

Enige fysisch-chemische aspecten van de gedragingen van rivierwater in een sterk geëutrofeerd milieu

Inleiding

Het onderzoek, dat in dit artikel beschreven wordt, is onmiddellijk voortgevloeid uit de werkzaamheden van de Projectgroep „Brielse Meer” bestaande uit vertegenwoordigers van de NV „Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch”, het Rijks Instituut voor Zuivering van Afvalwater, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek en de Deltadienst. Deze projectgroep stelt zich tot doel onderzoek te coördineren en te entameren naar de fosfaathuishouding, het daarmee verband houdende eutrofiëringsproces, alsmede naar methoden ter verwijdering van de fosfaten, in verband met de waterkwaliteitsbeheersing op de toekomstige Deltawateren. Een praktisch verantwoorde methode om eutrofiëring te bestrijden is de ecologische methode, waarbij één of meer factoren, die de groeisnelheid van de algen bepalen, worden beperkt. Dosering van ijzer- en aluminiumzouten of kalk nabij het inlaatwater is hiervoor een reële mogelijkheid. Teneinde de invloed van deze methode op de fosfaathuishouding en het daarmee verband houdende eutrofiëringsproces te bestuderen, wordt bovenvermeld onderzoek in het Brielse Meer uitgevoerd.

Dit artikel tracht een indruk te geven van de complexe processen, welke zich in het Brielse Meer afspelen. Het

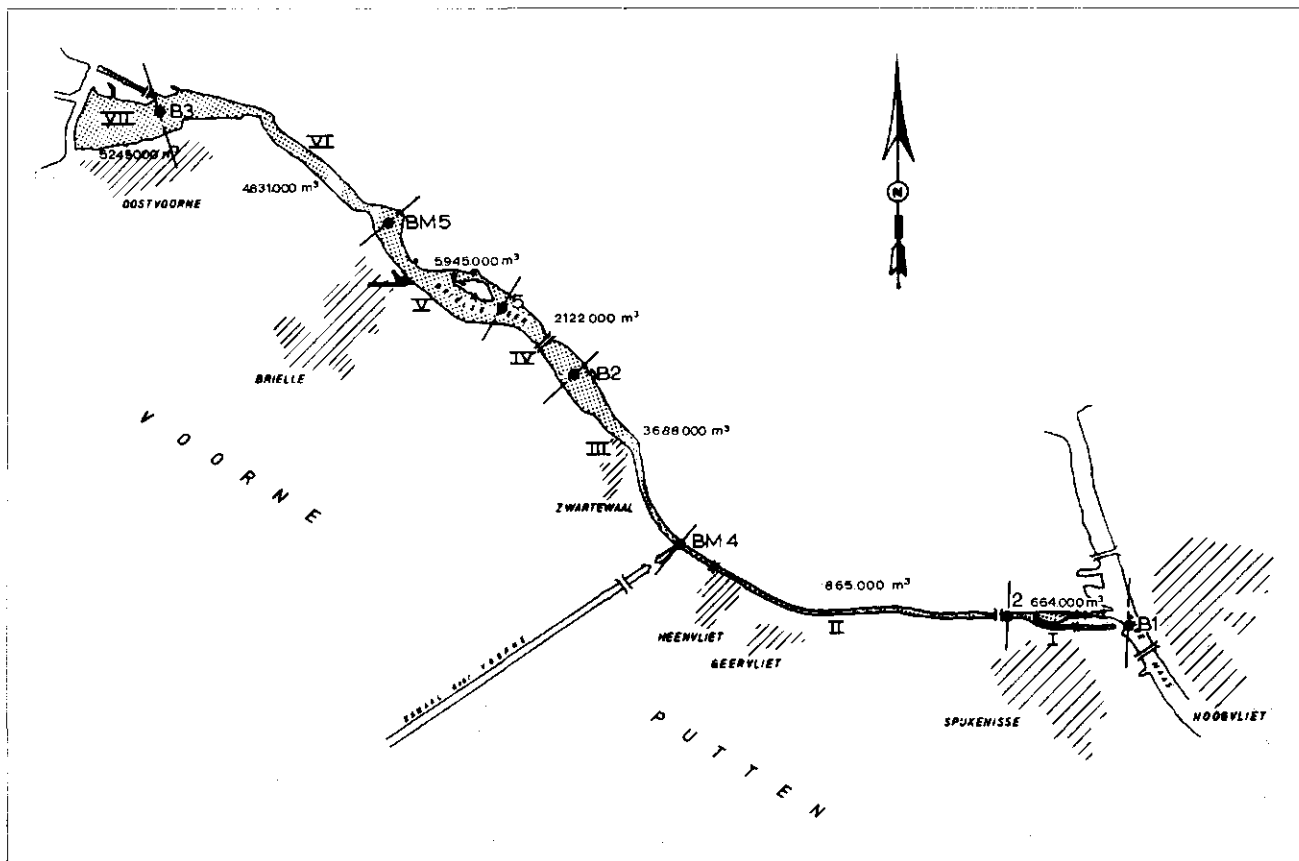
is gericht op drie aspecten van het uitgevoerde waterkwaliteitsonderzoek te weten het verloop van de waterkwaliteit in tijd en ruimte en de totaal fosfaatbalans.

