

Fosfaatbelasting van oppervlaktewater door grondwaterkwel

Deel 2: methoden voor de bepaling van de fosfaatbelasting

Inleiding

Eutrofiëring wordt al jaren als één van de belangrijkste waterkwaliteitsproblemen van het Nederlandse oppervlaktewater gezien. De voornaamste oorzaken van eutrofiëring zijn de hoge stikstof- en fosfaatbelasting. De fosfaat- en stikstofemissies naar het oppervlaktewater door huishoudens en industrie zijn de laatste jaren afgenomen [ministerie V&W, 1994]. Daarentegen blijkt de basisbelasting met fosfaat relatief toe te nemen. Deze basisbelasting bestaat vnl. uit opkwellend nutriëntrijk grondwater, dat

kwel aan de fosfaatbelasting van oppervlaktewater

Methoden voor het bepalen van de kwelintensiteit

Het opstellen van een waterbalans dient vooraf te gaan aan het opstellen van een stoffenbalans van een polder. Voor een nauwkeurige bepaling van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door grondwaterkwel moet zowel de ruimtelijke als de temporele variabiliteit van de kwelintensiteit worden gekwantificeerd.

Samenvatting

Onzekerheden in de conventionele bepaling van de bijdrage van nutriëntrijke grondwaterkwel aan de fosfaatbelasting van oppervlaktewater waren de aanleiding tot onderzoek naar de hydrochemische en geohydrologische processen bij kwel van grondwater in diepe polders. Uit veld- en modelonderzoek dat verricht is in vier polders in laag Nederland, is gebleken dat de intensiteit van grondwaterkwel zowel ruimtelijk als temporeel zeer variabel is in diepe polders [De Louw *et al.*, 1997]. Het opstellen van een waterbalans op jaarbasis voor een polder zal weinig inzicht geven in de werkelijke fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in het groeiseizoen. Een combinatie van analytische berekeningen, hydrologische modellen en veldmetingen geeft een beter inzicht in de ruimtelijke en temporele processen. Uit veldwaarnemingen bleek ook dat het grondwater tijdens het uittreden door de slootbodems of drains als gevolg van hydrochemische processen een kwaliteitsverandering ondergaat [De Louw *et al.*, 1997]. De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door kwel is daarom niet direct te relateren aan de fosfaatconcentratie van het kwellende grondwater. Het belangrijkste proces dat de fosfaatconcentratie beïnvloedt tijdens het uittreden van diep grondwater is oxidatie van opgelost Fe(II) en vervolgens neerslag van PO_4 -houdende ijzeroxides. Correctie voor vastlegging van fosfaat met een geochemische modellering komt redelijk tot goed overeen met veldwaarnemingen. Een meer eenvoudige, maar doeltreffende methode om te corrigeren voor vastlegging van fosfaat is aan te nemen dat het neerslaande Fe(III) maximaal gecompenseerd wordt door opgelost PO_4 . Als de PO_4 -concentratie op molbasis groter is dan de Fe-concentratie, zal het verschil doorslaan naar het oppervlaktewater.

kwelintensiteit. De methode is dus niet adequaat als men geïnteresseerd is in potentiële eutrofiëring van diepe polders door grondwaterkwel.

De reservoirbenadering

De reservoirbenadering [De Zeeuw, 1966] is een goede methode om een tijdsafhankelijke waterbalans van een polder



DRS. R. A. A. HETTERSCHIJT
NITG-TNO



DRS. P. G. B. DE LOUW
NITG-TNO



DRS. J. W. A. FOPPEN
NITG-TNO



DR. J. GRIFFIOEN
NITG-TNO



DRS. R. J. STURMAN
NITG-TNO

vooral in de diepere polders en droogmakerijen van laag Nederland een rol van betekenis speelt.

In diverse studies [ICW, 1976; ICW, 1982] worden getallen gepresenteerd voor de bijdrage van kwel aan de stofbalansen. In de betreffende studies wordt telkens naar voren gebracht dat de cijfers tamelijk onzeker zijn, zowel in het opstellen van de waterbalans die vooraf dient te gaan aan het opstellen van een stofbalans, als wel in het opstellen van de stofbalans zelf. Om tegemoet te komen aan de behoefte de bijdrage van nutriëntrijke kwel aan de fosfaatbelasting van oppervlaktewater beter te kwantificeren, is door TNO Grondwater en Geo-Energie(nu: NITG-TNO) een vierjarig onderzoek verricht in samenspraak met het ministerie V&W.

