



Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van Quarles van Ufford

Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden

C. Siderius, J. Rozemeijer, H.M. Mulder, A.A.M.F.R. Smit en T.P. van Tol-Leenders

Alterra-rapport 2221, ISSN 1566-7197
Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-IV



Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van Quarles van Ufford

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de ministeries van EL&I en I&M
Projectcode BO-12.07-009-005

Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van Quarles van Ufford

Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden

C. Siderius¹, J. Rozemeijer², H.M. Mulder¹, A.A.M.F.R. Smit¹ en T.P. van Tol-Leenders¹

1 Alterra

2 Deltares

Alterra-rapport 2221
Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-IV

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

C. Siderius, J. Rozemeijer, H.M. Mulder, A.A.M.F.R. Smit en T.P. van Tol-Leenders, 2011. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van Quarles van Ufford; Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 2221. 62 blz.; 29 fig.; 8 tab.; 16 ref.

Deze rapportage richt zich op het bemalingsgebied Quarles van Ufford. Om zicht te krijgen op de nutriëntenhuishouding in het gebied is er vanaf 2004 aanvullend op het reguliere meetnet van het waterschap in het oppervlaktewater gemeten. Voor de interpretatie van deze meetgegevens en het leggen van relaties om de bronnen en transportroutes van nutriënten in beeld te brengen waren modellen en aanvullende metingen noodzakelijk. In dit synthese-rapport worden de bronnen, routes en de sturingsmogelijkheden om de nutriëntenkwaliteit in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford te verbeteren beschreven.

Trefwoorden: mestbeleid, modelsysteem, monitoring, nutriënten, Quarles van Ufford, stroomgebied, systeemanalyse

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2221

Wageningen, oktober 2011

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding en doel	11
1.2 Projectaanpak	11
1.3 Doel en leeswijzer van dit rapport	13
2 Afwateringsgebied Quarles van Ufford	15
2.1 Beschrijving van het gebied	15
2.2 Kenschets van het gebied	16
3 Methodiek	17
3.1 Metingen oppervlaktewaterkwaliteit	17
3.2 Meetmethode fosfaatvoorraad in de bodem	17
3.3 Meetmethode gadolinium	18
3.4 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium	19
3.5 Bronnenanalyse	19
3.6 Sturingsmogelijkheden	20
4 Data-analyse	21
4.1 Oppervlaktewaterkwaliteit van Quarles van Ufford	21
4.1.1 Concentraties bij de uitstroompunten	21
4.1.2 Gemiddelde concentraties in het gebied	23
4.1.3 Ruimtelijke patronen	24
4.2 Aanvullende metingen in Quarles van Ufford	26
4.2.1 Fosfaatvoorraad in de bodem	26
4.2.2 Inlaatwaterconcentraties	26
4.2.3 Gadoliniumconcentraties in het oppervlaktewater	29
5 Modelling van water en nutriënten in de bodem en het oppervlaktewater	31
5.1 Beperkte kalibratie en resulterende oppervlaktewaterkwaliteit	31
5.2 Water- en nutriëntenbalansen van oppervlaktewater en bodem	33
5.3 Routes nutriënten in Quarles van Ufford	35
5.3.1 Van mest naar sloot	35
5.3.2 Van inlaat naar uitlaat	36
6 Bronnenanalyse	39
6.1 Uitspoeling vanuit het landsysteem ruimtelijk	39
6.2 Bronnen	40
7 Sturingsmogelijkheden om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren	45
7.1 Effecten mestbeleid	45

7.2	Sturingsmogelijkheden	46
7.3	Limitering in stikstof of fosfor	48
8	Discussie en conclusies	49
8.1	Oppervlaktewaterkwaliteit	49
8.2	Bronnen en routes van nutriënten	50
8.3	Sturingsmogelijkheden	50
8.4	Opschaling	51
Referenties		53
Bijlage I Gadolinium in het oppervlaktewater		55
Bijlage II Gemeten en berekende stikstof en fosforconcentraties voor de overige fracties		61

Woord vooraf

Deze rapportage 'Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van Quarles van Ufford, Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden' vormt een slotonderdeel van het project Monitoring Stroomgebieden. Het project Monitoring Stroomgebieden richt zich op de vragen wat de invloed is van het mestbeleid op de kwaliteit van het oppervlaktewater en hoe kan worden gestuurd op schoon water. Daarvoor is op het niveau van stroomgebieden onderzocht wat de bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater zijn en via welke transportroutes de nutriënten in het oppervlaktewater terechtkomen.

Voor dit project zijn vier stroomgebieden geselecteerd: Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford. De waterbeheerders Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard, Waterschap Veluwe, Waterschap Rivierenland, Waterschap Hunze en Aa's en Waterlaboratorium Noord participeren actief in dit project.

Het project wordt aangestuurd door een stuurgroep en intensief begeleid door een commissie. In de stuurgroep en de begeleidingscommissie hebben de ministeries EL&I en I&M als opdrachtgevers en de Unie van Waterschappen en de betrokken waterbeheerders zitting. Het project wordt uitgevoerd door Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte, onderdeel van Wageningen UR en Deltares.

Deze rapportage richt zich op het bemalingsgebied Quarles van Ufford. Om zicht te krijgen op de nutriëntenhuishouding in het gebied is er vanaf 2004 aanvullend op het reguliere meetnet van het waterschap in het oppervlaktewater gemeten. Voor de interpretatie van deze meetgegevens en het leggen van relaties om de bronnen en transportroutes van nutriënten in beeld te brengen waren modellen en aanvullende metingen noodzakelijk. In dit synthese rapport worden de bronnen, routes en de sturingsmogelijkheden om de nutriëntenkwaliteit in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford te verbeteren beschreven.

De voorlopige resultaten zijn in het gebied op 26 april 2011 besproken. Een vijftiental mensen van Waterschap Rivierenland, ZLTO en LTO-Noord kwamen in Beneden-Leeuwen bijeen voor de presentatie van de resultaten uit het onderzoeksproject Monitoring Stroomgebieden over het gebied van Quarles van Ufford. De tijdens deze gebiedsbijeenkomst gemaakte opmerkingen zijn in deze rapportage verwerkt. Hierbij willen we de aanwezige personen nogmaals bedanken voor hun inbreng.

Dank gaat uit naar de leden van de begeleidingscommissie, met name Hella Pomarius, onze contactpersoon bij Waterschap Rivierenland en collega Oscar Schoumans voor het werpen van een kritische blik op deze rapportage.

Voor informatie over het project Monitoring Stroomgebieden kunt u terecht op www.monitoringstroomgebieden.nl. Daarnaast kunt u terecht bij:

Dorothee van Tol-Leenders
Projectleider Monitoring Stroomgebieden
0317 - 48 42 79
dorothee.vantol-leenders@wur.nl

Christian Siderius
Corresponderend auteur
0317 - 48 64 48
christian.sidierius@wur.nl

Samenvatting

Het project Monitoring Stroomgebieden richt zich op de vragen wat de invloed is van het mestbeleid op de kwaliteit van het oppervlaktewater en hoe kan worden gestuurd op schoon water. Daarvoor is op het niveau van stroomgebieden onderzocht, wat de bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater zijn en via welke transportroutes de nutriënten in het oppervlaktewater terechtkomen. In dit synthese rapport worden de bronnen, routes en de sturingsmogelijkheden om de nutriëntenkwaliteit in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford te verbeteren beschreven.

Om bronnen, routes en sturingsmogelijkheden te kunnen bepalen is het gebied gemodelleerd met vier gekoppelde dynamische simulatiemodellen: SWAP voor de waterhuishouding van de landbodem, ANIMO voor de organische stof-, N- en P-huishouding en -uitspoeling uit de landbodem, SWQN voor de waterhuishouding van het oppervlaktewaterstelsel en NuswaLite voor de N- en P-huishouding en -concentraties in het oppervlaktewater. Een uitgebreide meetdataset met oppervlaktewaterkwaliteitsdata en kwantiteitsdata is gebruikt ter kalibratie en validatie van deze modellen. Aanvullend is ook de fosfaatvoorraad in de bodem en de verspreiding van inlaatwater bepaald. Het modelsysteem is hierop vervolgens aangepast.

Een analyse van bronnen en routes laat zien, dat in de zomer de oppervlaktewaterbelasting met nutriënten met name afkomstig is van ingelaten water vanuit de Maas en, sinds 2007 in steeds grotere mate, de naastgelegen Bloemerspolder. De winterbelasting wordt vooral veroorzaakt door de uitspoeling vanaf het landsysteem. De belasting vanuit het landsysteem is de belangrijkste bron in Quarles van Ufford. De fosforbelasting vanuit het landsysteem wordt gedomineerd door de bijdrage uit de historische bemesting, die in de afgelopen decennia heeft geleid tot een opbouw van de fosfaatvoorraad in de bodem. De huidige bemesting speelt een beperktere rol. Bij stikstof is juist de bodemvoorraad samen met de huidige bemesting de belangrijkste bron voor de huidige belasting richting vanuit het landsysteem richting het oppervlaktewater.

Om de zomernormen in de Kaderrichtlijn Water te halen zijn geen extra inspanningen nodig op het gebied van stikstof- en fosforuitspoeling. In Quarles van Ufford zijn de mogelijkheden ook beperkt. De inlaten zijn een belangrijke bron van nutriënten in de zomer, maar de concentraties van het ingelaten water kunnen slechts in zeer geringe mate door de waterbeheerder worden beïnvloed en worden vooral bepaald door externe factoren ((mest-)beleid bovenstrooms, zuiveringsinspanning).

Om op de wat langere termijn ook de waterkwaliteit in de kleinere waterlopen te verbeteren kan verminderde bemesting en uitmijnen van de nutriëntenvoorraad in de bodem overwogen worden. Het uitmijnen van de bodemvoorraad voor N en P zal vooral voor fosfor niet op de korte termijn effect sorteren. Het is aan te raden om daarbij niet alleen de effecten op de concentraties, maar ook de ecologische randvoorwaarden mee te nemen in de analyse.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

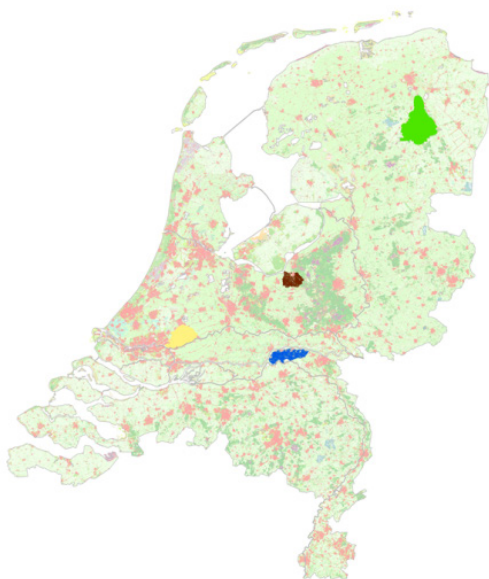
Vanaf de jaren tachtig zijn talloze wetenschappelijke onderzoeken gedaan naar het effect van het mestbeleid op de kwaliteit van het grondwater en het oppervlaktewater. Het bleek echter niet mogelijk om op landelijk niveau de relatie tussen het mestbeleid en de kwaliteit van het oppervlaktewater aan te tonen. Er was een gebrek aan inzicht in de bronnen en de transportroutes van nutriënten en in de processen die de waterkwaliteit beïnvloeden op het niveau van de stroomgebieden.

Dat was één van de redenen waarom de commissie Spiertz II in 2000 adviseerde om op het niveau van stroomgebieden gericht onderzoek uit te voeren om het beleid handvatten te bieden om de waterkwaliteit verder te verbeteren. Dit advies werd opgepakt door de toenmalige ministeries van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Verkeer en Waterstaat. In 2003 begon een meerjarig onderzoek onder de naam 'Meerjarig monitoringsprogramma naar de uit- en afspoeling van nutriënten in stroomgebieden en polders' - kortweg Monitoring Stroomgebieden.

Het project Monitoring Stroomgebieden richtte zich op de vragen wat de invloed is van het mestbeleid op de kwaliteit van het oppervlaktewater en hoe kan worden gestuurd op schoon water. Daarvoor is op het niveau van stroomgebieden onderzocht wat de bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater zijn en via welke transportroutes de nutriënten in het oppervlaktewater terechtkomen.

1.2 Projectaanpak

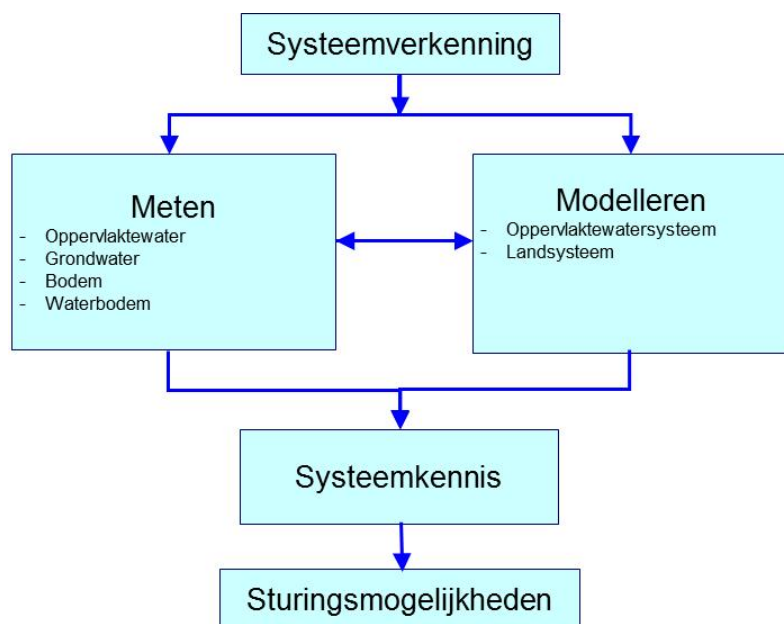
In het onderzoek Monitoring Stroomgebieden zijn metingen en modelberekeningen gedaan in vier stroomgebieden met zeer verschillende kenmerken. De veenweidepolder Krimpenerwaard staat voor de veengebieden in Nederland, de kleipolder Quarles van Ufford voor de kleigebieden (zie Figuur 1). Om goed zicht te krijgen op de manier waarop nutriënten zich in zandgebieden gedragen, is gekozen voor een stroomgebied waar een hoge nutriëntenbelasting werd verwacht – de Schuitembeek – en een stroomgebied met een lagere belasting – de Drentse Aa.



Figuur 1

Proefgebieden Drentse Aa (groen), Schuitembeek (bruin), Krimpenerwaard (geel) en Quarles van Ufford (blauw).

Het onderzoek Monitoring Stroomgebieden begon met een systeemverkenning, waarbij alle bestaande kennis over de vier stroomgebieden is verzameld (Figuur 2). Waar nodig zijn extra veldmetingen gedaan. Zo is bijvoorbeeld gemeten aan de hoeveelheid nutriënten in de veenbodem van de Krimpenerwaard en aan oppervlaktewaterprocessen in de Drentse Aa. Met de meetresultaten zijn de kennishiaten in de vier onderzoeksgebieden opgevuld. Daarna zijn de bronnen en routes van nutriënten naar het oppervlaktewater gekwantificeerd.



Figuur 2

Aanpak van het project Monitoring Stroomgebieden.

Naast de gerichte extra veldmetingen zijn de bestaande oppervlaktewatermeetnetten van de waterschappen in de periode 2004 tot oktober 2010 verdicht, door het toevoegen van nieuwe meetlocaties maar ook door vaker te meten aan bepaalde meetlocaties. Ieder jaar zijn de meetresultaten met de betrokken waterbeheerders geëvalueerd en opnieuw vastgelegd in meetplannen. De nieuwe metingen zijn binnen Monitoring Stroomgebieden gebruikt om procesmodellen te ontwikkelen op het niveau van het stroomgebied. Deze modellen zijn afgeleid van het bestaande, landelijke model STONE, dat in fasen is verfijnd en uitgebreid. Door na iedere fase in de modellering de metingen en de modelberekeningen te koppelen, ontstond binnen het project een systeem waarmee de bronnen en routes van nutriënten in en naar het oppervlaktewater te volgen en te voorspellen zijn. Deze bevindingen zijn gerapporteerd in de systeemanalyses. Op basis van alle kennis over de bronnen en routes van nutriënten in een gebied is vervolgens uitgerekend hoe effectief sturingsmogelijkheden zijn om de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater te verminderen.

1.3 Doel en leeswijzer van dit rapport

Het voorliggende rapport betreft het 'achtergrondrapport' Quarles van Ufford. Hierin zijn de activiteiten, die in het kader van het project Monitoring Stroomgebieden in Quarles van Ufford zijn uitgevoerd, beschreven en geïnterpreteerd. Na de systeemanalyse fase 3 bleek namelijk dat er aanvullende gegevens nodig zijn en dat het modelinstrumentarium moest worden aangepast om het gedrag van de nutriënten in Quarles van Ufford te begrijpen en te voorspellen.

Het gaat hierbij primair om de bronnen van nutriënten, de transportroutes van deze nutriënten en de processen die op de nutriënten aangrijpen. Deze componenten bepalen de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford. Het doorgronden van deze componenten draagt bij aan het antwoord op de vragen of het mestbeleid zin heeft gehad en met welke sturingsmogelijkheden de oppervlaktewaterkwaliteit kan worden verbeterd.

