




Moni Poelen, Onderzoekcentrum B-Ware
Leon van den Berg, Radboud Universiteit Nijmegen
Ronald Bakkum, Hoogheemraadschap van Delfland
Leon Lamers, Radboud Universiteit Nijmegen / Onderzoekcentrum B-Ware

Quickscan voor inschatting interne nutriëntenmobilisatie

Zowel onderzoeken als ervaringen maar ook de ervaringen van waterbeheerders wijzen uit dat niet alleen de externe aanvoer van nutriënten, maar ook hun mobilisatie uit de onderwaterbodem een grote rol kunnen spelen bij de kwaliteit van de oppervlaktewateren. Het bodemvocht fungeert daarbij als 'doorgeefluik' van bodem naar water. Metingen aan het bodemvocht in combinatie met de nalevering van fosfor en stikstof vanuit de onderwaterbodem naar de waterlaag geven de mogelijkheid om een koppeling te maken tussen deze processen. Gebleken is dat een zeer goede correlatie bestaat tussen opgelost fosfor in het bodemvocht en de mate van nalevering van fosfor naar de waterlaag. Daarnaast blijkt een goed verband te bestaan tussen de nalevering van fosfor en de nalevering van stikstof. Dit is een zeer gunstige ontwikkeling voor waterbeheerders; met een eenvoudige meting is nu een betrouwbare voorspelling te doen over de nalevering van nutriënten uit de bodem.

De onderwaterbodem speelt een grote rol in de oppervlaktewaterkwaliteit[1),2),3),4),5),6),7)]. Dit geldt zeker voor de Nederlandse wateren, waarvan het merendeel ondiep (één tot twee meter) is en het water boven iedere vierkante meter bodem dus een relatief klein volume heeft. Daarnaast zijn bodems veelal sterk opgeladen met nutriënten. Veel wateren in Nederland voldoen niet aan de norm die volgens de Kaderrichtlijn Water in 2015 gehaald moet worden, en de aanwezigheid van (blauw)algen en het ontbreken van onderwatervegetatie vormen dikwijls een probleem. Dit is het gevolg van eutrofiëring (verrijking met voedingsstoffen), waarbij door (blauw)algenbloei het doorzicht verslechterd is en onderwaterplanten verdwenen zijn. Bij toenemende organische belasting wordt het water steeds zuurstofarmer, met uiteindelijk vissterfte als gevolg. Daarnaast hangt ook de troebelheid door opwerveling van kleine bodemdeeltjes samen met de verandering van de vissamenstelling en de hogere afbraak door eutrofiëring. Zeker op locaties met een grote strijklengte van de wind veroorzaakt dit veel troebelheid.

Indien een plas of watergang eenmaal troebel is, is het niet eenvoudig om de heldere situatie terug te krijgen[4),8)]. Daarom is het van belang, ook als het water helder is, een inschatting te kunnen maken van de toestand waarin het oppervlaktewater verkeert en de mogelijke invloed van de onderwaterbodem op de nutriëntenbalans. Bij afbraak van bodemmateriaal komen nutriënten vrij; in eerste instantie in het bodemvocht, waarna diffusie naar de waterlaag plaatsvindt. Dit proces wordt nalevering (interne eutrofiëring) genoemd en kan op zowel fosfor als stikstof betrekking hebben. De mate waarin nalevering en afbraakprocessen optreden is van een aantal factoren afhankelijk. De samenstelling van de bodem en de mate waarin de bodem in het verleden is opgeladen met fosfor en stikstof zijn in eerste instantie belangrijk. Veenbodems bijvoorbeeld bestaan vrijwel geheel uit afgestorven plantenmateriaal en bevatten potentieel zeer veel nutriënten die door mineralisatie kunnen vrijkomen in het bodemvocht. Daarnaast is de bodemfractie waaraan fosfor gebonden is, van belang. Er is calciumgebonden, ijzer- en aluminiumgebonden, en organisch gebonden fosfor. Deze fracties kunnen onder verschillende omstandigheden vrijkomen. De ijzergebonden fractie is het meest labiel en gevoelig voor verandering van de redoxpotentiaal. IJzer is onder anaerobe omstandigheden minder goed in staat om fosfaat te binden, waardoor het fosfaat gemobiliseerd kan worden. Op de grenslaag van bodem en water wordt ijzer geoxideerd, waarbij fosfaat uit de waterlaag vastgelegd wordt. Dit wordt de ijzerval genoemd. Bij aanvoer van sulfaatrijk water wordt dit proces verstoord, doordat ijzer makkelijker met het in de bodem gevormde sulfide binding aangaat, dan met fosfaat. Als er minder ijzer beschikbaar is voor binding, zal fosfaat naar het bodemvocht en vervolgens naar de waterlaag diffunderen. Behalve hoge sulfaatconcentraties is ook water met een hoge alkaliniteit niet zonder risico. Onder invloed van een hoge alkaliniteit kunnen afbraakprocessen in bodems met een relatief lage alkaliniteit gestimuleerd worden. Daarbij wordt vervolgens door reductieprocessen meer alkaliniteit gegenereerd waardoor een positieve terugkoppeling ontstaat[2),3)]. Al met al is het een samenhang van vele processen die bepalend is voor de mate waarin fosfor en stikstof naar de waterlaag gemobiliseerd worden.