Eerder [De Louw *et al.*, 1997] is ingegaan op het seizoenale karakter van geohydrologische processen en de kwaliteitsverandering die grondwater ondergaat wanneer het uittreedt in sloten. Onzekerheden over de bijdrage van kwel aan stofbalansen vloeit voort uit het verwaarlozen van deze fenomenen bij de bepaling. In dit artikel worden aanbevelingen gedaan hoe deze fenomenen beschreven kunnen worden wat resulteert in een meer nauwkeurige bepaling van de bijdrage van grondwater-

Er zijn verschillende methoden voor het bepalen van de kwelintensiteit die onderverdeeld kunnen worden in: het opstellen van een waterbalans, de reservoirbenadering, veldmetingen, gebruik van geohydrologische analytische vergelijkingen en het gebruik van hydrologische modellen.

Opstellen van een waterbalans

De klassieke en meest simpele aanpak om de kwelintensiteit te bepalen bestaat uit het opstellen van een waterbalans op jaarbasis. De totale berging kan dan op nul gesteld worden en de kwelpost wordt in het algemeen gekwantificeerd als restpost waardoor impliciet alle fouten bij het bepalen van de andere balansposten in deze kwelpost worden meegenomen. Deze methode is dan ook onnauwkeurig voor kwantificering van de balanspost kwel als deze gering is ten opzichte van de totale afvoer van een polder.

Het is inmiddels duidelijk geworden dat de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door kwel een bepaalde seizoenaliteit vertoont waardoor een waterbalans op jaarbasis niet afdoende is. De methode maakt ook geen onderscheid tussen dijkse en regionale kwel met samenhangende verschillen in grondwatersamenstelling en

te bepalen. Bij deze methode zijn afvoer-gebieden opgebouwd uit reservoirs, te onderscheiden in kwelreservoirs, kavelreservoirs en oppervlaktereservoirs. Elk reservoir wordt gekenmerkt door een reactiecoëfficiënt ofwel reservoirconstante waarmee het gehele drainagesysteem van het reservoir is gekarakteriseerd. Deze reactiecoëfficiënt is te bepalen uit neerslag-afvoer relaties. De reactiecoëfficiënt voor de kavelafvoer is goed te bepalen omdat pieken in de totale afvoer van een polder normaliter worden bepaald door pieken in de kavelafvoer door neerslag. Een nadeel van deze methode is echter dat de reactiecoëfficiënt voor het kwelreservoir niet te bepalen is als er geen onafhankelijke kwelafvoergegevens bekend zijn of als het aandeel kwel in de totale afvoer klein is. De methode is in meer algemene zin onnauwkeurig voor componenten met een geringe bijdrage aan de totale afvoer. Afvoer- en neerslaggegevens zullen altijd nodig zijn om tot een betrouwbare schatting van de reactiecoëfficiënt te komen.

Veldmethoden

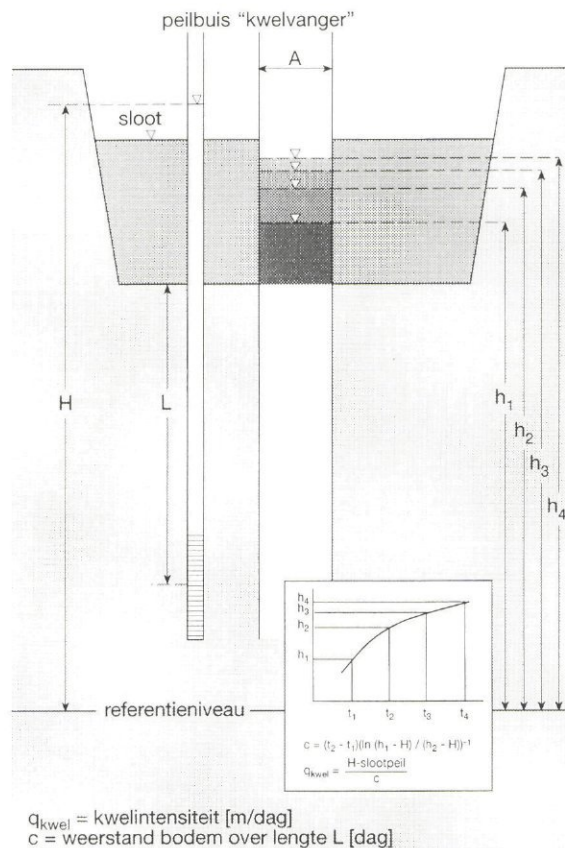
Een methode om de slootkwelintensiteit in kaart te brengen is de 'in-situ falling head' test met behulp van de zogenaamde 'kwelvanger'. Een kwelvanger is een buis met een diameter groter dan 20 cm die enkele decimeters in de slootbodem is gedrukt (zie afb. 1). Door het water in de buis af te pompen en gedurende een periode de stijging van het waterniveau in de buis te meten kan de verticale weerstand van slootbodem worden berekend. Wanneer ook de stijghoogte aan de onderkant van de kwelvanger wordt gemeten, kan ook de slootkwelintensiteit worden berekend [Foppen & Griffioen, 1994; Griffioen *et al.*, 1996].

