

De fosfaathuishouding in het Brielse meer

1. Inleiding

In het water dat vanuit de Oude Maas in het Brielse Meer wordt ingelaten, werd in 1972 en 1973 een ijzeroplossing gedoseerd met het doel te onderzoeken of op deze wijze een reductie van het fosfaatgehalte verkregen kon worden. Het onderzoek werd uitgevoerd door de Afdeling Milieuonderzoek van de Deltadienst Rijkswaterstaat als uitvloeisel van de werkzaamheden van de Projectgroep 'Brielse Meer'. Enkele van de eerste resultaten werden eerder uitvoerig beschreven door Klomp [1].



IR. G. VAN STRATEN
Vakgroep Procesbeheersing en
Milieubeheer
Afd. der Chemische Technologie
Technische Hogeschool Twente



DR. L. LIJKLEMA
Vakgroep Procesbeheersing en
Milieubeheer
Afd. der Chemische Technologie
Technische Hogeschool Twente

In het kader van de eutrofiëringsproblematiek kan het Brielse Meer gezien worden als een proefvijver voor de Deltameren, die onder andere door fosfaatrijk Rijnwater worden gevoed. In het algemeen is het onderzoek gericht op de vraag welke beheersalternatieven met betrekking tot de waterkwaliteit ter beschikking staan. Naast beïnvloeding van het nutriëntgehalte van de grote rivieren zelf kan men daarbij denken aan meer of minder doorspoelen (inlaatregiem), het doseren van ijzer- of aluminiumzouten (defosfatering) en het beperken van de lozingen (derde trap zuivering of afvoer naar zee). In elk van deze gevallen is de probleemstelling tot welk niveau de beoogde maatregel het fosfaatgehalte zal doen dalen. Daarnaast is het vanzelfsprekend van belang te weten of de bereikte daling voldoende is om ongewenste algenbloei tegen te gaan. Deze laatste vraag is van biologische aard en zal hier verder niet aan de orde komen. Op de overige aspecten zal wel worden ingegaan.

Dit artikel is bedoeld als bijdrage tot de evaluatie van de uitgevoerde defosfateringsproef. Bij de hier gevolgde methode wordt gebruik gemaakt van de bemonsteringsgegevens, die door de Deltadienst zijn verzameld. De verwerking van de gegevens alleen is echter niet in staat een compleet beeld te geven. Dit is eerst mogelijk, indien ook de in ontwikkeling zijnde inzichten in de optredende chemische en biologische processen in de beschouwing worden be-

trokken. In deze bijdrage komt dit facet slechts zijdelings ter sprake.

2. Het Brielse meer

Het Brielse Meer bestaat bij benadering uit twee gedeelten, nl. een 'betrekkelijk smal en uniform deel van 8,5 km lengte, georiënteerd in oost-west richting ('het voedingskanaal') en een tamelijk breed, grillig gevormd langwerpige deel, ca. 11 km lang met een hoofdas in de richting zuidoost-noordwest ('het meer'). In het voedingskanaal kan (meestal) fosfaatrijk water uit de Oude Maas worden ingelaten. Aan de fosfaatbelasting van het meer dragen voornamelijk de lozing van de woonkernen (o.m. Den Briel) en de uitslag van polderwater bij. Er vinden enkele ontstekkingen plaats ten behoeve van de industrie, terwijl in het noordwesten overtollig water kan worden uitgelaten. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar Klomp [1].

3. Werkwijze

Eerst zal een beknopte beschrijving worden gegeven van de reacties, die in het meer kunnen optreden. Een overall eerste orde reactiecoëfficiënt voor totaalfosfaat wordt geïntroduceerd. Vervolgens wordt ingegaan op de vraag of het meer als ideaal gemengd mag worden opgevat. Met behulp van een stationair mengmodel is dan een eerste indruk te geven over de effecten van doorspoeling, lozingsbeperking of verhoging van de reactiecoëfficiënt op de fosfaatconcentratie. Een verfijning wordt verkregen met een dynamisch mengmodel, waardoor het mogelijk is de reactiecoëfficiënt te schatten als functie van de tijd. Het met dit model berekende verloop zal worden vergeleken met dat van andere variabelen als ijzer- en chlorofylgehalte. Tenslotte zullen enkele conclusies worden geformuleerd.

