

Rol van bodemfosfaten in het eutrofiëringsproces

I. Onderzoek in een proefvijver in het Veluwerandmeer

Inleiding

Vele van de Nederlandse meren ontvangen zeer grote hoeveelheden fosfaat; Kolenbrander (1974) heeft uitgerekend, dat dit tenminste gemiddeld ca. $6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ bedraagt, en uiteraard kunnen in plaatselijke situaties lagere en hogere belastingen voorkomen. Golterman (1970a) berekende voor het Veluwerandmeer een belasting van $3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ en later vermeldt Berger (1975) dat de belasting $4.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ is. Berger geeft niet aan, hoe de belasting gemeten is, zodat het niet duidelijk is of

gen het inkomende water oppervlakkig te spreiden, zodat geen opwoeling van de bodem kan plaatsvinden. Gelijktijdig moet water worden weggepompt en daar de menging uiteraard niet momentaan is valt niet te berekenen hoeveel materiaal is afgevoerd. Als secundair doel werd gesteld na te gaan of — indien opbloei inderdaad plaats vond — er zo vaak zou kunnen worden gespoeld, dat uitputting van de bodem kan optreden. Indien dit immers positieve resultaten zou opleveren, zou overwogen kunnen worden het Veluwerandmeer met behulp van de Lovink intensief door te spoelen en om met behulp van algenbloei de bodem uiteindelijk uit te putten. Een dergelijk uitputtings-experiment kan bovendien aanwijzingen geven over de verwachte duur van een eventuele verbetering na vermindering van de fosfaattoevoer. Het onderzoek werd — mede door pech bij de constructie — pas in juli 1975 gestart en bestrijkt de periode 16 juli-22 oktober 1975. Het werd verricht in samenwerking met de afdeling Waterloopkunde van de Dienst der Zuiderzeewerken, die de proefvijver bouwde en daar apart over zal rapporteren. Het bassin werd zes maal

doorgespoeld met water uit de Hoge Vaart, de eerste maal werd ca. 1.700, later ca. 3.500 m^3 toe- en afgevoerd.

Met behulp van geleidbaarheidsmetingen werd geconstateerd, dat het bassin binnen 24 uur weer volledig gemengd was.

Monstering

Op vijf plaatsen in het bassin (1-5, zie afb. 1) werden vlak onder het oppervlak watermonsters genomen. Op drie van deze plaatsen (I-III) werden af en toe bodemmonsters genomen. Tevens werden watermonsters genomen uit het Veluwemeer (vlakbij de aanlegsteiger van het bassin) en uit de Hoge Vaart (altijd voor het doorspoelen). Watermonsters uit het bassin werden voor en na het doorspoelen genomen.

Bepalingen

De volgende bepalingen werden verricht: *watermonsters*: temperatuur, pH (in het laboratorium), zichtdiepte (secchischijf), geleidbaarheid (Dekker en Faber 1969). Chlorofyl, ortho-fosfaat ($\text{PO}_4\text{-P}$), opgelost fosfaat (P_{diss}), Totaal fosfaat (Tot-P; P in ongefilterd monster) (Golterman (1970b).