Van onderzoek naar quickscan

Om inzicht te krijgen in de bijdrage van al deze processen aan nutriëntenmobilisatie (interne eutrofiëring) is een uitgebreid pakket van metingen noodzakelijk. Diverse plassen en watergangen in Nederland zijn daarom intensief onderzocht in een onderdeel van het project Baggernut dat valt binnen het programma Watermozaïek van STOWA. De quickscan is samen met Witteveen+Bos opgesteld. Het project wordt gefinancierd door het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water van het Agentschap NL en twaalf Nederlandse waterschappen. Er zijn inmiddels 14 locaties in Nederland onderzocht en er staan nog 14 locaties op de planning voor dit jaar. Doordat de locaties verschillen in ligging, waterdiepte, bodem-



Het verzamelen van monsters en van intacte bodemkernen die direct in glazen cilinders worden aangebracht.

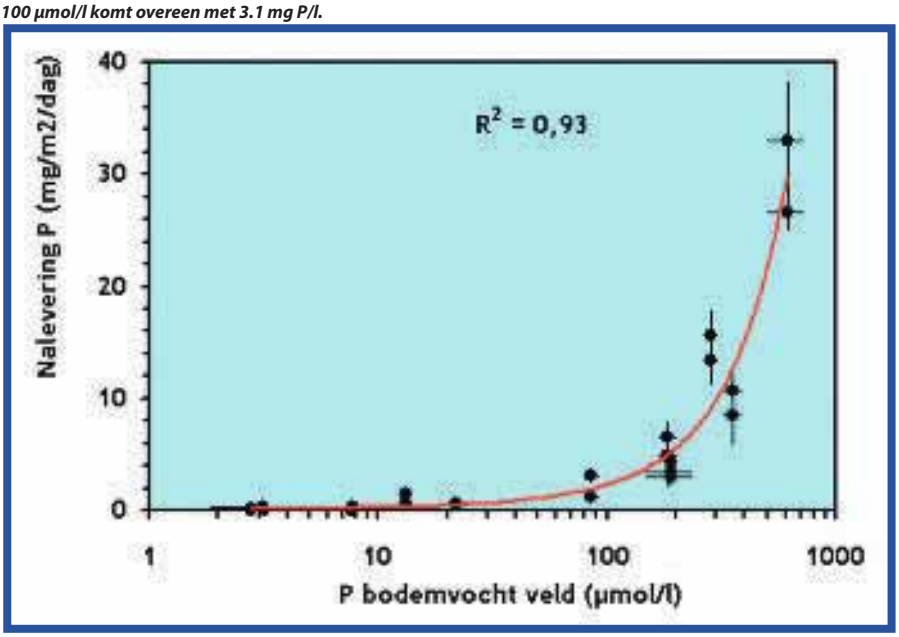
samenstelling en kwaliteit van het oppervlaktewater ontstaat een uitgebreide set gegevens van de Nederlandse watertypen. Het hoofddoel van dit deelonderzoek is het vinden van een eenvoudige, snelle en goedkope meting die een betrouwbare inschatting geeft van de nutriëntenfluxen vanuit de bodem. Hiermee kan de bijdrage van interne eutrofiëring aan de totale eutrofiëring bepaald worden, wat essentieel is voor het definiëren van herstelmaatregelen en het stellen van doelen. Dit artikel gaat in op de tussentijdse resultaten van het onderzoek, evenals de mogelijke directe toepassingen voor waterbeheerders.