4. Beschrijving van het reactiegebeuren

Bij dosering van ferrozouten aan oppervlaktewater leiden oxidatie, flocculatie en coagulatie tot de vorming van sedimenteerbaar materiaal, waaraan ook een bepaalde hoeveelheid fosfaat kan zijn geadsorbeerd (c.q. chemisch gebonden). Uit nog lopend modelonderzoek aan deze processen is reeds gebleken, dat de verwijderde hoeveelheid fosfaat met name afhangt van de beginconcentratie fosfaat, de ijzerdosering en de pH. Naast deze factoren kan in het meer ook de wind een rol spelen, omdat deze de uiteindelijke sedimentatie van de gevormde ijzerhydroxyde-fosfaatcomplexen beïnvloedt. Naast deze chemisch-fysische reactiegebeuren is er ook biochemische omzetting door opname door algen. Ook dit resulteert uiteindelijk via afsterven en sedimentatie in een netto transport naar de bodem, hoewel

bij het afsterven door hydrolyse een belangrijk deel van het gebonden fosfaat rechtstreeks gerecirculeerd wordt [2].

In de navolgende beschouwing is een sterk vereenvoudigde beschrijving nodig van al deze gecompliceerde reacties. Hiervoor wordt het concept van de eerste orde reactiecoëfficiënt geadopteerd:

$$\frac{dP}{dt} = -kP \quad (1)$$

P stelt hierin het totaal fosfaat gehalte voor, omdat over orthofosfaat geen betrouwbare gegevens ter beschikking stonden. Gezien het bovenstaande valt het te verwachten, dat de eerste orde reactiecoëfficiënt k onder meer zal afhangen van het ijzergehalte, de pH, het verloop van het chlorofylgehalte en de wind.

5. Het meer als ideale menging

Menging in het meer wordt vooral veroorzaakt door stromingen die door de wind worden opgewekt. [3]. De vraag rijst of de omstandigheden zodanig zijn, dat men het meergedeelte als een ideaal gemengd bekken mag opvatten. Hiervoor moet aan de volgende criteria gelijktijdig zijn voldaan: — de mengtijd moet kleiner zijn dan de hydraulische verblijftijd; — de mengtijd moet kleiner zijn dan de karakteristieke reaktietijd.

Voor de mengtijd kan men enkele malen de circulatietijd nemen. De circulatietijd valt te schatten uit de gemiddelde snelheden in boven- en onderlaag en bedraagt bij een windsnelheid van 5 m/s voor het meergedeelte ongeveer 5 dagen, zodat de mengtijd zo'n 10 à 20 dagen zal zijn. Nemen we voor de karakteristieke reaktietijd de tijd waarin de concentratie gehalveerd is (i.e. $(\ln 2)/k$) en gebruiken we de later berekende k waarde van $0,015 \text{ dag}^{-1}$ dan bedraagt de reaktietijd ongeveer 45 dagen. De hydraulische verblijftijd varieert tussen de 50 en 200 dagen.

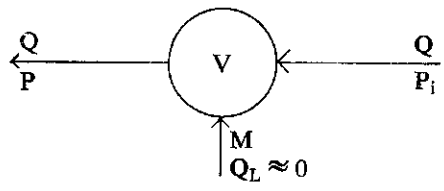
Wanneer we deze getallen bezien, dan blijkt dat het meergedeelte met betrekking tot fosfaat nog juist als ideaal gemengd beschouwd mag worden, hoewel incidenteel (weinig wind of snelle doorspoeling) belangrijke concentratieverschillen in de lengterichting kunnen voorkomen. Vanwege de korte verblijftijd in het kanaalgedeelte (5 - 10 dagen) mag de ideale mengbenadering daar niet worden toegepast. Terzijde zij opgemerkt, dat gezien de kort generatietijden voor algen (1 à 2 dagen) het meer voor chlorofyl zeker niet ideaal gemengd is, hetgeen ook door de metingen bevestigd wordt.

6. Stationaire modellen

6.1. Het ideale mengmodel

Het is illustratief eerst te kijken naar de

eigenschappen van een eenvoudig ideale mengermode (zie definitieschets, afb. 1).



Afb. 1 - Definitieschets mengermode.

De aangebrachte schematisaties zijn:

- het meer is ideaal gemengd, volume V;
- er is één watervoerende inlaat met debiet Q en concentratie P_i;
- de lozings M (massa/tijd) gaan niet gepaard met enig debiet van belang (Q_L ≈ 0);
- P verdwijnt volgens een eerste orde reactie, met reactiecoëfficiënt k.