F. A. KOUWE
Limnologisch Instituut
Nieuwersluis



H. L. GOLTERMAN
Limnologisch Instituut
Nieuwersluis

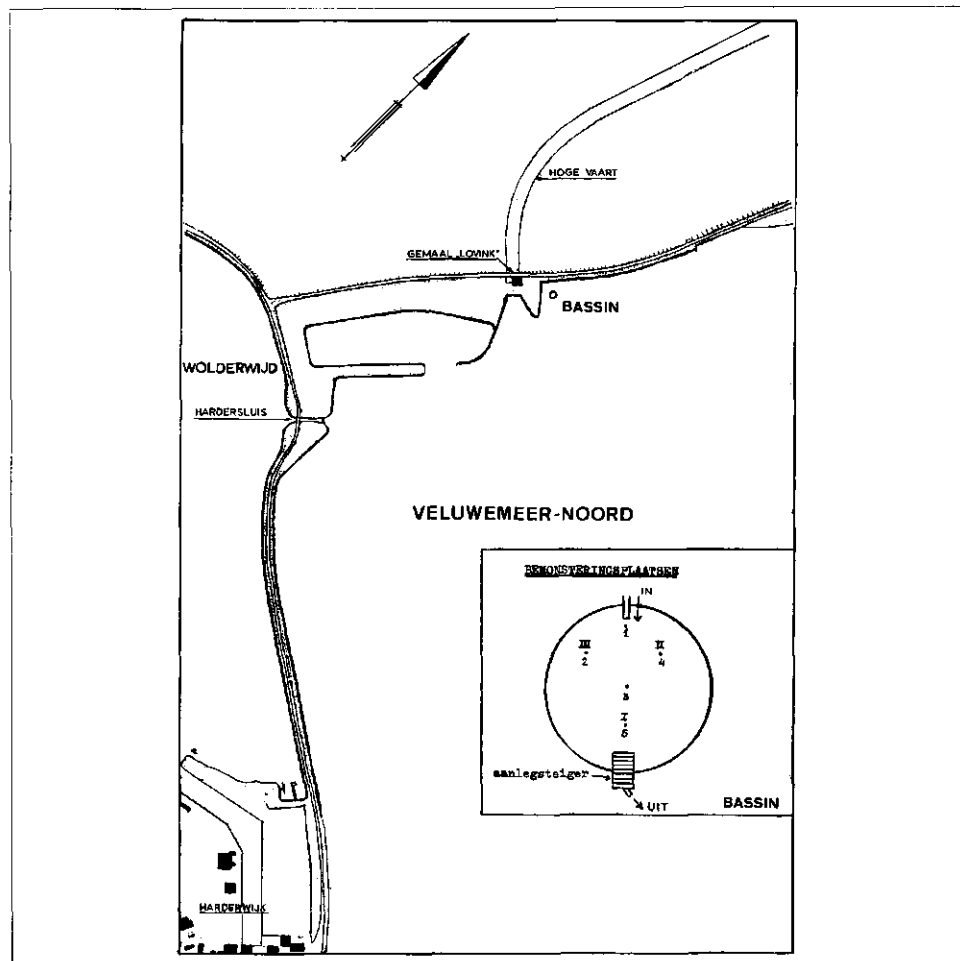
zijn benadering beter was dan die van 1970, of dat er inderdaad een reële vermeerdering plaats vond.

Technisch is het eenvoudig, dit fosfaat voor een groot gedeelte terug te houden en het leek ideaal dit voor het Veluwemeer snel te doen, daar uitsluitend uit een experiment met een heel meer kan blijken of een dergelijke terughouding ook inderdaad tot een afname van de algengroei aanleiding geeft. Er zijn nl. goede gronden voor de vrees, dat zulk een herstel slechts uiterst langzaam zal verlopen, aangezien in ondiepe meren de bodem een potentiële fosfaatbron voor verdere algengroei kan zijn, vooral nadat de toevoer van buiten af is afgesneden. De spectaculaire verbetering van de waterkwaliteit zoals die in diepe meren is gevonden, leidt nogal eens tot de veronderstelling dat dit in ondiepe meren ook zo zal verlopen.

Daar het defosfateren te Harderwijk om onbegrijpelijke redenen nog steeds niet wordt uitgevoerd en het dus nog lang onzeker zal blijven of en hoe snel het Veluwerandmeer daarna zal herstellen, is onderzoek in een proefvijver nabij de Lovink aangevat met als doel na te gaan of de bodemfosfaten inderdaad teruglevering naar het water kunnen veroorzaken en zo ja in welke mate.

De vijver werd derhalve doorspoeld met fosfaat-arm water uit de Hoge Vaart, waardoor het chlorophyl gehalte drastisch werd gereduceerd. Hierbij werd zorggedra-

Afb. 1 - Situatie proefgebied.