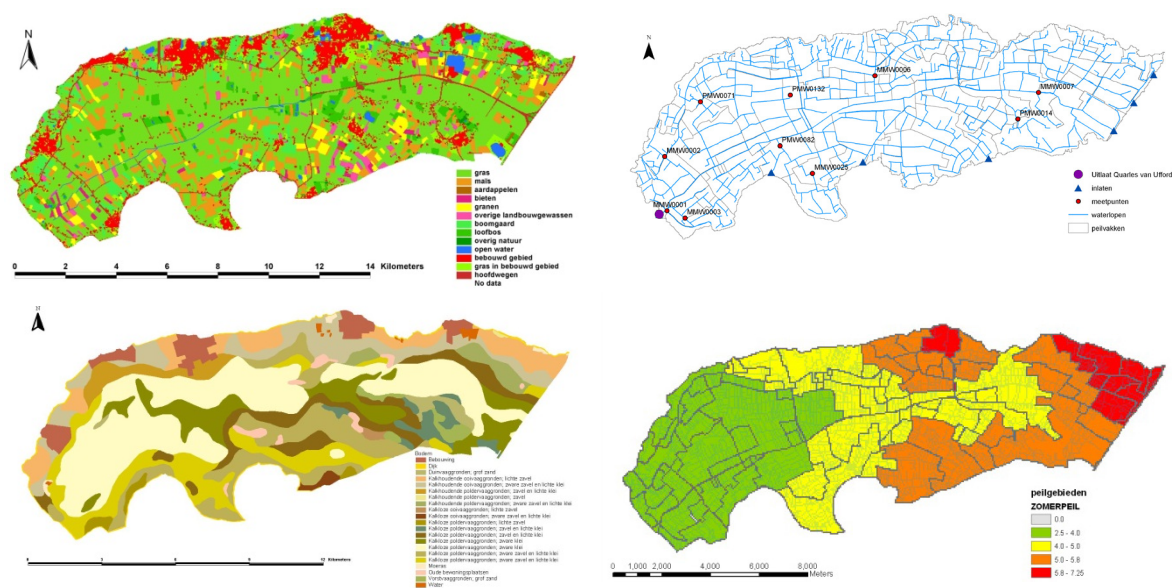
Hoofdstuk 2 geeft de beschrijving van het afwateringsgebied Quarles van Ufford, inclusief karakteristieke kenmerken voor nutriënten. Hoofdstuk 3 geeft de beschrijving van de methodiek: welke metingen zijn

uitgevoerd en hoe is het modelinstrumentarium opgebouwd om de nutriëntenbronnen en -routes te kwantificeren en hoe zijn de sturingsmogelijkheden vastgesteld. De hier opvolgende hoofdstukken geven de inhoudelijke beschrijvingen van deze activiteiten: de meetdata-analyse (hoofdstuk 4), de modelaanpassingen, resultaten en beperkte kalibratie (hoofdstuk 5) de bronnenanalyse (hoofdstuk 6) en de sturingsmogelijkheden (hoofdstuk 7). Hoofdstuk 8 beschrijft de conclusies van het onderzoek.

2 Afwateringsgebied Quarles van Ufford

2.1 Beschrijving van het gebied

Quarles van Ufford is een deelgebied van het waterschap Rivierenland. Het bemalingsgebied is gelegen in het westelijke deel van het Land van Maas en Waal binnen de winterdijken. Quarles van Ufford wordt in het noorden en westen begrensd door de winterdijk langs de Waal en in het zuiden door de winterdijk langs de Maas. Ten oosten wordt het gebied begrensd door de Nieuwe Wetering in het afwateringsgebied Bloemers en de snelweg A50. De totale oppervlakte van het gebied is ca. 12.000 ha. Het bemalingsgebied telt circa 320 km A-watergangen en circa 535 km B-watergangen. Het gebied helt licht, gaande van oost naar west (7 m boven NAP in het oosten en 3 m boven NAP in het westen). Het gebied Quarles van Ufford bestaat voornamelijk uit rivierkleigronden. De oeverwallen langs de Waal en Maas worden gevormd door zavel en lichte klei; de komgronden die centraal in het gebied liggen bestaan uit lichte en zware klei. Ook komt er een aantal ondiepe zandbanen voor, waar de weerstand van de deklaag kleiner is waardoor er meer kwel en wegzijging optreedt (Soppe et al., 2005). Circa 80% van het gebied is in gebruik als landbouwgrond. Van dit deel wordt het grootste deel als grasland gebruikt (Figuur 3). Verder zijn vooral maïs en fruitteelt sterk in het bemalingsgebied vertegenwoordigd. De overige 20% van het oppervlak van het gebied komt grotendeels voor rekening van bebouwd gebied.



Figuur 3

Landgebruik (LGN4), waterlopen, bodems en peilgebieden en hun zomerpeil in het bemalingsgebied Quarles van Ufford.

Het bemalingsgebied Quarles van Ufford wordt ontwaterd via een stelsel van weteringen dat als een centrale as door het gebied in oost-west richting loopt. Bij het gemaal Quarles in het westen van het gebied stroomt het water onder vrij verval richting de Maas. Bij twee inlaten komt water onder vrij verval vanuit de Maas het gebied in. Daarnaast wordt water door twee duikers onder de A50 vanuit het oostelijk gelegen gebied (Bloemers) aangevoerd, en is er een opjager in de Nieuwe Wetering die ook water vanuit Bloemers aanvoert.

Om het inlaatwater tot op de oeverwallen te krijgen is er een aantal opjagers in het gebied die het water oppompen naar de hogere delen van het gebied. De afvoer van water verloopt via de centrale oost-west as van het bemalingsgebied, in de westelijke richting. Het bemalingsgebied Quarles van Ufford watert af op de Maas via het gemaal bij Alphen (capaciteit circa 13.5 m³/s). Het grootste deel van het jaar kan onder vrij verval op de Maas worden gespuid. Een klein deel van het jaar wordt bij hoge waterstanden in de Maas bemaling toegepast.

2.2 Kenschets van het gebied

De polder Quarles van Ufford is één van de vier gebieden die intensief is gemonitord in het project Monitoring Stroomgebieden. Quarles van Ufford representeert in het project de kleigronden in het rivierengebied in Nederland. Drie elementen geven het typerende van dit gebied en daarmee van de nutriëntenproblematiek aan

Klei:

- Quarles van Ufford bestaat voornamelijk uit rivierkleigronden. De oeverwallen langs de Waal en Maas worden gevormd door zavel en lichte klei; de komgronden die centraal in het gebied liggen bestaan uit lichte en zware klei. Uit eerdere studies blijkt dat dit kan zorgen voor een snelle en vrij ondiepe ontwatering. Een groot deel van Quarles van Ufford is gedraineerd.

Grasland:

- 80% van het gebied is in gebruik als landbouwgrond, het grootste deel grasland. Natuur komt alleen versnipperd voor in het gebied. De bemestingsdruk op deze graslanden is de laatste decennia sterk afgenomen. De dominantie van landbouw zorgt er voor dat er in het gebied geen meetpunten te vinden zijn die niet door landbouw, en dan vooral bemesting, worden beïnvloed.

Polder:

- Het is een gebied met peilbeheer: de oppervlaktewaterstreefpeilen worden zo goed mogelijk gehandhaafd. Hiervoor moet water worden uitgeslagen of ingelaten. Ook wordt vooral sinds 2007 water vanuit de naastliggende Bloemerspolder ingelaten. In de meeste omstandigheden kan dit water onder vrij verval via de Quarles van Ufford naar de Maas stromen en dat scheelt in bemalingskosten. De invloed die de inlaat van water heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit in polders is vaak onbekend.
- Door de grote hoeveelheid oppervlaktewater in combinatie met het peilbeheer en de netwerkstructuur van de waterlopen en sloten zijn verblijftijden van oppervlaktewater veel groter dan in vrij afwaterende gebieden. Hierdoor zijn nutriëntenprocessen in de reactieve waterbodem en in de waterkolom van grote invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater.

3 Methodiek

Voor het onderzoek is een aantal activiteiten uitgevoerd zowel op het gebied van de monitoring als op gebied van de modellering met als doel om de nutriëntenhuishouding in Quarles van Ufford beter te begrijpen en te voorspellen. In dit hoofdstuk wordt de methodiek van deze activiteiten kort beschreven.

3.1 Metingen oppervlaktewaterkwaliteit

In de afgelopen zeven jaar (2003-2010) is er uitgebreid gemeten in de vier stroomgebieden van het project Monitoring Stroomgebieden als aanvulling op de al aanwezige meetdata bij de waterschappen. Voor het stroomgebied Quarles van Ufford is aanvullend in het oppervlaktewater gemeten met behulp van een debiet proportionele meetstation. Het meetnet is jaarlijks, samen met het waterschap, geëvalueerd en daar waar nodig aangepast. Zo is het meetnet in Quarles van Ufford verdicht door het toevoegen van extra meetlocaties, maar ook door vaker in de tijd (wekelijks en tweewekelijks) te gaan meten (Van Tol-Leenders et al., 2011).

In eerste instantie zijn de oppervlaktewaterkwaliteitsdata alleen gebruikt ter validatie van de in dit project gebruikte water- en nutriëntenmodellen (zie o.a. de validatie-rapportage van Walvoort et al., 2010). In de Tussenrapportage Monitoring Stroomgebieden is vervolgens een eerste aanzet gegeven voor een analyse van de data zelf. In deze rapportage zijn de data nog verder geanalyseerd.

3.2 Meetmethode fosfaatvoorraad in de bodem

De diffuse fosfaatbelasting van het oppervlaktewater vanuit het landsysteem wordt mede bepaald door de fosfaatvoorraad in de bodem, de mate waarin fosfaat in de bodem is vastgelegd, de (resterende) bindingscapaciteit van de bodem en de (geo)hydrologische situatie. De diffuse fosfaatbelasting van het oppervlaktewater kan niet rechtstreeks worden gemeten en wordt daarom vaak met procesmodellen berekend. Deze procesmodellen moeten worden gevoed met gebiedspecifieke gegevens over de fosfaattoestand van de bodem. Het is veelal niet mogelijk om deze gegevens uit bestaande bronnen te verkrijgen aangezien fosfaat over tientallen jaren is opgehoopt in de bodem. Als er gegevens beschikbaar zijn, dan is dat vaak voor een beperkt aantal locaties en/of voor een geringe diepte. Ook is het niet mogelijk om de fosfaattoestand af te leiden uit gegevens over de bemestingshistorie. Er zijn namelijk nauwelijks regionaal gedifferentieerde gegevens beschikbaar over (historische) bemestingsgiften en de mestsamenvatting. Daarom is in het kader van het project 'Monitoring Stroomgebieden' een deelonderzoek uitgevoerd om de fosfaattoestand te kwantificeren op basis van metingen in het veld (Walvoort et al., 2011).

Omdat deze metingen relatief kostbaar zijn kan de fosfaattoestand maar op een beperkt aantal locaties en diepten worden bepaald. Door gebruik te maken van geostatistische interpolatiemethoden kunnen op basis van de veldmetingen predicties (geïnterpoleerde waarden) van de fosfaattoestand worden verkregen voor elke locatie in het studiegebied. Op deze wijze kan een driedimensionaal beeld worden verkregen van de actuele fosfaattoestand. Door gebruik te maken van bestaande gebiedsgegevens (o.a. bodemkaart of landgebruikskaart) kunnen de voorspellingen potentieel worden verbeterd. In het gebied van de Quarles van Ufford zijn ca. 70 locaties bemonsterd. Per locatie zijn vier bodemlagen bemonsterd (0-20 cm; 20-35 cm; 35-50 cm en 50-100 cm).

De steken zijn als mengmonster bij het laboratorium aangeleverd. In het laboratorium zijn de mengmonsters geanalyseerd op een aantal bodemeigenschappen die relevant zijn voor de fosfaattoestand van de bodem: oxalaat-extraheerbaar fosfor (P_{ox}), een maat voor de hoeveelheid aan ijzer en aluminium gebonden fosfor in de bodem; oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium ($Fe_{ox} + Al_{ox}$), bodemeigenschappen die het fosfaatbindend vermogen van de bodem bepalen; en het Pw-getal (Pw), een maat voor de hoeveelheid fosfaat die makkelijk beschikbaar is voor het gewas. De metingen zijn vertaald naar een gebieddekkende fosfaattoestand met behulp van geostatistische interpolatiemethoden. Op basis van de metingen is de fosfaatbezettingsfractie (FBF) bepaald die inzicht geeft in de hoeveelheid fosfaat in de bodem ten opzichte van de capaciteit van die bodem om fosfaat vast te leggen (Schoumans et al. 1991) met de leden van de rechterterm uitgedrukt in mol/kg:

$$FBF = [P_{ox}] / [Fe_{ox} + Al_{ox}]$$

De FBF kan afhankelijk van het bodemtype oplopen tot maximaal 0,4 tot 0,5 (Koopmans, 2004). De bodem is dan fosfaatverzadigd.

3.3 Meetmethode gadolinium

Om meer inzicht te krijgen in de verspreiding van het inlaatwater door Quarles van Ufford hebben we monsters genomen voor de bepaling van de gadolinium-anomalie. Gadolinium is één van de zogenaamde 'zeldzame aarden elementen' (Engels: Rare Earth Elements, REE). Dit is een vrij onbekende groep van vijftien elementen met namen als praseodymium, dysprosium en ytterbium. De elementen hebben vergelijkbare chemisch eigenschappen en de natuurlijke achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater zijn doorgaans erg laag ($<0.01 \mu\text{g/L}$). Gadolinium-houdende stoffen worden echter sinds de jaren '80 verwerkt in contrastmiddelen die in ziekenhuizen worden gebruikt bij het opsporen van tumoren met MRI-scans. Vermoedelijke kankerpatiënten krijgen een dergelijk contrastmiddel voorafgaand aan hun MRI-onderzoek ingespoten. Het middel hoopt zich op in het kankerweefsel en door de afwijkende magnetische eigenschappen van gadolinium wordt de tumor goed zichtbaar op de MRI-scan. Na een aantal uren verlaat het gadolinium-complex het lichaam van de patiënt weer via de ontlasting. Gadolinium wordt niet afgebroken en komt via het rioolstelsel en de waterzuiveringsinstallaties in het oppervlaktewater terecht. Daardoor zijn de concentraties gadolinium in het ontvangende oppervlaktewater wat hoger dan de concentraties van de andere zeldzame aarden elementen; er is een zogeheten gadolinium-anomalie. De licht verhoogde concentraties zijn niet gevaarlijk, maar kunnen wel gebruikt worden om de invloed van het effluent van waterzuiveringsinstallaties aan te tonen. Ook water dat ingelaten wordt vanuit de Rijn en de Maas is herkenbaar aan verhoogde concentraties gadolinium.

De techniek is nog niet eerder toegepast voor het traceren van inlaatwater in een hydrologisch complexe polder. De gadoliniumconcentratie is in Rijn- en Maaswater verhoogd ten opzichte van de concentraties van de andere zeldzame aarden ofwel *rare earth elements*. Dat geldt echter niet voor het gebiedseigen drainagewater en kwel. Met een ruimtelijk beeld van de gadolinium-anomalie kan de invloed van het inlaatwater in het gebied worden herleid.

De eerste meetronde vond plaats op 5 augustus 2010. Na de zeer droge zomer zou de invloed van inlaatwater maximaal moeten zijn. We hebben twintig locaties bemonsterd die ook door Waterschap Rivierenland bemeten worden voor het project Monitoring Stroomgebieden. Hiertoe behoren onder meer de inlaatpunten (maximale invloed inlaatwater) en het uitlaagemaal. Verder liggen de meetlocaties voornamelijk in de hoofdwatergangen, maar er zitten ook kleinere landbouwsloten tussen (Figuur 1a en 1b). Er is tijdens de bemonsteringsronde ook gezocht naar een aanvullende locatie waar we minimale invloed van inlaatwater verwachtten. Dit hebben we gevonden bij het begin van een sloot die een hoger gelegen rivierduin ontwatert (figuur 1c).

Het laboratorium heeft eerst een test-analyse op een deel van de monsters gedaan om te controleren of er überhaupt wel een verschil in gadolinium-anomalie was tussen het inlaatwater en het water in de kleine landbouwslootjes. De resultaten van deze test waren bemoedigend en vervolgens zijn alle twintig monsters doorgemeten. Op 22 oktober 2010 is nog een tweede bemonsteringsronde gedaan. Gezien de grote neerslaghoeveelheden vanaf eind augustus verwachtten we dat de invloed van inlaatwater flink zou zijn afgenomen bij deze tweede meetronde.

3.4 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium

Het gebied is gemodelleerd met vier dynamische simulatiemodellen die op afstand zijn gekoppeld: SWAP voor de waterhuishouding van de landbodem (Van Dam et al., 2008), ANIMO voor de organische stof-, N- en P-huishouding en -uitspoeling uit de landbodem (Groenendijk et al., 2005), SWQN voor de waterhuishouding van het oppervlaktewaterstelsel (Smit et al., in voorbereiding) en NuswaLite voor de N- en P-huishouding en -concentraties in het oppervlaktewater (Siderius et al., 2008).

De modellen zijn gekalibreerd op de gemeten oppervlaktewaterkwaliteit van totaal-N en totaal-P. Hiervoor zijn alleen de parameters in de waterkwaliteitsmodellen (ANIMO en NuswaLite) gevarieerd. De parameters voor de kwantiteitsmodellen (SWAP en SWQN) zijn niet gevarieerd. Er zijn 500 modelruns uitgevoerd waarin alle gekozen parameters - zeven NuswaLite-parameters en één ANIMO-parameter - zijn gevarieerd binnen een vooraf vastgestelde bandbreedte. De modelvariant waarvan de gemodelleerde nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater in de periode 2001-2010 het minst afwijken van de gemeten concentraties - op een aantal representatieve meetlocaties met lange meetreeksen - is gekozen als beste modelvariant. De mate van afwijking tussen meting en model is hierbij gekwantificeerd met de modefficiëntie (Nash en Sutcliffe, 1970) die maximaal 1 is wanneer model- en meetresultaten exact overeenkomen en die 0 is wanneer het gemiddelde van de metingen dezelfde voorspellende waarde heeft als het model. Bij een modefficiëntie kleiner dan 0 heeft het model geen meerwaarde. De methodiek is uitgebreid besproken in het kalibratierapport van Monitoring Stroomgebieden (Siderius et al., 2011).

De op deze manier bepaalde beste modelvariant heeft als basis gediend voor de uiteindelijke bronnenanalyse, voor het bepalen van het effect van het mestbeleid op de oppervlaktewaterkwaliteit en voor het bepalen van het effect van sturingsmogelijkheden om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren.