Locatiebeschrijving

Uit een inventarisatie van de huidige stand van zaken met betrekking tot lozingen van huishoudelijk afvalwater en polderwater blijkt dat de drie grootste gemeenten Brielle, Vierpolders en Zwartewaal min of meer ongezuiverd afvalwater direct of indirect op het Brielse Meer lozen. Een belangrijk deel van het huishoudelijk afvalwater van Brielle wordt, evenals het biologisch oxidatief gezuiverde afvalwater van Rockanje via het gemaal van de polder Noordsluis op het Brielse Meer uitgeslagen. Via het gemaal nabij Zwartewaal wordt thans ongezuiverd afvalwater van Zwartewaal en Vierpolders, gemengd met polderwater, op het Brielse Meer uitgeslagen. Behalve het zojuist genoemde afvalwater van de verschillende woonkernen wordt ook door de polders „Noordsluis”, „Nieuwe Gote” en „Holle Mare”, alsmede een aantal kleinere polders polderwater uitgeslagen op het Brielse Meer.

Naast deze belastingen vinden langs het gehele Brielse Meer eveneens onttrekkingen ten behoeve van de agra-

Afb. 1 - Overzicht van de bemonsteringsstations en vakindeling met de daarbij behorende inhoud bij NAP van het Brielse Meer.



rische watervoorziening plaats, terwijl tegenover Geervliet, Brielle en ter hoogte van Rozenburg water wordt onttrokken ten behoeve van de industriële en gemeentelijke watervoorziening.

Uitvoering van het onderzoek

Het onderzoek valt uiteen in 3 delen, te weten: het onderzoek naar lokale belastingsbronnen naar de kwaliteit van het water in het meer, en naar de kwantitatieve aspecten van het Brielse Meer.

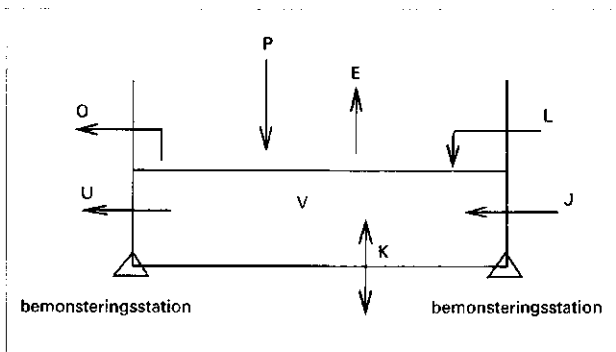
Het onderzoek naar lokale belastingbronnen omvat hoofdzakelijk het kwantificeren van lokale belasting. Zoals eerder vermeld bestaat deze belasting grotendeels uit uitgeslagen polderwater in meerdere of mindere mate verontreinigd met afvalwater van huishoudelijke of industriële aard. In verband hiermede worden door de betreffende waterschappen registraties verricht om de hoeveelheden uitgeslagen polderwater vast te leggen, terwijl bovendien periodiek bemonstering en meting van het desbetreffende polderwater plaats vindt. Naast het polderwater wordt ook de lozing van huishoudelijk afvalwater nabij Brielle maandelijks onderzocht.

Het onderzoek naar de kwaliteit van het water in het meer kan gesplitst worden in fysisch/chemisch, bacteriologisch en biologisch onderzoek. De metingen en bemonsteringen vinden wekelijks plaats in zeven meet- en bemonsteringsstations, die op regelmatige wijze verdeeld zijn over het Brielse Meer en zich niet onder directe invloed van lokale lozingen van afval- en polderwater bevinden.

Ten grondslag aan dit onderzoek naar de kwalitatieve aspecten van het Brielse Meer liggen de gegevens met betrekking tot de kwantitatieve waterbeheersing.

Toegepaste methodieken

Het spreekt welhaast vanzelf dat een waterbalans de grondslag vormt voor een stofbalans c.q. fosfaatbalans. Teneinde een zo gedetailleerd mogelijk beeld van de processen, die zich in het Brielse Meer afspelen, te verkrijgen, is het meer in zeven segmenten verdeeld die hoofdzakelijk bepaald zijn door de lokale situatie en de lokatie van meet- en bemonsteringsstations (zie afb. 1). Voor ieder segment kan een waterbalans worden opgesteld over een periode Δt . Er ontstaat dan een differentievergelijking op de hierna beschreven wijze.