Bodemmonsters: Ca-gebonden fosfaat en Fe-gebonden fosfaat (in dit verslag verder aangeduid als Ca- en Fe-PO₄). In laboratoriumkweekproeven met het groenwier *Scenedesmus obliquus* is gebleken dat deze fracties in de modder, bij afwezigheid van opneembaar opgelost fosfaat kunnen dienen als P-bron (Van Riemsdijk, Van Leeuwen, 1973). Deze fracties werden bepaald door continue-extractie van modder in een kolom met 0,01 M CaNTA (pH 6) om Fe-PO₄ te bepalen en vervolgens met 0,01 M NTA (pH 6) om Ca-PO₄ te bepalen (Van Riemsdijk, 1973).

Resultaten

Watermonsters

De resultaten van de wateranalyses uit de Hoge Vaart, bassin en Veluwemeer zijn weergegeven in tabel I.

Hoge Vaart: Uit de getallen voor de Hoge Vaart blijkt dat gedurende het experiment het fosfaatgehalte relatief laag was (9-42 µg PO₄-P/l), evenals het chlorophylgehalte (≤ 35 µg chlorofyl/l) en de pH (gemiddeld 7,7). In tabel I zijn tevens de gemiddelde waarden voor pH, PO₄-P en P_{diss} opgenomen over 1973 (Claessen, 1974). De waarden gedurende de proefperiode in 1975 liggen beduidend lager dan de gemiddelden over 1973. Het water van de Hoge Vaart leent zich derhalve — gezien de relatief lage fosfaatconcentratie — goed voor dit experiment.

Bassin en Veluwemeer: Uit de chlorofylgegevens blijkt, dat een flinke groei van algen — en dus opname van fosfaat — in de beginperiode achterwege bleef. Uit gegevens van het RIZA en uit laboratoriumkweekproeven met de groenalg *Scenedesmus obliquus* bleek dat:

-N in de Hoge Vaart in slechts geringe hoeveelheden aanwezig was (gemeten bij Hoge Vaart/Nonnetjesweg, zie tabel II,

TABEL I - *Chorophyl, fosfaat, pH, temperatuur en zichtdiepte in de Hoge Vaart, het bassin en het Veluwemeer.*

datum	chlorophyl	PO ₄ -P	P _{diss}	Tot-P	pH	temperatuur °C	zichtdiepte cm
		µg/l					
<i>Hoge Vaart</i>							
16-7	35	19	28	56	7,9	16	110
18-8 ¹	24	42	108	129	7,6	19,8	100
1-9	25	25	24	61	8,0	19,4	125—130
16-9	12	15	39	100	7,6	16,6	190
23-9	—	9	50	83	7,3	14,2	90—100
7-10	< 10	13	47	104	7,6	12,9	155
22-10	28	33	40	83	7,8	—	—
		1973: 80	240 ⁵		7,8		
<i>Bassin</i>							
16-7 ²	268	461	518	941	9,5	19	20
18-7 ³	168	162	206	457	8,3	19	30
18-8 ²	206	613	692	946	9,3	20	20
22-8 ³	123	140	161	206	8,4	—	40
27-8 ⁴	143	107	143	319	9,3	—	35
1-9 ²	193	15	44	320	9,2	20,9	20—30
3-9 ³	63	44	60	321	8,2	20,3	55
9-9 ⁴	73	65	82	248	8,9	—	40
16-9 ²	213	< 10	31	303	9,1	16	20—25
18-9 ^{4 3}	68	< 10	18	107	8,2	15,5	40
23-9 ²	96	< 10	43	152	8,7	16	35
25-9 ^{4 3}	42	< 10	40	107	8,0	16	60
7-10 ²	139	< 10	80	242	8,6	13,4	30
9-10 ^{4 3}	54	< 10	45	190	7,7	12,1	65
22-10	180	33	74	364	8,1	9	25—30
<i>Veluwemeer</i>							
16-7	181	213	299	679	—	—	—
18-7	—	—	—	—	—	—	—
18-8	177	240	290	576	8,8	19—20	20
22-8	174	287	329	539	8,7	—	20
27-8	198	317	351	632	9,2	—	—
1-9	172	446	446	738	8,8	20,8	20—30
3-9	163	440	—	672	9,2	21	20
9-9	126	467	—	—	8,5	—	20—25
16-9	183	340	390	705	8,7	16	20—25
18-9	147	305	353	625	—	16	25
23-9	179	324	376	611	8,7	16	25
25-9	132	341	386	—	8,9	16	20
7-10	147	199	276	305	8,2	13,4	20—25
9-10	165	265	—	—	7,9	12,1	20—25
22-10	229	152	165	582	8,6	9,2	25

