



Andries Krikken, Royal Haskoning

Geert van Mill, Waterschap Aa en Maas, thans Waterschap de Dommel

Joachim Rozemeijer, Deltares / Universiteit Utrecht

Ronald Wolters, Waterschap Aa en Maas

Grote dynamiek in oppervlaktewaterkwaliteit in de Hooge Raam

Binnen het stroomgebied de Hooge Raam in Noord-Brabant zijn diverse pilots uitgevoerd om de effecten en kosten voor KRW-maatregelen inzichtelijk te maken. Goede keuzes hierin zijn afhankelijk van voldoende systeemkennis van het stroomgebied. Met dit onderzoek is de kwaliteit van het oppervlaktewater onder verschillende afvoersomstandigheden onderzocht. De resultaten laten zien dat vooral piekafvoeren en de periode daarop volgend een zware belasting zijn voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. Hierbij worden twee snelle transportroutes onderscheiden: belasting van het oppervlaktewater vanuit het ondiepe grondwater en belasting vanuit oppervlakkige afstroming voor stoffen die sterk binden aan zwevend stof. In de praktijk zal moeten blijken of de belasting voldoende kan worden gereduceerd door in te grijpen op de snelle transportroutes.

Binnen het project STROMON¹⁾ zijn duidelijke relaties aangetoond tussen de kwaliteit van het oppervlaktewater onder verschillende afvoersomstandigheden en de kwaliteit van het grondwater op verschillende dieptes. Uit de vergelijking tussen de gegevens bleek het grondwater de voornaamste bron van verontreinigingen in het oppervlaktewater te zijn in Noord-Brabant. Tevens werd aangetoond dat de belasting vanuit het grondwater voornamelijk onder natte omstandigheden hoog was. Oppervlakkige afstroming, drain-effluent en het bovenste grondwater dragen met name onder natte omstandigheden sterk bij aan de afvoer¹⁾. Deze resultaten waren voor Waterschap Aa en Maas aanleiding om binnen de 'Gebiedspilot waterkwaliteit Hooge Raam' de relatie tussen de afvoer en de waterkwaliteit nader in beeld te gaan brengen. Het stroomgebied van de Hooge Raam (zie afbeelding 1) is hier uitermate geschikt voor, omdat het een hydrologisch geïsoleerd stroomgebied is (geen aanvoer gebiedsvreemd water en geen rioolwaterzuiveringsinstallatie) en een groot percentage agrarisch landgebruik. Wel komen enkele overstorten voor in het stroomgebied, maar deze beïnvloedden tijdens de meetperiode de waterkwaliteit van de Hooge Raam niet.

Onderzoekopzet

Bij de stuw Hoefkens is de afvoer continu gemeten met een akoestische debietmeter. De gemeten afvoer is representatief voor het overgrote deel van het stroomgebied van de Hooge Raam.

