

De ontwikkeling van richtlijnen voor fosfaatconcentratie en fosfaatbelasting voor Nederlandse wateren

Voordracht uit de 13de vakantie cursus in behandeling van afvalwater: 'De belasting van het milieu door fosfaten en verspreide lozingen', die op 30 en 31 maart 1978 werd gehouden aan de TH Delft.

1. Inleiding

Welke fosfaatconcentraties en welke fosfaatbelastingen dienen te worden nagestreefd in de Nederlandse meren en plassen?

Het ontbreken van een bevredigend antwoord op deze vraag is een van de redenen dat tot heden de aanpak van de fosfaatlozingen niet op grote schaal van de grond is gekomen. Deze publikatie tracht een bijdrage te leveren tot de ontwikkeling van fosfaatrictlijnen.

Een andere belangrijke oorzaak voor de impasse in de fosfaataanpak schuilt in de



IR. S. H. HOSPER

hoofdafdeling Oppervlaktewater
Rijksinstituut voor Zuivering
van Afvalwater

problematiek van de financiering van de maatregelen. Dit onderwerp wordt uitgebreid behandeld in een recent verschenen nota van de Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (CUWVO 1978) en blijft hier buiten beschouwing.

2. Ontwikkeling fosfaatrictlijnen

Het antwoord op de in de inleiding gestelde vraag is in de eerste plaats afhankelijk van de doelstellingen van het waterkwaliteitsbeheer in relatie tot de gegeven natuurlijke gesteldheid van het gebied waarin de wateren zijn gelegen.

Wanneer in dit artikel sprake is van Nederlandse meren en plassen dan worden daarmee bedoeld de typisch Nederlandse plassen-gebieden in het lage deel van het land, plassen die van nature in het algemeen mesotroof tot eutroof genoemd kunnen worden. De min of meer natuurlijke situatie in deze wateren wordt gekenmerkt door vrij helder water met op de bodem van de uitgestrekte ondiepe zones een uitgebreide bodemvegetatie en veelzijdig samengestelde bodemfauna. Een dergelijke situatie was tot voor betrekkelijk kort (10-30 jaar) tamelijk algemeen. Hierin is drastisch verandering gekomen als gevolg van de eutrofiëring.

De omvang en de aard van het eutrofiëringprobleem is duidelijk naar voren gekomen in de resultaten van de eerste eutrofiëring-enquête onder de waterkwaliteitsbeheerders, ingesteld door de eerdergenoemde Coördinatiecommissie voor de Uitvoering van de WVO (CUWVO 1976).

In vrijwel alle merengebieden is het doorzicht als gevolg van overmatige algengroei de laatste jaren sterk afgenomen. Hierdoor is de bodembegroeiing op veel plaatsen

vrijwel verdwenen en is de bodemfauna sterk verarmd.

Door de aantasting van het bodemleven kan de eutrofiëring bovendien schadelijke gevolgen hebben voor vissen en watervogels. Om nu tot richtlijnen te komen voor fosfaat zal eerst de kwaliteitsdoelstelling geformuleerd moeten worden.

Een mijns inziens in vele gevallen werkbaar criterium hiervoor is het doorzicht van het water, gemeten met de Secchi-schijf. Het doorzicht is voor het ondiepe Nederlandse oppervlaktewater van essentieel belang voor het aquatische ecosysteem, is voor de beleevingsfunctie van oppervlaktewater van grote waarde, zeer eenvoudig te bepalen en spreekt bovendien aan bij het publiek. Voor bepaalde meren zal het doorzicht niet als criterium hanteerbaar zijn, namelijk daar waar het doorzicht sterk wordt beperkt door andere oorzaken dan algengroei, bijvoorbeeld door de opwoeling van bodemslib.

Een kwaliteitsdoelstelling voor doorzicht zal via de algenbiomassa moeten worden gekoppeld aan een na te streven fosfaatconcentratie en fosfaatbelasting. Deze koppeling kan uiteraard pas gelegd worden als er inzicht bestaat in de volgende relaties (waarbij als maat voor de algenbiomassa het gehalte aan chlorophyl-a wordt gehanteerd):

1. Relatie doorzicht-chlorophylconcentratie
2. Relatie chlorophylconcentratie-totaal fosfaatconcentratie
3. Relatie totaal fosfaatconcentratie-totaal fosfaatbelasting.

Uitgangspunt voor de redenering is de doelstelling voor het doorzicht. Welk doorzicht, bijvoorbeeld gemiddeld per zomerhalfjaar (april t/m september) moet worden nagestreefd? Voor Nederlandse meren en plassen zal mijns inziens een gemiddelde van 100-150 cm gunstige mogelijkheden bieden voor een gevarieerd bodemleven. Hieronder zal nader worden ingegaan op de drie genoemde relaties waarbij eerst de theoretische aspecten aan de orde komen waaraan vervolgens praktijkresultaten zullen worden getoetst.

De gegevens van Nederlandse wateren zijn in het kader van een tweede eutrofiëring-enquête van werkgroep VI van de CUWVO ingezameld en afkomstig van de verschillende regionale waterkwaliteitsbeheerders (Friesland, Groningen, Uitwaterende Sluizen Kennemerland en West-Friesland, Rijnland, Utrecht, West-Overijssel en Amstel en Gooiland) van het Gemeentelijk Centraal Milieulaboratorium Amsterdam, het Limnologisch Instituut Oostzee en Rijkswaterstaat (RIZA en Deltadienst afd. Milieu-onderzoek).

Over de resultaten van deze enquête die

TABEL I - *Overzicht gebruikte gegevens*

I. Resultaten tweede eutrofiëring-enquête van CUWVO-VI voor totaal-P, chlorophyl en doorzicht. Gegevens zijn gemiddelden per meer of meerdeel voor het zomerhalfjaar 1977.

