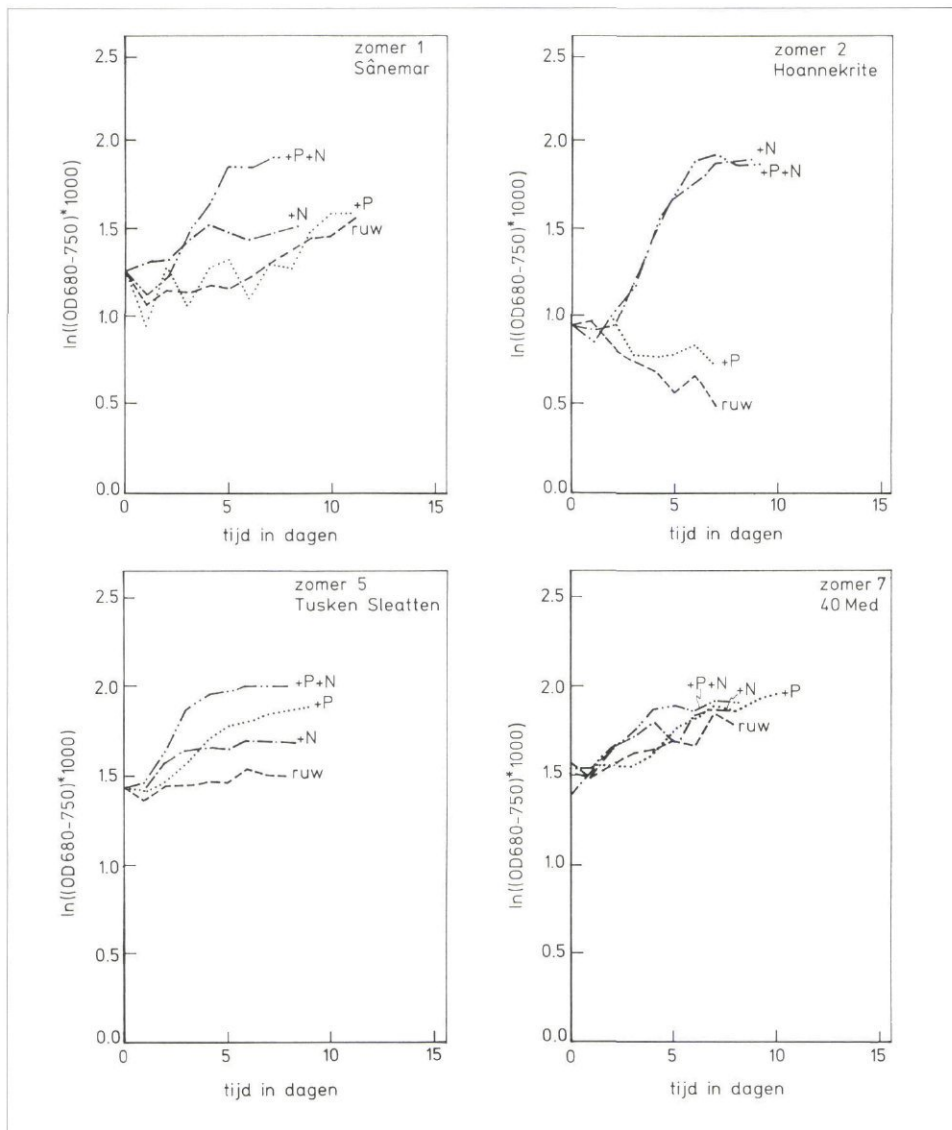
Watersysteem	Seizoen			
	Winter	Voorjaar	Zomer	Najaar
Sânemar	P	P	N, p	N
Tusken Sleatten	P	N, p	N, p	N
Hoannekrite	P	N, p	N	N
40-Méd	N, P	N	N, P	N
9-Méd	N	N	N	N

Verloop in het jaar van P → N.

Verloop in de deelgebieden van P → N.

N of P: primair limiterend nutriënt n, p: secundair limiterend nutriënt.

Uit de literatuur blijkt er geen eenduidigheid te bestaan over het tijdstip van afbreken van de AGP-toets voor het bepalen van de maximale biomassa [o.a. Elser *et al.*, 1988; Van der Does & Klapwijk, 1987; Lehmacher & Schanz, 1989]. Gekozen is daarom voor het volgen van de groei door dagelijkse metingen. Op grond van deze metingen is, met behulp van de eerder geformuleerde criteria tot afbreken besloten.