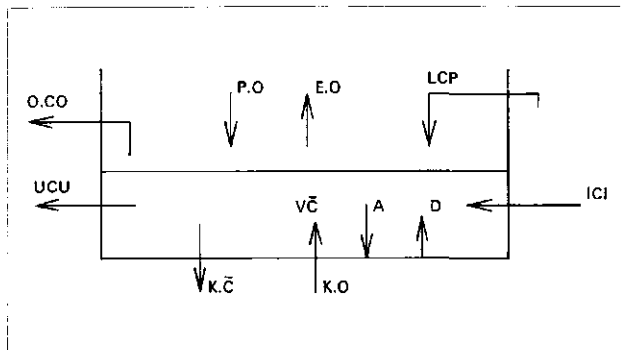
Voor bovenstaand segment geldt de volgende differentievergelijking:

$$V_b + I\Delta t + L\Delta t + P\Delta t = V_e + E\Delta t + O\Delta t + U\Delta t \pm K,$$

- waarin I \equiv ingelaten hoeveelheid water in het te onderzoeken segment (M^3/T);
- L \equiv lokale lozing van polderwater, huishoudelijk of industrieel afvalwater in het te onderzoeken segment (M^3/T);
- P \equiv neerslag in het te onderzoeken segment (M^3/T);
- V_b \equiv inhoud van het te onderzoeken segment aan het begin van de beschouwde periode (Δt) (M^3);
- E \equiv verdamping in het te onderzoeken segment (M^3/T);
- O \equiv onttrekkingen aan het te onderzoeken segment ten behoeve van huishoudelijke, industriële, of agrarische watervoorziening (M^3/T);
- K \equiv positieve of negatieve kwel in het te onderzoeken segment (M^3/T);
- U \equiv uitwisseling met het volgende segment (M^3/T);
- V_e \equiv inhoud van het te onderzoeken segment aan het einde van de beschouwde periode (Δt) (M^3).

Sommatie over de zeven segmenten geeft een waterbalans voor het gehele Brielse Meer over een periode van 14 dagen (Δt).

Naar aanleiding van de waterbalans kan een stofbalans bijvoorbeeld een fosfaatbalans worden opgesteld voor ieder segment.



De differentievergelijking wordt:

$$V_{c_b} + I_{c_i} \Delta t + L_{c_p} \Delta t + P \cdot o \Delta t + K \cdot o \Delta t = V_{c_e} + U_{c_u} \Delta t + O_{c_o} \Delta t + E \cdot o \Delta t + K \bar{c} \Delta t + (A - D) B \Delta t$$

in verkorte vorm:

$$V_{c_b} + I_{c_i} \Delta t + L_{c_p} \Delta t = V_{c_e} + U_{c_u} \Delta t + O_{c_o} \Delta t + K \bar{c} \Delta t + (A - D) B \Delta t$$

waarin

\bar{c}_b \equiv gemiddeld totaal-fosfaatgehalte van het te onderzoeken segment aan het begin van de beschouwde periode (G/M^3);

- c_i \equiv gemiddeld totaal-fosfaatgehalte van het ingelaten water over de beschouwde periode (G/M^3);
- c_p \equiv totaal-fosfaatgehalte van het uitgeslagen polderwater in meerdere of mindere mate verontreinigd met afvalwater (G/M^3);
- c_e \equiv gemiddeld totaal-fosfaatgehalte van het te onderzoeken segment aan het eind van de beschouwde periode (G/M^3);
- c_u \equiv gemiddeld totaal-fosfaatgehalte van het uitgewisselde water over de beschouwde periode (G/M^3);
- c_o \equiv de gemiddelde totaal-fosfaatconcentratie van het onttrokken water, ontstaan door lineaire interpolatie tussen 2 omliggende bemonsteringsstations (G/M^3);
- \bar{c} \equiv gemiddeld totaal-fosfaatgehalte in het segment in de beschouwde periode (G/M^3);
- A — D \equiv het netto transport tussen adsorptie en desorptie ($G/M^2/T$);
- B \equiv oppervlak van de bodem (M^2).