II. Overige gegevens ontleend aan Golterman (1976) voor Friese meren (zomergemiddelde 1972) en Zweep (1976) voor Zuidlaardermeer (zomerhalfjaargemiddelde voor 1975).

	totaal-P mg/l	chloro- phyl mg/m ³	door- zicht cm Secchi
I.			
Kleine IJsselmeer-noord	0.22	98	77
Kleine IJsselmeer-midden	0.24	105	82
Kleine IJsselmeer-zuid	0.33	75	96
Markermeer	0.17	61	58
IJmeer	0.20	52	70
Gooimeer	0.72	182	42
Eemmeer	1.01	225	29
Wolderwijd-Nuldernauw	0.30	184	31
Veluwemeer	0.42	218	28
Drontermeer	0.41	256	30
Ketelmeer	0.52	79	61
Zwarte Meer	0.45	299	33
Mooie Nel	1.96	60	60
Nieuwe Meer (Rijnland)	0.46	16	166
Westeinder Plassen	0.31	55	52
Langeraarse Plassen	0.69	145	26
Nieuwkoopse Plassen	0.26	87	50
Reeuwijkse Plassen	0.20	98	47
Kager Plassen	0.46	28	73
Braassemmermeer	0.52	19	92
De Bijlen	1.29	21	100
Zijdelmeer	0.59	198	30
Wijde Blik	0.18	17	135
Naardermeer	0.06	4	105
't Hol	0.31	20	125
Spiegel en Blijkpolder	0.05	9	80
't Wijde Gat	0.62	240	25
Bullewijker Plas	0.05	10	207
Gaasperplas	0.13	3	100
Kinselmeer	0.45	183	18
Barnegat	0.71	285	11
Uitdammer Die	0.65	236	12
Holysloter Die	0.68	268	14
Ransdorper Die	0.65	258	14
Nwe Meer (GCML-A'dam)	0.40	38	43
Sloterplas	1.13	21	107
Amstelmeer	0.33	110	44
Alkmaardermeer	0.40	50	118
De Poel en 't Zwet	0.59	439	16
Twiske	0.08	10	220
De Wielen	0.08	24	70
Wijde Wormer	0.63	261	25
Beulaker- en Belterwijde	0.13	173	38
Slotermeer	0.19	105	39
Tjeukemeer	0.20	90	45
II.			
Bergumermeer	0.29	70	
De Leyen	0.57	105	
Princhehof	0.23	77	
Wijde Ee	0.22	63	
Pikmeer	0.19	53	
Sneekermeer	0.22	60	
Langweerder Wielen	0.26	75	
Coeverdormeer	0.19	87	
Heegmeer	0.31	170	
Fluessen	0.32	163	
Slotermeer	0.23	133	
Brandmeer	0.18	89	
Grote Brekken	0.15	96	
Zuidlaardermeer	0.35	136	23

Gegevens van Naardermeer, Spiegel- en Blijkpolder en Gaasperplas zijn niet opgenomen in de regressie-analyse voor de relatie chlorophyl-doorzicht.

betrekking had op de situatie in het zomerhalfjaar van 1977 is een uitgebreidere rapportage in voorbereiding bij het RIZA. Bovendien is gebruik gemaakt van gegevens van de Friese meren in de zomer van 1972 (Golterman 1976) en van het Zuidlaardermeer in het zomerhalfjaar 1975 (Zweep 1976). Tabel I geeft een volledig overzicht van de gebruikte gegevens.

3. Relatie doorzicht-chlorophylkonzentratie

Het verloop van de lichtintensiteit met de waterdiepte verloopt volgens een eerste orde reaktie:

$$\frac{dI}{dz} = -k \cdot I \tag{1}$$

waarin I = lichtintensiteit, z = diepte en k = extintiecoëfficiënt.

Integratie van (1) levert op:

$$I_z = I_0 \cdot e^{-k \cdot z} \tag{2}$$

waarin I_z = lichtintensiteit op diepte z en I₀ = lichtintensiteit juist onder het wateroppervlak.

De extintiecoëfficiënt k kan opgebouwd worden gedacht uit twee termen k_w en k_b, waarbij k_w betrekking heeft op de extintie (lichtuitdoving) zonder algen en k_b op de extintie als gevolg van de aanwezigheid van algen.

k_w zal voornamelijk worden bepaald door de kleur van het water (aanwezigheid humusverbindingen) en door de eventuele opwoeling van bodemslib.

k_b zal afhankelijk zijn van de algendichtheid en kan worden geschreven als α · CHL (Wet van Beer) waarin α een konstante is die wordt bepaald door de optische eigenschappen van de algen en CHL is de chlorophyl-a-konzentratie.

Vergelijking (2) kan nu herschreven worden als

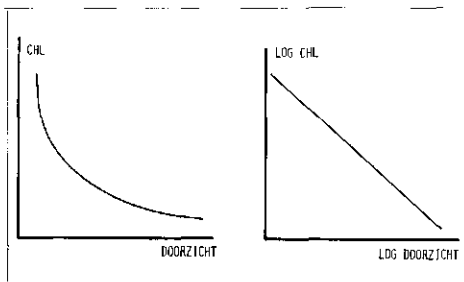
$$\ln \frac{I_0}{I_z} = (k_w + \alpha \cdot CHL) \cdot z \tag{3}$$

Wanneer nu voor z de doorzichtdiepte S wordt ingevuld en voor I_z de lichtintensiteit op diepte S dan ontstaat

$$S = \frac{\ln \frac{I_0}{I_s}}{k_w + \alpha \cdot CHL} \tag{4}$$

I_s is ongeveer 10 % van I₀ (Hutchinson 1957, Tyler 1968) en kan als konstant worden beschouwd (Carlson 1977) zodat vergelijking (4) uiteindelijk kan worden geschreven als