3.5 Bronnenanalyse

Het doel van een gerichte bronnenanalyse is om de invloed van deze specifiek geselecteerde bronnen op de oppervlaktewaterkwaliteit ten opzichte van andere bronnen helder in beeld te brengen. Bij een gevoeligheidsanalyse op de bronnen wordt de intensiteit van een bron met behulp van modellen gevarieerd. Hierdoor wordt bepaald wat het effect is van deze variatie op de uiteindelijke berekende concentratie in het oppervlaktewater. Deze methode is een goede, indirecte, methode om een bronnenanalyse uit te voeren. Deze gerichte bronnenanalyse wordt uitgevoerd voor de belangrijkste bronnen en een select aantal kritische geselecteerde observatiepunten in de vier stroomgebieden.

De te onderscheiden bronnen zijn:

Landsysteem:

- Bemesting
- Atmosferische depositie

- Kwel (op de onderrand van het modelsysteem)
- Infiltratie vanuit het oppervlaktewater
- Bodemvoorraad

Oppervlaktewatersysteem:

- Atmosferische depositie
- Puntbronnen (RWZI)
- Inlaat van rivierwater
- Watersysteem (bergingsverandering in waterbodem, waterkolom en waterplanten)

De bijdrage van de bronnen is berekend met een nieuwe methodiek waarbij de bronnenbijdrage wordt bepaald door kleine veranderingen aan te brengen in de bronsterkte. Dit resulteert in de bronnenbijdrage die hoort bij de 'huidige' toestand van het landsysteem en het oppervlaktewatersysteem. Ook blijft op deze manier het modelinstrumentarium binnen de grenzen van de nutriëntenbelasting waarop het instrumentarium is afgestemd. Deze nieuwe methodiek is uitgebreid beschreven in Groenendijk et al. (in voorbereiding).

De bronsterkte is gevarieerd over de jaren 2001 t/m 2010 om een idee te krijgen van de gemiddelde bronnenbijdrage in deze periode. De bronnen zijn daarbij gevarieerd in stappen van 1% reductie ten opzichte van de oorspronkelijke hoeveelheid. De bijdrage van de bemesting aan de uit- en afspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem is opgesplitst in de bijdrage van historisch toegediende mest - in de periode 1940 t/m 2000 - en recentelijk toegediende mest, in de periode 2001 t/m 2010. De eventuele bijdrage van mest die voor 1940 is toegediend aan de uit- en afspoeling komt tot uiting in de term 'bodemvoorraad'.

3.6 Sturingsmogelijkheden

Het gekalibreerde modelinstrumentarium is gebruikt om sturingsmogelijkheden voor verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit te kwantificeren. Ook is het modelinstrumentarium gebruikt om het effect van het uitgevoerde mestbeleid te kwantificeren:

- 1) Effecten mestbeleid: één van de grote vragen voor het project Monitoring Stroomgebieden is om inzicht te krijgen in het effect van het mestbeleid op de oppervlaktewaterkwaliteit. Hiervoor zijn in een scenarioberekening met het modelinstrumentarium de mestgiftten uit de 2e helft jaren tachtig gecontinueerd tot 2010, gecombineerd met de bijbehorende gewasopnamen. De berekende N- en P-concentraties als gevolg van het continueren van de mestgiftten zijn vergeleken met de huidige berekende concentraties van het gekalibreerde uitgangsmodel. Dit geeft een inschatting van het effect van de mestwetgeving op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater.
- 2) Sturingsmogelijkheden: de bronnenanalyse heeft de bronnen met het grootste aandeel aangewezen. Van deze bronnen zijn degenen die stuurbaar zijn in scenarioanalyses gereduceerd tot een realistisch minimaal niveau. Dit zijn de bronnen bemesting, inlaatwater, puntbronnen en atmosferische depositie. Met het gekalibreerde modelinstrumentarium is berekend welk effect de bronreducties hebben op de hoeveelheid nutriënten die de Krimpenerwaard via de gemalen verlaten. Dit geeft inzicht in de effecten van potentiële maatregelen voor verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. N.B.: de reductie van de bronnen is tot stand gebracht door de ermee gemoeide nutriënten te reduceren en niet door een reductie van de hoeveelheid water die ermee gemoeid is.

4 Data-analyse

4.1 Oppervlaktewaterkwaliteit van Quarles van Ufford

Deze paragraaf betreft een temporele en ruimtelijke analyse van de gemeten concentraties van totaal-N en totaal-P, de relevante N- en P-componenten. Deze analyse geeft inzicht in de toestand van het oppervlaktewater in Quarles van Ufford, patronen in oppervlaktewaterkwaliteit en de processen die deze kwaliteit bepalen.

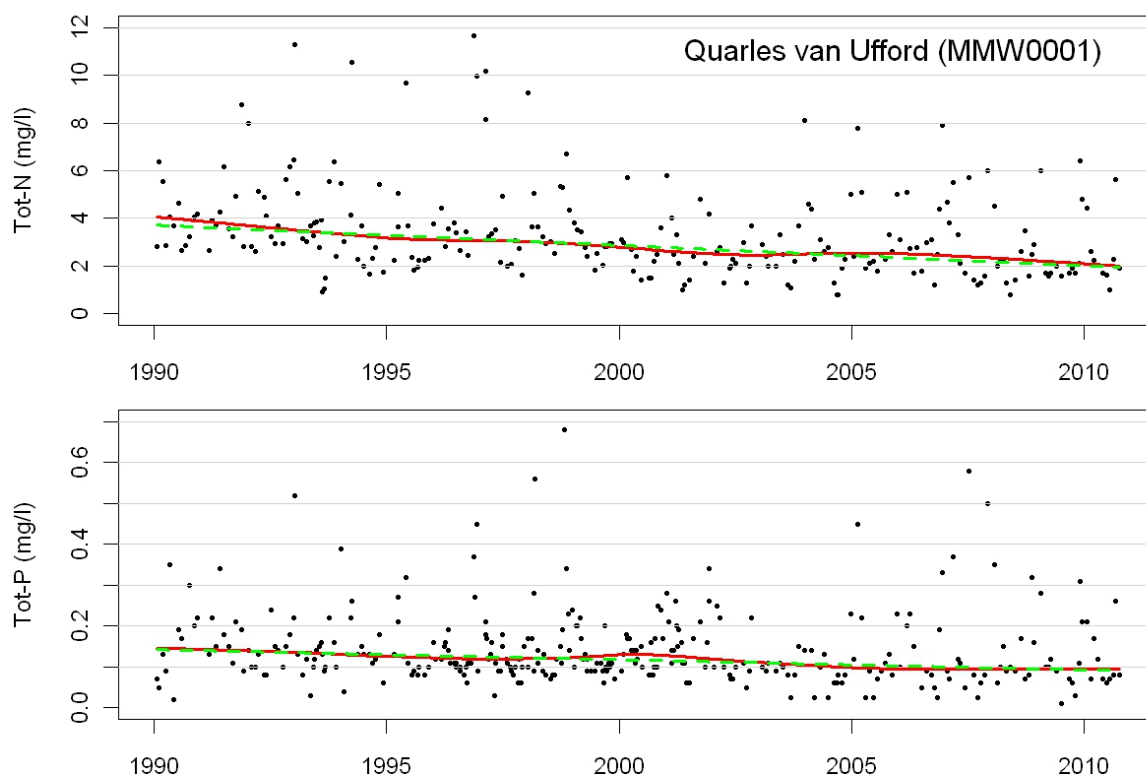
De volgende analyses zijn uitgevoerd:

- De trend van totaal-N en -P-concentratie in de tijd voor de uitstroompunten (1980-2010)
- De trend van de gebiedsgemiddelde zomerconcentratie van totaal-N en -P (2004-2010) en toetsing aan de KRW-normen
- Seizoentrend van de totaal N- en P-concentraties op basis van langjarige gebiedsgemiddelden (2004-2010)
- Ruimtelijke verdeling van de gemiddelde zomerhalfjaar- en winterhalfjaarconcentraties aan totaal-N en -P

4.1.1 Concentraties bij de uitstroompunten

Uit langjarige meetreeksen in Quarles van Ufford blijkt dat voor zowel stikstof als fosfor vanaf het begin van de meetreeks in 1990 een duidelijke daling in de waargenomen concentraties in het oppervlaktewater optreedt (Figuur 4). Lag de gemiddelde stikstofconcentratie in 1990 nog op 4 mg/l, nu is deze afgenomen tot onder de 2.5 mg/l. Dit lijkt met name veroorzaakt door een gemiddeld lagere concentratie. Piekoncentraties worden ook in de laatste vijf jaar nog regelmatig gemeten. Voor fosfor is de daling zwakker, in de orde van grootte van enkele honderdsten mg/l.

Figuur 4 laat de berekende trends zien in de gemeten nutriëntenconcentraties en Tabel 1 geeft aan of de trend significant is, op basis van de Seasonal Mann Kendall test, een robuuste, non-parametrische trendtest die speciaal bedoeld is voor meetgegevens met een seizoenpatroon (Hirsch en Slack, 1984). De N-totaal concentratie vertoont een duidelijke afnemende trend in de periode 1990-2010 die significant is. De trend is vrij constant over de jaren heen, waardoor de LOWESS nauwelijks afwijkt van de Thiel-Sen hellinglijn. De neerwaartse trend is waarschijnlijk toe te schrijven aan de afgenomen bemesting door het Mestbeleid, aangezien bemesting een zeer belangrijke nutriëntenbron is, zie hoofdstuk 7. Ook de concentratie totaal-P vertoont een significante afnemende trend in de periode 1990-2010. De statistieken in Tabel 1 laten ook zien dat er voor zowel totaal-N als totaal-P over de afgelopen 10 jaar (2000-2010) geen significante daling meer is waar te nemen.



Figuur 4

Trendanalyse van het totaal-stikstofgehalte en totaal-fosforgehalte in het uitstroompunt van Quarles van Ufford (met in groen: de Sen's slope estimator (Hirsch et al., 1982), een robuuste non-parametrische trendschatter. Dit levert een helling en een intercept en dus een rechte trendlijn. Robuust wil zeggen weinig gevoelig voor extreme waarden (in tegenstelling tot lineaire regressie). Non-parametrisch wil zeggen dat de dataset niet per se normaal verdeeld hoeft te zijn. En in rood: Lowess (Cleveland, 1979), een soort lopende mediaan door de gegevens, geeft dus de langetermijn variaties. Ook robuust, dus weinig gevoelig voor uitschieters (in tegenstelling tot een lopend gemiddelde). Deze is toegevoegd om bijvoorbeeld te kunnen zien of de trend afvlakt in de laatste jaren).

Tabel 1

Resultaten Seasonal Mann Kendall trendtest voor N- en P-concentraties bij het uitstroompunt.

Periode	Parameter	Stikstof (N)	Fosfor (P)
1990-2010	SMK-tau	-0,33	-0,21
	p	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
2000-2010	SMK-tau	-0,085	-0,134
	p	0,26	0,075

Groen = significante neerwaartse trend ($p < 0,01$)

Grijs = geen significante trend ($p > 0,01$)

4.1.2 Gemiddelde concentraties in het gebied

Een belangrijke vraag voor beleidsmakers en waterbeheerders is in hoeverre er een waterkwaliteitsprobleem is als gevolg van te hoge stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater. Een manier om deze te beantwoorden is door de waarnemingen te toetsen aan een grenswaarde (norm). Als de waarnemingen boven deze grenswaarde liggen is sprake van een slechte waterkwaliteit. Als grenswaarden zijn de gebiedsgerichte normen uit de waterbeheersplannen (de zogenaamde normen voor Goed Ecologisch Potentieel, afgekort tot GEP) genomen. Deze normen gelden voor het zomerhalfjaar (1 april - 30 september). In Quarles van Ufford is sprake van twee soorten normen voor twee soorten watergangen. Voor een aantal hoofdwatervaten, met name de centrale afvoerende watering, gelden de voor de KRW vastgestelde normen. In alle overige wateren worden de MTR-normen nog aangehouden die voor stikstof beduidend lager liggen (2.2 mg/l voor totaal N, 0.6 mg/l lager dan de KRW norm van 2.8 mg). Voor fosfor is de MTR norm gelijk aan de KRW norm, 0.15 mg/l.

Figuur 5 laat zien dat in de KRW-waterlichamen de norm voor zowel stikstof als fosfor vrijwel altijd gehaald wordt. Hieronder valt ook het uitstroompunt. Voor de MTR-watergangen zijn de concentraties die in deze meetpunten worden gemeten hoger. De stikstofnorm in deze watergangen ligt echter juist lager. Voor zowel stikstof als fosfor wordt de zomerconcentratie overschreden. Dit komt mede omdat de MTR-meetpunten veelal in de kleinere waterlopen liggen, enkele zelfs in zeer kleine, door uitspoeling gedomineerde, landbouwsloten waar retentie en vermenging met ingelaten water in mindere mate optreedt.



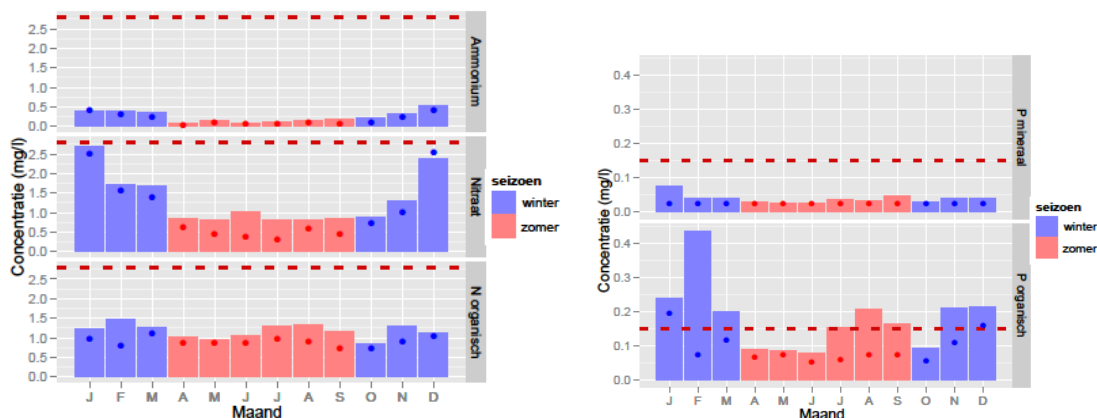
Figuur 5

Gemeten zomergemiddelde-concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor alle meetlocaties die onder de KRW-norm vallen (links) en alle meetlocaties die onder de MTR-norm vallen (rechts) in Quarles van Ufford. De rode lijn geeft de gebiedspecifieke norm weer.

In Figuur 6 zijn de gemeten gemiddelde maandelijkse concentraties van de afzonderlijke stikstofcomponenten (ammonium, nitraat en organische stikstof) in het oppervlaktewater weergegeven. Vooral in de winterperiode worden de hoogste nitraatconcentraties waargenomen. In de zomerperiode echter wordt het aandeel nitraat kleiner (nitraatconcentraties schommelen dan tussen de 0,5 en mg/l N) en gelijk aan het aandeel organisch stikstof. In Quarles van Ufford wordt door het gehele jaar een stabiele fractie organische stikstof van ca. 1 mg/l N waargenomen.

In Quarles van Ufford wordt in het gehele jaar lage ortho-fosfaatconcentraties gemeten (Figuur 6). Het aandeel opgeloste organische fosfor en particulier gebonden fosfor is hiermee het grootste deel van het totaal-fosforgehalte. Uit Figuur 6 blijkt dat de overschrijding van de zomerconcentraties met name veroorzaakt wordt door hoge organisch-fosforconcentraties in de (na)zomermaanden juli, augustus en september. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door een sterke bijdrage van de afsterving van waterplanten en algen waardoor organisch fosfor vrijkomt. Daarnaast kunnen in ondiepere waterlopen zuurstofloze omstandigheden optreden waarbij organisch materiaal in de waterbodem mineraliseert tot organisch fosfor. Ook nemen gedurende de zomer de kripscheuren in zware klei toe, wat in combinatie met neerslag met hogere intensiteiten in de nazomer kan leiden tot versnelde afspoeling van particulier gebonden fosfor. In Figuur 6 is ook te zien dat de mediaan van de organisch fosforconcentraties redelijk constant is gedurende de zomerconcentraties, maar dat vooral het gemiddelde van de organisch fosforconcentraties toeneemt in de nazomer wat duidt op hogere pieken. In mineraal fosfor is slechts een zeer lichte stijging te zien. Dit zou samen kunnen hangen met de reactie tussen ijzer en opgelost mineraal fosfor. Doordat er veel ijzerrijke kwel is, wordt mineraal fosfor direct gebonden. Bij lage zuurstofgehaltes in de nazomer kan dit weer vrij komen. Een grootschalige nalevering van de minerale component vanuit de waterbodem, karakteristiek in bijvoorbeeld de Krimpenerwaard, lijkt in Quarles van Ufford echter van minder grote invloed op de (gebiedsgemiddelde) fosforconcentraties.

In het vroege voorjaar, met name in februari, treden ook grote uitspoelingspieken in fosfaat op, waarbij de zomernorm van 0.15 mg/l ruimschoots overschreden wordt. Hoewel dit niet tot een overschrijding van de KRW-norm voor de fosfaatconcentraties in de zomer leidt, kan het wel invloed hebben op de ecologische kwaliteit in het gebied. Het waterschap maakt melding van een toename van algengroei juist in het voorjaar. Het voldoen aan de concentratie norm van de Kaderrichtlijn Water leidt daarmee dus niet automatisch tot het voldoen aan de ecologische doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water.