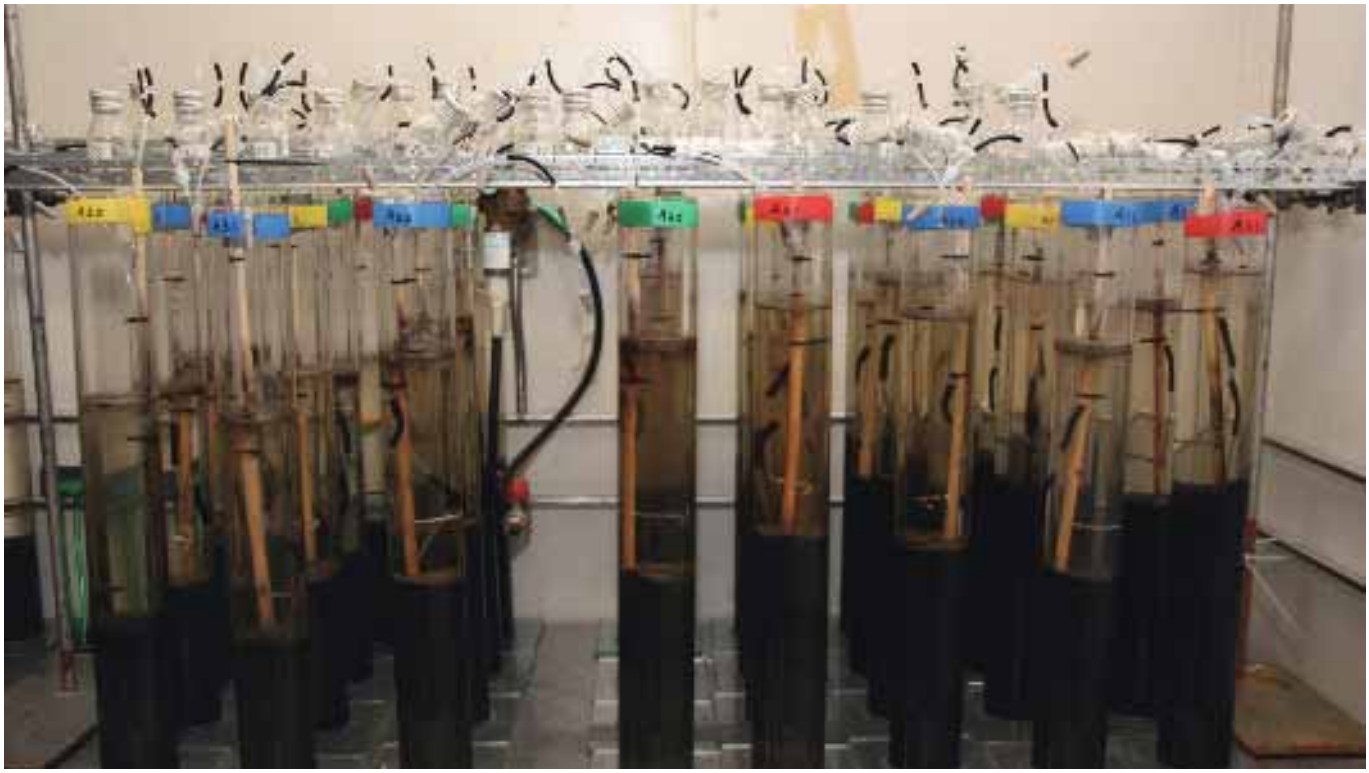
Per locatie is een zeer breed pakket aan metingen uitgevoerd op de onderwaterbodem, het bodemvocht (-10 cm) en het bovenstaande oppervlaktewater. Het bodemvocht is hierbij anaeroob verzameld met behulp van een keramische cup, bevestigd aan een spuit die met de hand vacuüm getrokken wordt. Daarnaast zijn cilinderexperimenten met intacte bodemkernen van de veldlocaties uitgevoerd om de nalevering van fosfor en stikstof te bepalen, onder invloed van twee verschillende concentraties sulfaat en bicarbonaat (alkaliniteit). Hierbij is over een periode van acht weken de flux van fosfor gemeten vanuit de onderwaterbodem naar de waterlaag in het donker. Als temperatuur is voor 15°C gekozen, aangezien dit de gemiddelde bodemtemperatuur van de meeste wateren gedurende het groeiseizoen is.