$$S = \frac{\ln 10}{k_w + \alpha \cdot CHL} \tag{5}$$

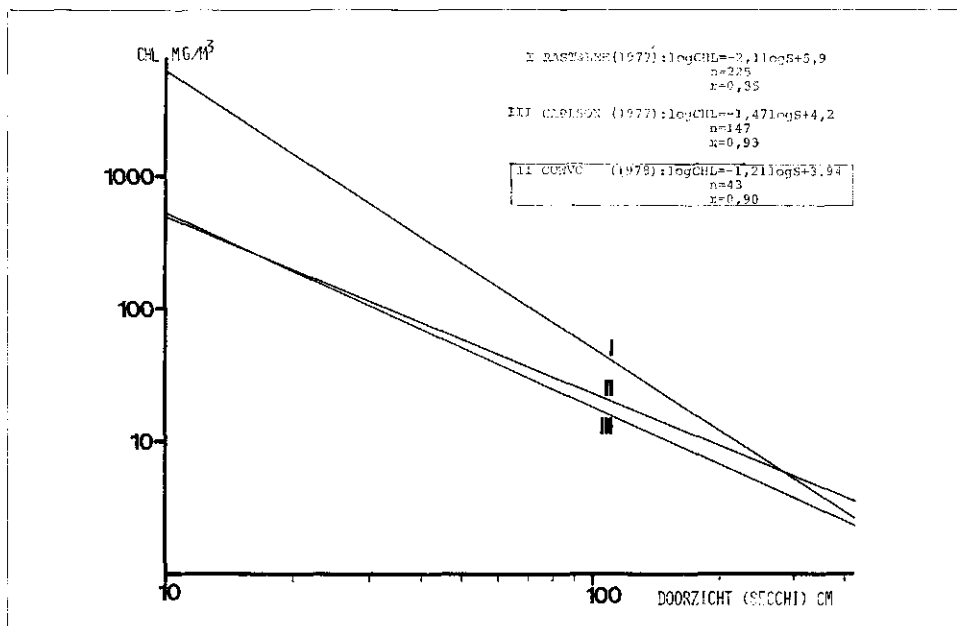


Afb. 1 - Theoretisch verband tussen chlorophyl-konzentratie en doorzicht.

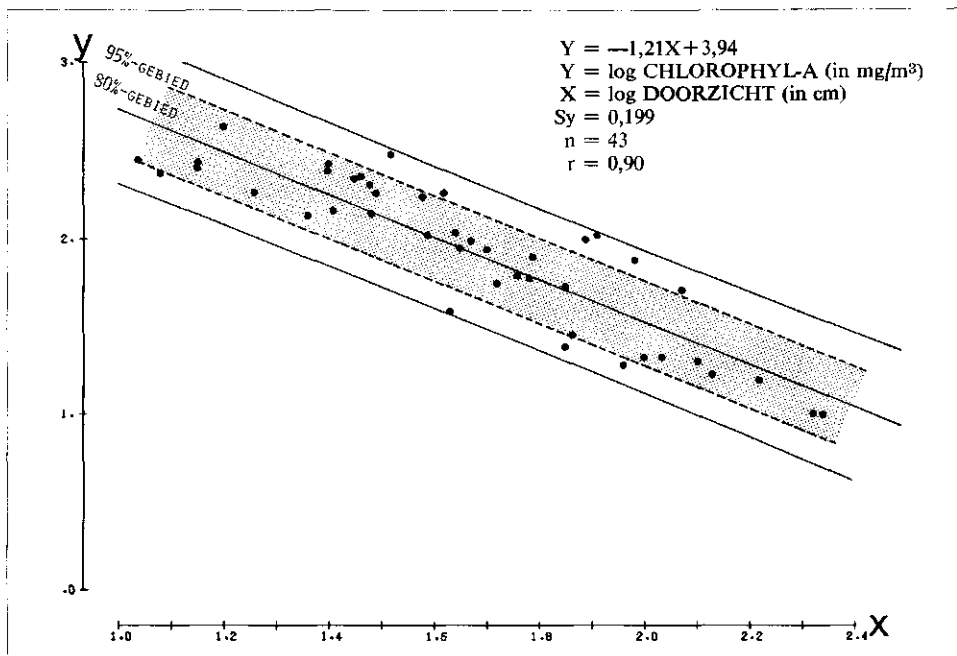
Dit betekent dat voor meren waarvoor k_w klein is ten opzichte van k_b, en dat is in het zomerhalfjaar in het algemeen het geval, het verband tussen de (gemiddelde) chlorophylkonzentratie en het (gemiddelde) doorzicht kan worden beschreven door een hyperbool en bij invoering van een dubbel-logaritmische schaal door een rechte lijn (afbeelding 1).

Het is interessant om de beschikbare gegevens aan de theorie te toetsen. In afbeelding 2 zijn de resultaten van een regressie-

Afb. 2 - Verband tussen chlorophylkonzentratie en doorzicht voor Noord Amerikaanse en Nederlandse meren. n = aantal waarnemingen (meren); r = korrelatiecoëfficiënt; CHL = chlorophylkonzentratie; S = doorzicht.



Afb. 3 - Verband tussen chlorophylkonzentratie en doorzicht voor 43 Nederlandse meren en plassen, gemiddeld voor zomerhalfjaar 1977. n = aantal meren; r = korrelatiecoëfficiënt; S_y = standaardafwijking in y-richting.



analyse weergegeven van 43 Nederlandse wateren en van enkele honderden Noord-Amerikaanse meren.

Tamelijk hoge korrelatiecoëfficiënten worden gevonden en er bestaat vooral tussen de lijn van Carlson (1977) en de Nederlandse gegevens een goede overeenstemming.

In afbeelding 3 zijn de resultaten voor de 43 Nederlandse wateren aangegeven. De grijze balk geeft het 80%-betrouwbaarheidsgebied aan; dat wil zeggen dat bij een bepaald doorzicht een chlorophylgehalte hoort dat met een kans van 80 % valt in de range aangegeven door beide onderbroken lijnen. Wanneer nu als streefwaarde voor het doorzicht, gemiddeld per zomerhalfjaar, de gestelde 100-150 cm wordt aangehouden dan kan het bijbehorende chlorophylgehalte, met een zekere spreiding, worden berekend (tabel II).