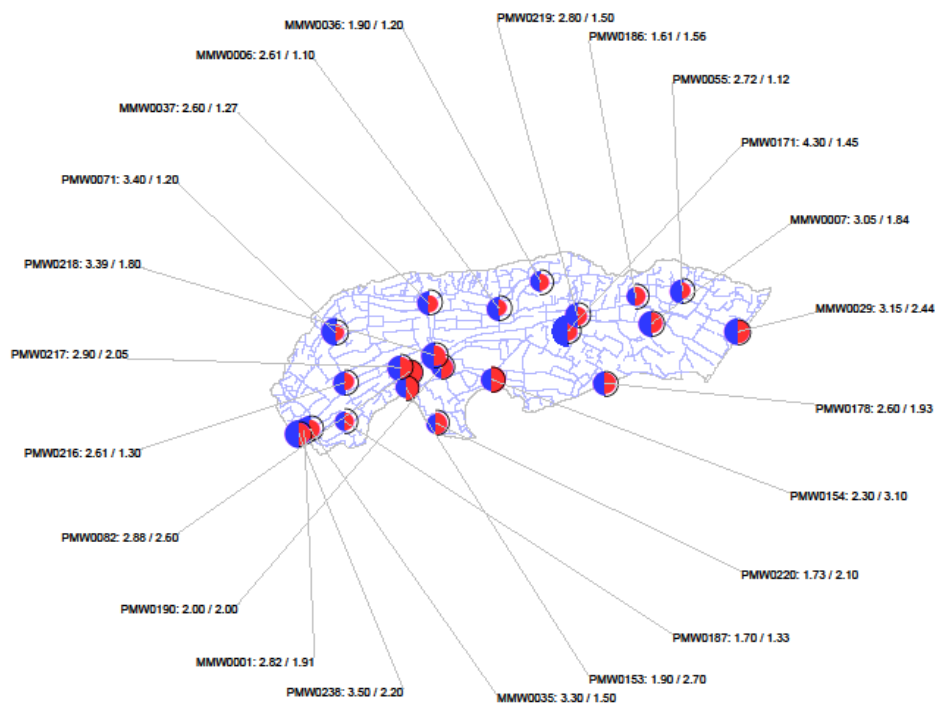


Figuur 6

Gemeten gemiddelde maandelijkse ammonium-, nitraat- en organische stikstofconcentratie (links) en orthofosfaat- en organische fosforconcentratie (rechts) in het oppervlaktewater van de Quarles van Ufford over de periode 2004 - 2010 gebiedsgemiddeld.

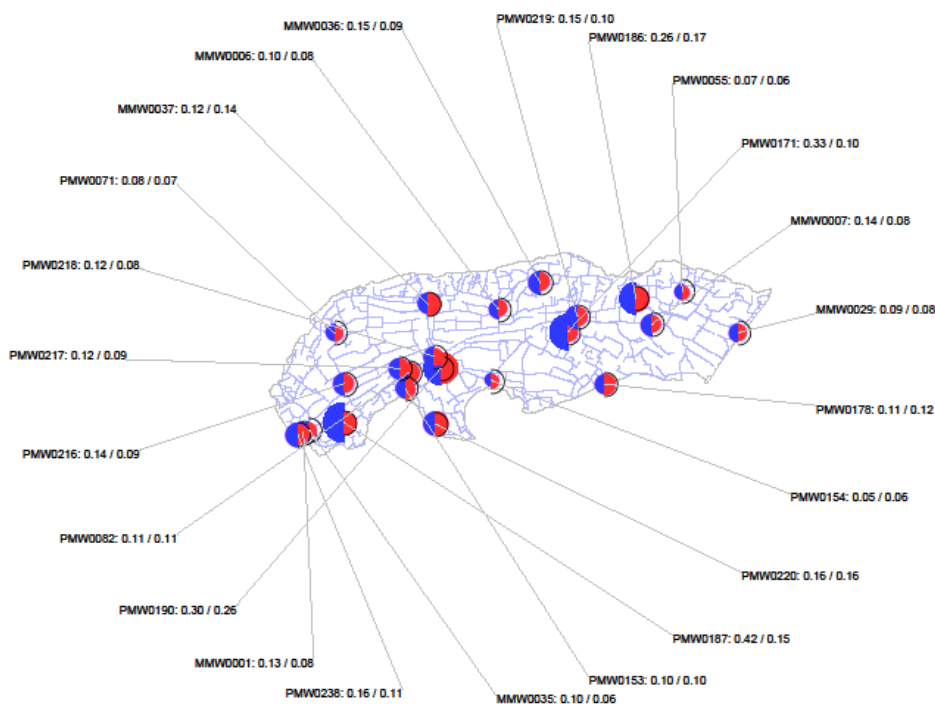
4.1.3 Ruimtelijke patronen

Behalve in tijd, verschillen de stikstof- en fosforconcentraties ook in de ruimte (Figuur 7 en Figuur 8). In de zomer laten vooral de meetpunten in het noorden, langs de oeverwal en het bebouwde gebied, lagere stikstofconcentraties zien. Verder valt op dat de stikstofconcentraties bij de meetpunten in de buurt van de inlaat vanuit Bloemers (MMW0029) en de inlaten vanuit de Maas (PMW0153 en PWM0154) hoger zijn dan de concentraties in het gebied zelf. Voor fosfor zijn de inlaatconcentraties juist aan de lage kant. In de kleinere B-watgangen (PMW0186, PMW0187, PMW0190) zijn zowel in de zomer als in de winter hoge fosforconcentraties te vinden.



Figuur 7

Gemiddelde gemeten winterhalfjaar (blauw) en zomerhalfjaar (rood) totaal-stikstofconcentratie in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford over de periode 2004 - 2010. De norm voor het zomerhalfjaar is als een cirkel weergegeven



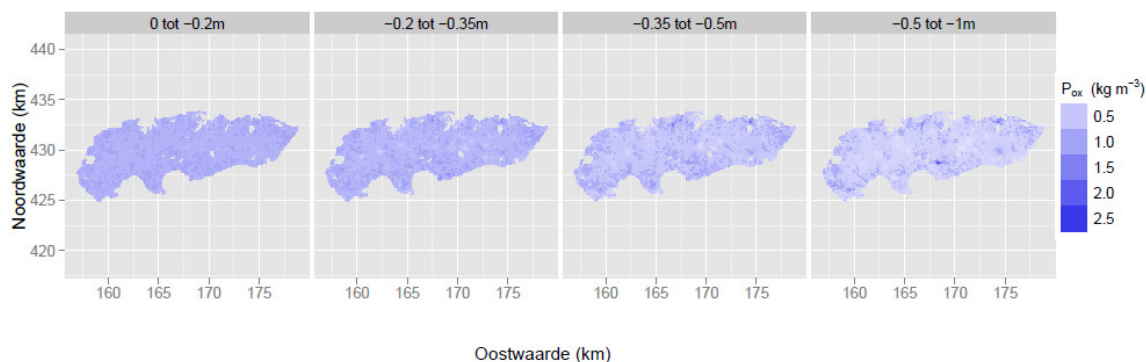
Figuur 8

Gemiddelde gemeten winterhalfjaar (blauw, links) en zomerhalfjaar (rood, rechts) totaal-fosforconcentratie in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford over de periode 2004 - 2010. De norm voor het zomerhalfjaar is als een cirkel weergegeven.

4.2 Aanvullende metingen in Quarles van Ufford

4.2.1 Fosfaatvoorraad in de bodem

Op basis van aanvullende metingen naar de fosfaatvoorraad in de bodem op 70 locaties in Quarles van Ufford zijn de fosfaatkarakteristieken in het modelsysteem aangepast. Figuur 9 toont de verdeling van fosfaat over de verschillende bodemlagen. Het meeste fosfaat ligt opgeslagen in de bovenste 35 cm. Wat verder opvalt is dat de fosfaatophoping vrij uniform verdeeld is over het gebied, wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de uniformiteit in landgebruik en bodem. De aanpassingen van het modelsysteem hebben geleid tot een betere inschatting van de uitspoeling van fosfaat uit de bodem (Walvoort et al., 2010).

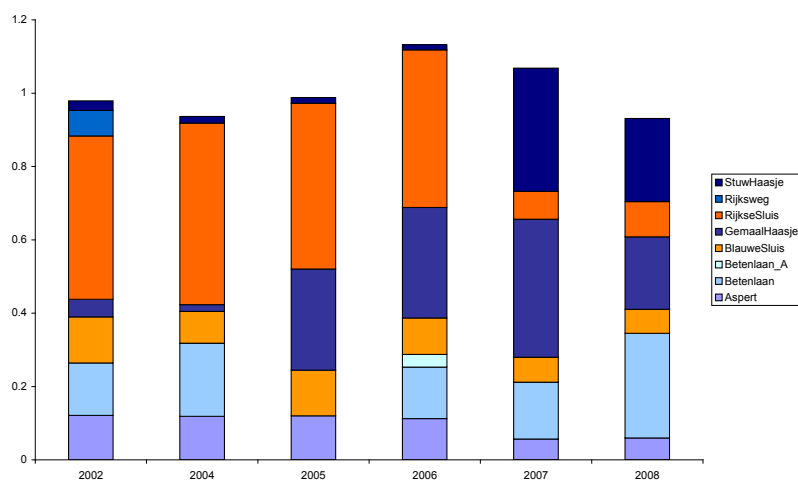


Figuur 9

Fosfaatophoping in de bodem in Quarles van Ufford.

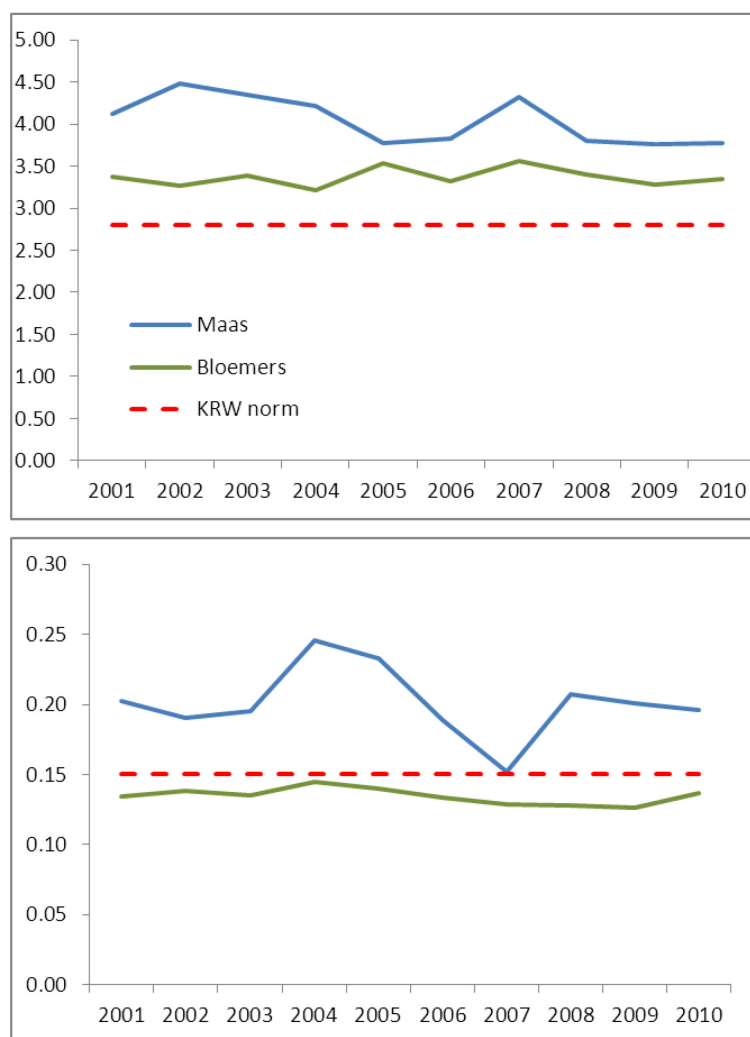
4.2.2 Inlaatwaterconcentraties

Inlaatwater komt op verschillende manieren Quarles van Ufford binnen; of direct vanuit de Maas via de inlaatpunten Rijkse Sluis en Blauwe Sluis, of vanuit de aanliggende Bloemerspolder. Ook dit water is zelf weer deels afkomstig vanuit de Maas omdat ook in de Bloemerspolder in de zomer Maaswater wordt ingelaten. Sinds 2007 is er een verschuiving opgetreden in het inlaatbeheer waarbij minder water direct via de Maas wordt ingelaten en in eerste instantie zoveel mogelijk water vanuit Bloemers wordt ingelaten (pers. com. Waterschap, Figuur 10). Dit heeft o.a. te maken met kostenbesparing (Quarles van Ufford watert vrij af terwijl Bloemers moet uitmalen) en het prefereren van gebiedseigen water boven inlaat vanuit de Maas. Dit betekent wel dat er meer water vanuit het Maas-Waal kanaal wordt ingelaten in Bloemers (wat daar wel een negatief effect kan hebben). Figuur 11 laat zien dat deze nieuwe strategie ook wat betreft de waterkwaliteit zijn voordelen lijkt te hebben. Zowel de concentraties van fosfor en stikstof in het water vanuit de Bloemerspolder zijn lager dan de concentraties in het water dat uit de Maas wordt ingelaten. De concentraties van het ingelaten water voor Bloemers liggen voor fosfor net onder de norm, voor stikstof nog daarboven.



Figuur 10

Nieuw inlaatbeheer sinds 2007: minder water uit Maas (oranje) en meer uit de aanliggende Bloemerspolder (blauw).

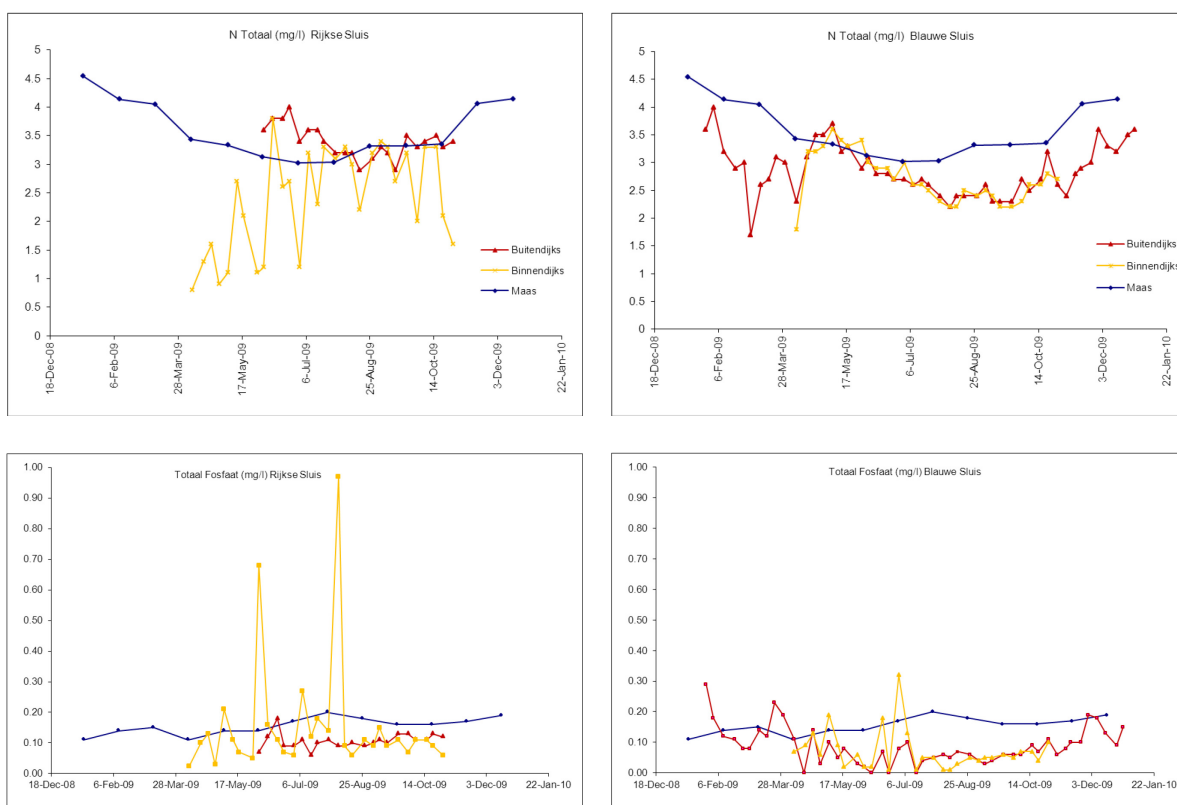


Figuur 11

Inlaatwaterconcentraties op basis van (geïnterpoleerde) vrachtberekeningen met behulp van meetdata.

De concentraties van de Maas, gemeten bij Keizersveer, zijn echter niet identiek aan de concentraties van het uiteindelijk ingelaten water bij Quarles van Ufford. Dat komt hoofdzakelijk door de retentie (en eventuele vervuiling) die nog kan optreden in de diepe waterplassen met stilstaand water, net voor de inlaten bij Rijkse Sluis en Blauwe sluis. Deze plassen worden o.a. gebruikt voor recreatie en met name bij Blauwe Sluis is er vaak sprake van een blauwalgprobleem. Door het waterschap zijn o.a. daarom ook aanvullende buitendijkse metingen genomen ter aanvulling op de metingen door Rijkswaterstaat en Brabant Water in de Maas en de bestaande projectmetingen binnendijks bij de inlaten. Omdat niet altijd water wordt ingelaten zijn niet alle binnendijkse metingen representatief voor ingelaten water. Ook kunnen de concentraties in de Maas verschillen van de uiteindelijk concentraties in het ingelaten water omdat het water via diepe kommen en wielen moet. Retentie maar ook vervuiling door watersportrecreatie zou hier kunnen optreden. In Figuur 12 is het verloop van de stikstofconcentraties weergegeven. Bij de Blauwe Sluis lijken binnen- en buitendijkse locaties niet veel van elkaar te verschillen als het om stikstof gaat. Bij de Rijkse Sluis laat de binnendijkse locatie dezelfde maxima, maar lagere minima zien. Wellicht zijn dit momenten waarop geen water wordt ingelaten en concentraties zakken o.a. door retentie. De stikstofconcentraties van het Maaswater (zoals gemeten bij Keizersveer) liggen in de zomerperiode ongeveer in dezelfde orde van grootte als de concentraties bij de inlaten zelf, met iets hogere concentraties bij de Blauwe Sluis in de tweede helft van de zomer en het najaar.

Voor fosfor liggen de uiteindelijk ingelaten concentraties met name bij Blauwe Sluis een stuk lager dan de Maasconcentraties. In de wateren voor de inlaten is de stroomsnelheid erg laag waardoor zwevend stof bezinkt met daaraan P gebonden. Wel laat het binnendijkse meetpunt bij Rijkse Sluis grote pieken zien, mogelijk veroorzaakt door uitspoeling vanuit het landsysteem.