De massabalans voor P ziet er dan als volgt uit:

$$\frac{d(VP)}{dt} = M(t) + QP_i - QP - kVP \quad (2)$$

In de stationaire toestand is het linkerlid nul, zodat voor de concentratie P volgt:

$$P = \frac{M + QP_i}{Q + kV} \quad (3)$$

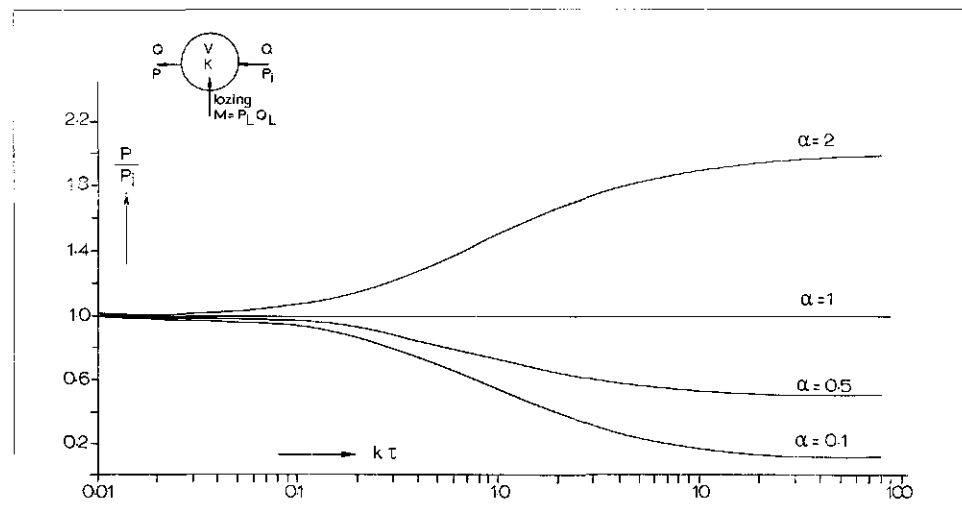
Dit kan ook worden geschreven als

$$\frac{P}{P_i} = \frac{1 + \alpha k\tau}{1 + k\tau} \quad (4)$$

waarin $\tau = V/Q =$ hydraulische verblijftijd (5)

$\alpha = \frac{M}{kVP_i} =$ concentratiebepalende parameter (6)

Afb. 2 - Fosfaatgehalte als functie van de verblijftijd bij het ideale mengermode.



TABEL I - Gegevens voor het meer als geheel. Het volume is ongeveer 23 x 10⁶ m³.

Periode	Q _i 1000 m ³ /d	P _i mg/l	Q _L 1000 m ³ /d	M kg/d	P _L mg/l	P mg/l	B kg/d	Fe dos.
juli/dec. '71	130	0,32	36	46	1,28	0,29	45	—
jan./juni '72	345	0,44	55	84	1,53	0,31	153	+
juli/okt. '72	66	0,33	47	93	1,98	0,22	84	+
nov./dec. '72	367	0,38	84	87	1,04	0,24	125	+
jan./juni '73	202	0,50	63	75	1,19	0,35	95	+
juli/dec. '73	145	0,61	89	115	1,29	0,25	126	+
jan./juni '74	212	0,50	61	87	1,43	0,33	117	—

TABEL II - Parameters in het stationaire mengermode.

Periode	k dag ⁻¹	τ dag	kτ	α	Fe dos.
juli/dec. '71	0,007	130	0,9	0,7	—
jan./juni '72	0,021	60	1,2	0,3	+
juli/okt. '72	0,017	185	3,1	0,6	+
nov./dec. '72	0,023	50	1,1	0,3	+
jan./juni '73	0,012	90	1,1	0,3	+
juli/dec. '73	0,022	100	2,1	0,2	+
jan./juni '74	0,015	85	1,3	0,3	—

De parameter α is te interpreteren als de verhouding van de per tijdseenheid geloosde hoeveelheid en de hoeveelheid, die in dezelfde tijd uit het inlaatwater zou zijn weggereageerd. Als α = 1 houden beide processen elkaar in evenwicht, zodat in dat geval de concentratie in het meer gelijk zal zijn aan die in het inlaatwater. De relatie van P/P_i met kτ is voor verschillende waarden van α weergegeven in afb. 2. Uit de afbeelding blijkt, dat sterker doorspoelen gunstig is als α > 1 (grote lozingsbelasting of lage inlaatconcentratie) en ongunstig als α < 1. Tevens kan uit de afbeelding voor verschillende α-waarden de gevoeligheid van de relatieve concentratiedaling voor wijziging in de verblijftijd worden afgelezen.

