

# Nalevering van fosfaat door sedimenten V: fosfaat-balans model voor het Brielse Meer

## Inleiding

Zoals uit de resultaten van onderzoek aan Brielse Meer sedimenten blijkt kan de 'interne' fosfaatbelasting door de bodem een belangrijke en in de toekomst als gevolg van allerlei saneringsmaatregelen misschien wel dominerende rol spelen in de fosfaat-huishouding van geëutrofiëerde meren [Lijklema en Hieltjes, 1979; Hieltjes en Lijklema, 1979 en 1980].

Nu het inzicht in de samenhang tussen het fosfaatgehalte van het sediment, de daar heersende pH- en redoxcondities en de

middel zijn om leemtes in de kennis, met name van kwantitatieve relaties, op te sporen.

## Modelopzet

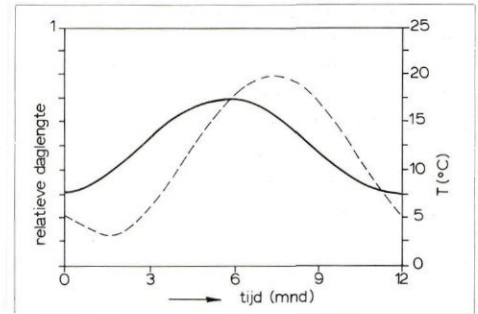
Het model beschouwt drie vormen van fosfaat: ortho-fosfaat, particulier fosfaat in organische stof (algen - dode algen) en anorganisch fosfaat dat geassocieerd is met sediment. De waterfase is homogeen verondersteld. Het sediment bestaat uit twee typen. Het ondiep gelegen sediment met een relatief laag gehalte aan organisch en anorganisch fosfaat, is voortdurend aeroob. Het diep gelegen sediment, dat 20 % van het meeroppervlak beslaat en 80 % van alle sedimenterende materiaal ontvangt, kan afhankelijk van de watertemperatuur en het gehalte aan organische stof (uitgedrukt in P-particulair) ook anaeroob worden. Het vaste stof gehalte is hier lager, de lossere structuur betekent ook een hogere effectieve diffusieconstante terwijl de relatief hoge belasting ook tot uiting komt in de hogere fosfaatgehalten [Hieltjes, 1980].

Het model bestaat in feite uit massabalansen opgesteld voor ortho-fosfaat en particulier organisch fosfaat in de waterfase en particulier organisch en anorganisch fosfaat in het 'diepe' en 'ondiepe' sediment. De massabalansen voor het water hebben betrekking op een gemiddelde waterdiepte van 5,43 m, die voor het sediment op een laag van 0,1 m; beide worden als ideaal gemengd beschouwd.

De volgende processen en omzettingen worden beschreven (zie ook afb. 1).

### 1. Algengroei

De overgang van ortho-fosfaat in particulier fosfaat in de waterfase is gekoppeld aan de groei van algen. Deze wordt uit-



Afb. 2 - Externe drijvende factoren: de relatieve daglengte  $\lambda$  (getrokken lijn) en de temperatuur  $T$  (gestippelde lijn). Zie ook tabel II.

gerekend met behulp van een over de dag en de gemiddelde waterdiepte ( $H$ ) geïntegreerde vergelijking voor de lichtafhankelijkheid van algengroei volgens Smith [Lorenzen en Mitchell, 1973]. Externe drijvende factoren zijn de relatieve daglengte ( $\lambda$ ) en de temperatuur ( $T$ ) waarvoor de functies die in afb. 2 zijn weergegeven worden gebruikt. Een terugkoppeling in het model is de toenemende lichtuitdoving in de waterkolom bij hogere concentraties van algen. Fosfaatlimitering wordt met een Michaelis-Menten kinetiek benaderd. De dagelijkse toename van de algenbiomassa, uitgedrukt in  $g\ P/m^3/dag$ , wordt dan als volgt beschreven:

$$\mu_o * T * \frac{\lambda}{H} * \frac{1}{\alpha + \beta[P-part]_w} * S_i * [P-part]_w * \frac{[PO_4 - P]_w}{[PO_4 - P]_w + b_1} \quad (1)$$

Deze ruwe beschrijving geeft in grootteorde de jaarlijkse gang in de productie van particulier-P in de waterkolom uit ortho-P, die verder vooral van belang is om de belasting van het sediment met organische stof en fosfaat te kunnen benaderen. Een deel van dit particuliere-P wordt echter reeds in de waterkolom gemineraliseerd.