Figuur 12

Inlaatwaterconcentraties voor de zomerperiode van 2009 voor de twee inlaten vanuit de Maas.

Geconcludeerd kan worden, dat de omslag van de inlaat van Maaswater naar water vanuit Bloemers (in de zomer overigens ook grotendeels Maaswater, ingelaten vanuit het Maas-Waal kanaal) geen nadelige effecten op de waterkwaliteit heeft gehad. Voor stikstof zijn de Bloemersconcentraties wat lager dan het Maaswater. Voor fosfor is het verschil wat lastiger te bepalen. De concentraties vanuit Bloemers zijn lager dan de concentraties bij Keizersveer, maar metingen in 2009 laten zien dat mogelijk in de recreatieplassen tussen Maas en inlaten nog een aanzienlijke retentie optreedt. Een langere meetreeks over meerdere seizoenen zou hier meer inzicht in kunnen geven.

De redenen voor de wat lagere concentraties vanuit Bloemers, ondanks dezelfde aanvoer vanuit de Maas en verdere belasting in Bloemers zelf, kunnen de kwel vanuit de Nijmeegse heuvelrug, een redelijk groot areaal stedelijk gebied met vanzelfsprekend lage bemestingsdruk en retentie in het oppervlaktewater van Bloemers zelf zijn. Dit is echter niet verder onderzocht.

4.2.3 Gadoliniumconcentraties in het oppervlaktewater

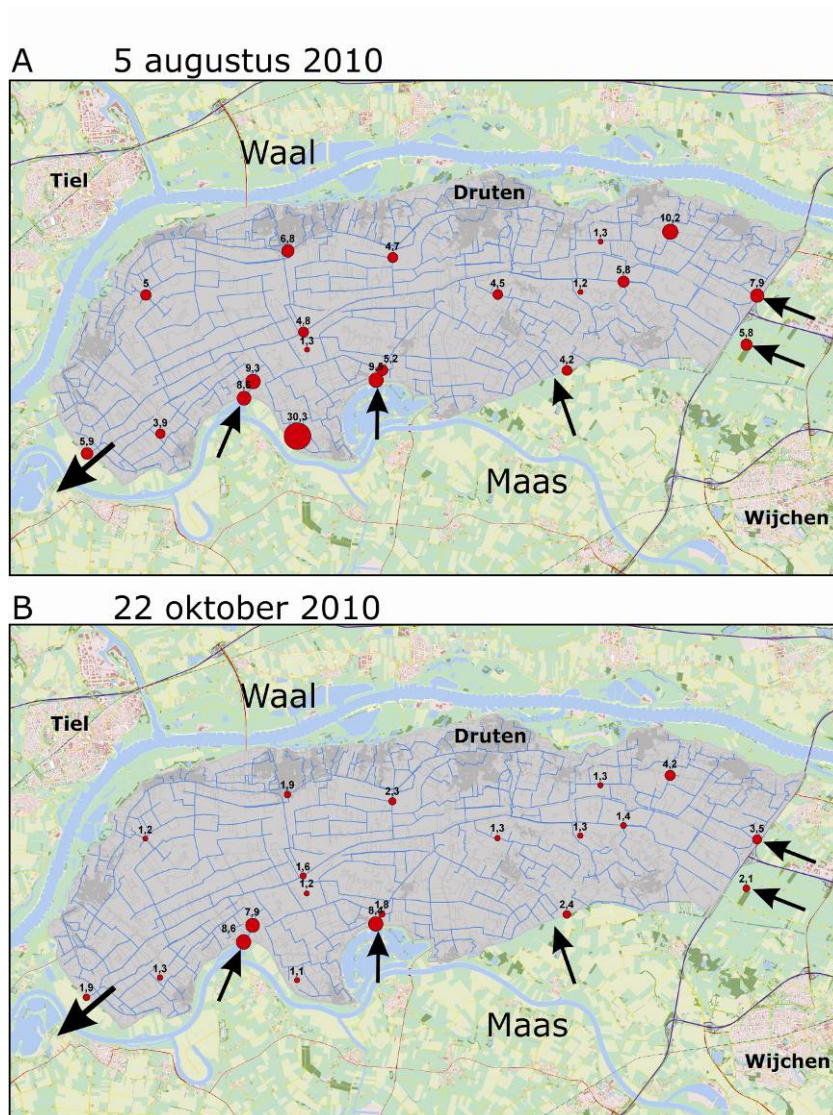
In een poldersysteem als Quarles van Ufford beïnvloedt inlaatwater de nutriëntenconcentraties. Onduidelijk is echter in hoeverre dit water doordringt tot in de haarvaten van het systeem. Daardoor is ook onduidelijk welke meetpunten wel en niet door inlaatwater beïnvloed worden en dit maakt interpretatie van de meetgegevens lastig. Vooraf waren we in de veronderstelling dat tijdens droogte het inlaatwater het gehele watersysteem 'ingezogen' zou worden. Er verdampt immers veel grond- en oppervlaktewater en dat moet aangevuld worden met inlaatwater. Dit beeld blijkt echter niet te kloppen. De resultaten van de bemonstering op 5 augustus 2010 (Figuur 13) laten zien dat er in de landbouwslootjes geen gadolinium-anomalie (1.2-1.3) is gemeten. Dat betekent dat het gebiedseigen water betreft, dat niet of nauwelijks beïnvloed is door inlaatwater. In de hoofdwatgangen wordt wel in het gehele gebied een verhoogde gadolinium-anomalie gevonden. Deze hoofdwatgangen worden duidelijk direct door het inlaatwater vanuit de Maas en vanuit de naastgelegen polder Bloemers gevoed. In één van de landbouwsloten is een zeer hoge anomalie (30.3) gemeten. Een kleine nabijgelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie heeft kennelijk veel invloed gehad op de watersamenstelling op die plek. Het effluent blijft 'hangen' in de buurt van de waterzuivering doordat in de zomer het water wordt vastgehouden en er nauwelijks doorstroming is.

Bij de meetronde van 22 oktober 2010 was de gadolinium-anomalie van het inlaatwater vanuit de Maas nog hetzelfde als op 5 augustus (Figuur 13). In de polder zijn de anomalieën in de tussentijd echter duidelijk lager geworden. Dit duidt op de toegenomen invloed van gebiedseigen drainagewater en/of kwelwater. Ook het inlaatwater dat onder de A50 door vanuit polder Bloemers wordt ingelaten heeft lagere anomalieën op 22 oktober 2010. Dit inlaatwater bestaat na een nattere periode uit een mix van inlaatwater vanuit het Maas-Waalkanaal en gebiedseigen water uit de polder Bloemers.

Het beeld dat inlaatwater in droge perioden de oppervlaktewaterkwaliteit bepaalt in polders zoals Quarles van Ufford blijkt niet zonder meer te kloppen. De gadolinium-metingen tonen aan dat het inlaatwater niet of nauwelijks doordringt tot in de bemonsterde kleinere landbouwslootjes. De verdamping in de zomer zorgt er klaarblijkelijk niet voor dat het inlaatwater tot in de haarvaten van het watersysteem wordt 'opgezogen'. Het lijkt erop dat het gebiedseigen water door het inlaatwater wordt 'teruggeduwd' tot in de landbouwsloten (Figuur 3). Dit denkmodel sluit aan bij resultaten uit eerder onderzoek en bij de ervaringen van gebiedsdeskundigen van Waterschap Rivierenland die deels voortkomen uit watersysteemanalyses voor de KRW-stroomgebiedbeheerplannen.

Uit de steekproef voor dit onderzoek kan overigens niet geconcludeerd worden dat alle kleinere sloten in Quarles van Ufford of in andere gebieden vrij blijven van inlaatwater. Zo zijgt er in het noordelijke deel van

Quarles van Ufford 's zomers water weg naar de Waal en onttrekken fruitteilers veel water voor beregening. Door de grotere watervraag dringt het inlaatwater daar mogelijk wel door tot in de kleinere landbouwsloten.



Figuur 13

Gemeten gadolinium-anomalie op 5 augustus (A) en op 22 oktober (B).

5 Modelling van water en nutriënten in de bodem en het oppervlaktewater

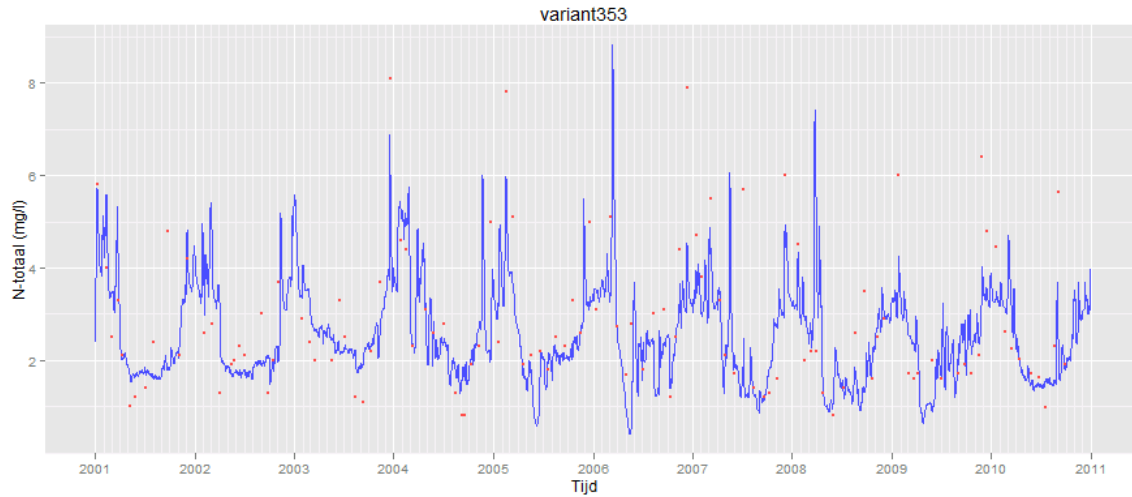
5.1 Beperkte kalibratie en resulterende oppervlaktewaterkwaliteit

De kalibratie van het aangepaste modelinstrumentarium heeft betrekking op de waterkwaliteitsmodellen (ANIMO en NuswaLite); de waterkwantiteitsmodellen (SWAP en SWQN) zijn niet gekalibreerd. In Figuur 14 en Figuur 15 is de modelberekening van het verloop van de N- en P-concentraties bij het uitstroompunt uitgezet tegen de gemeten waarden. Voor zowel N als P laat het model eenzelfde dynamiek zien als de metingen. Ook worden de minima en maxima goed benaderd en is het gemiddelde concentratieniveau gelijk (Nash-Suthcliffe model-efficiënties van 0.51 voor N en 0.43 voor P bij het uitstroompunt).

N-organisch bij het uitstroompunt laat een patroon zien van een basisuitspoeling tussen de 0.5 en 0.8 mg/l met pieken tot 4.5 mg/l met name in de wintermaanden (bijlage II). N-mineraal laat een iets geleidelijk variërend seizoenspatroon zien, met lagere waarden in de zomer, fluctuerend tussen 0 en 4 mg/l met enkele uitschieters (bijlage II). De gemeten waarden voor P-mineraal zitten vrijwel altijd op de detectielimiet (0.01 mg/l) en vertonen dus in de gemeten reeks vrijwel geen variatie. Het model laat een dynamiek zien van bijna 0 met, gedurende de wintermaanden, pieken van enkele tienden van milligrammen per liter. P-organisch varieert binnen het bereik van de metingen met een minder duidelijk seizoenspatroon, zeker de laatste jaren.

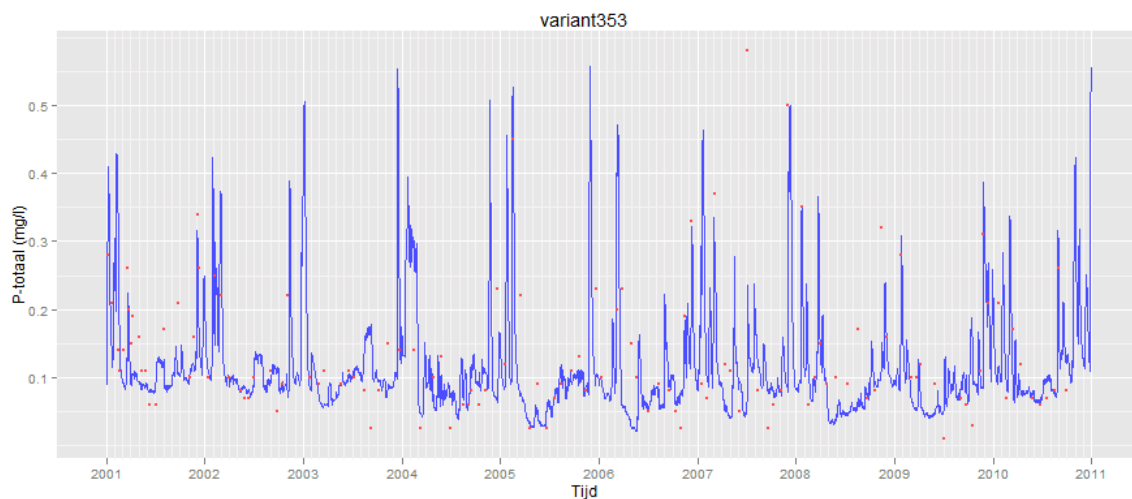
Naast het uitstroompunt zijn ook de statistieken voor negen andere meetpunten in het gebied en het continue meetstation bij het uitstroompunt geanalyseerd. Over het algemeen blijkt dat het model moeite heeft met N-organisch en P-mineraal. De beste variant in het uitstroompunt is bovendien niet automatisch ook de beste variant voor bovenstroomse meetpunten. N-totaal heeft in vijf andere meetpunten, waaronder het continue meetstation (CMS), een positieve modefficiëntie, maar in vier andere meetpunten een modefficiëntie onder 0. In geen van de andere meetpunten is de Nash-Suthcliffe modefficiëntie hoger dan bij het uitstroompunt. P-totaal heeft slechts in één ander punt een positieve Nash-Suthcliffe modefficiëntie (0.002 voor PMW0071) en voor drie andere punten een licht negatieve Nash-Suthcliffe modefficiëntie dicht bij 0. P-totaal blijkt dus lastiger goed te modelleren in zowel het uitstroompunt als ook de bovenstroomse meetpunten.

Meer informatie over de kalibratie van de procesmodellen is te vinden in Siderius et al. (2011).



Figuur 14

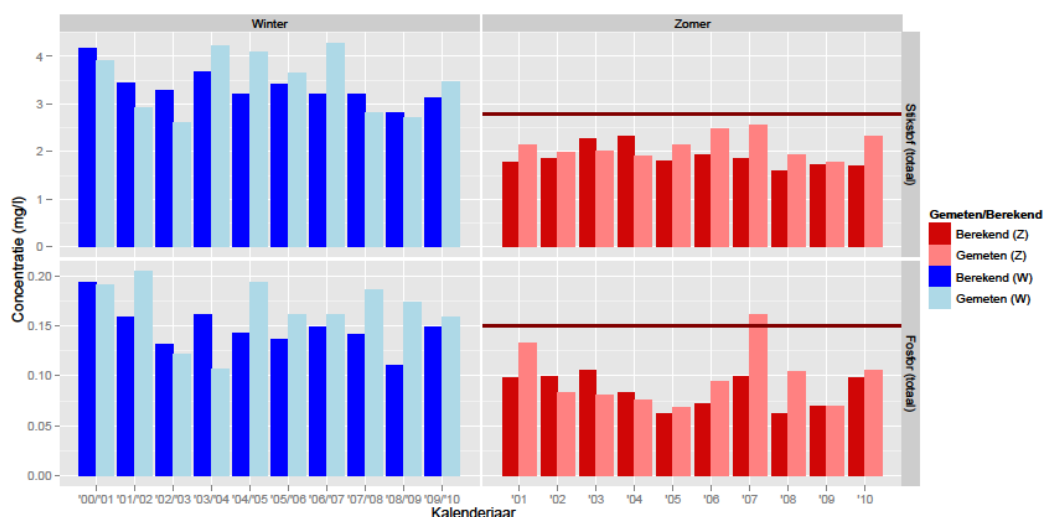
Gemeten en berekende stikstofconcentraties in de benedenstroomse meetlocatie na beperkte kalibratie.



Figuur 15

Gemeten en berekende fosforconcentraties in de benedenstroomse meetlocatie na beperkte kalibratie.

Zoals Figuur 16 laat zien worden de nutriëntenconcentraties in vrijwel alle jaren redelijk tot goed benaderd door het model. Een uitzondering is de hoge zomerconcentratie voor fosfor in 2007 die door het model wordt onderschat. Ook die dynamiek tussen verschillende jaren, die in Quarles van Ufford mede door de invloed van inlaatwater niet al te groot is, wordt door het model benaderd.



Figuur 16

Gemeten en berekende fosforconcentraties in de benedenstroomse meetlocatie na beperkte kalibratie.

5.2 Water- en nutriëntenbalansen van oppervlaktewater en bodem

In Tabel 2 is de langjarig gemiddelde stikstofbalans van het landsysteem te zien dat denitrificatie en gewasonttrekking de grootste uitgaande balansposten zijn voor stikstof. De afvoer van stikstof richting het oppervlaktewatersysteem is slechts 9% van de hoeveelheid stikstof die er per jaar het systeem in komt.

Tabel 2

Stikstofbalans van het landsysteem, langjarig gemiddelde 2001-2010.

Oppervlakte balansgebied	9613 ha		
IN	Kg/ha	UIT	Kg/ha
Atmosferische depositie	31.8	Oppervlakkige afspoeling	2.7
Bemesting	309.1	Ammoniakvervluchtiging	-*
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	1.2	Denitrificatie	122.6
Kwel	11.5	Netto gewasonttrekking	224.6
		Afvoer door ontwatering	28.4
		Afvoer naar dieper grondwater	0.5
Totaal	353.7		378.8
Bergingsverschil			-25.1

* Ammoniakvervluchtiging is al verrekend met bemesting bij invoer in het landsysteem instrumentarium

In het oppervlaktewatersysteem is, naast de uitspoeling uit het landsysteem, de aanvoer van nutriënten via inlaat van water een belangrijke balanspost voor stikstof, zoals Tabel 3 laat zien. Ook is de belasting van nutriënten richting het oppervlaktewater vanuit atmosferische depositie en RWZI's meegenomen. Van de totale hoeveelheid stikstof die het bemalingsgebied in komt, verlaat uiteindelijk 54% het bemalingsgebied weer in opgeloste fractie. Dit levert voor heel het bemalingsgebied een berekende langjarig gemiddelde stikstofretentie op van 46%.