¹ Gemaal Lovink sinds 1-8 12 dagen in bedrijf geweest.

² Dag waarop doorspoelen begon.

³ Dag nadat doorspoelen was gestopt op de voorgaande dag.

⁴ Dag waarop N werd toegevoegd.

⁵ Opgegeven was hydrolyseerbaar fosfaat: hieraan is het PO₄-P in deze tabel toegevoegd om het aantal opgelost fosfaat (P_{diss}) te krijgen.

TABEL II - *Hoeveelheid stikstof in water van de Hoge Vaart.*

datum	NH ₄ -N	NO ₃ -N
9 juli	afwezig	1,5
23 juli	afwezig	0,2
4 augustus	afwezig	0,6
15 september	0,2	0,4
	mg/l	

terwijl toevoeging van N (in de vorm van KNO₃) de groei van *Scenedesmus obliquus* bevorderde (tabel III).

TABEL III - *Chlorofylgehalte van bassin in water na ongeveer 7 dagen na toevoeging van P of N.*

hoeveelheid in mg/l	P	N	chlorofyl
bassinwater + P	1,0	afwezig	0,036
bassinwater + N	0,1	500	0,487
bassinwater + N + P	1,0	500	1,076

Op 27 augustus werd daarom het bassin bijgemest met KNO₃ (tot 1,7 mg N/l). Deze bemestingen werden herhaald op 9-9 (NH₄NO₃), 18-9 (NH₄NO₃), 25-9 (KNO₃) en 9-10 (NH₄NO₃) (altijd tot 1,7 mg N/l). Door het toevoegen van N wordt in het experiment die situatie nagebootst, die ook in het Veluwemeer zal ontstaan wanneer nl. rioolwater voor lozing wordt gedefosfateerd, terwijl N in grote hoeveelheden wordt geloosd op het meer. In totaal werd zes maal water uitgedompt en gelijktijdig water uit de Hoge Vaart ingelaten. Inderdaad steeg het chlorofylgehalte in de vijver hierna en daalde de Secchischijfdiepte. De gegevens van 22-10 zijn minder betrouwbaar, vanwege een opening van ca. 30 cm

tussen twee drijvers. Hierdoor heeft mogelijkerwijs een uitwisseling van water met het Veluwemeer plaatsgevonden. (De fosfaatgegevens van 22-10 voor het bassin en het Veluwemeer wijzen echter niet in de richting van een intensieve uitwisseling). De toevoeging van N heeft een duidelijk groei bevorderend effect. Daarmee gepaard gaand valt er een sterke daling te constateren in de hoeveelheden PO₄-P, P_{diss} en een stijging van Tot-P in het bassin. Uit tabel IV blijkt dat na bemesting met N het chlorofylgehalte met 200 % toeneemt na zeven of meer dagen. Een periode van vijf dagen bleek te kort te zijn om een aanzienlijke groei te weeg te brengen. Het chlorofylgehalte in het bassin

TABEL IV - Toename in het chlorophylgehalte, PO₄-P en Part-P in de tijdvakken na de doorspoelingen.