### 2. Mineralisatie van algen

De overgang van particulier fosfaat naar ortho-fosfaat in de waterfase door afsterven van algen gevolgd door hydrolyse en via graas door zoöplankton en uitscheiding van detritus met bijbehorende microbiologische degradatie enz. zijn samengevat in één term waarin ook de temperatuur-afhankelijkheid tot uitdrukking komt. De formulering is verder zodanig dat bij toenemende concentraties van P-particulair (i.c. algen) de afbraak meer dan evenredig toeneemt:

$$T * k_1 * \frac{2[P-part]_w}{b_2 + [P-part]_w} * [P-part]_w \quad (2)$$

De achtergrond voor deze hogere mineralisatie is de toenemende graas door hogere zoöplanktonconcentraties.



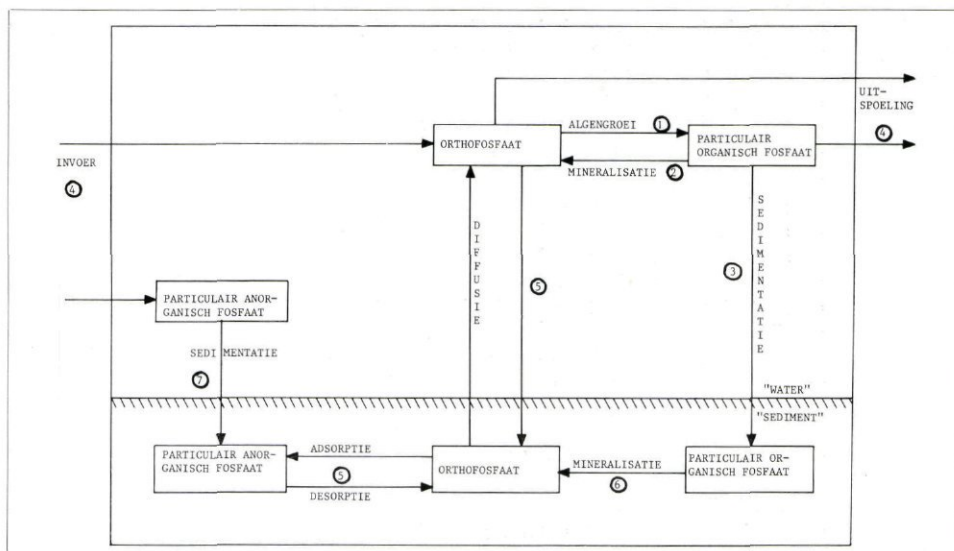
DR. IR. A. H. M. HIELTJES  
Vakgroep Procesbeheersing en  
Milieubeheer, TH Twente



DR. L. LIJKLEMA  
Vakgroep Procesbeheersing en  
Milieubeheer, TH Twente

daarbij behorende evenwichtsconcentraties van het poriënwater is verdiept en de daaruit resulterende afgiftesnelheden althans semi-kwantitatief kunnen worden voorspeld, komt ook een voorspelling van de fosfaat-huishouding bij gewijzigde belasting in zicht. Voor het Brielse Meer is daartoe een eenvoudig fosfaatbalansmodel opgesteld, waarmee de effecten van veranderingen in de externe belasting en verblijftijd, twee voor de beheerder interessante instrumentvariabelen, kunnen worden geanalyseerd. Tevens kan een dergelijk model een hulp-

Afb. 1 - Processen en omzettingen in model beschreven. Voor verklaring cijfers wordt naar de tekst verwezen.





TABEL I - Externe fosfaatbelasting cijfers gebruikt in simulaties.

| Simulatienuummer                                                                                         | PO <sub>4</sub> -P<br>(g P/m <sup>2</sup> /jaar) | Particulair<br>P-ANORG.<br>(g P/m <sup>2</sup> /jaar) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| a. In de 70-er jaren (Rijks-<br>waterstaat, 1972, 1974),<br>waarvan de helft afkomstig<br>uit Oude Maas  | 6,0                                              | 6,0                                                   |
| b. Alleen toevoer uit Oude<br>Maas                                                                       | 3,0                                              | 3,0                                                   |
| c. Verblijftijd 200 dagen,<br>helft van toevoer uit Oude<br>Maas en enkele verspreide<br>lozingen        | 2,5                                              | 1,5                                                   |
| d. Belastingsnorm van de<br>KNCV (1976) voor Neder-<br>lands oppervlaktewater.<br>Verblijftijd 100 dagen | 0,5                                              | 0,5                                                   |