TABEL II.

doorzicht	chlorophyl	80 %-gebied
100 cm	33	19-59 mg/m ³
150 cm	21	12-36 mg/m ³

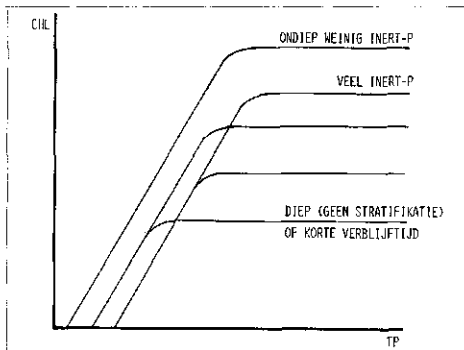
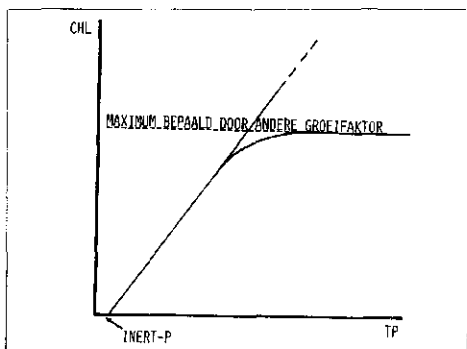
4. Relatie chlorophylkonsentrasië-fosfaat-konsentrasië

In meren waar de algendichtheid wordt gelimiteerd door het fosfaatgehalte kan een verband worden verwacht tussen de totaal fosfaatkonsentrasië en de chlorophylkonsentrasië, beide gemiddeld bijvoorbeeld per zomer of per zomerhalfjaar.

In de literatuur wordt de grens tussen oligotrofe meren en eutrofe meren in het algemeen gelegd bij een gemiddelde konsentrasië van 0,01-0,02 mg P/l (Sawyer 1947, Vollenweider 1968, 1969, 1974, 1975, 1976).

Het hierbij behorende chlorophylgehalte, gemiddeld in de zomer, bedraagt volgens Dillon & Rigler (1974) slechts enkele mg/m³. In de van nature tamelijk voedselrijke Nederlandse meren zijn hogere algendichtheden normaal en dus ook hogere fosfaatgehalten. Het verband tussen de gemiddelde gehalten

Afb. 4 - Schematisch verband tussen de totaal-P konsentrasië en de chlorophylkonsentrasië, gemiddeld per zomerhalfjaar. Inert-P is niet voor algen beschikbaar fosfaat.



Afb. 5 - Schematisch verband tussen de totaal-P konsentrasië en de chlorophylkonsentrasië, gemiddeld per zomerhalfjaar, voor verschillende typen van meren.

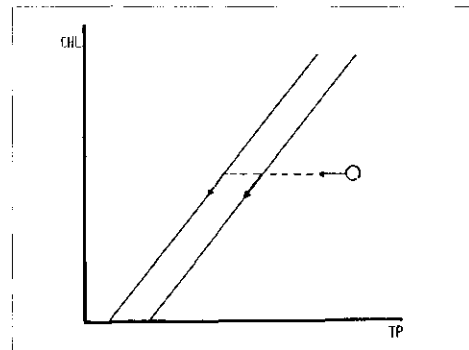
Inert-P is niet voor algen beschikbaar fosfaat.

aan totaal fosfaat en chlorophyl-a kan schematisch als in afbeelding 4 worden weergegeven.

Een hoger gemiddeld totaal-P gehalte betekent een hoger gemiddeld chlorophylgehalte in P-gelimiteerde meren.

Meren waarvan de gemiddelde algenbiomassa beperkt wordt door de beschikbare hoeveelheid fosfaat vinden in deze grafiek een plaatsje op de schuine lijn.

Meren rechts van de schuine lijn hebben een

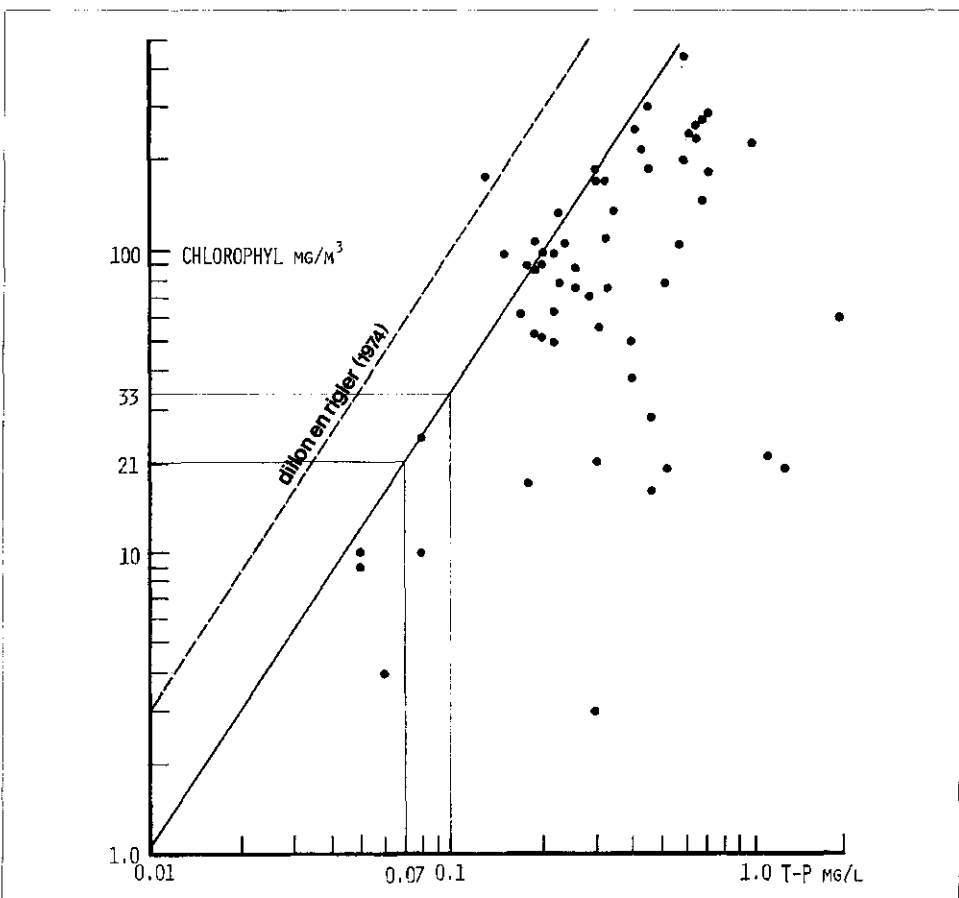


Afb. 6 - Schematisch verband tussen de totaal-P konsentrasië en de chlorophylkonsentrasië in fosfaat gelimiteerde meren. Aangegeven is de verplaatsing van de positie van een bepaald meer onder invloed van een teruglopend fosfaatgehalte.

overschot aan fosfaat. Een andere factor is kennelijk beperkend geworden. Bijvoorbeeld stikstof, de lichtvoorziening of de verblijftijd.