De nalevering van fosfor blijkt, zoals verwacht, te correleren met een aantal parameters uit het bodemvocht zoals de alkaliniteit. De beste correlatie (93% verklaring) wordt echter gevonden tussen de nalevering en opgelost fosfor in het anaeroob verzamelde bodemvocht (zie afbeelding 1). Orthofosfaat gaf een vergelijkbaar maar minder betrouwbaar beeld, doordat de meting hiervan vaak wordt verstoord bij hoge ijzerconcentraties in het bodemvocht. Bij een aantal locaties werd de nalevering van fosfaat tot 100 procent hoger onder invloed van een sulfaatrijke behandeling, ten opzichte van de sulfaatarme behandeling. Onder invloed van de aanvoer van sulfaatrijk water (niet alleen uit rivieren, maar vooral ook uitgespoeld bij verdroging en gemobiliseerd door nitraat[3),4)]) kan dus extra fosfaat gemobiliseerd worden naar de waterlaag, afhankelijk van het bodemtype. Het effect van hoge sulfaatconcentraties en het al dan niet ophopen tot giftige concentraties van sulfide in het bodemvocht is al eerder aangetoond met behulp van cilinders in een veldsituatie[9)]. De toevoeging van extra alkaliniteit had voor de onderzochte bodems echter geen effect, aangezien het bodemvocht van vrijwel alle locaties al een hogere alkaliniteit had dan de waterlaag, met name door anaerobe reductieprocessen. Naar verwachting speelt de alkaliniteit van het oppervlaktewater alleen een rol bij bodems met een lage alkaliniteit (< 2 meq/l), en na een langere periode (half jaar tot een jaar).

Naast de metingen aan het bodemvocht zijn ook uitgebreide bodemextracties uitgevoerd om de totaalconcentraties te bepalen. Het geëxtraheerde fosfor en de totaalconcen-

***Afb. 1:** Correlatie tussen de nalevering van fosfor uit de cilinderexperimenten en het opgelost fosfor in het anaeroob verzamelde bodemvocht van de onderwaterbodems van de 14 gemeten locaties (veen, zand en klei). 100 µmol/l komt overeen met 3.1 mg P/l.*





Vervolgens wordt in een klimaatcel de fosfor- en de stikstofnalevering gemeten.

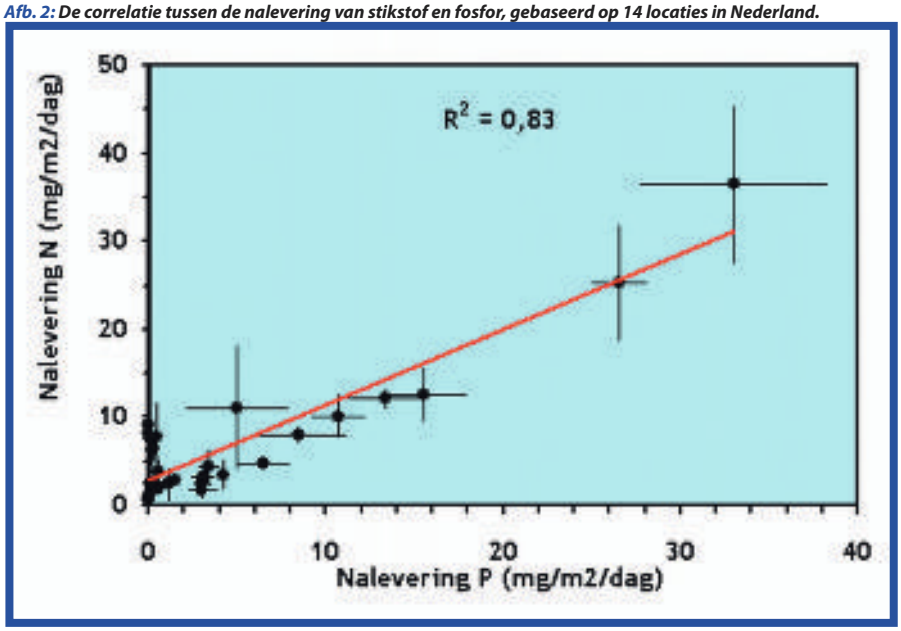
traties aan fosfor lieten echter beduidend minder goede correlaties zien met de fosfornalevering. Bij een Fe/P-ratio lager dan 1, blijkt de fosfornalevering extreem toe te nemen, hetgeen overeenkomt met resultaten van andere onderzoeken[4),5),7)]. Deze relatief dure extracties blijken dus onnodig voor een quickscan.