Bij afwezigheid van drains treedt de meeste kwel in sloten uit, waardoor met deze methode het grootste aandeel van de kwel te bepalen is. Modelleren op perceelniveau wees uit dat met de aanwezigheid van drains in een polder 30% tot 80% van het kwelwater uittreedt in drains waardoor slechts een klein deel van de totale kwelintensiteit met deze methode te bepalen is [Foppen & Griffioen, 1994].

Een groot nadeel van deze methode is dat het toestromend grondwater naast diep kwelwater, ook uit neerslagwater (kavelafvoer c.q. ondiepe kwel) kan bestaan.

De toestroming naar de buis vertoont een duidelijk seizoenaal karakter waardoor het uitvoeren van de 'in-situ falling head' test slechts een momentopname is.

De benadering vereist het opzetten van een monitoringprogramma. Daarentegen is een zéér sterk voordeel dat de intensiteit onder veldomstandigheden wordt bepaald.



Afb. 1 - De 'kwelvanger' waarmee met behulp van de 'in-situ falling head' test de kwelintensiteit kan worden bepaald. De 'kwelvanger' moet zo diep mogelijk in de slootbodem worden geïnstalleerd.

Gebruik van geohydrologische analytische vergelijkingen

De afname van lokale/dijkse kwel met de afstand tot een boezemwater kan snel en eenvoudig met een analytisch berekening worden bepaald. Deze analytische berekening kan in twee delen worden opgesplitst namelijk het deel dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket beschrijft volgens Masure en het deel dat de opbolling tussen de sloten beschrijft volgens Ernst. De twee oplossingen kunnen met het principe van superpositie via een iteratief proces worden gecombineerd. Verder kan de regionale kwel worden bepaald door het verschil tussen de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en de (grond)waterstand in de polder te delen door de weerstand van de deklaag (Darcy). Hierbij moet echter de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket bekend zijn.

Voor beide methoden geldt dat niet de werkelijke kwel die via sloten en drains uittreedt wordt bepaald maar de toestroming van diep grondwater naar de deklaag (deklaagvoeding) [De Louw & Griffioen, 1995]. De weerstand van de deklaag is bij deze berekening een gevoelige parameter waardoor foute schattingen van

deze parameter direct doorwerken in de berekende intensiteiten.

Gebruik van hydrologische modellen

Met behulp van een hydrologisch model kan de grondwaterstroming in en rond een polder worden gesimuleerd. Processen als deklaagvoeding, slootkwel, drinkkwel, slootinfiltratie, drainage door middel van sloten, greppels of drains, berging van grond- en neerslagwater en evapotranspiratie kunnen worden gesimuleerd zodat elke waterbalanspost eenvoudig voor verschillende tijdstippen kan worden gekwantificeerd. Het gebruik van modellen vereist een nauwkeurige schatting van verschillende parameters en deze zijn op lokale schaal lang niet altijd voorradig.

Methoden voor het bepalen van de fosfaatconcentratie

Om de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door grondwaterkwel te kunnen bepalen, moeten kwelintensiteiten gecombineerd worden met een waarde voor de concentratie van fosfaat. Hieronder zullen drie methoden gepresenteerd worden voor het afleiden van de waarde van de fosfaatconcentratie die het grondwater heeft als dit het oppervlaktewater bereikt, waarbij binding van fosfaat aan anorganische componenten zoals ijzeroxides en calciummineralen wordt verdisconteerd.