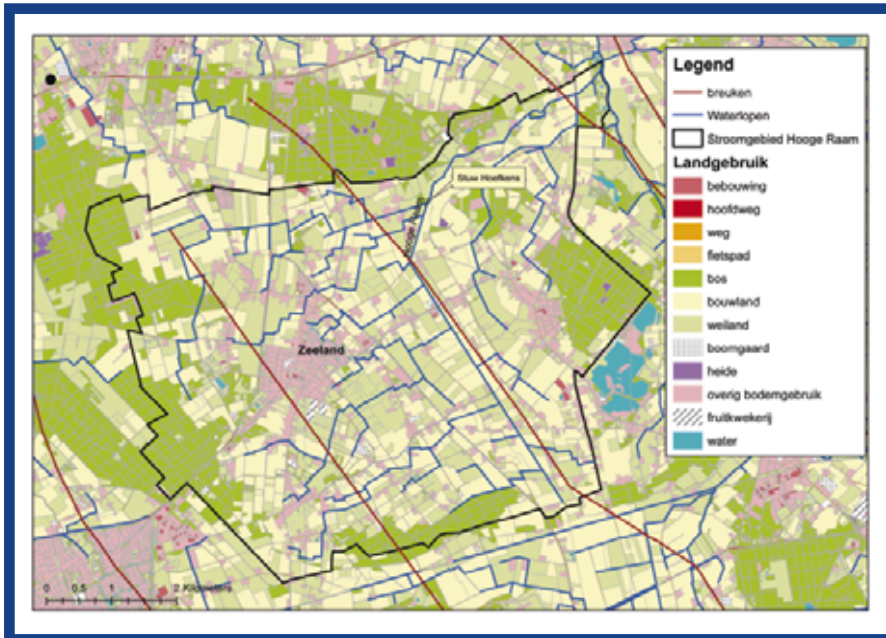
Voor de periode van 1 oktober 2007 tot 1 april 2008 is de kwaliteit van het oppervlaktewater gemeten met behulp van een automatische monsternamekast (vacuümsampler). Per dag zijn twee mengmonsters verzameld die beide bestonden uit twaalf uurmonsters. De monsters zijn geanalyseerd op nutriënten (P-totaal, NO₃⁻, N-Kj, N-totaal), de zware metalen aluminium, cadmium, chroom, koper, nikkel, lood, zink (totaalconcen-

traties) en enkele algemene parameters (EGV, pH, zwevende stof, Fe (totaal), HCO₃⁻, SO₄²⁻). Tevens zijn gegevens verzameld over neerslag op basis van radarbeelden, grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit op verschillende dieptes.

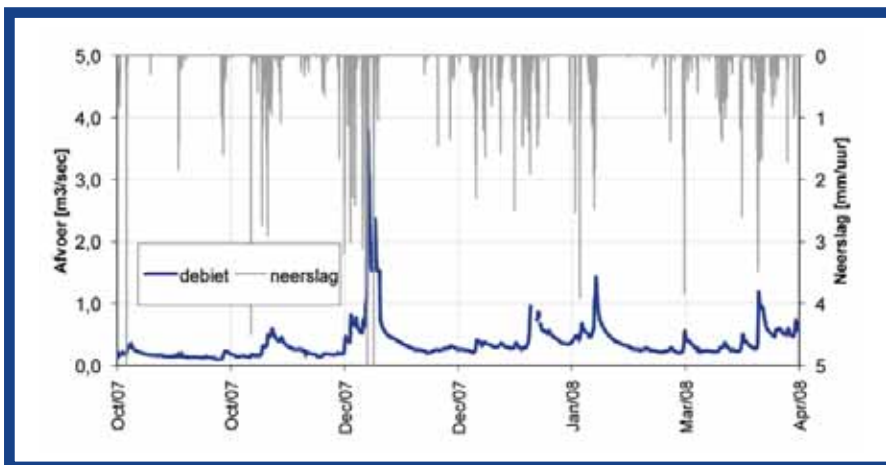
Effect neerslag op afvoer en grondwaterstand

Het verloop van de neerslag is samen met het gemeten debiet bij stuw Hoefkens voor de periode 1 oktober 2007 tot en met 1 april 2008 is te zien in afbeelding 2. Uit deze grafiek blijkt dat de afvoer relatief snel reageert op de neerslag. Daarnaast zijn grote fluctuaties in het debiet aanwezig. In droge perioden is een debiet van 0,15 kubieke

Koper, cadmium, nikkel en zink komen onder meer in het grondwater doordat in de landbouwgebieden in Nederland accumulatie van zware metalen in de bodem plaatsvindt. De aanvoer van zware metalen via kunstmest en dierlijke mest is lange tijd groter geweest dan de afvoer. Op de Peelhorst worden vaak sterk verhoogde gehalten zware metalen als nikkel en zink aangetoond, waarbij de herkomst niet alleen verklaard kan worden vanuit de externe belasting. De mobilisatie van zware metalen uit het sediment blijkt hierbij van groot belang te zijn³⁾. Dit heeft twee oorzaken: het grondwater op de Peelhorst is van nature zuurder doordat het een regionaal infiltratiegebied is (in zuurder water gaan meer zware metalen in oplossing) en bij de afbraak van nitraat door de oxidatie van pyriet komen de in pyriet ingebouwde metalen als nikkel en zink vrij.