Afb. 3 - Groeicurves van de natuurlijke populaties op vier verschillende lokaties, na toevoeging van nutriënten, lokatie boezemwater: 1. Sânemar, 2. Hoannekrite 5. Tusken Sleaten polderwater: 7. 40-Méd

Door groeicurves (afb. 2 en 3) in de analyse te betrekken is het mogelijk primaire en secundaire groeilimiterende nutriënten op betrouwbare wijze te bepalen. Zo komt in het voorjaar na toevoeging van P de groei langzaam op gang (afb. 2 'voorjaar') maar bereikt tenslotte toch een snelheid, ongeveer gelijk aan die verkregen na toevoeging van N. Deze uitgestelde groei doet vermoeden dat slechts een deel van de fytoceenose reageert op deze P-toevoeging of dat voor de groei ook andere factoren nodig zijn, die door P-toevoeging geïnduceerd worden. Hoewel de hoogste maximale biomassa verkregen wordt na P-toevoeging, lijkt dit nutriënt niet het primair groeilimiterende nutriënt te zijn.

Door gebruik te maken van de verschillende wijze van respons van de populatie bij een verrijking [Schelske, 1984] is een

classificatie opgesteld waaraan de gemeten groeicurves zijn getoetst [Bolier, in press]. Een directe respons treedt op bij het primair limiterend nutriënt, een uitgestelde respons, zoals na toevoeging van P in het voorjaar bij het secundair limiterend nutriënt.

Cultures waaraan beide nutriënten zijn toegevoegd vertonen in respons een sterke gelijkenis met die cultures waaraan alleen het primair groeilimiterend nutriënt is toegevoegd. De groeisnelheid verschilt weinig, alleen de maximale biomassa is groter. In de literatuur wordt dit tweede nutriënt dan secundair limiterend of co-limiterend [Elser *et al.*, 1988] genoemd, vooral als de verschillen in biomassa ook statistisch relevant zijn [Klapwijk *et al.*, 1989]. Toch is in deze cultures sprake van een kunstmatige secundaire limitatie die ontstaan is door toevoeging van het echte, primair, limiterend nutriënt en de respons

daarop. Cultures waaraan zowel P als N is toegevoegd geven geen extra informatie over een mogelijk secundair limiterend nutriënt en ook niet over de nutriëntstatus van de algenpopulatie.

### 3.3. AGP-bodem

#### Bemonstering

In 40-Méd is op 16-11-1989 op drie plaatsen met de Beeker-sampler [Beeker, 1989] een steekmonster van de waterbodem genomen over een diepte van 1 meter. Voor de ligging van de bemonsteringslokaties zie afbeelding 1. AGP-bodem is beperkt tot 40-Méd, omdat voor dit gebied baggermaatregelen waren voorzien.

#### Chemische en biologische analyses

De drie cores zijn ieder in plakken van 10 cm verdeeld. Het totaal fosfaat en het organisch stofgehalte als verschil tussen drooggewicht en asvrij drooggewicht zijn van deze plakken bepaald. Deze plakken dienden als fosfaatbron in de AGP-bodemtoetsen. Per kolom zijn 10 bioassays (in tweevoud) uitgevoerd. Van iedere cultuur is na het beëindigen van de toets het chlorofyl- $\alpha$ -gehalte bepaald.