De methoden beschouwen dus niet de rol van organisch materiaal als source/sink van fosfaat. De methoden richten zich ook niet op het kwantificeren van nalevering vanuit de slootbodem. De situatie kan zich immers voordoen dat fosfaat wat wordt vastgelegd in de slootbodem tijdens kwel, later wanneer de kwelcomponent afwezig is, weer wordt vrijgemaakt. De stellingname is dat nalevering niet op betrouwbare wijze geschat kan worden zonder feitelijke veldwaarnemingen. De interactie tussen chemische en hydrologische processen is dusdanig complex dat a priori geen betrouwbare schattingen mogelijk zijn [Van Liere & Mur, 1982].

De aannames die ten grondslag liggen aan de voorgestelde methoden zijn het meest realistisch voor systemen waarin de kwelintensiteit groot is en het kwellende grondwater eutroof. Juist in deze situatie is het nauwkeurig bepalen van de bijdrage van grondwaterkwel aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater relevant. De waarde voor de fosfaatconcentratie kan bepaald worden door aan te nemen dat

tijdens het uittreden van anoxisch grondwater ijzeroxides gevormd worden en dat deze ijzeroxides fosfaat zullen opnemen conform de verhouding die bepaald wordt uit analyses voor selectieve extractie van ijzeroxides aan slootbodemmonsters. De concentratie zoals die waargenomen wordt in het grondwater moet dus verminderd worden met een waarde die de opname van fosfaat aan ijzeroxide voorstelt. Om de benadering toe te passen moeten slootbodemmonsters genomen worden en deze monsters moeten geëxtraheerd worden op ijzeroxides met een Ca-NTA-oplossing [Golterman & Booman, 1988]. Het slootbodemmonster wordt geanalyseerd op zowel ijzeroxide als ijzeroxide gebonden fosfaat en hieruit kan men de verhouding afleiden. De waarde voor de fosfaatconcentratie die de sloot zal bereiken, is dan:

$$C_{\text{corr}} = C_{\text{gw}} - C_{\text{FeT}} \cdot S_{\text{p-ox}} / S_{\text{Fe-ox}}$$

waarin c is de concentratie en s is het gehalte en de onderschriften corr, gw, FeT, P-ox en Fe-ox verwijzen naar respectievelijk gecorrigeerd fosfaat, fosfaatconcentratie in grondwater, ijzer-totaal, geëxtraheerd fosfaat in ijzeroxide-extractie en geëxtraheerd ijzer in ijzeroxide-extractie. Een belangrijk voordeel van deze methode is dat de benadering voor wat betreft het optreden van vastlegging van fosfaat aan ijzeroxides, het dichtst bij de werkelijkheid staat. Het belangrijkste knelpunt van deze methode is de representativiteit van de bodemmonsters. Hieraan is binnen deze studie geen aandacht geschonken. Het wel of niet nemen van mengmonsters en het aantal monsters per oppervlakte eenheid zou beschouwd moeten worden. Vanuit dit oogpunt wordt een meer generieke methode voorgesteld om vastlegging van fosfaten aan ijzeroxide te voorspellen. De waarde van de fosfaatconcentratie van het grondwater kan hiervoor gecorrigeerd worden door een geochemische modellering uit te voeren, waarin men een mengkristal laat neerslaan

van ijzeroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) en strengiet ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), en eventueel een calciumfosfaat.

In afbeelding 2 is de interactie van de belangrijkste modelvariabelen, te weten initiële PO_4 -concentratie en Fe/PO_4 -verhouding van het kwellende grondwater en de pH op de uiteindelijke PO_4 -concentratie van het oppervlaktewater weergegeven voor verschillende grondwater-types.

In deze studie zijn de modelwaarden voor de ijzer/fosfaat verhouding van de ijzeroxides vergeleken met de waarden die berekend konden worden uit de extractieresultaten. De twee waarden kwamen aardig overeen als de ijzer/fosfaat-verhouding in het anoxische grondwater laag was en kwamen minder goed overeen als die verhouding hoog was [Hetterschijt *et al.*, 1995].