### 3. Sedimentatie van algen

De bezinking van organisch (particulair) fosfaat naar het sediment wordt constant in de tijd verondersteld en evenredig met de algenconcentratie:

$$k_s * [P\text{-part}]_w \quad (3)$$

Net als voor het anorganische fosfaat is ook hier aangenomen dat 80 % van het sedimenterende materiaal terecht komt in het diep gelegen sediment. Deze aanname is gebaseerd op de veronderstelling dat door erosie van ondiep gelegen sediment hier relatief weinig lichte deeltjes zullen worden afgezet. Dit is in overeenstemming met de waarneming dat resuspensie bij storm niet of weinig optreedt [Hieltjes en Lijklema, 1980].

### 4. Externe belasting en uitspoeling

De externe belasting bestaat uit twee termen: ortho-fosfaat dat in de waterfase terecht komt en anorganisch fosfaat dat geacht wordt direct te sedimenteren op de reeds eerder vermelde wijze. In de jaren 70 werden totaal belastingen gemeten van 12 gr P/m<sup>2</sup>/jaar, welke in het model gelijkelijk is opgedeeld over ortho-fosfaat en anorganisch particulier fosfaat (zie ook tabel I).

Overeenkomstig een hydraulische verblijftijd  $\tau$  van 100 dagen [Rijkswaterstaat, 1972 en 1974] wordt per dag 1 % van de in de waterfase aanwezige fosfaten afgevoerd (ortho-fosfaat en particulier (organisch) fosfaat):

$$[P\text{-part}]_w / \tau \text{ of } [PO_4 - P]_w / \tau \quad (4)$$

### 5. Diffusie

Over de grenslagen water-diep sediment en water-ondiep sediment vindt transport plaats dat evenredig is met de concentratie-gradiënt. Diffusie-constanten en de lengte van de diffusieweg zijn zodanig gekozen dat de berekende fluxen in overeenstemming zijn met de gemeten waarden [Hieltjes en

Lijklema, 1980]. Zo is voor de diffusie-constante in het ondiepe sediment de waarde  $8,64 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{dag}$  gebruikt en in het diepe sediment  $1,7 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{dag}$ , terwijl de lengte van de diffusieweg 0,01 m bedroeg. Aangezien in de sedimenten vrijwel alle ortho-fosfaat in de vaste fase aanwezig is, wordt een massabalans bijgehouden over totaal anorganisch-P en organisch-P. De ortho-fosfaatconcentratie in het interstitiële water die behoort bij de aanwezige totaal concentratie van P-anorganisch (uitgedrukt in mg/gr sediment), wordt berekend met behulp van empirische vergelijkingen die de in het laboratorium gemeten adsorptie-isothermen van Brielse Meer sedimenten weergeven.

Omdat het model geen beschrijving bevat voor de pH, zijn slechts isothermen gebruikt bij één pH-waarde (en wel pH = 7).

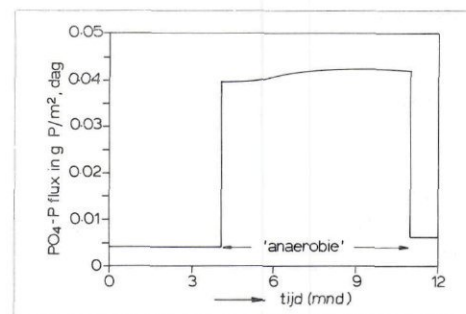
Voor aerob sediment is de vergelijking gebruikt die Lijklema [1979] geeft voor de fosfaat adsorptie aan vers geprecipiteerd ijzer (III) hydroxide:

$$\frac{[P\text{-ANORG}]_s}{[Fe]_s} = c_1 - c_2 * pH + c_3 * \sqrt{[PO_4 - P]_s} \quad (5)$$

Het criterium voor al of niet aerob zijn van het 'diepe' sediment is een combinatie van de temperatuur van het water en het organisch stofgehalte (organisch-P als maat) in het sediment. In de simulaties voor de condities uit de 70-er jaren (tabel I) leidt dit tot anaërobie van mei t/m november, waardoor de flux van fosfaat uit dit sediment sterk toeneemt (afb. 3).