Tabel 3*Stikstofbalans van het oppervlaktewatersysteem, langjarig gemiddelde 2001-2010.*

IN	10 ³ kg N	UIT	10 ³ kg N
Aanvoer vanuit landsysteem	293.0	Afvoer opgeloste fractie	235.3
Atmosferische depositie	17.6	Afvoer biomassa	6.3
RWZI	0.8	Sedimentatie organisch	117.5
Inlaat	128.3	Infiltratie naar landsysteem	2.6
		Denitrificatie	79.6
Totaal	439.6		441.4
Bergingsverschil			-1.8

De fosforbalans van het landsysteem (Tabel 4) laat zien dat slechts een zeer klein deel van de fosfaatbelasting richting oppervlaktewater gaat via oppervlakkige afspoeling en afvoer door ontwatering (1%). Het grootste gedeelte wordt weer opgenomen door het gewas. Bij het huidige bemestingsniveau berekent het model nog slechts een geringe ophoping in de bodem.

Tabel 4*Fosforbalans van het landsysteem, langjarig gemiddelde 2001-2010.*

Oppervlakte balansgebied	9613 ha		
IN	kg/ha	UIT	kg/ha
Bemesting	38.72	Oppervlakkige afspoeling	0.36
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.00	Netto gewasonttrekking	34.21
Kwel	0.32	Afvoer door ontwatering	2.24
		Afvoer naar dieper grondwater	0.03
Totaal	39.04		36.84
P-ophoping			2.21

Voor fosfor speelt de aanvoer via inlaatwater een minder prominente rol dan voor stikstof. Tabel 5 laat zien dat de aanvoer van fosfor vanuit het landsysteem in het oppervlaktewatersysteem een grote balanspost is. In de uitgaande balansposten is te zien dat de sedimentatie van organisch en minerale fractie een groot deel van de aanvoer afvangt. Dit levert samen met de afvoer via biomassa en infiltratie terug in het landsysteem uiteindelijk een retentie op van 59%.

Tabel 5*Fosforbalans van het oppervlaktewatersysteem, langjarig gemiddelde 2001-2010.*

IN	10 ³ kg P	UIT	10 ³ kg P
Aanvoer vanuit landsysteem	24.56	Afvoer opgeloste fractie	12.82
RWZI	0.13	Afvoer biomassa	1.58
Inlaat	6.82	Sedimentatie organisch	11.41
		Sedimentatie mineraal	5.57
		Infiltratie naar landsysteem	0.10
Totaal	31.51		31.47
Bergingsverschil			0.04

Een vergelijking met gemeten vrachten voor de periode 2004-2007 en 2009 laat zien dat met name de stikstofvrachten goed door het model worden benaderd. Door het missen van de piekafvoeren in het modelsysteem laten fosfaatvrachten een lichte onderschatting zien. Voor stikstof wordt een gemiddelde vracht van 212 10³ kg berekend ten opzichte van een gemeten vracht van 200 10³ kg (voor 2004-2007 en 2009). Voor fosfor wordt een vracht van 10.8 10³ kg berekend, terwijl er 13.3 10³ kg is gemeten.

5.3 Routes nutriënten in Quarles van Ufford

5.3.1 Van mest naar sloot

In Quarles van Ufford is een groot deel van het areaal gedraineerd via buisdrainage. Een groot deel van de uitspoeling vindt dan ook via deze drains plaats (54% van de P-uitspoeling en 44% van de N-uitspoeling). Oppervlakkige afspoeling is volgens het modelsysteem van minder groot belang dan op de proefboerderij in Waardenburg gemeten (in het modelsysteem is 15% van de P-belasting en 9% van de totale N-belasting oppervlakkige afspoeling). Redenen voor dit verschil kunnen zijn dat de getallen voor Quarles van Ufford een gemiddelde zijn voor het gehele gebied en dus niet alleen de zware kleigronden zoals Waardenburg beschrijven. Verder zit het proces van scheuren en dichtzwellen van krimpscheuren niet expliciet in het door Monitoring Stroomgebieden gehanteerde modelinstrumentarium vanwege het nog steeds experimentele karakter van deze modelering en de zeer onzekere parameterisering, waardoor mogelijk de bijdrage van de drains wat wordt overschat.

————— Kader DOVE klei —————

In het kader van de studie DOVE klei (Salm et al., 2006) is op een proefperceel (4 ha) van een melkveebedrijf gelegen nabij Waardenburg (net buiten het bemalingsgebied Quarles van Ufford), gelegen op een zeer zware komklei met een Gt III, met van greppel- en drainbuisafvoeren van water en nutriënten getracht balansen op te stellen. Uit deze metingen bleek dat in de winterperiode ongeveer 60% van het water wordt afgevoerd via greppels en 40% via de drains (tabel 5). In het begin van het winterseizoen was de bijdrage van de drains en de greppels echter in dezelfde orde van grootte. Later in het seizoen werd de bijdrage van de greppels groter dan van de drains. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de aanwezige krimpscheuren pas in de loop van de winter dicht zwellen. Na het dicht zwellen van de scheuren werd de afvoer naar de drains gelimiteerd door de (beperkte) doorlatendheid van de zware kleigrond. Afvoer naar het grondwater werd niet gemeten maar op basis van de wintercijfers mag verwacht worden dat deze verwaarloosbaar klein is.

Tabel 5 Hydrologie Waardenburg (mm)

	Neerslag	Referentie- verdamping	Neerslag- overschot	Afvoer		
				sloot	drains	greppels
Zomer 2002 ^a	256	253	3	0	0	0
Winter 02/03 ^b	282	31	251	245	95	145
Zomer 2003 ^c	337	584	-212	24	8	22

^a 1/7/2002 t/m 1/11/2002

^b 1/11/2002 t/m 11/2/2003

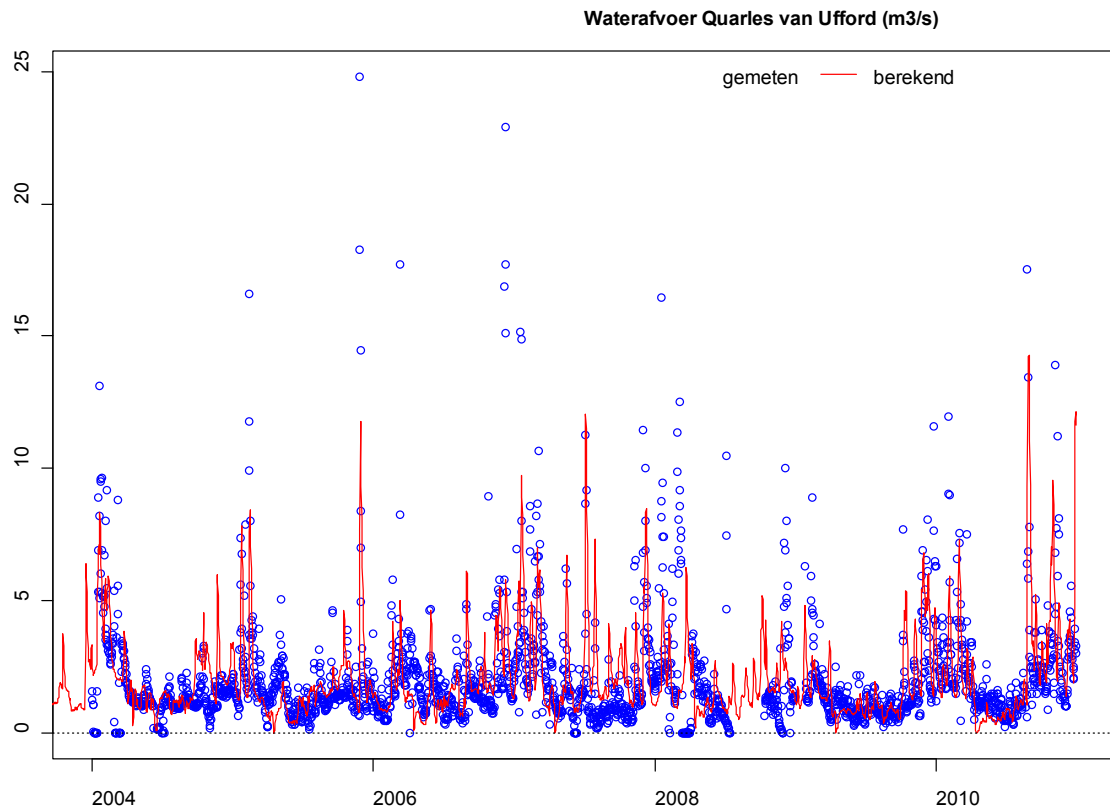
^c 11/2/2003 t/m 31/9/2003

Op basis van deze gegevens blijkt dat de route via oppervlakkige afvoer (greppelafvoer) en route via krimpscheuren en drainbuizen voor de gebieden met zware klei een belangrijke route van waterafvoer is.

————— Kader DOVE klei —————

5.3.2 Van inlaat naar uitlaat

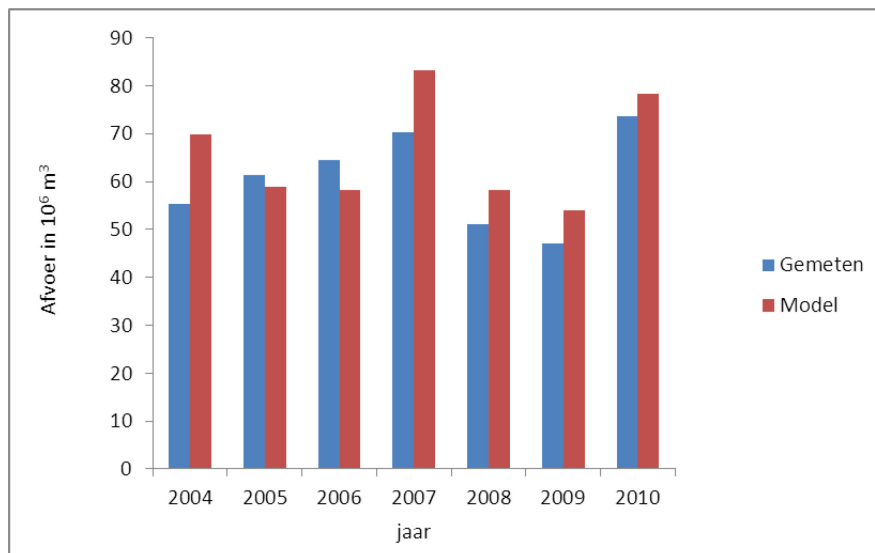
Op basis van de meest complete gegevens van het waterschap over aan en afvoeren is het oppervlaktewater model verder aangepast. In Figuur 17 is een vergelijking tussen gemeten en gemodelleerd te zien, op dagbasis en op jaarbasis. De gemodelleerde afvoeren volgen het patroon van de gemeten waarden goed, met lage, vrij constante afvoeren in de zomer en hogere pieken in de winter. Wel worden de hoogste pieken nog onderschat door het modelsysteem, mogelijk als gevolg van een onderschatting van de snelle oppervlakkige afspoeling (zie vorige paragraaf).



Figuur 17

Gemeten en berekende dagafvoer bij het uitstroompunt van Quarles van Ufford.

Zoals Figuur 18 laat zien worden ook de jaartotalen en de variatie daarin goed benaderd door het model.



Figuur 18

Gemeten en berekende jaarafvoer bij het uitstroompunt van Quarles van Ufford.

Modelresultaten bevestigen ook het ruimtelijke beeld van de gadolinium-metingen. Alle inlaten samen zorgen in de zomer voor een bijdrage van 74% aan het debiet bij het uitstroompunt (Tabel 7). Een groot deel daarvan komt, sinds 2007, voor rekening van de Bloemers-inlaten in het oosten. In de winter wordt het debiet, en daarmee ook de concentraties bij het uitstroompunt, gedomineerd door gebiedseigen water.

Tabel 7

Beïnvloeding afvoer door inlaten.

Inlaatvariant	Seizoen	Bijdrage inlaatwater
Alle inlaten	zomer	74%
Alle inlaten	winter	18%
Maas inlaten	zomer	16%
Maas inlaten	winter	2%
Bloemers inlaten	zomer	58%
Bloemers inlaten	winter	17%

In Figuur 19 is voor zowel het winterhalfjaar als voor het zomerhalfjaar weergegeven wat het percentage ingelaten water is per waterloop op basis van de modelberekeningen. Hieruit blijkt, zoals verwacht, dat er in de winter amper sprake is van verspreiding van inlaatwater door het gebied. Alleen via de hoofdwetering wordt water vanuit de Bloemerspolder via Quarles van Ufford afgevoerd richting het uitstroompunt. In de zomer is er duidelijk sprake van verregaande verspreiding van inlaatwater.



Figuur 19

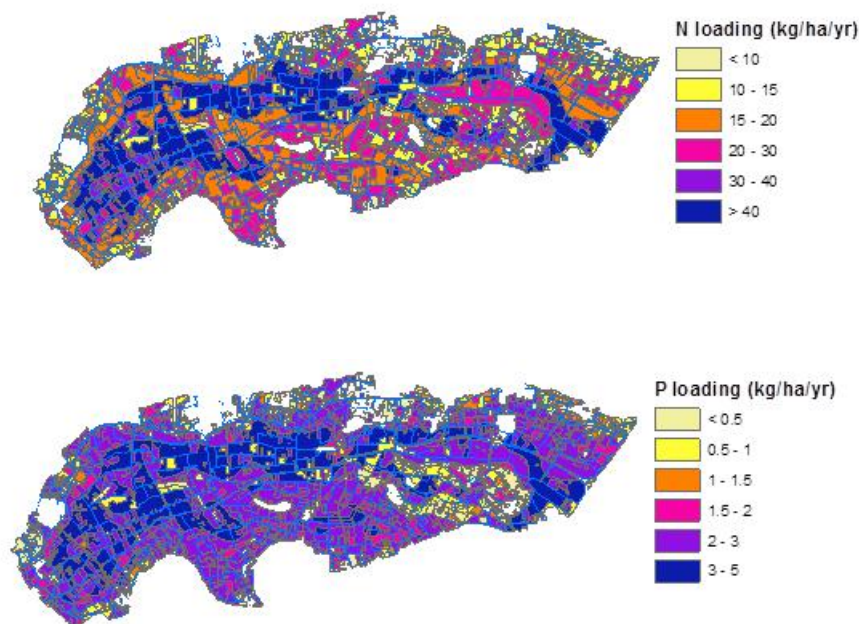
Inlaatroutes in winter- en zomer-halfjaar (blauw-rode kleurgradient geeft de fractie water afkomstig van ingelaten water) op basis van modelberekeningen voor de periode 2007-2010

6 Bronnenanalyse

Op basis van de bronnenanalyse wordt per gebied aangegeven hoe groot de bijdrage van iedere bron is. In de bronnenanalyse is een onderscheid gemaakt tussen de bronnen in het landsysteem en de bronnen in het oppervlaktewatersysteem. Bij de analyse van het oppervlaktewatersysteem is het landsysteem daarbij als één geheel geanalyseerd. Een bron zoals bemesting is niet alleen een directe bron van nutriënten richting het oppervlaktewater, maar beïnvloedt ook indirect, via de oplading van de bodem met nutriënten en organisch materiaal, de huidige uitspoeling. De bronnen van het landsysteem zijn daarom ook geanalyseerd op hun 'historische' bijdrage door hun effecten vanaf 1941 mee te nemen in de analyse.

6.1 Uitspoeling vanuit het landsysteem ruimtelijk

In Figuur 20 is de ruimtelijk spreiding van stikstof- en fosforuitspoeling vanuit de bodem richting het oppervlaktewater weergegeven zoals berekend met het modelsysteem. Voor zowel stikstof als fosfor is te zien dat de zware kleigronden over de oost-west as van Quarles van Ufford de hoogste belasting geven. Voor de stikstofuitspoeling zijn er grotere verschillen binnen het gebied te vinden dan voor de fosforuitspoeling. Een groot deel van het gebied heeft nog een fosforbelasting van 2-3 kg/ha/jaar.

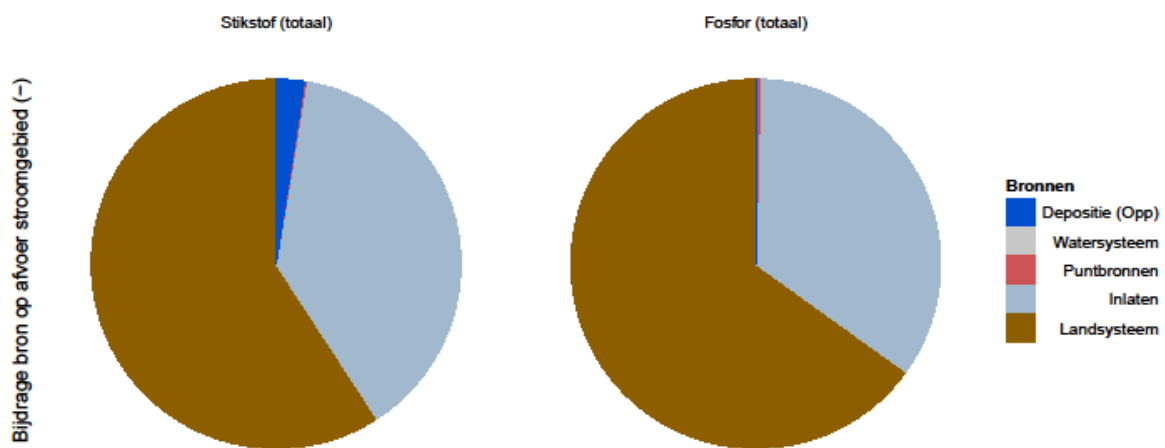


Figuur 20

Jaargemiddelde uitspoeling vanuit het landsysteem over de periode 2001-2010 voor zowel stikstof (boven) als fosfor.