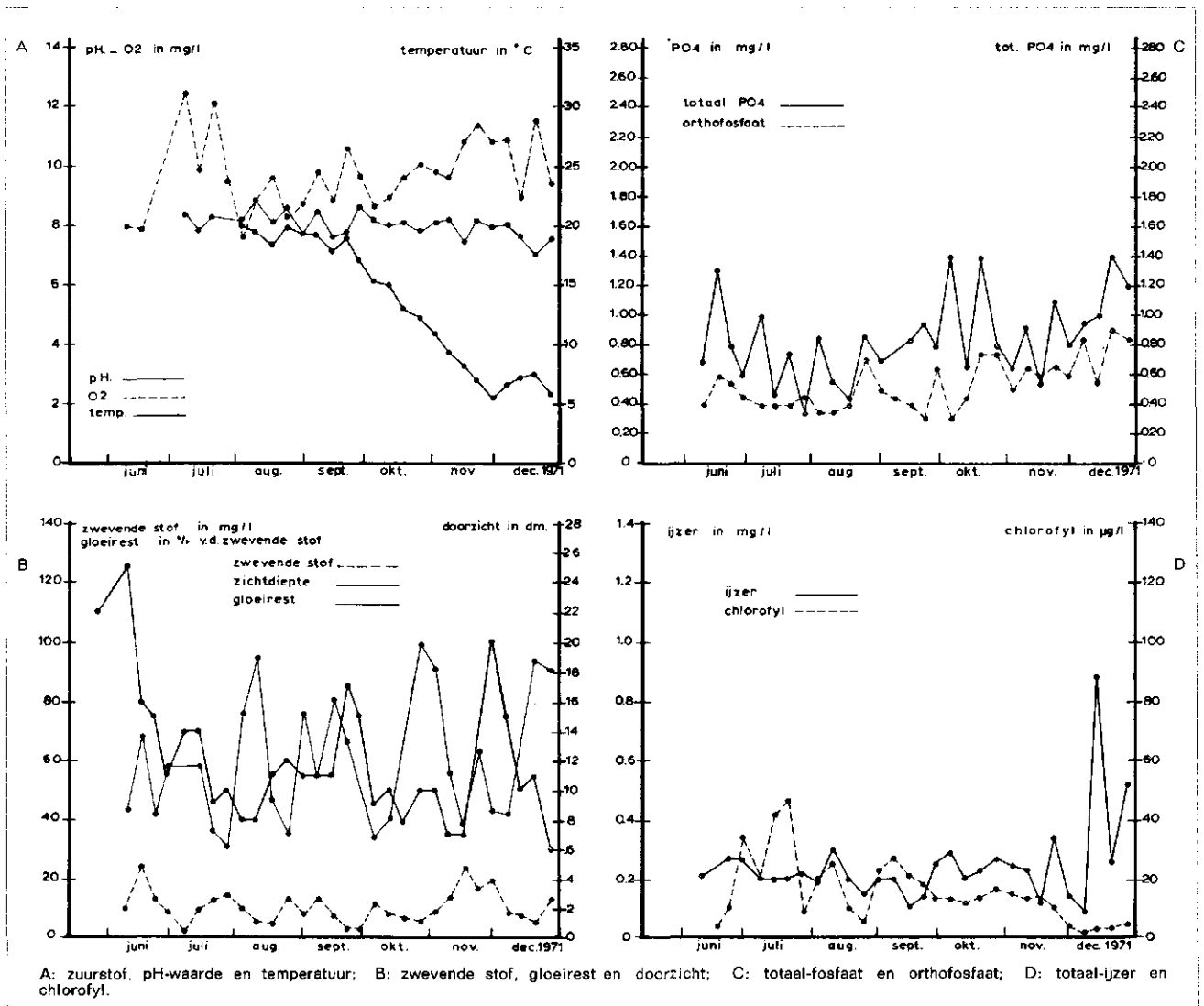
De onbekende bij deze vergelijking is het nettotransport van het fosfaat tussen bodem en water.

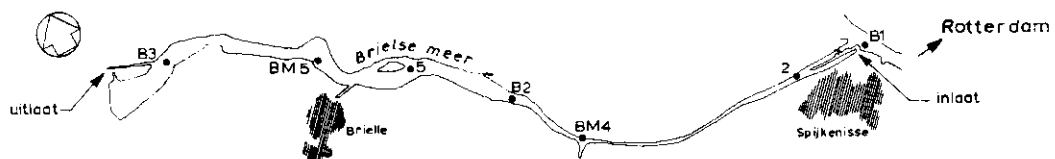
Presentatie en interpretatie van de gegevens

Uit het verloop van de verschillende waterkwaliteits-indicatoren van het Brielse Meer als functie van de tijd blijkt dat deze zeer grillig zijn hetgeen kenmerkend is voor milieu met een geringe stabiliteit en diversiteit in hydrobiologisch opzicht (zie afb. 2A, B, C, D), mede veroorzaakt door de omvangrijke belasting van huishoudelijk afvalwater en vervuuld polderwater.