### 6. Mineralisatie in sediment

Door temperatuurafhankelijke afbraak



Afb. 3 - Ortho-fosfaat nalevering door 'diep' sediment bij oorspronkelijke belasting (a, zie tabel I): jaarcyclus.

wordt het organische fosfaat in het sediment omgezet in anorganisch fosfaat:

$$T * k_2 * [P\text{-part}]_s \quad (6)$$

Verondersteld is dat dit proces in beide sediment-typen met dezelfde snelheid verloopt.

### 7. Verdunning van sediment

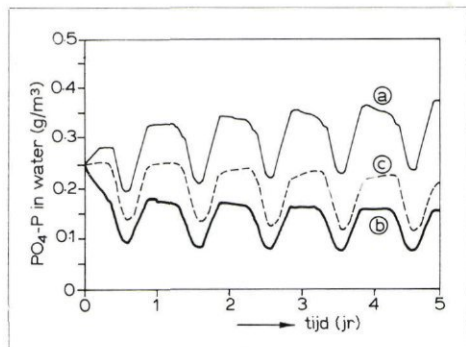
Eén van de belangrijkste langere termijn effecten van verminderde externe belasting is de langzame 'verdunning' van het sediment doordat de gemiddelde P-concentratie in het nieuw sedimenteerend materiaal lager wordt. Aannemend dat de adsorptiecapaciteit van het sediment per gewichtseenheid ongewijzigd blijft, kunnen ook de adsorptie-isothermen (zie 5) ongewijzigd blijven. De afname in het P-gehalte doordat het sediment 'begraven' wordt onder nieuw materiaal is dan proportioneel met de relatieve sedimentatiesnelheid (dikte van jaarlijks toegevoegde sedimentlaag: mengdiepte).

Geschat is dat er gemiddeld over het gehele meer 1,8 mm per jaar sedimenteert, waar-

TABEL II - Nomenclatuur en in model gebruikte waarden.

|                      |                                                                                                         |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $[Fe]_s$             | = ijzergehalte in sediment (g/m <sup>3</sup> )                                                          |
| $[PO_4 - P]_w$       | = ortho-fosfaat concentratie in oppervlaktewater (g P/m <sup>3</sup> )                                  |
| $[PO_4 - P]_s$       | = ortho-fosfaat concentratie in poriënwater (g P/m <sup>3</sup> )                                       |
| $[P\text{-part}]_w$  | = particulier (organisch) fosfaat in water (g P/m <sup>3</sup> )                                        |
| $[P\text{-part}]_s$  | = particulier (organisch) fosfaat in sediment (g P/m <sup>3</sup> )                                     |
| $[P\text{-ANORG}]_s$ | = particulier (anorganisch) fosfaat in sediment (g P/m <sup>3</sup> )                                   |
| $b_1$                | = halfwaarde Monod groeiterm = 0,01 g/m <sup>3</sup>                                                    |
| $b_2$                | = halfwaarde Monod afsterfterm = 0,01 g/m <sup>3</sup>                                                  |
| $c_1, c_2, c_3$      | = constanten resp. 0,298; 0,0316 en 0,201                                                               |
| $H$                  | = gemiddelde waterdiepte = 5,43 meter                                                                   |
| $k_1$                | = afbraaksnelheidsconstante in water = $0,01 \text{ dag}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$             |
| $k_2$                | = afbraaksnelheidsconstante in sediment = $0,01 \text{ dag}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$          |
| $k_s$                | = sedimentatiesnelheid = 0,3 m/dag                                                                      |
| $S_1$                | = lichtreductiefactor = 2,7 als extinctiediepte < H                                                     |
| $t$                  | = tijd (dagen)                                                                                          |
| $T$                  | = temperatuur (°C) = $11,5 - 8,5 * \frac{\cos 2\pi (t-40)}{365}$                                        |
| $\alpha$             | = extinctiecoëfficiënt water = $1,5 \text{ m}^{-1}$                                                     |
| $\beta$              | = extinctiecoëfficiënt zelfbeschaduwing = $1,5 \text{ m}^2/\text{g} \cdot \frac{\cos 2\pi (t+10)}{365}$ |
| $\lambda$            | = relatieve daglengte = $0,5 - 0,2 * \frac{\cos 2\pi (t+10)}{365}$                                      |
| $\tau$               | = verblijftijd (dagen), op dit moment 100                                                               |
| $\mu_0$              | = groeisnelheidsconstante = $0,1 \text{ dag}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$                         |





Afb. 4 - Ortho-fosfaat concentratie in oppervlaktewater over een periode van 5 jaar bij verschillende belastingscondities (zie tabel I).

van 80 % in de diepe delen terechtkomt en daar dus voor een relatief snelle verdunning zorg draagt.