Wanneer de stikstofnalevering naar de waterlaag wordt uitgezet tegen de fosfornalevering, blijkt er een duidelijk lineair verband te zijn, met uitzondering van die locaties waarin de fosfornalevering zeer laag is (afbeelding 2). Dit betekent dat aan de hand van de fosforconcentratie in het bodemvocht niet alleen de nalevering van fosfor, maar ook de nalevering van stikstof naar de waterlaag voorspeld kan worden, behalve voor locaties met een zeer lage fosformobilisatie. Daarnaast verdwijnt uiteraard ook veel stikstof naar de atmosfeer door denitrificatie en anaerobe ammoniumoxidatie.

Lakmoesproef: quickscan in de praktijk

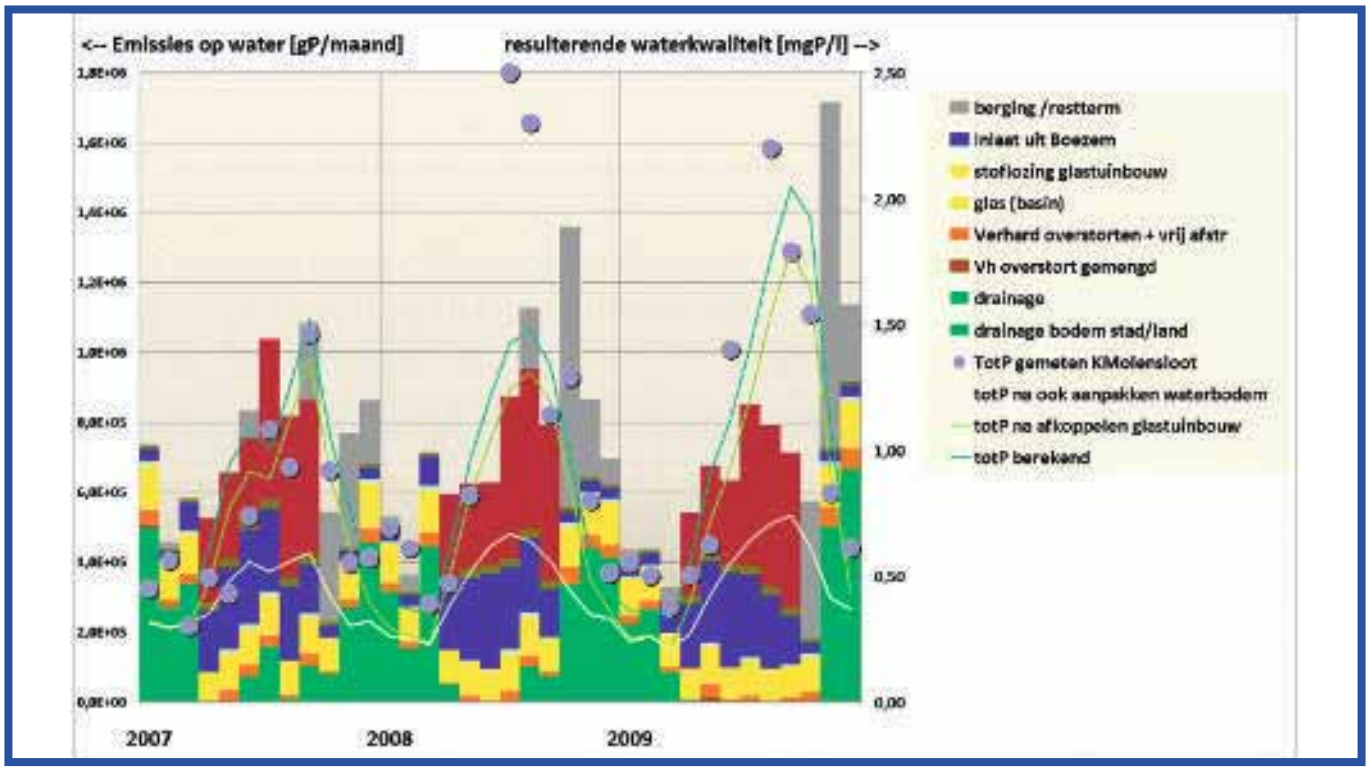
Eén van de 28 locaties waar in het kader van Baggernut een naleveringsexperiment is uitgevoerd, is de Karitaat Molensloot: een polderwater en KRW-waterlichaam in de Zuidpolder van Delfgauw, in het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Delfland. Het afwateringsgebied van deze polder is zeer heterogeen. De bodem bestaat afwisselend uit klei- en veenpakketten. Het grondgebruik is een mengelmoes van agrarisch gebied, woningen, glastuinbouw en natuur. De polder wordt doorgespoeld vanuit de boezem; het overschot aan water wordt uitgemalen op diezelfde boezem. Voor dit waterlichaam zijn water- en stoffenbalansen (N, P, Cl) opgesteld. Heterogeen landgebruik gaat gepaard met heterogene belasting van het oppervlaktewater. De externe emissies naar het oppervlaktewater zijn gekwantificeerd op basis van KRW-registratie, Waternood, literatuur[10)] en metingen. Hier is een binnen het project gemeten interne nalevering vanuit de waterbodem aan toegevoegd, gecorrigeerd voor temperatuur, sulfaat en alkaliniteit. In plaats van de interactie met de waterbodem als restterm in een balans in te brengen, is deze dus op basis van metingen gekwantificeerd. Dit resulteert in een beter onderbouwde stoffenbalans.