In de volgende afbeelding (afb. 5) zijn de verbanden iets genuanceerder aangegeven. Verschillende schuine lijnen zijn getekend. De afsnijding van de x-as geeft de hoeveelheid P aan die niet voor algen beschikbaar is (inert-P). Dit kan bijvoorbeeld kleifosfaat of humusfosfaat zijn. We zien tevens dat de

Afb. 7 - Verband tussen de totaal-P konsentrasië en de chlorophylkonsentrasië voor Nederlandse wateren. 45 meren gemiddeld voor zomerhalfjaar 1977, 13 meren gemiddeld voor zomer 1972 en 1 meer gemiddeld voor zomerhalfjaar 1975 (zie tabel I). De getrokken lijn geeft ongeveer de maximale verhouding aan. De onderbroken lijn is volgens Dillon & Rigler (1974).



lijnen op verschillende nivo's afvlakken.

Jedere curve stelt een groep meren voor van één bepaald type.

Diepe meren zonder stratifikatie of gestratificeerde meren met een vrij diepe mengzone (epilimnion) bereiken al gauw het maximale chlorophylgehalte omdat de lichtvoorziening reeds bij lage algendichtheden beperkend wordt. Evenzo zullen meren met zeer korte verblijftijden lage plafondwaarden voor chlorophyl vertonen, tenzij de algen van elders worden aangevoerd.

Ondiepe voedselrijke meren met voldoende lange verblijftijd (meer dan enkele weken) kunnen de hoogste chlorophylgehalten bereiken.

In afbeelding 6 is het effect van fosfaat-sanering zichtbaar gemaakt. Een meer is ingetekend met een bepaald gemiddeld totaal-P gehalte en chlorophylgehalte. Het effect van een teruglopend fosfaatgehalte op het gehalte aan chlorophyl is met pijlen aangegeven. Duidelijk is dat het effect van de fosfaatsanering pas inzet zodra de positie van het meer samenvalt met de schuine lijn, die immers de verzameling vormt van P-gelimiteerde meren. Met andere woorden: eerst moet het overschot aan P worden weggewerkt, zodat P weer beperkend wordt voor de algenbiomassa. In meren met relatief veel inert-P zal dit bij hogere totaal-P gehalten het geval zijn dan in meren met weinig inert-P.

Vervolgens gaan we over naar de praktijk-resultaten.

In afbeelding 7 zijn het gemiddelde totaal-P gehalte en het gemiddelde chlorophylgehalte aangegeven voor 59 Nederlandse wateren. De gestreepte lijn is de lijn volgens Dillon & Rigler (1974) bepaald voor P-gelimiteerde meren in Noord-Amerika en Japan. De dikke lijn geeft ongeveer de maximale verhouding aan voor de Nederlandse meren en kan worden opgevat als de verzameling van P-gelimiteerde meren.

De Nederlandse lijn ligt duidelijk onder de Amerikaanse lijn. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken aan te wijzen:

1. De chlorophylwaarden van Dillon & Rigler hadden betrekking op de zomer en niet op het zomerhalfjaar.
2. In Nederland is waarschijnlijk de hoeveelheid niet in algen gebonden fosfaat groter als gevolg van de aanwezigheid van meer klei en humus e.d. in het water. Wat verder uit deze afbeelding kan worden opgemaakt is dat vrij veel punten ver van de lijn afliggen. Dat betekent dat onder de huidige omstandigheden andere factoren kennelijk de biomassa beperken. De meeste meren blijken een overschot aan P te hebben.

Welke totaal fosfaatkonzentraties zijn nu aanvaardbaar bij een doorzichtgemiddelde

TABEL III.

gemiddeld per zomerhalfjaar:	doorzicht	chlorophyl	(80%-gebied)	totaal-P	(80%-gebied)
100 cm	33	(19-59) mg/m ³	0,10	(0,05-0,11) mg/l	
150 cm	21	(12-36) mg/m ³	0,07	(0,07-0,14) mg/l	

van 100-150 cm. Dat kan worden afgelezen uit de getrokken lijn in afbeelding 7 en geeft het volgende resultaat (tabel III).

Hierbij moet direct worden opgemerkt dat de lijn waarop deze getallen zijn gebaseerd nog geenszins eenduidig is vastgelegd. Door de introductie van nieuwe gegevens vooral van meren waarvan bekend is dat fosfaatbeperking optreedt, maar ook van andere zomerhalfjaren, kan meer zekerheid worden verkregen over de waarde van deze lijn. Meren waarin relatief veel inert-P aanwezig is kunnen reeds bij hogere fosfaatgehalten voldoen aan de streefwaarde voor het doorzicht. Het is echter ook mogelijk dat door uitsluitend natuurlijke oorzaken (bijv. slibopwoeling) een doorzicht van 100-150 cm überhaupt niet haalbaar is. In die gevallen is het doorzicht zoals reeds opgemerkt onder 2 geen goed criterium voor de eutrofiëringstoestand en is het waarschijnlijk beter om hiervoor het chlorophylgehalte te hanteren.

5. Relatie fosfaatkonzentratie-fosfaatbelasting

Het is in dit verband belangrijk om te benadrukken dat de algenbiomassa, in door fosfaat gelimiteerde meren, primair is gekorreleerd met de totaal-P concentratie en niet met de totaal-P belasting.

De relatie tussen concentratie en belasting is echter wel van groot belang omdat de belasting veel gemakkelijker dan de concentratie kan worden voorspeld bij de uitvoering van verschillende saneringsmaatregelen (Vollenweider & Dillon 1974).

De belasting vormt de stuurvariabele voor de waterbeheerder, maar voor de algenbiomassa gaat het om de concentratie. Door welke factoren wordt de relatie concentratie-belasting bepaald? Fosfaat is geen conservatieve stof zoals bijvoorbeeld chloride, maar is betrokken bij allerlei processen waardoor het uit de waterfase wordt verwijderd en wordt opgeslagen in het bodemslib. Belangrijke verwijderingsprocessen zijn directe sedimentatie van zwevend materiaal, opname door algen gevolgd door bezinking en adsorptie aan slibdeeltjes gevolgd door bezinking. Het gevolg hiervan is dat in het algemeen de fosfaatkonzentratie in een meer lager is dan in het instromende water.