#### Uitvoering algengroei-potentietoets met sediment

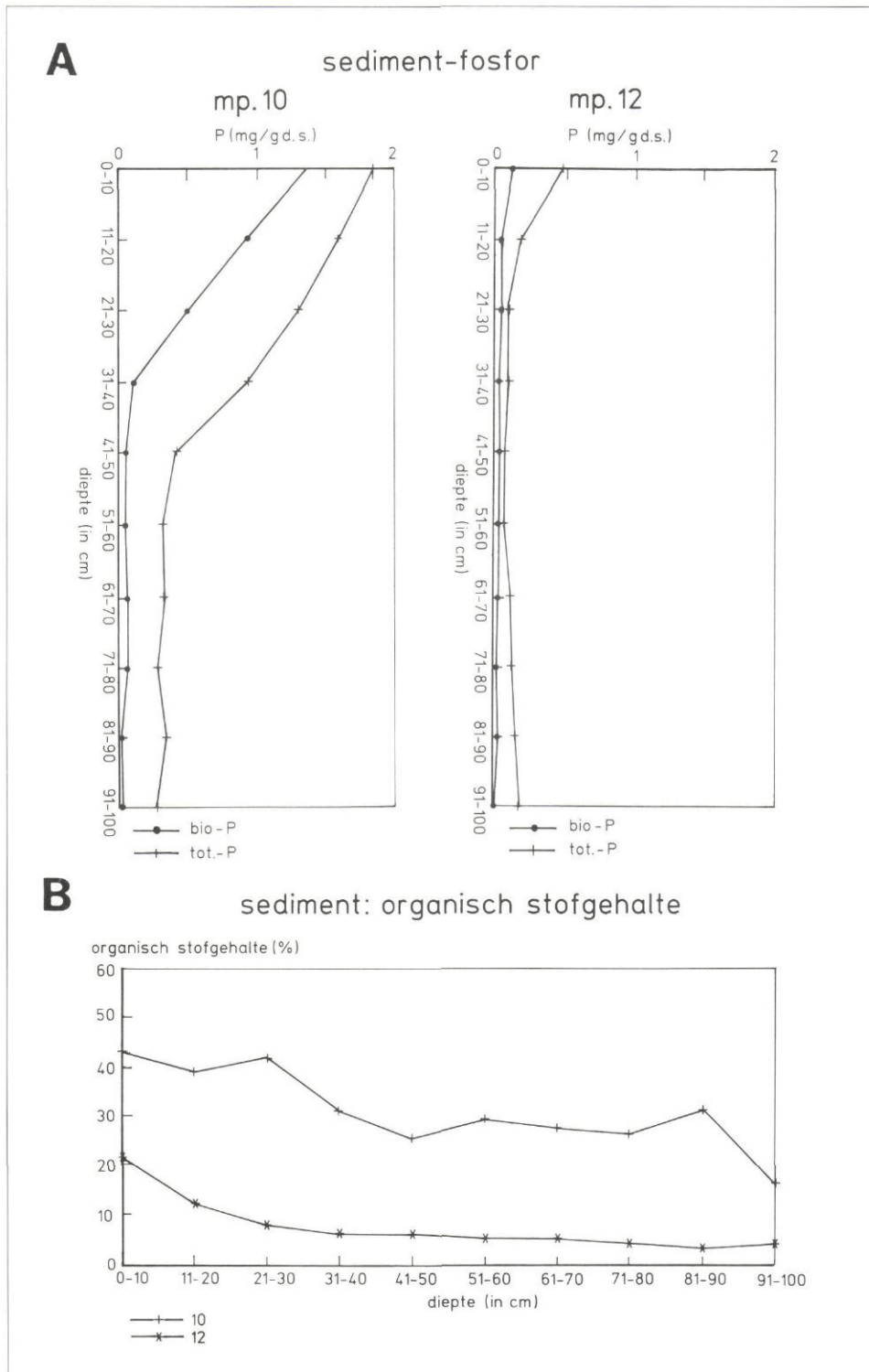
Een suspensie van nat geautoclaveerd sediment, toegevoegd aan P-loos Z8-10% medium [STORA, 1986] in erlenmeyers van 100 ml is beënt met voor de P gehongerde toetsal *Scenedesmus quadricauda*, beginconcentratie  $2 \cdot 10^4$  cel·ml<sup>-1</sup>. De groei van de toetsal wordt nu bepaald door het biobeschikbaar-P afkomstig van het sediment. Om het effect van lichtlimitatie door troebeling door het toegevoegde slib te ondervangen zijn per monster twee verschillende hoeveelheden nat slib toegevoegd (de duplo). Na 10 dagen is de AGP-toets afgebroken en is de chlorofyl- $\alpha$  concentratie bepaald. Omrekening van chlorofyl- $\alpha$  opbrengst naar biobeschikbaar-P is gebeurd door een ijklijn. Deze ijklijn is tegelijkertijd met de AGP-toets bepaald door *Scenedesmus quadricauda* toe te voegen aan Z8-10% met verschillende ortho-P concentraties.

Kweekcondities waren een temperatuur  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , met continue belichting  $100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , waarbij de cultures regelmatig zijn geschud.