Afb. 1: Stroomgebied van de Hooge Raam.



Afb. 2: Verloop van de neerslag en het gemeten debiet bij stuw Hoefkens.

meter per seconde gebruikelijk, terwijl na een stortbui het debiet kan toenemen tot ruim vier kubieke meter per seconde. De snelle reactie op neerslag wordt veroorzaakt door de goede (kunstmatige) ontwatering, de vorm van het stroomgebied en het relatief dunne watervoerend pakket.

Kwaliteit van het grondwater

Het stroomgebied van de Hooge Raam ligt op de Peelhorst, een kenmerkende hydrogeologische eenheid in het oosten van Noord-Brabant met een ondiepe geohydrologische basis met een dun watervoerend pakket. De Peelhorst wordt gescheiden van

Samenvattend overzicht grondwaterkwaliteit stroomgebied Hooge Raam.

bovenste grondwater (landbouwgrond)	recent geïnfiltreerd, zeer sterk belast en verzuurd water met verhoogde concentraties nitraat (50-200 mg/l), chloride (40 mg/l), lage pH, verhoogde concentraties aluminium en zware metalen als koper, nikkel en zink
middeldiep grondwater (5-15 m-mv)	5-30 jaar geleden geïnfiltreerd, sterk belast water met verhoogde gehalten nitraat, sulfaat, chloride en zware metalen
dieper grondwater / regionaal kwelwater	deels meer dan 50 jaar geleden geïnfiltreerd, onbelast tot matig belast water. Veelal rijk aan ijzer (gereduceerd) en bicarbonaat met een chloridegehalte rond 10-15 mg/l (kenmerkend voor regenwater zonder externe belasting). Geen verhoogde gehalten nitraat. Lokaal sterk verhoogde gehalten sulfaat (> 100 mg/l). Licht verhoogd gehalte fosfaat / ammonium (natuurlijke mineralisatie)

de Centrale Slenk door de Peelrandbreuk net ten westen van het stroomgebied van de Hooge Raam. Op de Peelhorst worden regelmatig sterk verhoogde concentraties zware metalen gemeten, zowel in grond- als oppervlaktewater, veelal in combinatie met verhoogde concentraties sulfaat (> 100 mg/l). De mobilisatie van zware metalen uit het sediment is hierbij een belangrijke factor (zie kader op pagina 36).

Voor een aantal locaties in het gebied is de kwaliteit van het freatisch grondwater geanalyseerd. Op basis van deze metingen is samen met gebiedsdekkende kaarten van de grondwaterkwaliteit van Noord-Brabant^{1),2)} een samenvattend overzicht gemaakt van de grondwaterkwaliteit in het stroomgebied van de Hooge Raam op meerdere diepteniveaus (zie overzicht linksonder).