De simulaties met het hier beschreven model zijn uitgevoerd op een PDP-11/20 computer m.b.v. het simulatieprogramma THTSIM V20 [Kraan, 1974].

### Modelresultaten

De eerst uitgevoerde simulaties hebben betrekking op de situatie en de P-belasting zoals die in de zeventiger jaren was. De geleidelijk toenemende tendens in de gemiddelde ortho-fosfaatconcentratie in het Brielse Meer, zoals die uit meetresultaten gepresenteerd door Bannink [1979] blijkt, komt ook uit de simulaties naar voren (afb. 4, curve a). Ook de hoogte van de concentraties is in overeenstemming met de gemeten waarden.

De simulaties tonen aan dat er een langzame verrijking van de sedimenten met fosfaat plaatsvindt. De tijdconstante van dit verrijgingsproces (bij een constante externe belasting) is geheel afhankelijk van de sedimentatiesnelheid en de mengdiepte van het sediment. Omdat deze grootheden geen van beide goed bekend zijn en bovendien de onderzoeksperiode veel te kort was om uit meetgegevens deze verrijking af te leiden (de toevallige variatie was daarvoor veel te groot) is het moeilijk om de modeluitkomsten op dit punt te toetsen. Wel is de netto-accumulatie volgens het model gelijk aan de waarden verkregen met balansstudies verricht door de Deltadienst, namelijk iets meer dan 50 % van de belasting [Rijks-waterstaat, 1972 en 1974].

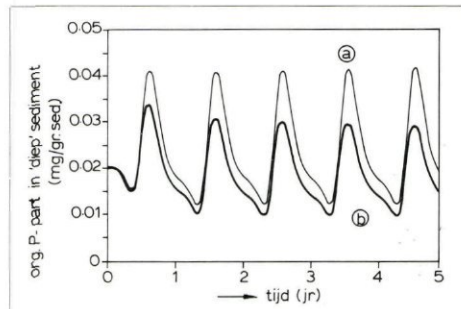
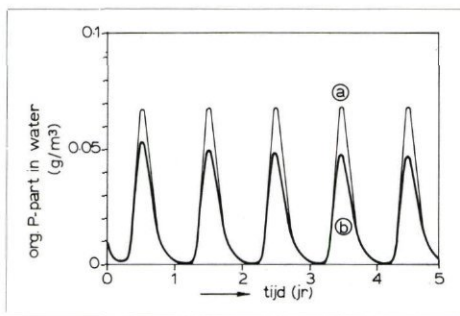
Het model rekent zeer eenvoudig met slechts één type algen, waarbij zomerconcentraties optreden van ongeveer 60 µg organisch-P per liter, hetgeen overeenkomt met ongeveer even hoge of wat hogere chlorofyl concentraties (afb. 5). In werkelijkheid varieert deze concentratie zeer sterk, maar als gemiddelde zomerwaarde is de grootte waarschijnlijk redelijk omdat het in dit model niet primair om de algen-

concentratie zelf gaat, maar om de betekenis voor de fosfaatkringloop. Daar het effect van algengroei vooral is dat het fosfaat omzet in een vorm die kan bezinken, zouden experimentele gegevens over de sedimentatiesnelheid in situ een belangrijk toetsingscriterium voor het model zijn. Ondanks het ontbreken van de voorjaarsbloei lijkt deze eenvoudige benadering daarom vooralsnog voldoende voor een lange termijn fosfaatmodel, daar slechts globale productiecijfers over een seizoen nodig zijn.