#### Resultaten en conclusies

De relatie tussen de diepte van het sediment en het totaal-P-, biobeschikbaar-P- en organisch stofgehalte is voor de bemonsteringslokaties 10 en 12 weergegeven in afbeelding 4. De hier niet





Afb. 4A - Gehaltes aan totaal-fosfaat (tot.-P) en biologisch opneembaar fosfaat (bio-P) als functie van de diepte in het sediment van 40 Mêd. Gehaltes aan biologisch opneembaar fosfaat zijn bepaald met behulp van een AGP-bodem toets.

Afb. 4B - Percentage organische stof als functie van de diepte in het sediment van 40-Mêd.

opgenomen resultaten van bemonsteringslokatie 7 zijn vergelijkbaar met die van bemonsteringslokatie 10. Bij het maken van de afbeeldingen is gebruik gemaakt van de hoogste opbrengst aan chlorofyl- $\alpha$  per duplo. Een afname van het totaal-P en bio-

beschikbaar-P met de sedimentdiepte is op alle drie de bemonsteringslokaties te zien. Stabilisatie van de hoeveelheid P treedt voor de bemonsteringslokaties 7 en 10 op vanaf circa 40 cm diepte, voor bemonsteringslokatie 12 vanaf circa 20 cm diepte. Het verschil tussen totaal-P en

biobeschikbaar-P op de bemonsteringslokaties 7 en 10 is vrijwel onafhankelijk van de diepte; op bemonsteringslokatie 12 is dit minder het geval. Het totaal-P gehalte op bemonsteringslokatie 12 is aanmerkelijk lager dan op de bemonsteringslokaties 7 en 10. Dit gaat gepaard met een relatief laag organisch stofgehalte (uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid droge stof) op deze lokatie. Het organisch stofgehalte neemt op alle bemonsteringslokaties af met de diepte. Al eerder is opgemerkt dat het gebied 40-Mêd in tweeën verdeeld kan worden: west en oost, slechts verbonden door een nauwe doorgang. De instroming van ingelaten boezemwater vindt (vond) plaats via de 40-Mêd-sloot naar het oostelijke deel, waar ook de eutrofiëringsverschijnselen het meest manifest zijn. In dit deel bevindt (bevond) zich ook de meeste bagger. Het westelijk gedeelte bevat relatief helder water en minder bagger en ook enige submerse vegetatie. De resultaten verkregen uit de AGP-bodem bevestigen die 'betere kwaliteit' van het westelijk deel (punt 12) ten opzichte van het oostelijk deel (punten 7 en 10). Met de resultaten van AGP-bodem wordt een indicatie verkregen van op welke plaatsen tot op welke diepte in het sediment biobeschikbaar-P aanwezig is. Het effect van baggeren op de algengroei kan echter moeilijk worden voorspeld. De invloed van het biobeschikbaar-P op de hoogte van de P-concentratie in het bovenstaande oppervlaktewater is met de AGP-bodem niet te berekenen; de flux wordt niet gemeten. Evaluatie van het baggereffect zal te zijner tijd met veldmetingen moeten plaatsvinden. In de periode november '90 t/m maart '91 is 40-Mêd oost (7,25 ha) gebaggerd. Om beïnvloeding van het westelijk deel zoveel mogelijk te vermijden is vooraf een houten damwand aangebracht tussen beide deelgebieden van 40-Mêd, waarbij de bovenkant 0,25 m onder de waterspiegel zit. In het gebaggerde gedeelte is in totaal 46.025 m<sup>3</sup> waterbodem verwijderd, in laagdikte variërend van 0,50 tot 1,0 m. De aanvankelijke opzet was overal circa 0,50 m te baggeren en enkele grotere petgaten 1,0 m te baggeren. Uiteindelijk is 'gevoelsmatig met de stofzuigerbaggertechniek' zoveel mogelijk de losse inerte sliblaag verwijderd met een 'gemiddelde' dikte van 0,63 m. Hiermee is de 0,40 à 0,50 m met verhoogde biobeschikbaar fosfaat (zie afb. 4) zo goed mogelijk verwijderd.

#### 4. Samenhang en nabeschuiving

Met AGP-nat.pop.toetsen wordt informatie verkregen over de potentiële



groeimogelijkheden bepaald door de chemische factoren in het water. Bij de uitvoering van AGP-toetsen blijft onduidelijk of de groeilimitatie wordt veroorzaakt door een echt tekort aan het groeilimiterend nutriënt (een te laag niveau) of aan een overschot van het niet-groeilimiterend nutriënt (een verkeerde N/P verhouding). Effecten van maatregelen die de chemische factoren van het oppervlaktewater beïnvloeden, kunnen uit de resultaten van de bioassays worden afgeleid. Over maatregelen die biologische factoren beïnvloeden zoals actief biologisch beheer wordt geen informatie verkregen.