Waterkwaliteit bij verschillende afvoeren

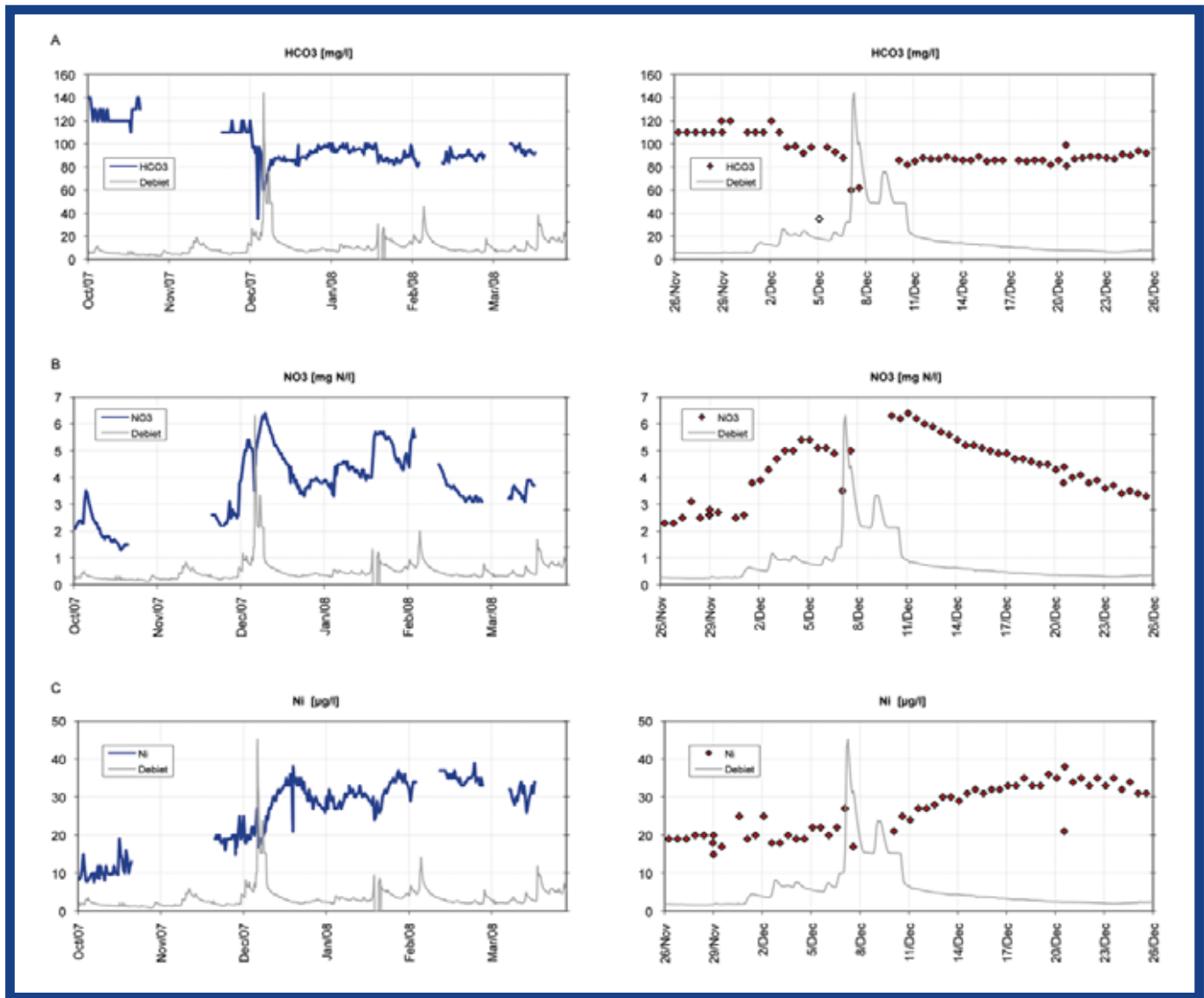
In afbeelding 3 is voor een aantal parameters (bicarbonaat, nitraat en nikkel) de gemeten concentratie in relatie tot de afvoer uitgezet. Aan de linkerkant van de figuur zijn de gegevens over de gehele meetperiode (oktober 2007-april 2008) weergegeven en aan de rechterkant is ingezoomd naar de periode rond begin december tijdens een hoge afvoerpiek.