Het is voor te stellen dat het verschil in concentratie tussen het meer (P_m) en het instromende water (P_i) samenhangt met de

verblijftijd van het water in het meer. In snel doorstroomde bekkens zal weinig verwijdering van P optreden en kan worden gesteld

$$\frac{P_m}{P_i} \rightarrow 1$$

Bij langere verblijftijden zal de kans dat fosfaat uit het water wordt verwijderd aanzienlijk groter zijn. Dit is de meest voorkomende situatie; er is een netto fosfaatflux in de richting van het sediment.

$$\frac{P_m}{P_i} < 1$$

In speciale gevallen kan tijdelijk ook het omgekeerde optreden. Bij lage zuurstofgehalten of zeer hoge pH-waarden als gevolg van algenproductie kan een netto fosfaatflux optreden vanuit het sediment naar het bovenstaande water. In dit geval is

$$\frac{P_m}{P_i} > 1$$

Vollenweider (1976) heeft van deze ratio gebruik gemaakt om een algemeen model op te stellen voor de relatie belasting-konzentratie. Langs statistische weg is hij tot het volgende eenvoudige verband gekomen

tussen $\frac{P_m}{P_i}$ en de verblijftijd T_w :

$$\frac{P_m}{P_i} = \frac{1}{1 + \sqrt{T_w}} \quad (6)$$

Omdat dit verband langs statistische weg is verkregen en niet door theoretische afleiding is het niet dimensioneel kloppend.

$$\text{Omdat } P_i = \frac{L}{q_s} \text{ en } T_w = \frac{\bar{z}}{q_s} \text{ kan vgl. (6)}$$

als volgt worden herschreven:

$$\frac{L}{P_m} = q_s \left(1 + \sqrt{\frac{\bar{z}}{q_s}} \right) \quad (7)$$

L = totaal-P belasting ($g \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$)

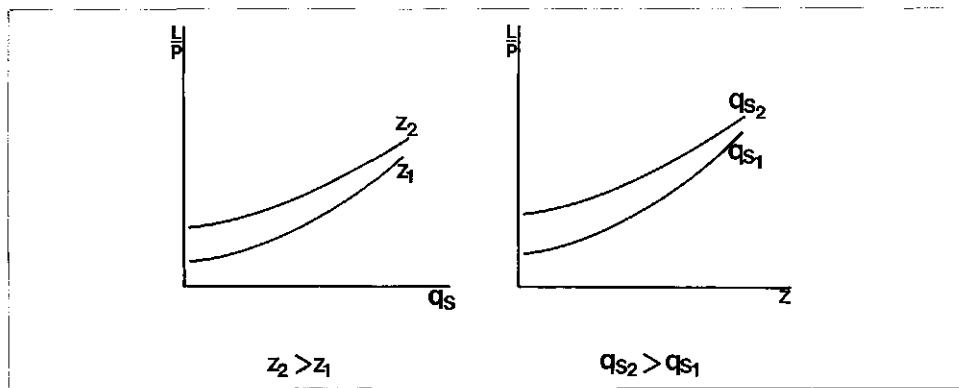
q_s = hydraulische belasting ($m \cdot j^{-1}$)

\bar{z} = gemiddelde diepte (m)

P_m = totaal-P concentratie in meer ($g \cdot m^{-3}$)

P_i = totaal-P concentratie in instromende water ($g \cdot m^{-3}$)

Dit zou inhouden dat de verhouding belasting : concentratie bepaald wordt door twee factoren, de gemiddelde diepte \bar{z} en de hydraulische belasting q_s .



Afb. 8 - Schematisch verband tussen $\frac{P}{L}$, q_s en \bar{z} volgens Vollenweider (1976)

L = totaal-P belasting ($g \cdot m^{-2}j^{-1}$)
 q_s = hydraulische belasting ($m \cdot j^{-1}$)

\bar{z} = gemiddelde diepte (m)
 P_m = totaal-P concentratie in meer ($g \cdot m^{-3}$)

Grafisch is de relatie weergegeven in afbeelding 8.

De konklusies die hieruit getrokken kunnen worden zijn:

- bij toenemende hydraulische belasting neemt de verhouding belasting : concentratie toe; dat betekent dat voor het bereiken van eenzelfde streefkonzentratie, voor een meer met grotere hydraulische belasting een hogere P-belasting kan worden getolereerd;
- bij toenemende diepte geldt eveneens dat voor het bereiken van eenzelfde streefkonzentratie, voor een meer met grotere diepte een hogere P-belasting kan worden getolereerd;

— bij relatief geringe diepten is echter sprake van een afvlakken van de curve; voor meren van slechts enkele meters diep, zoals in Nederland, zal de diepte van weinig invloed zijn op de toelaatbare fosfaatbelasting en zal de hydraulische belasting voornamelijk bepalend zijn.

Een belangrijke konklusie van het Vollenweidermodel is tevens, dat het verband tussen belasting en concentratie alleen afhankelijk zou zijn van hydrologische en morfometrische factoren (resp. q_s en \bar{z}) en dat daarom voor een bepaald meer belasting en concentratie rechtevenredig zijn. Dit houdt in dat wanneer de concentratie met een factor x moet worden teruggebracht de belasting eveneens met een factor x moet worden vermindert.

6. Evaluatie van het Vollenweider-model

Beoordeling van de waarde van het model van Vollenweider voor de Nederlandse situatie is alleen goed mogelijk wanneer een groot aantal meren aan het model zou worden getoetst. Helaas zijn er nog te weinig gegevens voorhanden om dit te kunnen uitvoeren.

Er kunnen wel bij voorbaat een aantal kanttekeningen worden geplaatst. Vollenweider

(1976) zelf zegt al dat in meren met een verblijftijd korter dan ongeveer een jaar afwijkingen optreden in het empirisch vast-

gestelde verband tussen $\frac{P_m}{P_i}$ en de verblijftijd.