Bepaling van het groeilimiterende nutriënt alleen op basis van fysisch-chemische gegevens is riskant. Op basis van de gegevens van tabel III kan worden geconcludeerd dat 's zomers de algengroei in Tusken Sleatten en 40-Mêd wordt gelimiteerd door N. Uit tabel VI blijkt in deze gebieden ook P een rol te spelen bij de limitatie van de groei. Chemische analysemethoden maken geen onderscheid tussen de wel en niet voor algen beschikbare hoeveelheid nutriënten. Als referentie in het onderzoek gelden Sânemar (als boezemwater) en 9-Mêd (al langer geïsoleerd). Het groeilimiterende nutriënt in het Sânemar varieert in de seizoenen van P (winter) naar N (najaar, zie tabel VI). N is het gehele jaar door het groeilimiterend nutriënt in 9-Mêd. Van boezem naar geïsoleerde gebieden is een verloop te zien in het groeilimiterende nutriënt van P naar N.

Met deze AGP-toetsresultaten kan een indicatie worden verkregen van het effect van hydrologisch isoleren van de deelgebieden Hoannekrite, Tusken Sleatten en 40-Mêd: door het verdwijnen van de invloed van boezemwater zal het gehele jaar door limitatie van de algengroei door N kunnen optreden, in plaats van ook een limitatie door P.

Door het baggeren van P-naleverend slib wordt de interne P-bron aangepakt. Hierdoor kan het systeem in het meest gunstige geval van N-gelimiteerd in P-gelimiteerd veranderen. 40-Mêd is in de zomer P-gelimiteerd, in de rest van de seizoenen N-gelimiteerd. Of door in 40-Mêd te baggeren en daarmee de 0,40-0,50 m met duidelijk biobeschikbaar P te verwijderen het watersysteem ook in de zomer sterker en in de andere seizoenen geheel P-gelimiteerd is geworden, valt niet te voorspellen. Hiervoor moeten opnieuw AGP-nat.pop. toetsen worden uitgevoerd, nadat de maatregelen zijn uitgevoerd.

In tabel I is een overzicht gegeven van maatregelen die per deelgebied zijn genomen. Maatregelen met effecten op de P-belasting van een gebied zijn vaak relatief eenvoudig uitvoerbaar en effectief. De N-belasting van een gebied is moeilijker te beïnvloeden; diffuse bronnen en bijdrage vanuit de lucht zijn op de schaal van dit gebied moeilijk beheersbaar. In door boezemwater beïnvloede gebieden kan de externe eutrofiëring door P worden teruggedrongen door isolatie van het gebied. Vervolgens kan in al geïsoleerde gebieden de interne eutrofiëring door P worden teruggedrongen door de P-naleverende sliblaag te verwijderen.

In gebieden waar P al het groeilimiterende nutriënt is, kan door uitvoering van actief biologisch beheer het watersysteem over de drempel worden geholpen van de troebele naar de heldere waterfase. Daarom is de volgorde van maatregelen afhankelijk van de mate van groeilimitatie door P van het watersysteem:

1. isoleren
2. baggeren
3. actief biologisch beheer

Wanneer de algengroei in een watersysteem door zowel P als N wordt gelimiteerd leidt iedere aanpak die het niveau van de P- en N-concentratie verlaagt tot verminderde groei. In het geval dat de algengroei wordt bepaald door P leidt aanpak van P-bronnen direct tot verminderde groei. In het geval van N-beperving zal door maatregelen het systeem eerst van N- tot P-gelimiteerd moeten worden omgevormd. Wanneer dit het geval is, mogen effecten van maatregelen die effect hebben op de P-bronnen worden verwacht. Door de opzet van het hier beschreven proefproject integrale eutrofiëringbestrijding kunnen de effecten van verschillende combinaties van maatregelen – isoleren, baggeren, actief biologisch beheer – in de deelgebieden met elkaar worden vergeleken. Door met behulp van AGP-toetsen voor de algenpopulatie en voor de waterbodem de effecten van de maatregelen vast te stellen kan worden bepaald of de voorspellingen gedaan op basis van eerder uitgevoerde AGP-toetsresultaten betrouwbaar zijn.