6.2. Toepassing op het Brielse Meer

De gegevens voor het Brielse Meer zijn ontleend aan de massabalansen, die half-

jaarlijks door de Deltadienst worden gepubliceerd. Een en ander is in tabel I samengevat.

De gemiddelde lozingsconcentratie P_L is berekend als M/Q_L. In de laatste kolom is aangegeven of er wel (+) of niet (—) ijzer gedoseerd is. B stelt de uit de massabalansen berekende berging van totaal fosfaat voor. Uit dit gegeven kan een schatting voor k worden verkregen, immers B is gelijk aan de accumulatieterm kVP uit de massabalansen.

Uit de tabel blijkt, dat het in de vorige paragraaf gegeven model een te grote vereenvoudiging inhoudt met betrekking tot het lozingsdebiet. Het is daarom nodig het model aan te passen. Men kan vrij gemakkelijk aantonen, dat ook dan vergelijking (4) geldig blijft, mits de α-factor dan wordt gedefinieerd als

$$\alpha = \frac{M}{kVP_i} \left(1 - \frac{P_i}{P_L}\right) \quad (7)$$

en mits men de verblijftijd τ betreft op het totale uitlaatdebiet Q_u = Q_i + Q_L. In tabel II zijn de berekende parameters van het gemodificeerde model weergegeven. Uit de resultaten voor dit vereenvoudigde model zijn reeds enkele interessante conclusies te trekken. Zo blijkt bijv., dat de reactiecoëfficiënt nogal grote variaties vertoont.

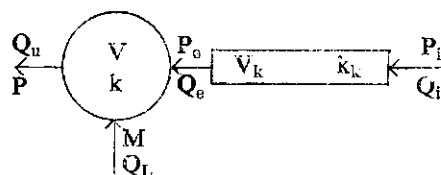
Men kan niet zeggen, dat de coëfficiënt door de ijzerdosering significant verhoogd wordt, termeer daar de lage waarde in juli/december 1971 weinig betrouwbaar is, vanwege de zeer grote spreiding in de analyseresultaten in die periode. Voor een definitieve conclusie zullen de resultaten van de perioden na juni 1974 moeten worden afgewacht.

Toepassing van afb. 2 met de α- en kτ-

waarde uit de tabel leidt tot de constatering, dat van verhoging van de verblijftijd slechts een gering effect op het fosfaatgehalte mag worden verwacht. Een aanzienlijke verbetering kan wel worden bereikt door het terugdringen van de belasting door lozingen (lagere α).

6.3. *Het propstroom-mengemodel*

Aanzienlijk meer inzicht kan worden verkregen, indien men het kanaal en het meer afzonderlijk beziet. Het ligt voor de hand een propstroom als model voor het kanaalgedeelte te kiezen. Zo ontstaat dan een propstroom-mengemodel (zie definitie-schets, afb. 3). In het algemeen zullen de reactiecoëfficiënten voor kanaal en meer niet gelijk zijn, onder meer als gevolg van sedimentatieprocessen.



Afb. 3 - Definitie-schets propstroom-mengemodel. In het kanaalgedeelte vinden geen lozingen plaats. De onttrekkingen aan het kanaal zijn verwaarloosd ($Q_e = Q_i$).

De vergelijkingen waarmee de stationaire toestand kan worden beschreven zijn:

— massabalans voor het meer
 $M + Q_i P_e - Q_u P - kVP = 0$ (8)

— relatie P_e en P_i
 $P_e = P_i \exp[-k_k \tau_k]$ (9)

— verblijftijden en debieten

$$\tau_k = \frac{V_k}{Q_i}$$

$$\tau = \frac{V}{Q_u}$$
 (11)

$$Q_u = Q_L + Q_i$$
 (12)

Uit deze vergelijkingen volgt weer een relatie tussen P/P_i en $k\tau$:

$$\frac{P}{P_i} = \frac{\beta + \alpha k\tau}{1 + k\tau}$$
 (13)

waarin

$$\alpha = \frac{M}{kVP_i}$$
 (14)

en

$$\beta = \frac{Q_i}{Q_u} \exp[-k_k \tau_k]$$
 (15)