De relatief sterke variatie in het gehalte aan organische stof in het diepe sediment (afb. 6) zoals deze uit de simulaties naar voren komt, is weliswaar niet geverifieerd, maar ook niet tegenstrijdig met de waarneming dat vooral in de zomer en het najaar sedimenten anaeroob zijn. Ook al zou in werkelijkheid het gehalte aan organische stof (of: organisch-P) veel minder variëren, dan zal toch de variatie in het gehalte van goed afbreekbaar materiaal sterker zijn, al is het gecamoufleerd door de aanwezigheid van een overmaat tamelijk inert materiaal. De fosfaatkringloop en het daarvoor belangrijke optreden van anaerobie worden juist door de labiele fractie sterk beïnvloed.

Zoals hiervoor reeds is aangegeven, zijn de voor diffusie bepalende parameters zo gekozen dat berekening en experimentele waarde (uit laboratoriumproeven) overeenstemmen. Doordat de adsorptie-isothermen — vooral onder aerobe condities — tamelijk goed bekend zijn zal de poriënwaterconcentratie ook onder gewijzigde condities redelijk nauwkeurig beschreven kunnen worden, al is er onzekerheid over o.a. de mate van compactering bij afnemende belasting, de pH, het carbonaatgehalte en het vooral door het ijzergehalte bepaalde aantal adsorptieplaatsen per gram sediment. Ook is niet goed bekend hoe de samenhang tussen organische stofgehalte, watertemperatuur en redoxcondities nabij het grensvlak is. De invloed van de redoxcondities op de naleveringssnelheid zoals gesimuleerd is

Afb. 5 - Particulair organisch fosfaat concentratie (algen) in oppervlaktewater over een periode van 5 jaar bij verschillende belastingscondities (zie tabel I).

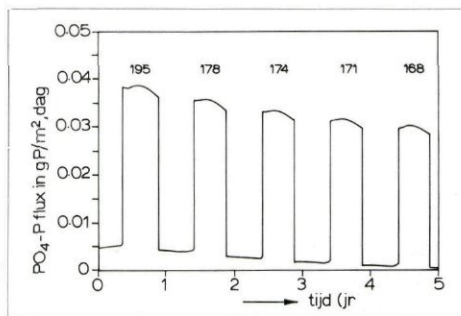


Afb. 6 - Particulair organisch fosfaat gehalte in 'diep' sediment over een periode van 5 jaar bij verschillende belastingscondities (zie tabel I).

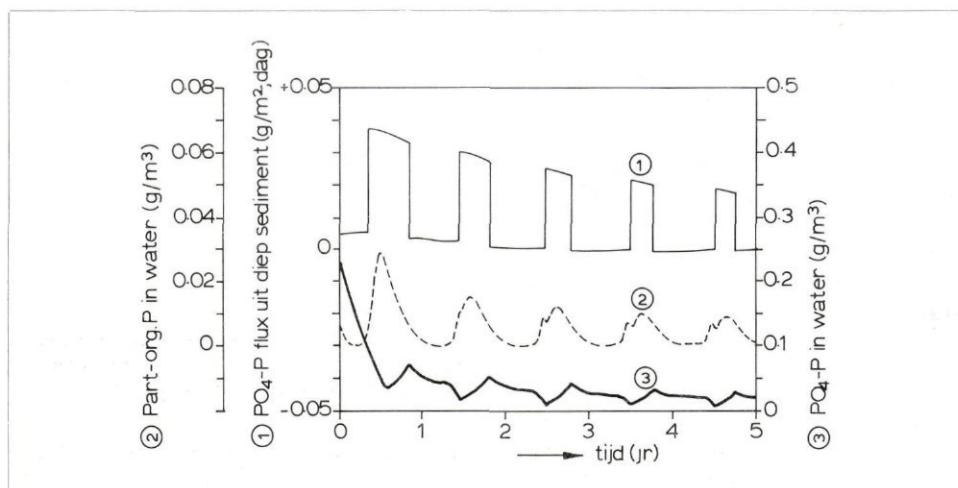
zeer groot. In afb. 3 is te zien dat er in de periode mei tot december anaerobe condities heersen in het diep gelegen sediment hetgeen redelijk overeenkomt met redox-potentiaalmetingen in Brielse Meer sedimenten [Hijltjes, 1980].