Afb. 2: De correlatie tussen de nalevering van stikstof en fosfor, gebaseerd op 14 locaties in Nederland.



Uit de metingen blijkt dat zowel de concentratie fosfaat in het bodemvocht als de alkaliniteit zeer hoog is. De concentratie ijzer in het bodemvocht is te laag om fosfaatmobilisatie te voorkomen. In het oppervlaktewater zijn hoge concentraties fosfaat waargenomen, waardoor een sterk verhoogde kans op algenbloei bestaat. Ook de sulfaatconcentratie is hoog, waardoor interne eutrofiëring door sulfaatreducerende processen aannemelijk wordt. Daarnaast is regelmatig ammonium de overheersende stikstofcomponent, wat duidt op het periodiek voorkomen van anaerobe omstandigheden in de waterkolom.

De belasting van het polderwater is geïllustreerd in afbeelding 3. De combinatie van water- en stofvrachten resulteert in een voorspelling van de waterkwaliteit die goed blijkt overeen te komen met de gemeten waterkwaliteit in het waterlichaam (donkergroene lijn versus paarse stippen). Uitzondering hierop vormen de waargenomen



***Afb. 3:** Maandelijkse fosfaatbelasting van het oppervlaktewater van de Karitaat Molensloot naar herkomst voor de periode 2007-2009 en de op basis hiervan berekende en gemeten oppervlaktewaterkwaliteit.*

piekconcentraties in de zomer van 2008. Op basis van de balans kan deze piek niet worden verklaard. Een zeer waarschijnlijke verklaring is dat er die periode anaerobie is opgetreden door hoge temperaturen, waarbij de zuurstofconsumptie sterk toeneemt en de oplosbaarheid sterk afneemt. Onder anoxische condities wordt fosfaat veel gemakkelijker gemobiliseerd, doordat ijzer gereduceerd wordt. Dit verklaart ook massale bloei van (blauw) algen in warme periodes. Nader onderzoek in het tweede onderzoeksjaar van Baggernut zal ook over naleveren onder zuurstofarme condities een uitspraak doen.