De fosfaatconcentratie van het grondwater dat de sloot bereikt zal dan gelijk zijn aan:

$$C_{\text{corr}} = C_{\text{gw}} - C_{\text{FeT}} \cdot \beta_{\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$$

waarbij $\beta_{\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$ is de molaire fractie van strengiet in het mengkristal zoals die berekend is door het geochemische model. Additioneel aan de binding van fosfaat aan zich vormende ijzeroxides kan fosfaat ook gebonden worden aan neerslaande calciummineralen. Uit deze studie is niet duidelijk geworden of er sprake is van binding aan calciumcarbonaat of neerslag van een calciumfosfaat. Een effectieve en praktische manier om hier modelmatig mee om te gaan is om bij modellering een maximale verzadigingsindex voor een calciumfosfaat aan te houden. Conform waarnemingen van nabijverzadiging voor β - en tricalciumfosfaat zou het instellen van een verzadigingsindex van 0 voor een van deze mineralen een additioneel modelcriterium kunnen zijn. De fosfaatconcentratie van het grondwater dat de sloot bereikt zal dan gelijk zijn aan:

$$C_{\text{corr}} = C_{\text{gw}} - C_{\text{FeT}} \cdot \beta_{\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} - \Delta_{\text{Ca-fosf}}$$

waarbij $\Delta_{\text{Ca-fosf}}$ is de molaire hoeveelheid neergeslagen calciumfosfaat per liter poriewater.

Tenslotte zou men er vanuit kunnen gaan dat de opname van fosfaat door ijzeroxides maximaal is. Dit betekent dat alle fosfaat gebonden zal worden aan ijzeroxides voor grondwater met een molaire concentratie-verhouding tussen ijzer en fosfaat groter dan één en de belasting van het oppervlakte door kwellend grondwater nul zal zijn. Wanneer de molaire verhouding kleiner is dan één, is de hoeveelheid ijzer onvoldoende om alle fosfaat te binden en slaat het fosfaat dat niet gebonden wordt door. Deze eenvoudige maar grove methode bepaalt de minimale belasting door grondwaterkwel en geeft tezamen met de conventionele methode – waarbij aangenomen wordt dat fosfaat niet gebonden wordt waardoor alle fosfaat het oppervlaktewater bereikt – de bandbreedte van de belasting door grondwaterkwel.

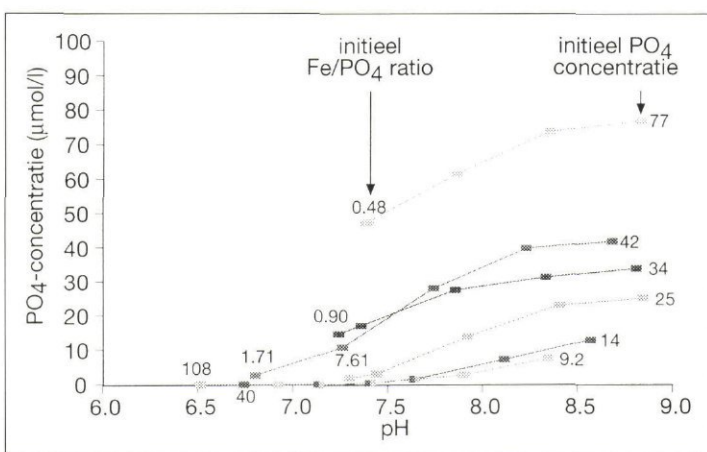
Aanbevolen methode voor het bepalen van de fosfaatbelasting van oppervlaktewater door grondwaterkwel in diepe polders

Voor het bepalen van de potentiële eutrofiëring van het oppervlaktewater door grondwaterkwel dienen twee bewerkingen te worden uitgevoerd: 1. het bepalen van de grootte van de waterflux van grondwaterkwel en 2. het afleiden van de fosfaatconcentratie die met het kwellende grondwater het oppervlaktewater zal bereiken. Hieronder worden aanbevelingen gedaan voor de keuze van de meest geëigende benaderingen voor beide bewerkingen. De keuze van de te gebruiken benadering is afhankelijk van de beschikbare gegevens en de mogelijkheid tot het verrichten van additionele metingen.

Bijdrage van grondwaterkwel aan de waterbalans

Voor grote polders met een groot hoogteverschil tussen de boezem en de polder is de ruimtelijke variatie van grondwaterkwel het grootst. In dit soort polders moet de polder in een aantal gebieden worden verdeeld die enigszins homogeen zijn wat betreft de kwelintensiteit en de kwaliteit van het diepe kwelwater. De kwaliteit van het kwelwater kan worden bepaald uit grondwaterbuizen met filters in het eerste watervoerende pakket of met filters op voldoende diepte in de deklaag zodat menging van neerslagwater of antropogene invloeden afwezig zijn.