In Nederland vallen de meeste wateren in deze categorie.

De verwijdering van fosfaat uit oppervlaktewater zal bovendien van veel meer factoren afhangen dan alleen de verblijftijd. Vooral in het ondiepe Nederlandse water kunnen de volgende factoren van belang zijn:

- de vorm waarin P wordt aangevoerd (opgelost, gesuspendeerd in algen of in klei);
- de adsorptie van P aan opgewoelde bodembestanddelen;
- de fixatie van P door ijzer dat met kwelwater kan worden aangevoerd;
- en tenslotte kan in sterk eutrofe meren de algendichtheid zelf de fixatiecapaciteit van een meer voor fosfaat beïnvloeden via lage zuurstofgehalten of hoge pH-waarden nabij de bodem.

Er zullen nu twee voorbeelden van meren worden uitgewerkt waarvan vrij veel gegevens bekend zijn, het Kleine IJsselmeer (RWS 1976) en het Wolderwijd-Nulder nauw (RWS-RIJP 1978).

Voor beide meren is met behulp van het model de gemiddelde totaal-P concentratie berekend uit de gemiddelde concentratie in het instromende water en de verblijftijd. Deze berekende gehalten zijn vergeleken met de waargenomen gehalten. Vervolgens is uitgaande van een streefwaarde voor de fosfaatconcentratie van 0,10 mg P/l de streefbelasting berekend en deze is vergeleken met de huidige belasting. De resultaten staan vermeld in tabel IV.

Uit de resultaten blijkt dat voor het Kleine IJsselmeer de berekende en gemeten waarden voor de concentratie goed overeenstem-

TABEL IV.

	P_i	P_m berekend	P_m gemeten
Kleine IJsselmeer	0,45	0,27	0,25
Wolderwijd-Nulder nauw	0,25	0,09	0,20-0,25
	P_m streefw.	L streefw.	L gemeten
Kleine IJsselmeer	0,10	1,4	3-4
Wolderwijd-Nulder nauw	0,10	0,6	0,5

men, maar dat voor het Wolderwijd-Nulder nauw het model in het geheel niet opgaat. In laatstgenoemd meer blijkt de gemiddelde fosfaatconcentratie in het meer nauwelijks lager te zijn dan de concentratie in het instromende water.

Voorts komt uit de berekeningen naar voren dat de toelaatbare fosfaatbelasting volgens Vollenweider ligt rond de 1 g P/m² · jaar, bij een aangenomen streefkonzentratie van 0,10 mg P/l. Voor meren met een geringe waterverversing (verblijftijd enkele jaren) is dit beduidend lager en voor meren met een relatief grote waterverversing (verblijftijd enkele maanden) beduidend hoger. Uit deze voorbeelden zal duidelijk zijn dat toepassing van het eenvoudige fosfaatmodel van Vollenweider niet zonder meer geoorloofd is. Het is van belang dat voor meerdere meren balansstudies worden uitgevoerd zodat ook voor de Nederlandse situatie een beter inzicht wordt verkregen in de factoren die bepalend zijn voor de fosfaatconcentratie.

Het is interessant om nog even stil te staan bij het afwijkende gedrag van het Wolderwijd-Nulder nauw. Gebleken is dat de sterke afgifte van fosfaat door het bodemslib in de zomermaanden verantwoordelijk is voor het feit dat de gemiddelde concentratie in het meer nauwelijks lager is dan de gemiddelde concentratie in het instromende water (RWS-RIJP 1978). Deze afgifte van fosfaat wordt waarschijnlijk door de algen zelf bewerkstelligd onder invloed van de sterk verhoogde pH. Zowel in zomer als winter komen in dit meer grote algenhoeveelheden voor. De afsterving en de uitspoeling van algen (vnl. Oscillatoria) is zeer gering. Bij aanvang van het groeiseizoen is de biomassa dus al vrij groot, zodat de pH snel kan stijgen en de afgifte van P op gang komt. Aldus wordt een soort positief feedback mechanisme in gang gezet met als gevolg snel stijgende fosfaatgehalten in het groeiseizoen en een niet door fosfaat geremde algenontwikkeling.

Een snel herstel van de waterkwaliteit in een dergelijk laagbelast, maar algenrijk meer zal waarschijnlijk alleen mogelijk zijn als de vicieuze cirkel wordt doorbroken door bij-

voorbeeld geforceerd doorspoelen met algem. arm water.

7. Samenvatting en conclusies

1. Een werkbaar criterium voor het beoordelen van de eutrofiëringstoestand van meren en plassen is in vele gevallen het gemiddelde doorzicht gemeten met de Secchi-schijf.

2. Op basis van kennis van de relaties doorzicht-chlorophyl-konsentrasië en chlorophyl-konsentrasië-totaal-P konsentrasië kunnen globale richtlijnen worden afgeleid voor de totaal-P konsentrasië behorende bij een bepaald na te streven doorzicht, beide gemiddeld per bijvoorbeeld het zomerhalfjaar.

3. De resultaten van de tweede eutrofiëring-enquête van de CUWVO onder de water-beheerders, betrekking hebbende op de onderzoeksgegevens van het zomerhalfjaar 1977 leiden tot de volgende conclusies. Hierbij is de aanname gedaan dat de streefwaarde voor het doorzicht gemiddeld per zomerhalfjaar 100-150 cm bedraagt. Gemiddeld per zomerhalfjaar:

aanname doorzicht: 100-150 cm
chlorophyl-konsentrasië: 31-21 mg/m³
totaal-P konsentrasië: 0,10-0,07 mg/l

4. Door het introduceren van nieuwe gegevens van doorzicht, chlorophyl en totaal-P voor andere meren en andere zomerhalfjaren kan meer zekerheid worden verkregen over de waarde van de hier gehanteerde aanpak.

5. In meren waar fosfaat de beperkende factor is voor algengroei, is primair de totaal-fosfaatkonsentrasië maatgevend voor de gemiddelde algbiomassa en niet de fosfaatbelasting.