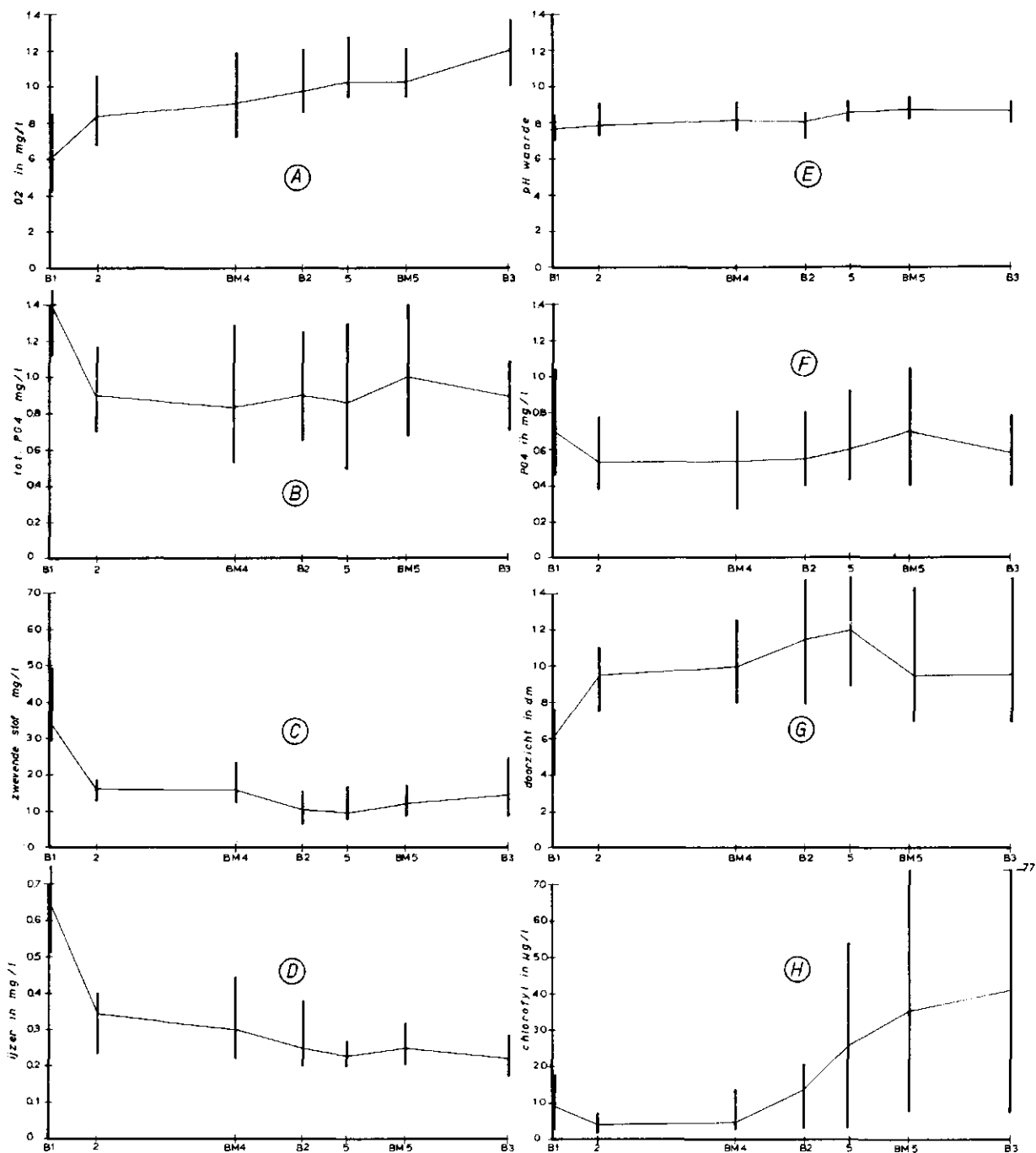
Met betrekking tot het verloop van de waterkwaliteit in het bekken als functie en locatie, komen een aantal interessante aspecten naar voren. Het inlaatwater (bemonsteringsstation B₁) bestaat uit een mengsel van water afkomstig van Spui en Oude Maas, dus ten dele uit Rijnwater en ten dele uit voorbezonden Rijn- en Maaswater. In het laatste half jaar van 1971 is periodiek 64 m³/sec. (gemiddeld 1,5 m/sec.) ingelaten nabij Spijkenisse. Indien voldoende verval aanwezig is, wordt met behulp van schuiven of met pompen ingelaten, hetgeen gepaard gaat met stroomversnellingen en turbulentie. Door dit intensieve mengproces, waarbij onder meer een regelmatige

Afb. 2 - Het verloop van een aantal waterkwaliteitsindicatoren als functie van de tijd over de periode juni t/m december 1971 in het bemonsteringsstation B₂ (ten westen van Zwartewaal).