De variatie van de concentratie bicarbonaat met de afvoer is illustratief voor de bijdrage van grondwater van verschillende herkomst. De concentratie bicarbonaat ligt in het najaar (tijdens lage afvoeren) tussen de 120-140 mg/l, terwijl na de hoogwaterpiek

Zwevend stof is een belangrijke drager van nutriënten, zware metalen en overige verontreinigingen. Daarom is inzicht in het gedrag van zwevend stof in de beek belangrijk. De concentraties zwevend stof zijn onder meer afhankelijk van de afvoer (naast landgebruik, samenstelling rivierbedding, oevererosie en de aanwezigheid van stuwen), maar deze relatie blijkt niet eenduidig door het optreden van het effect van flushing (spoeling) en hysteresis of uitputting:

Flushing-effect: In droge perioden neemt na verloop van tijd de afvoer (en ook de stromingsnelheid) in de beek af en treedt bezinking van zwevende stof op (sedimentatie). Tijdens deze perioden vindt tevens in het stroomgebied van de beek ophoping plaats van verontreinigende stoffen (droge depositie, bemesting, verkeer). Bij de eerste grote regenbui worden deze opgehoopte stoffen uitgespoeld naar het oppervlaktewater.

Hysteresis: De concentratie zwevend stof is tijdens de toename van de afvoer hoger dan in de fase waarin de afvoer weer afneemt. Dit verschijnsel wordt 'hysteresis' genoemd en is een gevolg van uitputting van het systeem.



Afb. 3: Concentratie bicarbonaat, nitraat en nikkel in relatie tot de afvoer.

begin december het gehalte consequent een stuk lager ligt (rond de 90 mg/l). De redenering hierachter is dat in het najaar de grondwaterstand laag is en de afvoer plaatsvindt in het primaire afwateringstelsel met een grote bijdrage van 'diep' grondwater (hoog bicarbonaatgehalte, zie de tabel). In het voorjaar staat de grondwaterstand hoger en is de bijdrage van ondiep grondwater (met relatief lage pH en lage bicarbonaatgehalten) aan de afvoer groter.

Tijdens piekafvoeren is voor de concentratie bicarbonaat een sterk verdunningseffect te zien. Deze verdunning illustreert dat de bijdrage van oppervlakkige afvoercomponenten (net gevallen regenwater) aan de totale afvoer omvangrijk is tijdens deze natte perioden (rond de 40 procent op basis van de mate van verdunning). Tijdens kleinere buien is immers geen verdunnend effect te zien en is er geen of geringe oppervlakkige afstroming.

Deze waarnemingen zijn in overeenstemming met de metingen die gedaan zijn in de Hupselse beek in het kader van het project DYNQUAL, waarbij oppervlakkige afstroming tijdens hevige regenbuien verantwoordelijk bleek te zijn voor ruim 60 procent van de

totale afvoer⁴⁾. De Hupselse beek reageert nog sneller dan de Hooge Raam op neerslag door het zeer dunne watervoerende pakket.

Nitraat en nikkel

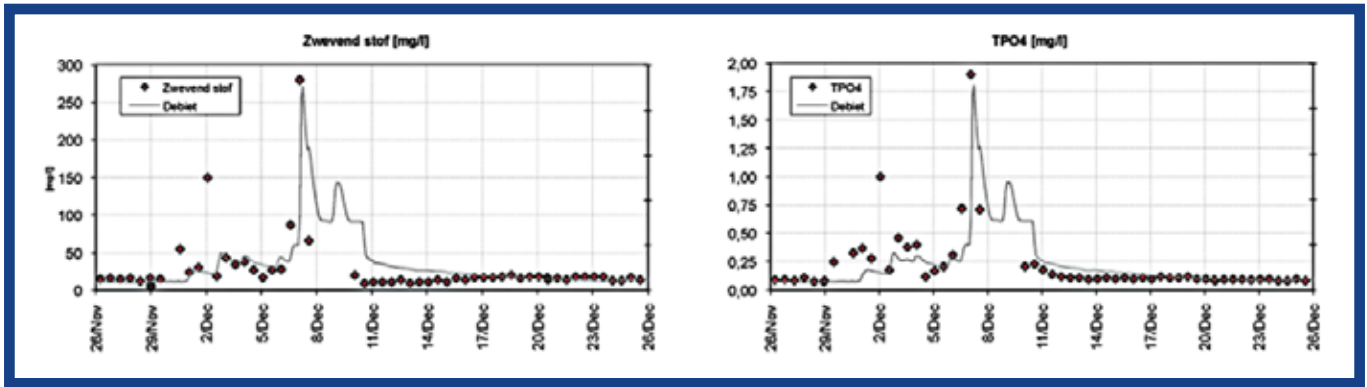
Voor nitraat en nikkel is een enigszins vergelijkbare dynamiek waar te nemen met een duidelijke relatie tussen de concentratie en de afvoer. De concentraties van beide stoffen nemen toe gedurende de natte periode in december. Voor deze buiige periode waren de grondwaterstanden laag en werd het oppervlaktewater met name gevoed vanuit het diepere grondwater. Dit diepe grondwater bevat minder nitraat en nikkel dan het bovenste grondwater. Tijdens de bui zelf treedt verdunning op. Het snel afstromende neerslagwater bevat kennelijk relatief lage concentraties nitraat en nikkel. Als na de bui de invloed van het bovenste grondwater op de oppervlaktewaterkwaliteit toeneemt, worden de concentraties nitraat en nikkel wel hoger. De nikkelpiek treedt langer na de bui op dan de nitraatpiek. Hieruit kan worden afgeleid dat nikkel over het algemeen wat dieper in het grondwater zit dan nitraat. Dit is in overeenstemming met de veronderstelling dat bij de afbraak van nitraat door pyrietoxidatie op een zekere diepte ook nikkel vrij kan komen.