De factor β is nu verder als een parametrische functie van $k\tau$ te beschrijven:

$$\beta = (1 - \Theta \cdot k\tau) \exp \left[-\frac{\mu \Phi k\tau}{1 - \Theta k\tau} \right]$$
 (16)

$$\mu = \frac{k_k}{k}$$
 (17)

$$\Theta = \frac{Q_L}{kV}$$
 (18)

$$\Phi = \frac{V_k}{V}$$
 (19)

De relatie (13) vertoont opmerkelijk veel gelijkenis met vergelijking (4); vergelijking (4) is in feite een bijzonder geval met $\beta = 1$. Afb. 4 geeft de hier gegeven verbanden weer. In het rechterdeel herkennen we weer afb. 2, waarbij nu echter β als extra para-

meter voorkomt. De bij een bepaalde waarde van μ , Θ en Φ behorende β kan als functie van $k\tau$ in het linkerdeel van de grafiek worden gevonden. In feite kan de factor β gezien worden als een correctiefactor, die het effect van het inlaatkanaal op de concentratie aan de ingang van het meergedeelte weergeeft.

6.4. *Toepassing op het Brielse Meer*

Uit een massabalans over het kanaal, waarin de accumulatiegegevens en formule (9) verdisconteerd zijn, kan de overall reactiecoëfficiënt voor het kanaal worden berekend. De berekeningen voor het meergedeelte zijn analoog aan die in paragraaf 6.2.

De gegevens en de modelparameters zijn weergegeven in de tabellen III, IV en V. Een van de meest opvallende resultaten is,

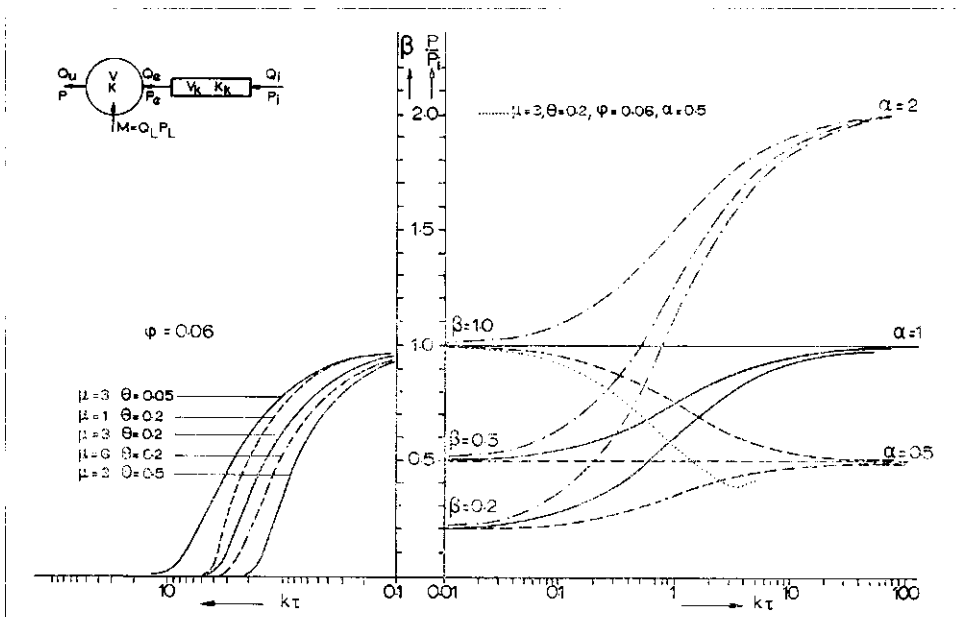
TABEL III - Gegevens en parameters kanaalgedeelte (propstroom).

Periode	Q_i 1000 m ³ /d	P_i mg/l	B kg/d	τ_k dag	k_k dag ⁻¹	Fe
juli/dec. '71	130	0,32	21	11	0,047	—
jan./juni '72	345	0,44	43	4,5	0,053	+
juli/okt. '72	66	0,33	10	17,5	0,016	+
nov./dec. '72	367	0,38	36	3	0,057	+
jan./juni '73	202	0,50	36	6,5	0,046	+
juli/dec. '73	145	0,61	45	9	0,043	+
jan./juni '74	212	0,50	31	6	0,036	—

TABEL IV - Gegevens meergedeelte.