De homogene gebieden onderscheiden op grond van de kwaliteit van het kwelwater, zullen vaak overeenkomen met de gebieden onderscheiden op grond van de kwelintensiteit: een polder kan vaak worden onder-



Afb. 2 - De interactie van PO_4 - en Fe-concentratie van het kwellende grondwater en de pH op de PO_4 -concentratie van het oppervlaktewater voor verschillende grondwater-types.

verdeeld in een zone aan de rand van de polder met kwel van lokale herkomst en een zone meer in het midden van de polder gelegen met kwel van regionale herkomst. De grootte van deze zones kan eenvoudig analytisch worden berekend. Per homogeen gebied kan nu dieper worden ingegaan op de processen die zich nabij het oppervlak van de polder afspelen. Met een hydrologisch model kan de intensiteit van de sloot- en drainkwel afhankelijk van het neerslagoverschot gekwantificeerd worden. De modellering dient niet-stationair te worden uitgevoerd aangezien de kwelintensiteit in de tijd zeer variabel is. Als randvoorwaarde kan de op analytische wijze berekende intensiteit van de deklaagvoeding worden gebruikt. De grootte van deze term bepaalt of in de zomer in een polder slootkwel zal omslaan in slootinfiltratie.

Nadat per homogeen gebied modelberekeningen zijn gedaan, kan er voor de gehele polder een gedetailleerde tijdsafhankelijke waterbalans worden opgesteld.

De berekende slootkwel- en drainkwel-intensiteit kunnen met additionele veldmetingen worden geverifieerd.

Voor de bepaling van de slootkwelintensiteit kunnen zogenaamde 'kwelvangers' in de slootbodem worden geïnstalleerd waarmee de 'in-situ falling head' test kan worden uitgevoerd. Aanbevolen wordt deze test tweemaalendelijks uit te voeren op een aantal representatieve plaatsen in de polder. Hoe dieper de kwelvangers worden geplaatst, hoe groter het aandeel van diepe grondwaterkwel aan de totale toestroming is.

Deze veldmethode vult de in de vorige alinea besproken bureaubenadering goed aan. De uitkomsten van de veldmethoden zijn niet afhankelijk van een goede schatting van de weerstand van de deklaag. Een aspect dat nadere beschouwing verdient bij het uitvoeren van de 'in-situ falling head' test is de ruimtelijke representativiteit van de waarnemingen.

Stoffenbelasting vanuit grondwaterkwel

Voor het opstellen van de stoffenbalans vanuit grondwaterkwel is het nodig om de termen van de bijdrage aan de waterbalans te combineren met waarden voor de bijbehorende concentratie. De waarde voor de concentratie dient voort te komen uit de oorspronkelijke concentratie zoals die op grotere diepte waargenomen wordt en eventuele chemische processen die optreden bij het uittreden. De benaderingen voor het berekenen van de (gecorrigeerde) fosfaatconcentratie die het oppervlaktewater bereikt zijn alle gebaseerd op grondwateranalyses.

De volgende twee benaderingen geven de

extremen voor de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door grondwaterkwel: conservatief transport door de slootbodem en maximale vastlegging van PO₄ aan Fe-oxide. Aanbevolen wordt beide zeer eenvoudige benaderingen altijd toe te passen zodat een reikwijdte wordt verkregen waarbinnen de werkelijke fosfaatbelasting ligt. Een derde benadering is gebaseerd op veldwaarnemingen aan de slootbodem. Deze dure methode geeft uiteraard de beste resultaten maar zal vaak financieel niet haalbaar zijn. Aanbevolen wordt naast de twee benaderingen die de extremen bepalen, de opname van PO₄ door ijzer-oxides te modelleren als een ideaal mengkristal van ijzeroxide, Fe(OH)₃ en strengiet, FePO₄·2H₂O. Gelet op de binding van PO₄ aan ijzeroxides die zich vormen bij grondwaterkwel, moet bij eventuele analyses van het grondwater niet alleen de nutriënten en Cl concentratie bepaald worden ten dienste van de gebruikelijke stoffenbalans studies maar ook opgelost Fe. Zowel Fe als PO₄ verdienen daarbij aandacht als het gaat om monsternamen en conservering, omdat men meestal te maken heeft met anoxisch grondwater [Avanzino & Kennedy, 1993]. De berekeningen zoals die hierboven beschreven zijn, leiden tot een waarde voor de directe bijdrage van grondwaterkwel aan de belasting van het oppervlaktewater. Het is mogelijk dat er ook sprake is van een indirecte bijdrage wanneer fosfaat dat is vastgelegd aan bijvoorbeeld ijzeroxides later wordt vrijgemaakt en het oppervlaktewater bereikt door zogenaamde 'nalevering'. Deze situatie kan zich voordoen wanneer er in de zomer geen kwel-situatie heerst en zelfs slootinfiltratie optreedt. Op dat moment is er geen directe belasting meer. De slootbodem zal echter een zekere hoeveelheid fosfaat bevatten die tijdens de kwelsituatie is vastgelegd. Fosfaat dat gebonden is aan ijzeroxides, kan vrijgemaakt worden door het oplossen van ijzeroxides onder reducerende omstandigheden door het inspoelen van opgelost organisch materiaal.