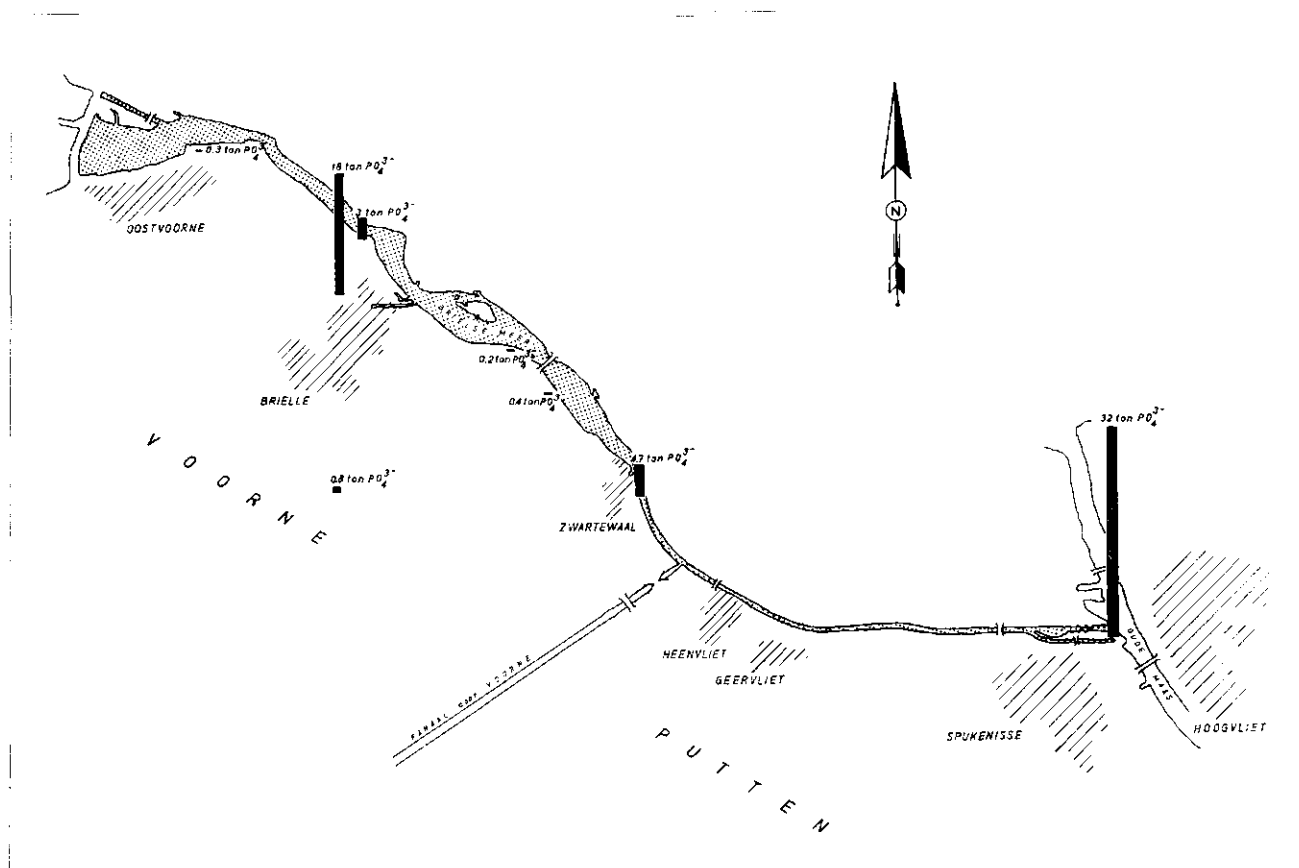


Noordzee



A: zuurstof; B: totaal-fosfaat; C: zwevende stof; D: totaal-ijzer; E: pH-waarde; F: orthofosfaat; G: doorzicht; H: chlorofyl.
De verticale lijnen geven een indruk van de spreiding van de gegevens.

Afb. 3 - Het verloop van een aantal waterkwaliteitsindicatoren als functie van de locatie over de periode juli t/m december 1971 in het Brielse Meer.



Afb. 4 - Overzicht van de bruto belasting totaal-fosfaat in het Brielse Meer over de periode juli t/m december 1971.

grensvlakvernieuwing water/lucht plaats vindt, gevolgd door een toenemende verblijftijd blijkt een aanzienlijke fysisch chemische zelfreiniging op te treden. De werking is enigszins te vergelijken met een aeratiebassin en een nabezinking. Het gevolg van deze processen is dat het O_2 -gehalte met circa 2 mg/liter toeneemt en dat vermoedelijk tengevolge van allerlei fysische en chemische processen (adsorptie, coagulatie, flocculatie) en mechanische processen (sedimentatie) het totaal fosfaatgehalte met 30 - 40 % en het orthofosfaatgehalte met circa 25 % afneemt, terwijl het gehalte aan totaal ijzer en zwevende stof met ± 50 % afneemt. Tenslotte neemt de helderheid van het water met circa 50 % toe. Eén en ander wordt in figuur 3A t/m H verduidelijkt. In het licht van de hierboven geschetste verschijnselen is het van groot belang de eigenlijke processen nader te leren kennen. Men kan zich in dit verband afvragen wat de invloed is van Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} en Fe^{3+} en van het tijdens de inlaatperiode opwarrelende bodemmateriaal van het (ondiepe) kanaal op dit zelfreinigingsproces.