Een richtlijn voor de totaal-P konsentrasië zal echter ten behoeve van de beheerder vertaald moeten worden in een richtlijn voor de fosfaatbelasting. De belasting vormt de stuurvariabele voor de beheerder en is veel gemakkelijker dan de konsentrasië te voorspellen bij de uitvoering van bepaalde saneringsmaatregelen.

6. Vollenweider (1976) heeft een model opgesteld voor het verband tussen fosfaatbelasting en fosfaatkonsentrasië. In dit model zijn uitsluitend de factoren hydraulische belasting en gemiddelde diepte bepalend voor dit verband.

7. Volgens Vollenweider (1976) zal in het ondiepe Nederlandse oppervlaktewater voor het berekenen van een bepaalde streefkonsentrasië voor fosfaat de toelaatbare P-belasting voornamelijk worden bepaald door de hydraulische belasting.

Een grotere hydraulische belasting leidt tot

een hogere toelaatbare fosfaatbelasting.

8. Een tweetal meren, het Kleine IJsselmeer en het Wolderwijd-Nuldernaau, is getoetst aan het model van Vollenweider (1976); eerstgenoemd meer blijkt redelijk overeen te stemmen met modelresultaten, de situatie in het Wolderwijd-Nuldernaau beantwoordt echter in het geheel niet aan de modelverwachtingen. Mede op andere gronden wordt gekonkludeerd dat het Vollenweider-model niet anders gezien mag worden dan een eerste grove benadering voor de berekening van de toelaatbare belasting.

9. Het opstellen van water- en totaal-fosfaatbalansen voor meerdere Nederlandse meren is van groot belang om meer inzicht te verkrijgen in de relatie belasting-konsentrasië.

10. De richtlijnen voor de totaal-P konsentrasië kunnen beter worden onderbouwd als op grotere schaal aandacht wordt besteed aan meting van de parameters doorzicht, chlorophyl-a en totaal-P.

De standaardisatie van de meetmethoden vooral ten aanzien van de bepaling van het chlorophyl-a gehalte is hierbij van groot belang.

Literatuur

- Carlson, R. E. (1977). *A trophic state index for lakes*. Limnol. Oceanography 22 (2) : 361-369.
- Coördinatiecommissie Uitvoering W.V.O. (1976). *Schets van de eutrofiëringssituatie van het Nederlandse oppervlaktewater en overzicht van de onderzoeksactiviteiten van de verschillende waterkwaliteitsbeheerders*. Resultaten van de eerste eutrofiëring-enquête (uitgave RIZA).
- Coördinatiecommissie Uitvoering W.V.O. (1978). *Mogelijke aanpak van de fosfaatproblematiek in Nederland* (uitgave RIZA).
- Coördinatiecommissie Uitvoering W.V.O. (1978). *Resultaten van de tweede eutrofiëring-enquête* (in voorbereiding bij RIZA).
- Dillon, P. J. and Rigler, F. H. (1974). *The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes*. Limnol. Oceanography 19 (5) : 767-773.
- Golterman, H. L. (1976) Redaktie. *Fosfaten in het Nederlandse oppervlaktewater*. Rapport van de Stuurgroep Fosfaten ingesteld door de KNCV. Sigma Chemie.
- Hutchinson, G. E. (1957). *A treatise on limnology*, Vol. 1. Wiley.
- Rast, W. and Lee, G. F. (1977). *Revised draft sections of summary analysis of the U.S. portion of the North American OECD eutrophication study results emphasizing nutrient loading — lake response relationships and trophic status indices*. Rijkswaterstaat (1976). *Waterstaatkundige werken en waterkwaliteit in het IJsselmeergebied* (7 banden). (Uitgave Directie Zuiderzeewerken, nota 286). Rijkswaterstaat - Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (1978). *Eutrofiëringsonderzoek Wolderwijd en Nuldernaau*. Interim-rapportage over de periode mei 1976-februari 1977. (Uitgave Directie Zuiderzeewerken).
- Sawyer, C. N. (1947). *Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage*. J. New England Water Works Ass. 61 (2) : 109-127.
- Tyler, J. E. (1968). *The Secchi disc*. Limnol. Oceanography 13 : 1-6.
- Vollenweider, R. A. (1968). *Scientific fundamentals*

- of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. Tech. Rep. OECD. Paris. DAS/CSI/68, 27 : 1-182.
- Vollenweider, R. A. (1969). *Möglichkeiten und Grenzen elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen*. Arch. Hydrobiol. 66 (1) : 1-36.
- Vollenweider, R. A. (1975). *Input-output models. With special reference to the phosphorus loading concept in limnology*. Schweiz. Z. f. Hydrol. 37 (1) : 53-84.
- Vollenweider, R. A. (1976). *Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33 : 53-83.
- Vollenweider, R. A. and Dillon P. J. (1974). *The application of the phosphorus loading concept to eutrophication research*. NRCC Report No. 13690 : 42 pp.
- Zweepp, A. (1976). *De waterkwaliteit van het Zuidlaardermeer in de periode mei t/m november 1975*. Gemeente Zuidlaren - RIZA Sappemeer 15-03-1976.



Verschenen

Seawater and Seawater distillation

Seawater and Seawater Distillation van

Dr. H. E. Hömig kan worden getypeerd als een overzichtelijke beschrijving van de hedendaagse technieken voor de thermische ontzouting van zeewater. Het boek bespreekt de verschillende eigenschappen van zeewater voorzover die in dit verband van belang zijn. Met name heeft de auteur veel aandacht besteed aan de eigenschappen van zeewater als corrosiemedium.

Daarnaast komen thermodynamische principes en ontwerp en dimensionering van destillatie-eenheden voor zeewater aan de orde. Op de voorgrond staat hier de meerfasen-flashverdamping. Het boek is zowel als leerboek als als handboek c.q. naslagwerk te gebruiken. De schrijver heeft details niet geschuwd. Niettemin is het een leesbaar werk gebleven.

Eerder verschenen van de hand van Hömig 'Physico-chemical fundamentals of feed-water chemistry' en 'Metal and water'. *Seawater and Seawater distillation* van Dr. rer. nat. H. E. Hömig is in het Engels verschenen bij Vulkan Verlag, Postfach 7049, D-4300 Essen, Bundesrepublik Deutschland.

Het boek telt 202 pagina's; de prijs is 98 DM.