Periode	Q_e 1000 m ³ /d	P_e mg/l	Q_i 1000 m ³ /d	M kg/d	P_i mg/l	P mg/l	B kg/d	Fe
juli/dec. '71	122	0,26	36	46	1,28	0,29	24	—
jan./juni '72	314	0,32	55	84	1,53	0,31	110	+
juli/okt. '72	49	0,15	47	93	1,98	0,23	74	+
nov./dec. '72	332	0,39	84	87	1,04	0,24	89	+
jan./juni '73	173	0,30	63	75	1,19	0,34	59	+
juli/dec. '73	105	0,27	89	115	1,29	0,25	81	+
jan./juni '74	185	0,35	61	87	1,43	0,33	86	—

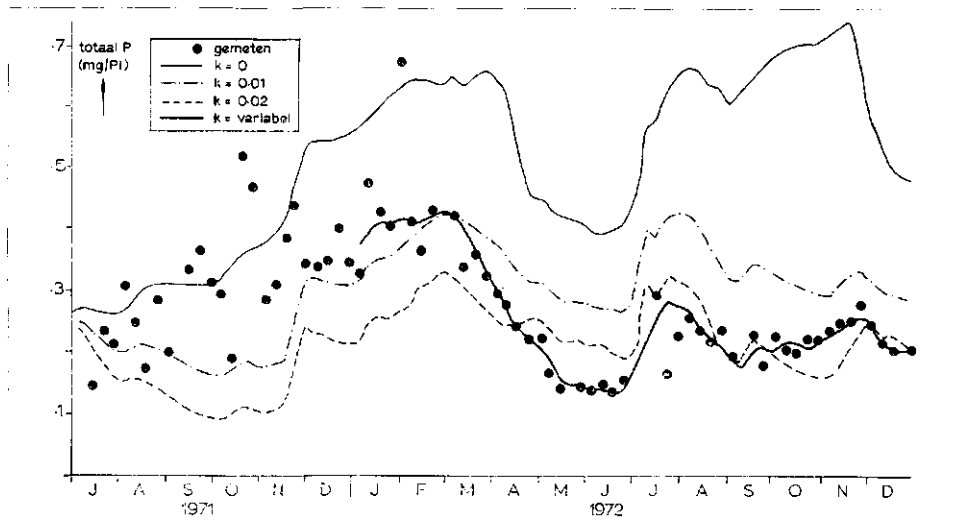
Afb. 4 - Fosfaatgehalte als functie van de verblijftijd bij het propstroom-mengemodel.



TABEL V - Parameters meergedeelte.

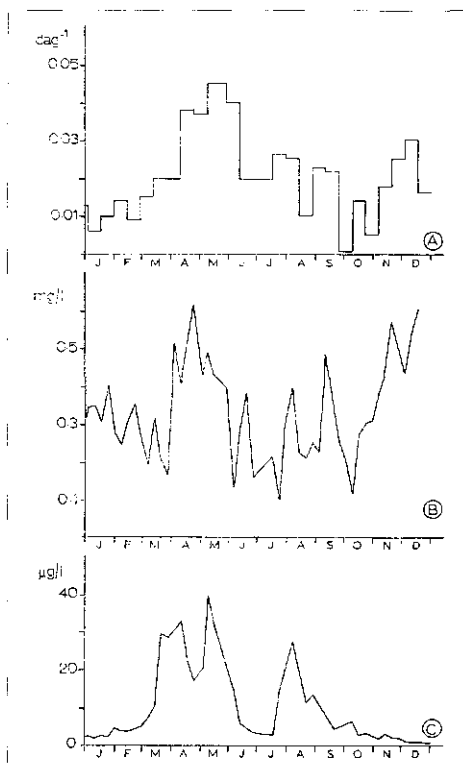
Periode	k dag ⁻¹	τ dag	$k\tau$	α	μ	θ	Φ	Fe
juli/dec. '71	0,004	135	0,5	1,7	11,7	0,44	0,068	-
jan./juni '72	0,016	60	1,0	0,6	3,3	0,16	0,070	+
juli/okt. '72	0,016	215	3,4	0,9	1,0	0,14	0,056	+
nov./dec. '72	0,017	50	0,9	0,6	3,4	0,24	0,057	+
jan./juni '73	0,008	95	0,8	0,9	5,7	0,36	0,059	+
juli/dec. '73	0,015	115	1,7	0,6	2,9	0,27	0,059	+
jan./juni '74	0,012	90	1,1	0,7	3,0	0,23	0,059	-