De voortschrijdende zelfreiniging wordt in ernstige mate verstoord door lozingen van polderwater, dat in meerdere of mindere mate verontreinigd is met afvalwater van huishoudelijke aard. Met name nabij Zwartewaal wordt het fosfaatgehalte en het chlorofylgehalte significant verhoogd. De vraag is echter wel in hoeverre deze cijfers beïnvloed worden door stromingen tengevolge van opwaaiing.

Uit de gegevens voor het bemonsteringsstation B_2 (nabij Zwartewaal) valt voorts op te maken dat tengevolge van stroomverlammingsen de helderheid toe- en de hoeveelheid zwevende stof afneemt.

Het resultaat van de zelfreiniging wordt nabij Brielle voor de tweede maal ernstig verstoord. De oorzaak hiervan is lozing van polderwater en van ongezuiverd afvalwater van huishoudelijke aard. In meet- en bemonsteringsstation BM_5 wordt dan ook een toename van totaal fosfaat, orthofosfaat, chlorofyl, ijzer, zwevende stof en organisch gedeelte van de zwevende stof geconstateerd. Voorts wordt de toename van zuurstof niet geconstateerd en de helderheid neemt af.

In bemonsteringsstation B_3 wordt gemiddeld het hoogste zuurstofgehalte aangetroffen. Vermeld moet echter worden dat deze hoge gehalten voor een belangrijk deel te danken zijn aan de zuurstofproductie van algen, die overdag plaats vindt; 's nachts zullen deze zuurstofgehalten tengevolge van de ademing van de algen lager blijken.

De uitbundige eutrofiëringsverschijnselen (hypertrofiëring) in het westelijk gedeelte van het Brielse Meer worden op bijzonder duidelijke wijze geïllustreerd in afb. 3H, waar het gemiddeld chlorofylgehalte in de periode juli t/m december als functie van de plaats wordt weergegeven.

De zuurgraad (pH-waarde) neemt, over het gehele meer beschouwd, zeer geleidelijk toe (7,7 - 8,5). De relatief hoge waarden in 5, BM_5 en B_3 worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de activiteit van plantaardige organismen.

Onder meer met behulp van fosfaatbalansstaten zal op korte termijn getracht worden de relatie tussen trofiëgraad accumulatie, netto fosfaatbelasting en fosfaatgehalte zo goed mogelijk te benaderen. Bovendien kan

met behulp van een fosfaatbalans een gefundeerde indruk verkregen worden van de lokale situatie en de waarde, die aan de verschillende belastende bronnen toegekend kunnen worden.

Afb. 4 toont een overzicht van de bruto totaal fosfaatbelasting op het Brielse Meer over het laatste halfjaar van 1971. Hieruit blijkt dat nabij Spijkenisse circa 32 ton PO_4^{3-} is ingelaten terwijl nabij Zwartewaal en Brielle respectievelijk 4,7 en 21,8 ton PO_4^{3-} is uitgeslagen. Daarnaast zijn er een aantal kleine polders, die een geringe hoeveelheid fosfaat uitslaan.

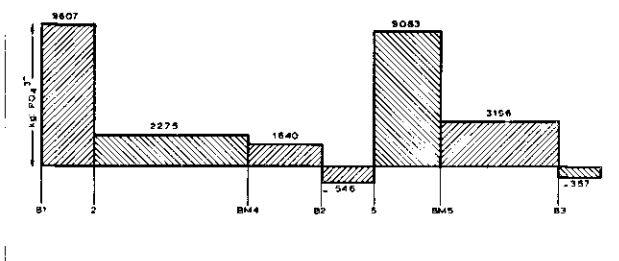
In afb. 5 wordt de halfjaarlijkse accumulatie in ieder segment weergegeven (berging PO_4^{3-}).

Reeds eerder is gesteld dat onder meer tengevolge van de turbulentie nabij de inlaat te Spijkenisse en een sedimentatieproces een deel van de fosfaten uit het water naar de bodem verdwijnt. Deze hoeveelheid wordt accumulatie genoemd maar met nadruk dient er op gewezen te worden dat hier in feite het netto transport tussen adsorptie en desorptie nabij de bodem is bedoeld.