#### Verantwoording

De auteurs bedanken dr. S. P. Klapwijk (Hoogheemraadschap van Rijnland) voor het kritisch lezen en het leveren van inhoudelijk commentaar op dit artikel en dr. R. M. M. Roijackers (LU Wageningen) voor het ter beschikking stellen van de resultaten van de AGP-bodemtoets.

#### Literatuur

- Beeker, A. E. R. (1989). *Nieuwe waterbodembesteker en de kwaliteitsbevordering van bodemonmonsters*. H<sub>2</sub>O 22 (9): 264-268.
- Bolier, G. *Criteria used to assess nutrient limitation of algae by bioassays*. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: in press.
- Bolier, G. en Veer, B. van der (1992). *Algen-groei-bepalend nutriënt in enkele watersystemen in het gebied 'De Oude Venen'*. TU Delft, 72 pp.
- Claassen, T. H. L. (1989). *De kwaliteit van het aquatisch milieu voor de Otter*. DLN 90 (2): 47-51.
- Claassen, T. H. L. (1992). *Herstelmaatregelen in de Oude Venen als voorbeeld van gebiedsgericht waterkwaliteitsbeheer in Friesland*. CUWVO (1983). *Aanbevelingen voor bestrijding van de eutrofiëring in de Nederlandse oppervlaktewateren*.
- Does, J. van der en Klapwijk, S. P. (1987). *Effects of phosphorus removal on the maximum algal growth in bioassays experiments with water from four Dutch lakes*. Int. Revue ges. Hydrobiol. 72: 27-39.
- Elser, J. J., Elser, M. M., Mackay, N. A. en Carpenter, S. R. (1988). *Zooplankton mediated transitions between N- and P-limited algal growth*. Limnol. Oceanogr. 33 (1): 1-14.
- Grimm, M. P. en Kampen, J. (1988). *Een incentiverend onderzoek naar de visstand, Oude Venen Eemeevroude*. OVB Nieuwegein, 27 pp.
- Grontmij (1991). *Ecologische beheersprogramma's voor laagveenmoerassen in Friesland, met bijlage rapporten*. Leeuwarden/Nieuwegein.
- Haan, H. de en Hosper, U. G. (1988). *Waterkwaliteitsverbetering door hydrologische manipulatie in de Oude Venen, Friesland*. H<sub>2</sub>O 21 (14): 376-381.
- Hosper, U. G. (1989). *Plan tot verbetering van het otterbiotoop in Friesland*. DLN 90 (2): 54-58.
- Hosper, U. G. (1990). *De Alde Feanen, van behoud tot ontwikkeling*. Noorderbreedte, 14: 130-137.
- Klapwijk, S. P., Bolier G. en Does, J. van der (1989). *Algal growth potential tests and limiting nutrients in the Rijnland Waterboard area (The Netherlands)*. In: *Environmental Bioassay Techniques and their application: 189-198*. eds: M. Munawar et al. publ. Kluwer Academic Publ. Dordrecht.
- Lehmacher, C. en Schanz, F. (1989). *Examination of the effect of wastewater on the productivity of lake Zürich water using indigenous phytoplankton batch culture bioassays in: Environmental Bioassay Technique and their application: 229-235*. eds: M. Munawar et al. publ. Kluwer Academic Publ. Dordrecht.
- Provincie Friesland (1988). *Projectvoorstel voor integrale eutrofiëringbestrijding in de Oude Venen, Friesland*. Leeuwarden, 26 pp. met bijlagen.
- Roijackers, R. M. M. (1989). *De Alde Feanen, verslag bodemonderzoek biobeschikbaar- en totaal-fosfor*. LU Wageningen, 5 p.
- Schelske, C. L. (1984). *In situ and natural phytoplankton assemblage bioassays*. In: *algae as ecological indicators: 15-47*, eds. L. E. Shubert, publ. Academic Press, London.
- STORA (1986). *Ontwikkeling van een algengroei-potentietoets voor oppervlaktewater en afvalwater*. Rijswijk, 66 pp. met bijlagen.
- Vries, P. J. R. de en Klapwijk, S. P. (1987). *Bioassays using *Stigeoclonium tenue* Kütz., and *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. as testorganisms, a comparative study*. Hydrobiologia, 153: 149-157.