De balans leert ons dat nalevering uit de waterbodem in de zomermaanden in dit waterlichaam voor ongeveer de helft de waterkwaliteit bepaalt. Met een goede balans als uitgangspunt is het vervolgens mogelijk het effect van maatregelen in beeld te brengen. Een lopende actie in het gebied is het aansluiten van emissies uit de glastuinbouwsector op het riool. Voor dit waterlichaam is het als maatregel alleen onvoldoende om de gewenste verbetering te realiseren (lichtgroen lijn in afbeelding 3). Oorzaak hiervan is de nalevering uit de waterbodem. Als het mogelijk is om ook deze bron succesvol te reduceren, volgt een forse verlaging van de zomergemiddelde fosfaatconcentraties (beige lijn). Of dit voldoende zal zijn om de ecologie van het waterlichaam een impuls te geven, moet nog blijken uit aanvullende analyses.

Lopend onderzoek

Komend jaar worden nog 14 locaties in Nederland op exact dezelfde wijze onderzocht. In lopende experimenten worden de effecten van stroming, zuurstofconcentraties en temperatuur verder onderzocht. Daarnaast zijn we op zoek naar een goede en eenvoudige manier om de afbraaksnelheid en baggerproductie van de onderwaterbodem in te kunnen schatten. Ook zijn uitgebreide experimenten gaande met betrekking tot de invloed van waterplanten en bodemwoelende vissen op de nalevering van nutriënten.

Conclusie

Het blijkt mogelijk om vanuit een meting van de fosfaatconcentratie in het anaerobe bodemvocht de flux van fosfaat en stikstof vanuit de waterbodem naar de waterlaag in te schatten. Dure naleveringsexperimenten worden hierdoor minder noodzakelijk. Dit is voor waterbeheerders een goedkope en snelle oplossing om veel informatie te vergaren over de toestand van een watersysteem en de invloed die de onderwaterbodem speelt in de nutriëntenbalans. Op grond hiervan kan gekozen worden voor externe (onder andere defosfatering en isolatie) of interne maatregelen (bijvoorbeeld baggeren). Bij de keuze voor baggeren is het essentieel om vooraf informatie te hebben over de vrijkomende bodemlaag, om ongewenste verrassingen met betrekking tot interne eutrofiëring te voorkomen. Waterbeheer is ook waterbodembeheer.

LITERATUUR

1) Michielsen B., L. Lamers en F. Smolders (2007). Interne eutrofiëring van veenplassen belangrijker dan voorheen erkend? H_2O nr. 8, pag. 51-54.
2) Roelofs J. en F. Bloemendaal (1988). Eutrofiëring en oligotrofiëring. In 'Waterplanten en waterkwaliteit'. KNNV, pag. 139-145.
3) Smolders A., L. Lamers, E. Lucassen, G. van der Velde en J. Roelofs (2006). Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. Chemistry and Ecology 22, pag. 93-111.
4) Lamers L. (red.), J. Sarneel, J. Geurts, M. Dionisio Pires, E. Remke, H. van Kleef, M. Christianen, L. Bakker, G. Mulderij, J. Schouwenaars, M. Klinge, N. Jaarsma, S. van der Wielen, M. Soons, J. Verhoeven, B. Ibelings, E. van Donk, W. Verberk, H. Esselink en J. Roelofs (2010). Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. OBN Eindrapportage 2006-2009 (Fase 2). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis.
5) Boers P. (1991). The release of phosphorus from lake sediments. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.
6) Lyklema L. (1977). The role of iron in the exchange of phosphate between water and sediments. In 'Interactions between sediments and fresh water' van H. Golterman (red.). W. Junk BV publ., pag. 313-317.
7) Geurts J., A. Smolders, A. Banach, J. van de Graaf, J. Roelofs en L. Lamers (2010). The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. Water Research 40, pag. 3487-3495.
8) Jaarsma N., M. Klinge, L. Lamers en B. van Weeren (2008). Van helder naar troebel... en weer terug : een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA.
9) Lamers L., S.-J. Falla, E. Samborska, I. van Dulken, G. van Hengstum en J. Roelofs (2002). Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulfate-polluted freshwater wetlands. Limnology & Oceanography 47, pag. 585-593.
10) Aalderink H., J. Langeveld, E. Liefting en A. de Weme (2009). Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies? Vergelijkende analyse van vervuilingsbronnen en maatregelen aan het afvalwatersysteem, beoordeeld op hun effect op de kwaliteit van diverse oppervlaktewateren. Stichting RIONED en STOWA.