Op het traject B₁ - BM₄ vinden geen lozingen van polder- of afvalwater plaats. Uit de geregistreerde afname van het fosfaatgehalte kan berekend worden dat circa 12 ton accumuleert, dat wil zeggen 40 % van de ingelaten hoeveelheid fosfaten wordt aan het water onttrokken. Daarnaast verdwijnt circa 1 ton aan onttrekkingen ten behoeve van de industriële watervoorziening en 2,3 ton aan negatieve wel. In sector III accumuleert voorts 1,6 ton PO_4 , wordt via negatieve kwel 1 ton afgevoerd en ten behoeve van de agrarische watervoorziening 3,3 ton onttrokken. In dit segment wordt echter nabij Zwartewaal 4,7 ton PO_4 geloosd. Het traject waarover gesproken wordt heeft lage gehalten aan chlorofyl (afb. 4H). In bemonsteringsstation B₂ wordt het gehalte aan chlorofyl weer hoger, zodat we dit punt als randvoorwaarde kunnen aannemen van 't gebied, waarin 's zomers blauwalgen voorkomen. Tengevolge van accumulatie, negatieve kwel en onttrekkingen zal de bijdrage aan de fosfaatbelasting afkomstig van het inlaatwater niet 32 ton maar 12 ton bedragen, dit is 40 % van de brutobelasting. In dit licht bezien blijkt dat niet het inlaatwater (12 ton) maar mogelijk Brielle (21 ton) de bron van fosfaten is die het meeste hinder geeft.

Wordt het gehele gebied beschouwd, dan is de totale brutobelasting circa 59 ton PO_4 ; de accumulatie bedraagt circa 26 ton, dat wil zeggen 44 %. De totale brutobelasting aan fosfaten per eenheid van wateroppervlak bedraagt 13 g $\text{PO}_4/\text{m}^2/1/2$ jaar (4,2 g $\text{P}/\text{m}^2/1/2$ jaar). Ter

Afb. 5 - Gemiddelde hoeveelheid geaccumuleerd totaal-fosfaat in kg PO_4 over de periode juli t/m december 1971 in het Brielse Meer.



vergelijking dient vermeld te worden dat uit onderzoek van het Limnologisch Instituut te Nieuwersluis is gebleken dat de accumulatie voor het IJsselmeer 90 % en de bruto fosfaatbelasting 6 - 8 g $\text{P}/\text{m}^2/\text{jaar}$ bedraagt.

Conclusies

Aan de hand van de beschouwde parameters blijkt dat de waterkwaliteit als functie van de tijd een zeer grillig verloop heeft, kenmerkend voor een schok-milieu, onder meer ten gevolge van de omvangrijke invloed van lozingen van afvalwater en vervuild polderwater.

Het inlaatwater ondergaat vanaf de inlaatsluis nabij Spijkenisse in fysisch, chemisch en bio-chemisch opzicht belangrijke veranderingen, misschien als gevolg van de inlaatprocedure, waarbij een intensief mengproces optreedt en de toenemende verblijftijd. Hierdoor worden op een traject van 1½ km de volgende kwaliteitsverbeteringen waargenomen:

- Het zuurstofgehalte neemt gemiddeld met circa 2 mg O_2/liter toe tot 8,5 mg O_2/liter .
- Het totaal-ijzergehalte neemt met ± 50 % af.
- Het totaal-fosfaatgehalte neemt met ± 40 % af.
- Het orthofosfaatgehalte neemt met ± 25 % af.
- De hoeveelheid zwevend materiaal neemt met ± 50 % af.
- Een aanzienlijke BOD-afname vindt plaats.

Een tweede duidelijke kwaliteitsverbetering treedt op nabij Zwartewaal ter plaatse van de profielverbreding. Een sedimentatieproces veroorzaakt een afname van gesuspendeerd materiaal.

Het resultaat van het hierboven beschreven zelfreinigingsproces wordt in ernstige mate verstoord door lozingen van polder- en afvalwater. Een dieptepunt in de waterkwaliteit wordt dan ook ter hoogte van Brielle bereikt.

De bruto fosfaatbelasting over het laatste half jaar van 1971 op het Brielse Meer bedraagt 13 g $\text{PO}_4/\text{m}^2/1/2$ jaar. De totale bruto fosfaatbelasting over het laatste halfjaar van 1971 op het Brielse Meer bedraagt 59 ton PO_4 -totaal. Hiervan wordt 33 ton PO_4 -totaal aan het Brielse Meer onttrokken, zodat 26 ton PO_4 -totaal in het Brielse Meer achterblijft. De accumulatiefactor bedraagt dan ook 44 %.

In het Brielse Meer werd in de tweede helft van 1971 circa 32 ton PO_4 ingelaten. Voordat echter deze hoeveelheid ter beschikking van de blauwalgen komt, wordt circa 20 ton aan de kringloop onttrokken via accumulatie (12 ton PO_4), kwel (3,3 ton PO_4), agrarische watervoorziening (1,4 ton PO_4). Van het rivierwater komt dus slechts 12 ton PO_4 ter beschikking van de algen.

Met betrekking tot de fosfaatbelasting, die rechtstreeks ter beschikking komt van de algen (circa 39 ton), is circa 70 % afkomstig van lokaal uitgeslagen afvalwater en polderwater, slechts 30 % is afkomstig van het ingelaten rivierwater. Het aandeel van Brielle (afvalwater en polderwater) is dan ook het grootst (circa 55 %). Dit in tegenstelling met hetgeen blijkt uit de bruto belastingen.