Afb. 5 - Gemeten en berekend verloop van het over het meer gemiddeld totaalfosfaat.



dat de fosfaatverwijderingssnelheid in het kanaal gemiddeld zo'n factor drie hoger is dan die in het meer (μ in tabel V). Dit is ook het geval in periodes waarin niet gedefosfateerd werd. Kennelijk bevat het inlaatwater een grote hoeveelheid reeds van nature sedimenteerbaar totaalfosfaat. Zowel voor het kanaal als voor het meer geldt, dat de nu bekende resultaten nog niet voldoende informatie geven over de vraag naar de effectiviteit van de ijzerdosering (als men de onbetrouwbare waarde van juli/december 1971 buiten beschouwing laat). Verdergaand onderzoek is dan ook gewenst.

Het effect van wijziging in de verblijftijd kan met afb. 4 worden onderzocht. Uit het linkerdeel van deze afbeelding blijkt, dat $k\tau$ niet kan stijgen boven de waarde behorend bij $\beta = 0$. Immers bij $\tau = 0$ is het inlaatdebit nul en kan niet verder dalen. De verblijftijd wordt dan geheel door het lozingsdebit bepaald. In het rechterdeel is voor een bepaalde keuze van de parameters μ , θ , Φ en α het verloop P/P_i aangegeven. Het blijkt, dat dit verloop een extreem vertoont (voor $\alpha < 1$ een minimum). Dit verloop is overigens vermoedelijk wel enigszins geflatteerd, omdat bij zeer geringe doorspoeling ook het kanaal een mengergedrag kan gaan vertonen (een aanwijzing hiervoor is de lage waarde voor k_k in juli/oktober 1972).



Afb. 6 - Verloop in 1972 van: A. Overall reactiecoëfficiënt voor totaalfosfaat; B. Over het meer gemiddeld totaal ijzergehalte; C. Over het meer gemiddeld chlorofylgehalte.

In dat geval zal het mengermodel ($\beta = 1$) opgaan.

Hoewel het propstroom-menger model een grotere gevoeligheid voor wijziging in de verblijftijd aangeeft dan het mengermodel (vgl. de stippellijn in afb. 4 met de lijn voor $\alpha = 0,5$, $\beta = 1$), kan men toch niet zeggen, dat verblijftijdsverandering een groot effect zal sorteren. Ook uit dit model blijkt, dat van beperking van de lozingen meer mag worden verwacht.

7. Het dynamisch mengermodel

Indien in vergelijking (2) alle grootheden als functie van de tijd worden opgevat, stelt deze vergelijking een dynamisch mengermodel voor het meergedeelte voor. We willen dit model hier gebruiken om een schatting te maken van de reactiecoëfficiënt als functie van de tijd. Hieraan ligt de gedachte ten grondslag, dat het mogelijk moet zijn uit een vergelijking van het verloop van k met het verloop van andere relevante variabelen conclusies te trekken omtrent de relatie, die er tussen deze grootheden al dan niet bestaat.

7.1. Het verloop van de reactiecoëfficiënt

De analyse werd uitgevoerd voor het 2e halfjaar 1971 en het gehele jaar 1972, omdat voor die periode de gegevens op computerbestanden aanwezig waren [4]. De gegevens werden voor het meergedeelte gesommeerd en ingevoerd in een programma waarmee vergelijking (2) kon worden opgelost. Dit werd gedaan voor perioden van telkens twee weken. Met behulp van een kleinste kwadraten procedure werd de reactiecoëfficiënt net zo lang gevarieerd, tot de best bereikbare overeenstemming werd bereikt tussen de berekende en de, over het meer gemiddelde, gemeten concentraties.

Op deze wijze ontstaat een blokvormig verloop van k met de tijd. Omdat de uitkomst gevoelig beïnvloed wordt door fouten in de meetwaarden is het model ook gebruikt met een aantal vaste k -waarden. Het resultaat is weergegeven in afb. 5. Aan de hand hiervan kon worden beslist welke meetresultaten als 'uitbijters' moesten worden gezien. Zoals in de afbeelding te zien is, zijn de meetresultaten van het najaar van 1971 onbruikbaar door de buitengewoon grote spreiding. Het uiteindelijke resultaat is weergegeven in afb. 6A. Het met deze variatie in k verkregen fosfaatverloop is ten overvloede in afb. 5 ingetekend. Er moet met nadruk op gewezen worden, dat het model gebruikt is voor curve-fitting. Het heeft zonder onafhankelijk verkregen kennis over het gedrag van k geen voorspellende waarde.