De mogelijke nalevering zal mede afhankelijk zijn van de advectieve poriewatersnelheid in de slootbodem. Wanneer de neerwaartse slootinfiltratiesnelheid hoog is, zal vrijgemaakt fosfaat naar de diepere ondergrond worden getransporteerd in plaats van naar de sloot kunnen diffunderen. Het kwantificeren van deze indirecte belasting is moeilijk. Het opgeslagen fosfaat kan ook uit het watersysteem verdwijnen, want men heeft de gewoonte om in het najaar de sloten te schonen. Om praktische redenen wordt daarom hier voorgesteld om nalevering van fosfaat vanuit grondwaterkwel te verwaarlozen bij het bepalen van de bijdrage van grond-

waterkwel aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.

Literatuur

- Avanzino, R. J. and Kennedy, V. C. (1993). *Long-term frozen storage of stream water samples for dissolved orthophosphate, nitrate plus nitrite and ammonia analysis*. Water Resour. Res. (29), 3357-3362.
- Foppen, J. W. A. en Griffioen, J. (1994). *Hydrogeochemie van ortho-fosfaat bij kwel van grondwater in polders. Deelrapport II. Bepaling van seizoensafhankelijke kwelintensiteit op polder en perceelniveau*. TNO Grondwater en Geo-Energie, rapportno.: OS 94-37A, 60 pp.
- Griffioen, J., Louw, P. G. B. de en Stuurman, R. J. (1996). *Hydrogeochemie van ortho-fosfaat bij kwel van grondwater in polders. Deelrapport V. Methoden voor de bepaling van de fosfaatbelasting van oppervlaktewater door grondwaterkwel*. TNO Grondwater en Geo-Energie, rapport no.: GG-R-96-21(A), 39 pp.
- Hetterschijf, R. A. A., Griffioen, J., Foppen, J. W. A. en Buijs, E. A. (1995). *Hydrogeochemie van ortho-fosfaat bij kwel van grondwater in polders. Deelrapport III. Hydrogeochemische processen rondom vier slootbodems in laag-Nederland*. TNO Grondwater en Geo-Energie, rapportno.: G-R-95-69(A), 110 pp.
- ICW (1976). *Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West-Nederland*. ICW Regionale studies 9, 100 pp.
- ICW (1982). *Grond- en oppervlaktewater Noord-Holland benoorden het IJ*. ICW Regionale studies 16, 184 pp.
- Liere, L. van and Mur, L. R. (1982). *The influence of simulated groundwater movement on the phosphorous release from sediments, as measured in a continuous flow system*. Hydrobiologia (92), 511-518.
- Louw, P. G. B. de, Hetterschijf, R. A. A., Foppen, J. W. A., Griffioen, J. en Stuurman, R. J. (1997). *Fosfaatbelasting van oppervlaktewater door grondwaterkwel. Deel 1: geohydrologische en geochemische processen*. in: H₂O (30) 1997, nr. 20, p. 598-601.
- Louw, P. G. B. de en Griffioen, J. (1995). *Hydrogeochemie van ortho-fosfaat bij kwel van grondwater in polders. Deelrapport IV. Kwantificering van de ruimtelijke en temporele variabiliteit van lokale kwel in Polder K, Schermer (Provincie Noord-Holland)*. TNO Grondwater en Geo-Energie, rapportno.: GG-R-95-87(A), 46 pp.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1994). *Voortgangrapportage Integraal Waterbeheer en Noordzee-aangelegenheden*. Water voor nu en later. Den Haag.
- Zeeuw, J. W. de (1966). *Analyse van het afvoerverloop van gebieden met hoofdzakelijk grondwaterafvoer*. Mededelingen Landbouwhogeschool 66-5 (1966). Wageningen.