Zwevend stof, totaal-fosfaat en zware metalen

De relatie tussen het gehalte zwevend stof en totaal fosfaat is weergegeven in afbeelding 4. Uit deze figuur blijkt een sterke correlatie tussen de concentratie zwevend stof en de concentratie totaal-fosfaat. Vergelijkbare relaties zijn er voor zware metalen. Zware metalen adsorberen pH-afhankelijk aan organisch materiaal en fosfaat bindt sterk aan ijzer- en aluminiumoxiden. Omdat zwevend stof bestaat uit sedimentdeeltjes waaronder klei, organisch materiaal en ijzer- en aluminiumoxiden, zijn de gemeten totaal-concentraties goed te verklaren.

In de grafieken zijn de verschijnselen van een aantal kenmerkende processen waar te nemen, zoals het flushing effect en hysteresis (zie kader op de voorgaande pagina).

De maximaal gemeten concentratie zwevend stof (en de stoffen hieraan gebonden) over de gehele meetperiode was tijdens de piekafvoer van 7 december 2007 (280 mg/l). De zwevend stofvracht bestaat deels uit opwervende deeltjes uit de waterbodem en deels uit deeltjes die met snel afstromend regenwater vanaf het land worden meegevoerd.



Afb. 4: Concentratie zwevend stof en totaal fosfaat in relatie tot de afvoer.

Maatregelen

De resultaten van de metingen in het stroomgebied van de Hooge Raam laten zien dat de belasting van het oppervlaktewater sterke fluctuaties vertoont en dat regelmatig concentraties van stoffen worden bereikt die hoger zijn dan normwaarden (KRW of MTR). Vooral piekafvoeren en de periode daaropvolgend zijn een zware belasting voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. Hierbij kunnen twee belangrijke snelle transportroutes worden onderscheiden afhankelijk van het chemisch gedrag van de stof:

- belasting van het oppervlaktewater vanuit het bovenste grondwater: mobiele parameters zoals nitraat, sulfaat en in dit gebied tevens nikkel;
- belasting van het oppervlaktewater vanuit oppervlakkige afstroming: stoffen die sterk correleren met zwevend stof (fosfaat, zware metalen).

Bij het verkennen van maatregelen is uitgegaan van drie categorieën maatregelen: brongerichte maatregelen (alleen door minder nutriënten en metalen te gebruiken wordt de belasting op de lange termijn teruggedrongen), procesgerichte maatregelen die de piekbelasting afvlakken door in te grijpen op de snelle transportroutes én end-of-pipe maatregelen: zuiveren in het benedenstroomse gebied (voorkomen van afwenteling).