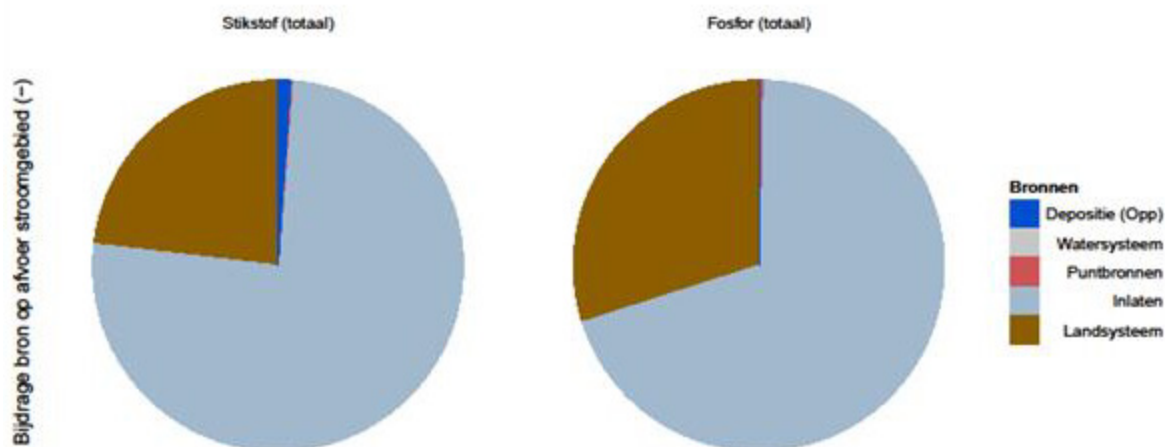
6.2 Bronnen

In Figuur 21 zijn de bijdragen van de verschillende bronnen voor stikstof en fosfor aan de nutriëntenvrachten in het oppervlaktewater bepaald. In de analyse is er een splitsing tussen zomer- en winterperiode (oktober- maart) gemaakt (Figuur 22 en Figuur 23). Bij zowel stikstof als fosfor komt duidelijk naar voren dat er een sterk verschil is tussen zomer en winter, met de zomer-belasting met name afkomstig van de inlaten en de winterbelasting vooral veroorzaakt door de uitspoeling vanaf het landsysteem. Gezien de bijdrage van ingelaten water aan de zomerdebeten, zoals beschreven in paragraaf 4.2.2, is dit niet verrassend.



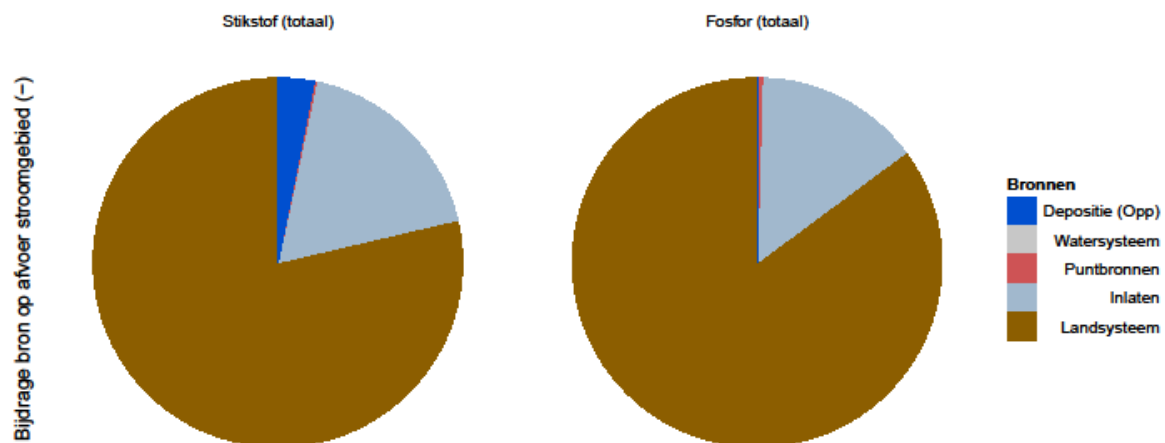
Figuur 21

Bijdrage bronnen aan de oppervlaktewaterbelasting voor stikstof en fosfor jaargemiddeld.



Figuur 22

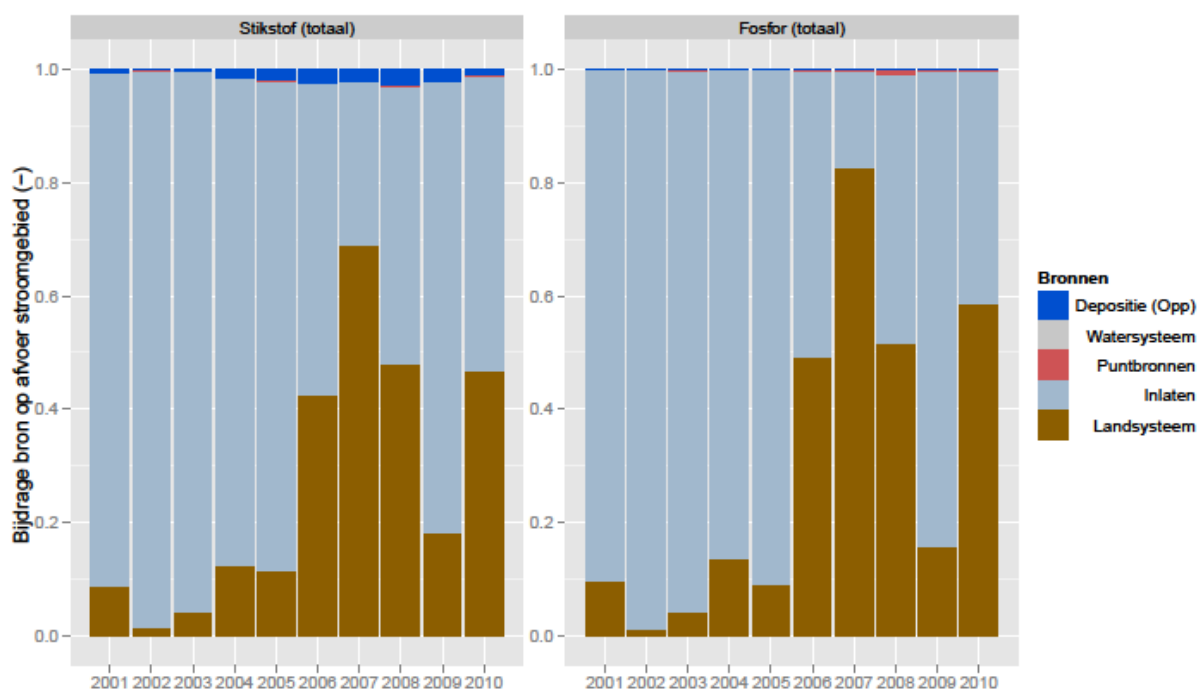
Bijdrage bronnen aan de oppervlaktewaterbelasting in de zomermaanden.



Figuur 23

Bijdrage bronnen aan de oppervlaktewaterbelasting in de wintermaanden.

In Figuur 24 is te zien dat de verhouding tussen de bijdrage vanuit het landsysteem en de inlaten niet constant is over de jaren, maar een grote variatie vertoont als gevolg van verschil in neerslag over de zomermaanden.

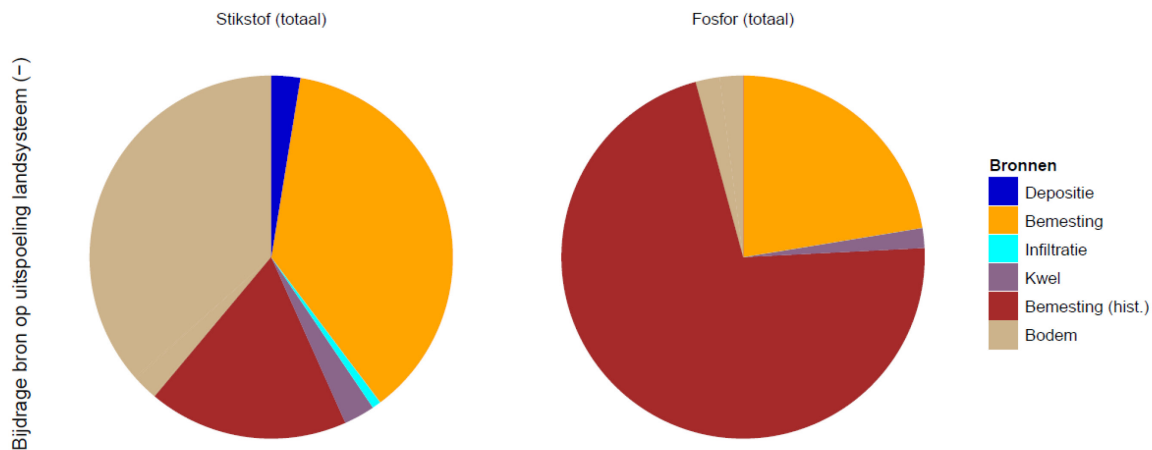


Figuur 24

Jaarlijkse bijdrage bronnen aan de oppervlaktewaterbelasting in de zomermaanden.

Samen met de inlaten is de belasting vanuit het landsysteem de belangrijkste bron in Quarles van Ufford. Wanneer we de belasting vanuit het landsysteem verder opsplitsen zien we een duidelijk onderscheid tussen

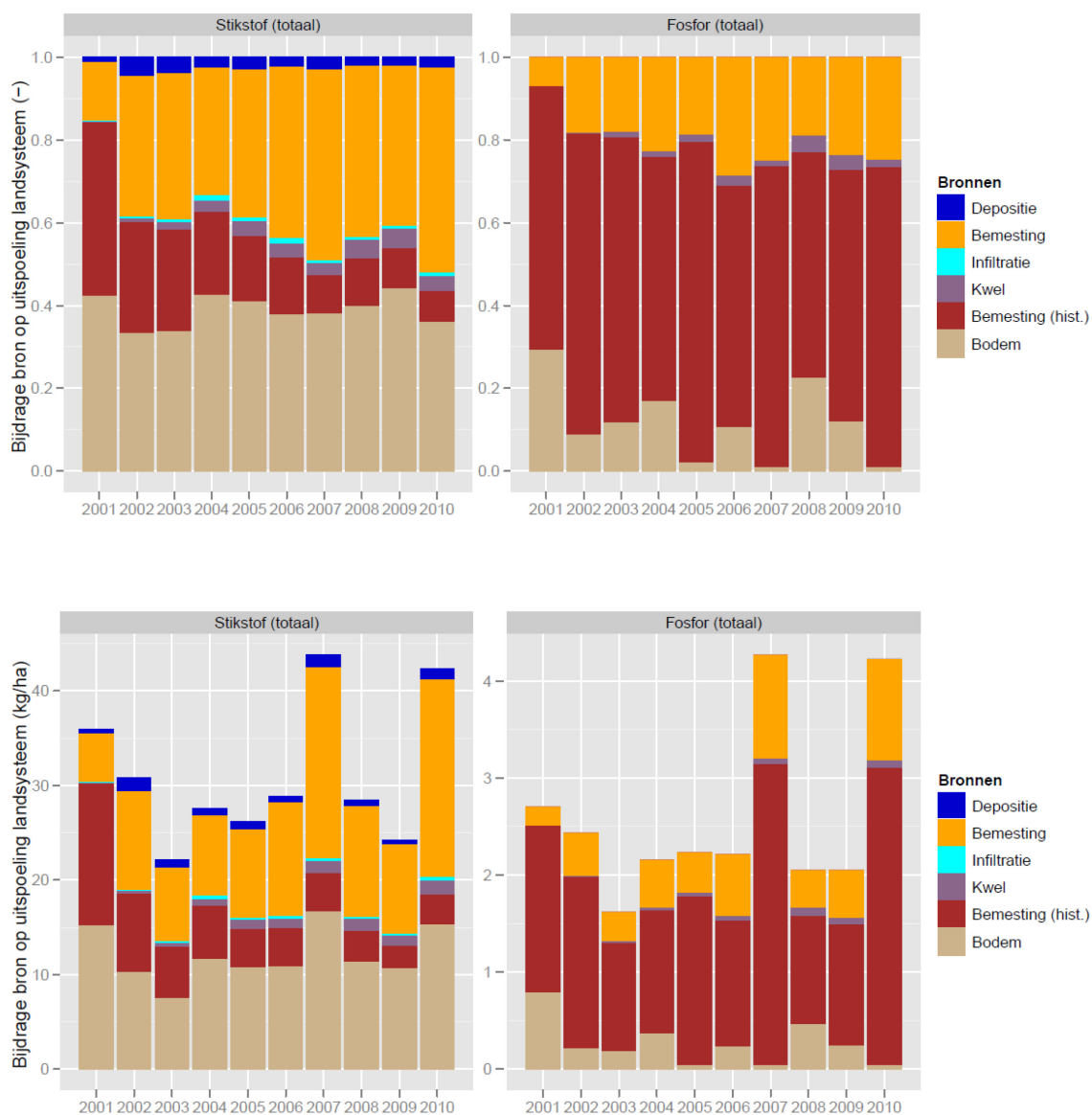
stikstof en fosfor (Figuur 25). De fosforbelasting vanuit het landsysteem wordt gedomineerd door de bijdrage uit de historische bemesting, die in de afgelopen decennia heeft geleid tot een opbouw van de voorraad fosfor in de bodem. De huidige bemesting speelt een beperktere rol. Bij stikstof is juist de bodemvoorraad samen met de huidige bemesting de belangrijkste bron voor de huidige belasting richting vanuit het landsysteem het oppervlaktewater.



Figuur 25

Bijdrage van verschillende bronnen aan de huidige belasting van het oppervlaktewater vanuit het landsysteem.

In Figuur 26 zijn de resultaten van de bronnenanalyse voor de uitspoeling vanuit het bodemsysteem voor het gehele stroomgebied per jaar weergegeven. Hierin is te zien dat de bijdrage van de verschillende bronnen aan de uitspoeling vanuit het landsysteem redelijk constant is over de jaren voor zowel stikstof als fosfor. Wel is het effect van een toename in de relatieve bijdrage van huidige bemesting ten koste van de historische bemesting te zien. Dit is een logisch gevolg van het feit dat de historische bemesting (gedefinieerd als de bijdrage van alle bemesting tot en met 2000) na 2000 niet meer wordt aangevuld en dus in de loop van de jaren uitspoelt en aan belang verliest ten opzichte van de overige bronnen. Bij stikstof is dit effect van een afnemende bijdrage vanuit de historische bemesting groter dan bij fosfor. De opbouw aan fosfor in de bodem is veel groter, in verhouding, dan bij stikstof en de nalevering vindt langer plaats.



Figuur 26

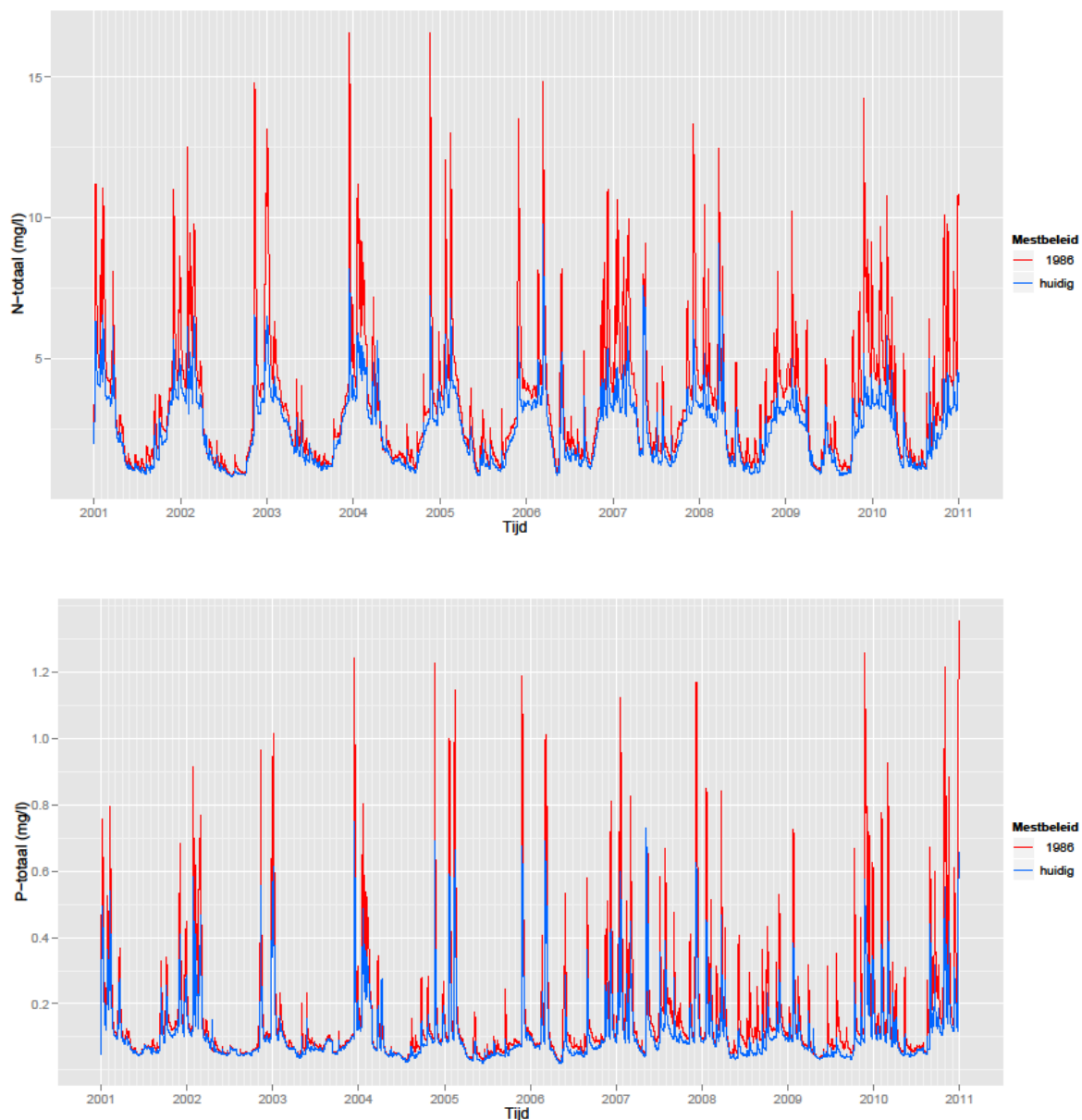
Jaarlijkse bijdrage van verschillende bronnen aan de huidige belasting van het oppervlaktewater vanuit het landsysteem als fractie (boven) en in kg/ha (onder).