tijdvak na doorspoeling	chlorophyl		PO ₄ -P		Part-P		aantal dagen na N toevoeging dat chlorophyl bepaald werd
	toename µg/l	toename in %	toename µg/l	toename in %	toename µg/l	toename in %	
1. 18-7/18-8	168 → 206	23	451	278	3	1	—
2. 22-8/1-9	123 → 193	57	— 125	— 89	231	513	5
3. 3-9/16-9	63 → 213	238	— 34	— 77	11	4	7
4. 18-9/23-9	68 → 96	41	0	0	20	23	5
5. 25-9/7-10	42 → 139	231	0	0	95	142	12
6. 9-10/22-10	54 → 180	233	ca. 23	—	145	100	13

is tijdens de proefperiode niet meer terug gegaan naar het oorspronkelijke niveau van 16-7 doch bereikte op 18-8, 16-9 waarden die hoger lagen dan in het Veluwemeer. Op 23-9 was dit in het bassin lager en op 7-10 was dit ongeveer gelijk aan het Veluwemeer. Inhomogene verdeling van fytoplankton verklaart vermoedelijk de hoge aanvangswaarde van het chlorofyl. De concentraties van PO₄-P en P_{diss} namen tijdens het experiment af tot lage waarden, terwijl in dezelfde periode de concentratie van PO₄-P en P_{diss} in het Veluwemeer hoog bleven. Uit tabel IV blijkt ook dat de toename van het gesuspendeerde fosfaat Part-P (Tot-P-P_{diss}) niet gedekt wordt door een equivalente afname in PO₄-P. In de periode na doorspoeling 4 en 5 is de verandering in PO₄-P nul, terwijl Part-P toeneemt: 22 % en 142 % respectievelijk. Deze toename van Part-P is alleen te verklaren wanneer de daarvoor benodigde P uit de bodem komt.

Bodemmonsters

Een toplaag van ca. 2 cm (A) en twee daar onder liggende fracties B en C (ieder ook ca. 2 cm dik) werden onderzocht op de hoeveelheid Fe-PO₄ en Ca-PO₄. Gedurende het experiment neemt de hoeveelheid Fe-PO₄ per gram droge modder (gedroogd bij 120 °C) af van 190 ± 10 µg tot 82 µg P. De grootste afname tussen 18-8 en 1-9 gaat gepaard met de grootste toename in de hoeveelheid Part-P (513 %). Na 1-9 blijft de hoeveelheid Fe-PO₄ vrijwel constant. In de periode 25-9/7-10 neemt de hoeveelheid Part-P weer sterk toe (142 %, tabel IV), terwijl het Ca-PO₄ in de modder dan voor de eerste maal een duidelijke afname vertoont van 163 tot 114 ± 10 µg (men moet aannemen dat een verandering van 10 - 20 % geen reële verandering is, daar de bemonstering nooit op precies dezelfde plaats geschiedt en de verdeling van het fosfaat over de modder waarschijnlijk niet homogeen is). Tot minstens 6 cm diep komt Fe-PO₄ uit de modder vrij. Over de periode 16-7/16-9 nam de hoeveelheid Fe-PO₄ af met ca. 62 %: A 49 %, B 74 %, C 67 %.

De waarden tot 16-9 van het Ca-PO₄ suggereren een konstant blijven van deze fractie, zowel voor elk van de drie lagen als voor de gehele laag van 6 cm. De verandering in de periode 16-9/7-10 is daarentegen vrij groot: een afname van 37 %, A 31 %, B 31 %, C 51 %.

De afname in het totaal van Fe-PO₄ en Ca-PO₄ bedraagt over de periode 16-7/7-10 ca. 40 %. Ruwweg kan worden berekend, dat ongeveer 1000-1600 mg P per m² uit de sedimenten is verdwenen. De som van de stijging van Tot-P in het water na het doorspoelen bedroeg ongeveer 1200 mg.

Conclusies en voortzetting onderzoek

Uit de in dit experimenteel onderzoek verkregen resultaten valt af te leiden, dat het mogelijk is om via doorspoeling met fosfaatarm polderwater het in het slib terecht gekomen fosfaat, weer een biologische functie te laten vervullen; in die zin dat het weer wordt opgenomen door het fytoplankton.