Uiteindelijk is het doel van dit fosfaatmodel te onderzoeken of bij afnemende belasting de situatie bereikt kan worden dat algengroei beperkt wordt door fosfaatgebrek. Zodra dit gebeurt zal ook de sedimentatie van organisch materiaal afnemen en daarmee de lengte van anaerobe perioden en dus de fosfaatnalevering. Door deze terugkoppeling versterkt dit effect zichzelf zodra een kritische ondergrens in de P-belasting wordt gepasseerd. Een eerste simulatie met een reductie in de belasting vanaf 12 g P/m<sup>2</sup>/jaar tot 6 g P/m<sup>2</sup>/jaar — waarvan de helft als ortho-fosfaat — toont reeds een behoorlijke daling in de ortho-fosfaat concentratie in het water (afb. 4, curve b), alsmede de algenconcentratie (afb. 5, curve b). Van een beperking van de groei door fosfaatlimitering is na 5 jaar echter slechts in beperkte mate sprake. Door de reductie in de belasting treedt de hierboven genoemde terugkoppeling op: verminderde algengroei → afname sedimentatie → afname lengte van anaerobe periode en fosfaatnalevering door sediment (afb. 7).

Afb. 7 - Ortho-fosfaat nalevering door 'diep' sediment bij de helft van de oorspronkelijke belasting (b, zie tabel I) over een periode van 5 jaar. Getallen in de afb. geven de lengte van de anaerobe perioden weer in dagen.







Afb. 8 - Ortho-fosfaat flux uit diepe sediment (1), particulier organisch-P gehalte (2) en ortho-P gehalte in water (3) bij een externe belasting van  $1 \text{ g P/m}^2/\text{jaar}$  (d, tabel I).

Ook in een simulatie, waarbij de verblijftijd is opgevoerd tot 200 dagen en de externe belasting is gereduceerd tot  $2,5 \text{ g P/m}^2/\text{jaar}$  en  $1,5 \text{ g P/m}^2/\text{jaar}$  als ortho-fosfaat resp. anorganisch fosfaat, is op korte termijn geen verbetering van de waterkwaliteit te verwachten: zie afb. 4, curve c voor de ortho-fosfaat concentratie in het water. De particulier P concentratie vertoont een zelfde verloop als de in afb. 5 geschetste situaties waarbij de pieken tussen die van a en b liggen.

De voor Nederlands oppervlaktewater aanbevolen maximale fosfaatbelasting van  $1 \text{ g P/m}^2/\text{jr}$ . [KNCV, 1976], is in een volgende simulatie uitgetest. Te zien is (afb. 8) dat er de eerste jaren een sterke daling optreedt in zowel het ortho-fosfaat als het particulier organisch-P gehalte. Na een aantal jaren vervlakt de daling en wordt tevens de invloed van door de bodem nageleverd fosfaat op de algengroei herkenbaar. Duidelijk is dat de jaarlijkse algengroei bij deze belasting grotendeels voorkomen worden.

### Conclusies

— Het ontwikkelde fosfaatbalansmodel blijkt redelijk goede simulaties te geven van het verloop van de ortho-fosfaat concentratie in het oppervlaktewater van het Brielse Meer in de 70-er jaren.

— De jaarlijks optredende anaerobe condities aan het grensvlak sediment-water in de diepe delen van het meer blijken een belangrijke rol te spelen in de fosfaatbalans van het water.

— Beleidsmaatregelen als halvering van de externe belasting of verlenging van de verblijftijd van het water in het meer heeft weinig invloed op de periodieke algengroei. De te nemen maatregelen dienen veel ingrijpender te zijn.

— Een reductie van de externe belasting tot in de orde van grootte van  $1 \text{ g P/m}^2/\text{jaar}$  kan binnen een redelijke tijd excessieve algengroei voorkomen.