7.2. Relatie met andere variabelen

De over het meergedeelte gemiddelde chlorofyl en totaal-ijzergehalten zijn weer-

gegeven in afb. 6C en 6B. Vergelijking van afb. 6A en 6B brengt een zekere paralleliteit in het verloop van k en dat van totaalijzer aan het licht. De verwijderingssnelheid van fosfaat houdt dus zeker verband met het ijzergehalte in het water. Deze conclusie zou nog kunnen worden versterkt indien ook een relatie met de verwijderingssnelheid van ijzer aangetoond zou kunnen worden. Helaas was uitbreiding van de analyse in deze richting niet mogelijk door gebrek aan gegevens.

Het chlorofylgehalte in het meer kan als zodanig geen verband houden met de reactiecoëfficiënt voor totaalfosfaat, omdat ook het in algen opgenomen fosfaat tot het analyseresultaat blijft bijdragen.

Wel zou echter een verhoging van k mogen worden verwacht in perioden waarin algen afsterven en ten dele sedimenteren.

Misschien is dit een verklaring voor het feit, dat de reactiecoëfficiënt in juni/juli tamelijk hoog blijft, ondanks het lage ijzergehalte.

Onderzocht is ook of de windsnelheid met de waargenomen verschijnselen in verband kon worden gebracht. De hoogste windsnelheden (ca. 10 m/s) traden op begin april, eind mei en in de maanden november en december. Omdat voor het ijzer geen balans kon worden gemaakt is geen antwoord te krijgen op de vraag of de hoge ijzergehalten in het najaar misschien veroorzaakt worden door opwerveling t.g.v. de intensieve menging door de wind.

Over de relatie met de pH is weinig te zeggen. De pH aan het oppervlak bedroeg het gehele jaar ongeveer 8, met een maximum van 8,5 in perioden waarin ook het chlorofylgehalte maximaal was. Een verband met k is met deze gegevens niet te leggen.

8. Conclusies

Bij het beoordelen van de conclusies moet rekening gehouden worden met de in de inleiding genoemde restricties. Om een voorbeeld te geven: indien er vanuit het bodemsediment onder invloed van een hoge pH weer fosfaat kan worden vrijgegeven, zal dit resulteren in een lagere overall k -waarde. Het concept van de eerste orde reactie is dan te grof en kan tot fouten leiden. Daarom is naast de verwerking van de meetgegevens ook ander onafhankelijk onderzoek van groot belang. Met deze beperkingen in gedachten kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

1. Er bestaat een zeker verband tussen fosfaatverwijderingssnelheid en het ijzergehalte in het water.
2. De fosfaatreductie in het voedingskanaal is, ook onder natuurlijke omstandig-

heden, aanzienlijk en belangrijk hoger dan die in de rest van het meer.

3. Het effect van de ijzerdosering op het gemiddelde fosfaatgehalte is vooralsnog gering, in hoofdzaak ten gevolge van de overheersende invloed van de lozingen. Een definitieve uitspraak kan eerst na voortgezet onderzoek gedaan worden.

4. Optimalisatie van de doorspoeling door het meer is als beheersalternatief weinig effectief.

5. Een belangrijke reductie in fosfaatgehalte is te verwachten van beperking van de lozingen.

De auteurs zijn de Afdeling Milieuonderzoek van de Deltadienst Rijkswaterstaat erkentelijk voor het ter beschikking stellen van de gegevens.

Literatuur

1. Klomp, R. *Enige fysisch-chemische aspecten van de gedragingen van rivierwater in een sterk geëutrofeerd milieu*. *H₂O* 6 (1973) 92 - 97.
2. Golterman, H. L. *De invloed van fosfaat op het aquatisch milieu*. *H₂O* 6 (1973) 430 - 438.
3. Roskam, G. J. *Dispersie door wind, in het bijzonder in het Brielse Meer*. Doctoraalverslag TH Twente, afdeling Chemische Technologie (januari 1975).
4. Linders, J. B. H. J. *Een fosfaatmodel voor het Brielse Meer*. Doctoraalverslag TH Twente, afdeling Chemische Technologie (maart 1974).