Dit betekent dat dit slib een potentiële eutrofiërende werking kan hebben na vermindering van de toevoer. Het betekent ook, dat als deze algen kunnen worden 'weggespoeld' er uiteindelijk een uitputting zal plaats vinden.

Inderdaad werd geconstateerd dat het in het bassin aanwezige bodemslib na vijf doorspoelingen in de periode 16-7/7-10 fosfaat-arter was geworden, terwijl de hoeveelheid algen (gemeten als chlorofylgehalte) beduidend toenam. Het valt op, dat dit zelfs in de periode 9/10 tot 22/10 geschiedde (54 → 180 mg · m⁻³). Tevens valt het op, dat de toename van de hoeveelheid chlorofyl in overeenstemming is — vooral aan het einde van de proefperiode — met de toename van de hoeveelheid Part-P.

Het bodemslib is armer aan fosfaat geworden; in de bovenste 6 cm is een reductie van 62 % van het Fe-gebonden fosfaat geconstateerd, welke werd gerealiseerd na drie doorspoelingen (periode 16-7/16-9). Een reductie van 37 % van het Ca-gebonden

fosfaat in de bovenste 6 cm slib werd in de periode 16-9/7-10 (doorspoelingen 4 en 5) teweeg gebracht. Overeenkomstig met onze laboratorium-experimenten blijkt Fe-PO₄ beter opneembaar dan Ca-PO₄. De totale afname over de periode 16-7/7-10 voor de som van deze beide fracties bedroeg ca. 40 %.

Doordat na oktober door lichtgebrek geen duidelijke algengroei meer mogelijk is, werd besloten de vijver te demonteren voor noodzakelijke reparaties. In het voorjaar zal dan blijken of de bodem weer opnieuw is verrijkt, of dat een verdere uitputting kan worden voortgezet.

We hopen dat financiële steun gevonden kan worden om in de grote vijver twee kleinere vijvers in te bouwen.

De eerste zal dan niet met extra stikstof worden bemest om na te gaan of — zoals verwacht kan worden — zich stikstof bindende blauwwier populaties gaan ontwikkelen.

Daar de proef in 1975 zo laat startte kan daar niet op gewacht worden. In de tweede vijver zou dan in het geheel niets moeten gebeuren (ook geen doorspoeling) om na te gaan of het potentieel aanwezige fosfaat wellicht geleidelijk in onopneembare verbindingen wordt omgezet.

Hieruit zal dan een voorzichtige schatting kunnen worden gemaakt over het verloop en duur van een eventuele verbetering na stopzetten van de toevoer zonder doorspoeling.

Literatuur

- Berger, C. (1975). *De eutrofiëring en het voorkomen van Oscillatoria agardhii gom. in de randmeren in Flevoland*, H₂O, 8: 340-350.
- Claessen, F. A. M. (1974). *Het fosfaat en ijzergehalte van de Hoge Vaart in Flevoland tussen de gemalen Colijn en Lovink in de jaren 1967 tot en met 1973*. Nota 74-2, Dienst Zuiderzeewerken.
- Dekker, H. G. Faber, Th. (1969). *New portable, battery powered instruments for hydro(geo)logical fieldwork*. Geologie en Mijnbouw, vol. 48 (2) p. 240-246.
- Dienst Zuiderzeewerken (1974). Nota B74-2.
- Golterman, H. L. (1970b). *Methods for chemical analysis of fresh waters*. IBP Handbook no. 8.
- Golterman, H. L. (1970a). *Mogelijke gevolgen van de fosfaat-eutrofiëring van het oppervlaktewater*. H₂O, 3: 209-213.
- Kolenbrander, G. J. (1974). *Een schatting van de fosfaataccumulatie in Nederland in 1970*. Rapport 10-74. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.
- Leeuwen, L. J. van (1973). *Doctoraalverslag, Limnologisch Instituut, Nieuwersluis*.
- Riemsdijk, W. van (1973). *Doctoraalverslag, Limnologisch Instituut, Nieuwersluis*.