### Literatuur

- Bannink, B. A. *Samenhang tussen waterkwaliteit en waterkwaliteit bij studies van oppervlaktewateren: Het Deltagebied*. H<sub>2</sub>O 12 (1979), 52-56.
- Hieltjes, A. H. M., 1980. *Eigenschappen en gedrag van fosfaat in sedimenten*. Dissertatie TH Twente, Enschede.
- Hieltjes, A. H. M. en Lijklema, L. *Nalevering van fosfaat door sedimenten. III: Interactie van fosfaat in sediment en (poriën)water*. H<sub>2</sub>O 12 (1979), nr. 26, blz. 599-602 en 608.
- Hieltjes, A. H. M. en Lijklema, L. *Nalevering van fosfaat door sedimenten. IV: Transport over het grensvlak sediment-water*. H<sub>2</sub>O 13 (1980), nr. 25, 612-614 en 639-640.
- KNCV, 1976. *Fosfaten in het Nederlandse Oppervlaktewater*. Rapport van de Stuurgroep Fosfaten van de KNCV.
- Redactie: H. L. Golterman. Sigma Chemie.
- Kraan, R. A., 1974. *THT-SIM, a Conversational simulation program on a small digital computer*. Journal A, Vol. 15, No. 4, 186-190.
- Lijklema, L. *Binding van o-fosfaat door ijzer(III)- en aluminiumhydroxiden: theorie en praktische betekenis*. H<sub>2</sub>O 12 (1979), nr. 23, blz. 511-513 en 524.
- Lijklema, L. en Hieltjes, A. H. M. *Nalevering van fosfaat door sedimenten. I: Inleiding; II: Sedimentanalyse*. H<sub>2</sub>O 12 (1979), nr. 18, blz. 390-396.
- Lorenzen, M. en Mitchell, R., 1973. *Theoretical effects of artificial destratification on algal production in impoundments*. Env. Sci. and Techn. 7 [10], 939-944.
- Rijkswaterstaat, 1972 en 1974. *De waterkwaliteit van het Brielse Meer*. Nota's 13-72, 23-72, 74-01 Afd. Waterhuishouding c.a. Milieu-onderzoek, Middelburg.



### Verschenen:

### Hydrologie van de Bellebeek

Dit boekje is het vijfde in de sinds enkele jaren lopende Hydrologiereeks van de Vrije Universiteit van Brussel. In deze reeks presenteert de VUB uiteenlopende onderwerpen van haar hydrologisch/waterhuishoudkundig onderzoek.

Het boekje geeft meer dan alleen maar een beschrijving van de hydrologie van de Bellebeek, zoals de titel suggereert. Er wordt ook een ontwerpberekeningsprocedure beschreven voor hoge winter- en zomer-afvoeren. Het boekje eindigt met 'Besluiten en voorstellen'.

Het stroomgebied van de Bellebeek, gelegen ten westen van Brussel, is ruim  $100 \text{ km}^2$  groot. Het is in de afgelopen 25 jaar onderhevig geweest aan sterke urbanisatie, waardoor het hydrologisch regime ook veranderd is. In het bijzonder zijn de piekafvoeren hoger geworden, hetgeen tot frequentere overstromingen heeft geleid.

Na de 'Inleiding en probleemstelling' in hoofdstuk 1, zijn in hoofdstuk 2, dat bijna de helft van het boekje uitmaakt, alle basisgegevens verantwoord, te weten topografische, fysiografische, hydrografische, geologische en bodemkundige gegevens, alsmede het landgebruik. Het stroomgebied is daarbij onderverdeeld in een aantal kleinere deelstroomgebieden. Uit de beschrijving, figuren en tabellen blijkt wel dat met betrekking tot genoemde aspecten veel gegevens over dit stroomgebied zijn verzameld en bewerkt.

In hoofdstuk 3 wordt een ontwerpberekeningsmethode voor hoge afvoeren beschreven. De auteurs constateren terecht dat een statistische analyse van waargenomen afvoeren — zo al een voldoende lange reeks van waarnemingen beschikbaar zou zijn — niet zinvol is gezien de verandering in het landgebruik. Ze vallen daarom terug op neerslaggegevens en passen daarop in feite het looptijdbeginsel toe. Enige kritische kanttekeningen zijn hier wel op hun plaats. Zo worden ontwerpbuïen beschouwd waarvan de duur de concentratietijd overschrijdt. De bij die duur behorende intensiteit is zeker lager dan die van een even frequent voorkomende bui waarvan de duur gelijk is aan de concentratietijd. Reden waarom de becijferde piekafvoeren wel eens te laag zouden kunnen zijn. Bovendien wordt bij de berekening van de piekafvoeren de grondwaterafvoer verwaarloosd, hetgeen in natte perioden ('s winters) wel eens ontoelaatbaar zou kunnen zijn. De berekeningsresultaten worden overigens in hoge mate bepaald door de ingevoerde ontwerpafvoercoëfficiënten, die wat uit de lucht komen rollen.

De auteurs vinden dat de piekafvoeren