Stuw Hoefkens en de automatische monsternamekast.



Tijdens een workshop in het kader van de afronding van het DOVE-onderzoek zijn maatregelen verkend gericht op het reduceren van de snelle transportroutes. Voorbeelden van genoemde maatregelen zijn het toepassen van peilgestuurde drainage (systeem van Iersel) waardoor water minder snel wordt gedraineerd, het zuiveren van drainagewater, het vormen van bufferstroken waar niet wordt bemest en waarin oppervlakkige afstroming wordt afgeremd door vegetatie en microreliëf waardoor aan zwevend stof gebonden verontreinigingen kunnen bezinken én maatregelen op het vlak van bodembeheer (uitmijnen en vergroten sorptiecapaciteit voor fosfaat en zware metalen).

Door het inrichten van een meer duurzaam watersysteem is het mogelijk om de piekbelasting als gevolg van opwerveling te verminderen. Deze maatregelen hebben vaak een dubbel nut: niet alleen de waterkwaliteit wordt verbeterd, maar ook de waterhuishouding. Water wordt meer vastgehouden en komt langzamer tot afvoer. De stroomsnelheden worden lager, waardoor minder zwevend stof opwervelt. Voor maatregelen gericht op benedenstroomse zuivering wordt gedacht aan het plaatsen van een slibvang maar ook aan helofytenfilters voor het afvangen van nutriënten en metalen in plant en slibmateriaal. Tevens is het mogelijk tijdens afvoerpieken ijzerchloride toe te voegen en

vervolgens de ontstane ijzeroxidevlokken met geadsorbeerd fosfaat voor hergebruik terug te winnen uit het oppervlaktewater.

Toekomst: maatregelen en monitoring

Maatregelen kunnen alleen in de praktijk hun werkelijke waarde bewijzen. Door een gericht meetprogramma kan worden gevolgd of de maatregelen het beoogde effect opleveren. Hiervoor zal de monitoring zowel gericht moeten zijn op het transport via het grondwater voor de mobiele parameters als transport via oppervlakkige afstroming. Aangezien het overgrote deel van de vracht aan fosfaat en zware metalen tijdens enkele zware buien optreedt, is een continue of debietproportioneel meetsysteem nodig om de effecten van maatregelen te kunnen meten.

Belangrijke kennisvragen zijn:

- Hoe groot is de invloed van de opwerveling van zwevend stof uit de waterbodem voor de vracht aan fosfaat en zware metalen in verhouding tot de bijdrage van deeltjes die worden losgemaakt uit drains en meegevoerd worden met oppervlakkige afstroming?
- Welke maatregelen zijn effectief voor het verminderen van de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat en zware metalen vanuit landbouwgronden via snelle transportroutes?

LITERATUUR

- 1) Rozemeijer J., H. Broers en H. Passier (2007). Een quick-scan inventarisatie van de bijdrage van het grondwater aan de oppervlaktewaterkwaliteit in Noord-Brabant. Deelrapport I van het project Aquaterra/STROMON. TNO
- 2) Verhagen F., H. Broers, A. Krikken, J. Rozemeijer, R. van Ek, M. van Vliet, B. van der Griff, R. Heerdink en R. Knoben (2007). Invloed van grondwater op oppervlaktewater: regionale differentiatie in Noord-Brabant. TNO / Royal Haskoning.
- 3) Helvoort J., H. Broers, P. Schipper en C. Appelo (2000). Zware metalen in het grondwater: pyrietoxidatie en desorptie (1): veld- en laboratoriumonderzoek Oostrum. H₂O nr. 24.
- 4) Rozemeijer J. en Y. van der Velde (2008). Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland. H₂O nr. 19.
- 5) Krikken A., F. Verhagen, G. van Mill en R. Wolters (2008). Interactie grondwater oppervlaktewater Hooge Raam. Waterschap Aa en Maas / Royal Haskoning).