7 Sturingsmogelijkheden om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren

Inzicht in de sturingsmogelijkheden voor de oppervlaktewaterkwaliteit is relevant voor het ontwikkelen van maatregelen en bijbehorend beleid. Op basis van de bronnenanalyse zijn kansrijke sturingsmogelijkheden geselecteerd en is hun effect op de oppervlaktewaterkwaliteit gekwantificeerd met het gekalibreerde modelinstrumentarium. Tevens zijn aanvullende sturingsmogelijkheden gedefinieerd en is met het modelinstrumentarium berekend wat het effect op de oppervlaktewaterkwaliteit is geweest van een al genomen maatregel, namelijk het mestbeleid.

7.1 Effecten mestbeleid

Om de effecten van het mestbeleid te analyseren is, door middel van een modelberekening, bekeken wat de waterkwaliteit zou zijn geweest wanneer de bemesting op het niveau van 1986 was gebleven (met alle overige bronnen zoals inlaten volgens de huidige situatie). Figuur 27 laat duidelijk zien dat vooral de winterpieken in de concentraties ongeveer twee keer zo hoog zouden zijn als in de huidige situatie. Dit komt grofweg ook overeen met het verschil in gemeten concentraties tussen begin jaren 90 en nu. De zomerconcentraties zouden ongeveer gelijk zijn aan de huidige zomerconcentraties, wat met name toe te schrijven is aan de dominantie van het inlaatwater (en gerelateerd, de geringe uitspoeling als gevolg van het neerslagtekort in de zomermaanden).



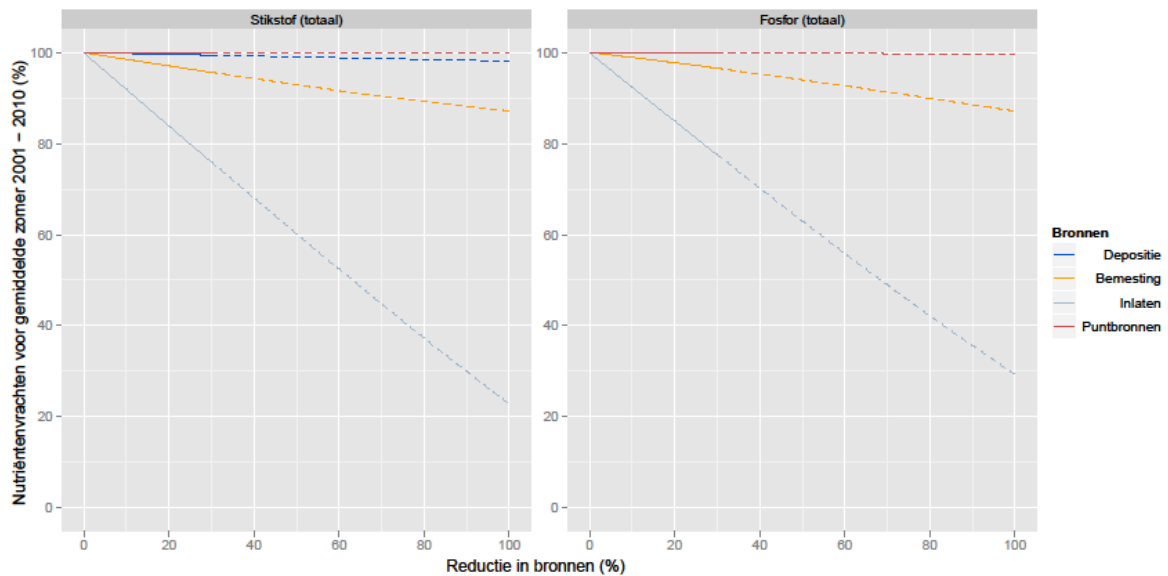
Figuur 27

Effect van het vanaf 1986 ingezette mestbeleid op de gebiedsgemiddelde oppervlaktewaterkwaliteit in Quarles van Ufford in de periode 2001-2010. Rode lijn = oppervlaktewaterkwaliteit wanneer mestbeleid niet zou zijn uitgevoerd en nu nog steeds dezelfde hoeveelheid mest als in 1986 zou zijn toegediend, Blauwe lijn = huidige oppervlaktewaterkwaliteit onder het mestbeleid. Voor zowel stikstof als fosfor, gemiddeld voor het hele gebied.

7.2 Sturingsmogelijkheden

De grootste bronnen, inlaten en landsysteem, laten zoals verwacht ook de sterkste reductie in nutriëntenvruchten in het oppervlaktewater zien, wanneer deze bronnen worden verminderd. In Figuur 28 is het effect op de zomervruchten bij het uitstroompunt weergegeven. Hieruit blijkt ook dat sturen aan de inlaatconcentraties het grootste effect zal opleveren. In Figuur 28 is het gemiddelde effect van een reductie weergegeven. In de jaren waarbij de uitspoeling vanuit het landsysteem groter is (2006, 2007, 2008 en 2010,

zie Figuur 24) levert sturen op bemesting het grootste effect op. Overigens worden, zoals beschreven in hoofdstuk 4, de normen bij het uitstroompunt van Quarles van Ufford ook in de huidige situatie al gehaald en is een verdere vermindering in principe niet nodig.



Figuur 28

Verandering van de nutriëntenvruchten van stikstof en fosfor voor de zomermaanden bij reductie van verschillende bronnen (de gestippelde lijn, na 30% reductie, geeft aan dat deze reductie mogelijk buiten het waarschijnlijkheidsbereik valt).

Daarnaast is het ook de vraag in hoeverre de bron inlaten ook in werkelijkheid te sturen is. Bij de reductie van de broninlaten is de concentratie stapsgewijs omlaag gezet, maar het is maar de vraag of zo'n verdere verlaging van het Maas water realistisch is gezien het feit dat deze al voldoet aan de normen die gesteld worden voor de grote rivieren. Beïnvloeding van de bron inlaatwater ligt daarmee grotendeels buiten het bereik van de waterbeheerder (de inlaten vanuit het oosten komt weliswaar vanuit de aanliggende Bloemerspolder, maar zeker in de zomermaanden is dit water uiteindelijk ook weer afkomstig vanuit de Maas via inlaten vanuit het Maas-Waal kanaal bij Nijmegen).

Minder water inlaten ligt wel binnen de mogelijkheden van het waterschap. De effecten hiervan zijn echter niet doorgerekend, maar verwacht wordt dat dit, binnen de grenzen die het peilbeheer stelt, niet tot zeer grote veranderingen zal leiden omdat de concentraties van het water vanuit Bloemers niet veel afwijken van de concentraties bij het uitstroompunt en de inlaat van water naast een bron van nutriënten ook een transportmiddel van nutriënten is en een zekere mate van verdunning geeft. Bovendien beïnvloedt het inlaatwater ook de retentie binnen het gebied. Het doorrekenen van deze gedetailleerde interacties en terugkoppelingen viel buiten de focus van deze studie.

Tabel 8 geeft een overzicht in hoeverre de sturingsmogelijkheden, zoals die binnen Monitoring Stroomgebieden zijn doorgerekend, de nutriëntenconcentraties op de middellange termijn (10 jaar) kunnen beïnvloeden.

Tabel 8*Sturingsmogelijkheden.*

Sturingsmogelijkheden	Effect	
	N	P
Bemesting	+	+
Uitmijnen (0-bemesting)	+	+
Atmosferische depositie	0	0
Inlaatwaterconcentraties	++	++
Puntbronnen oppervlaktewater (RWZI)	0	0

7.3 Limitering in stikstof of fosfor

Overlast door overmatige biomassagroei kan verminderd worden door het absolute niveau van stikstof en fosfor te verminderen om zo de groei van algen of kroos te hinderen. Een andere mogelijkheid is om gebruik te maken van een limitering in één van deze twee nutriëntenbronnen, zodat biomassa-groei gehinderd wordt, zonder veel aandacht te besteden aan de ander. Voorwaarde van deze aanpak is wel dat er vooruitzicht moet zijn op een limitering in één van de bronnen. In de uitstroompunten van de vier gebieden is, op basis van de beschikbare tijdsreeksen, geïdentificeerd of en zo ja welke nutriëntenfracties beperkend zijn. Er is sprake van een beperking van een nutriëntenfractie als gedurende een bepaalde periode (meestal de zomer) metingen rond 0 of de detectielimiet liggen. Wanneer een fractie niet meer aanwezig is kan echter niet direct geconcludeerd worden dat er ook een beperking van de ecologische groei als gevolg hiervan optreedt. De uitputting van de minerale fracties in de zomer zijn wel een indicatie hiervoor. In Quarles van Ufford, met de continue doorspoeling en aanvoer van nutriënten, zou kunnen worden verwacht dat niet snel aan deze voorwaarde voldaan wordt. Tabel 9 laat echter zien dat de minerale fosfaat-fractie op de detectielimiet ligt en dus mogelijk limiterend kan zijn (zie ook de tijdreeksfiguren voor de afzonderlijke fracties in bijlage II en Figuur 14 en Figuur 15).

Tabel 9*Uitputting van fracties stikstof en fosfor.*

	N-totaal	N-organisch	N-mineraal	P-totaal	P-organisch	P-mineraal
QVU Nee	Nee	Nee	Nee/misschien	Nee/misschien	Nee/misschien	Ja (op detectie-limiet)

8 Discussie en conclusies

De gedurende dit project uitgevoerde intensieve metingen - niet alleen van de oppervlaktewaterkwaliteit maar ook van de bovengrond (fosfaatverzadiging), en het oppervlaktewatersysteem (inlaatwater) - hebben geleid tot veel nieuwe inzichten in de nutriëntenhuishouding in de bodem en in het oppervlaktewater van Quarles van Ufford. Deze meetgegevens in combinatie met de modellen zijn essentieel geweest om de nutriëntenbronnen en de routes die de nutriënten door de bodem en het oppervlaktewater af leggen te doorgronden. Alleen op deze manier kun je de gemeten oppervlaktewaterkwaliteit verklaren en kun je met behulp van modelscenario's kwantificeren in hoeverre de oppervlaktewaterkwaliteit verbetert door het nemen van maatregelen.

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste bevindingen op een rij gezet en gegroepeerd naar:

- de status van de oppervlaktewaterkwaliteit
- de nutriëntenbronnen en de routes die de nutriënten naar en in het oppervlaktewater afleggen
- de sturingsmogelijkheden om te komen tot een betere oppervlaktewaterkwaliteit

Ook is verkend welke stroomgebieden in Nederland vergelijkbaar zijn met Quarles van Ufford; stroomgebieden waarop de in dit project voor de Quarles van Ufford opgedane kennis (deels) toepasbaar is. De afsluitende paragraaf gaat in op de relatie tussen nutriëntenconcentraties en een goede ecologische status van het oppervlaktewater.

8.1 Oppervlaktewaterkwaliteit

Quarles van Ufford is één van de rivierkleigebieden in midden Nederland. De dominantie van bemest grasland en een ondergrond van klei en de grote invloed van extern ingelaten water, direct uit de Maas of via de Bloemerspolder, zijn de belangrijkste karakteristieken van deze polder.

In Quarles van Ufford kan een onderscheid gemaakt worden tussen de hoofdwaterlopen, die in de zomermaanden grotendeels door inlaatwater beïnvloed worden, en de kleinere watergangen, waar zowel de uitspoeling vanuit het landsysteem, maar ook inlaatwater van belang is. Aan de KRW-nutriëntenconcentratienormen, die gelden voor de hoofdwatering en een aantal grotere zij-watergangen, werd voldaan in de afgelopen zeven jaar (met een lichte overschrijding voor fosfor in 2007). De MTR-normen, die gelden voor alle overige, meest kleinere waterlopen, worden voor zowel stikstof als fosfor in de meeste jaren overschreden. Dit komt niet alleen omdat de gemeten concentraties hier hoger zijn, maar ook omdat de MTR-norm voor stikstof 0.6 mg/l lager ligt dan de KRW-norm.

Ondanks dat de KRW-normen in de zomer gehaald worden, voldoen de waterlopen in Quarles van Ufford nog niet aan de ecologische doelstellingen. Met name in het vroege voorjaar ontstaat ongewenste algengroei als gevolg van de uitspoeling van nutriënten in de winter en het vroege voorjaar. Een zomernorm (zoals de KRW) heeft slechts indirecte invloed op deze uitspoeling gedurende de winter; een lagere bemestingsdruk om te voldoen aan de zomerconcentraties zal mogelijk ook de winteruitspoeling beïnvloeden. De effecten van de (zeer sterke) reductie in bemesting ten opzichte van 1986 laten echter zien dat deze pieken weliswaar kleiner worden, maar niet verdwijnen bij lagere bemesting. Het is daarom de vraag of een verdere afname in uitspoelingspieken haalbaar is gezien de beperkte mogelijkheden om de huidige bemesting sterk te verminderen zonder opbrengstverliezen.

Mede van invloed is ook de inrichting van het gebied. Deze is volledig ingesteld op agrarisch peilbeheer, met rechte en gemaaide oevers, wat de ecologische ontwikkeling mogelijk belemmert en de capaciteit om uitspoelingspieken te absorberen verminderd. Het bereiken van een goede waterkwaliteit hangt daarmee niet

slechts af van een vaste norm of doelstelling voor de zomermaanden, maar vergt een bredere kennis van het systeem. Normstelling moet daarbij gecombineerd worden met een juiste inrichting en beheer en onderhoud van het gebied. Het waterschap is daarom ook bezig om door middel van natuurvriendelijke oevers betere voorwaarden te scheppen voor een betere ecologische kwaliteit. De precieze invloed van meer natuurvriendelijke oevers op uitspoelingspieken en ecologische kwaliteit vraagt echter meer onderzoek.

8.2 Bronnen en routes van nutriënten

De verandering van inlaatbeheer sinds 2007, met een omslag van inlaat van Maaswater naar inlaat van water vanuit de naastliggende Bloemerspolder (wat in de zomer overigens ook grotendeels Maaswater, ingelaten vanuit het Maas-Waal kanaal, is) heeft geen nadelige effecten op de waterkwaliteit gehad, met betrekking tot de stikstof en fosforconcentraties. Voor stikstof zijn de Bloemers-concentraties wat lager dan de concentraties in het Maaswater. Voor fosfor is het verschil wat lastiger te bepalen. De concentraties vanuit Bloemers zijn lager dan de concentraties bij Keizersveer, maar extra metingen in 2009 laten zien dat mogelijk in de recreatieplassen net voor de inlaten nog een aanzienlijke retentie optreedt. Een langere meetreeks over meerdere seizoenen zou hier meer inzicht in kunnen geven.

De grote invloed van inlaatwater maakt dat Quarles van Ufford geen afgebakend, geïsoleerd bemalingsgebied is, maar sterk onder invloed staat van ontwikkelingen in andere gebieden. Op regionale schaal is dat de invloed van Bloemers, waar veel van het vanuit het Maas-Waal kanaal ingelaten water doorheen stroomt en zich mengt met gebiedseigen water van de deze polder zelf. Op landelijke en zelfs Europese schaal is er de invloed vanuit het hele Maas-stroomgebied, wat de kwaliteit van het ingelaten water bepaalt. Zo heeft het mestbeleid en de achterliggende Europese nitraatrichtlijn niet alleen invloed gehad op de bemesting in Quarles van Ufford zelf, maar ook op de bemesting in Bloemers en het gehele stroomgebied van de Maas. Daardoor is ook het inlaatwater schoner geworden. Binnen deze studie was het echter niet mogelijk de mogelijk bredere invloed van het mestbeleid, buiten de grenzen van Quarles van Ufford te onderscheiden van andere ontwikkelingen, zoals een betere zuivering van afvalwater uit industrie en RWZI.

8.3 Sturingsmogelijkheden

Om de KRW-zomernormen te halen zijn geen extra inspanningen nodig op het gebied van stikstof en fosfor-uitspoeling. In Quarles van Ufford zijn de mogelijkheden ook beperkt. De inlaten zijn een belangrijke bron van nutriënten in de zomer, maar de concentraties van het ingelaten water kunnen slechts in zeer geringe mate door de waterbeheerder worden beïnvloed en worden vooral bepaald door externe factoren ((mest-)beleid bovenstrooms, zuiveringsinspanning). De hoeveelheid ingelaten water kan wel door het waterschap beïnvloed worden, maar hierbij speelt mee dat inlaatwater naast een bron van nutriënten tegelijkertijd ook een verdunning van vooral de fosforconcentraties teweeg brengt. Het uiteindelijke doorslaggevende effect van verdunning of belasting in combinatie hangt af van het specifieke beheer. Door meer inlaat vanuit Bloemers heeft het waterschap echter al een belangrijke stap gezet. De verandering in inlaatbeheer betekent wel dat er meer gebiedsvreemd water wordt ingelaten in de Bloemers (wat daar wel een negatief effect kan hebben). Een integrale afweging van de voor- en nadelen voor zowel de Bloemers als Quarles van Ufford is vereist.

Om op de wat langere termijn ook de waterkwaliteit in de kleinere waterlopen te verbeteren kan verminderde bemesting en uitmijnen van de nutriëntenvoorraad in de bodem overwogen worden. Het uitmijnen van de bodemvoorraad voor N en P zal met name voor fosfor niet op de korte termijn effect sorteren. Het is aan te raden om daarbij niet alleen de effecten op de concentraties, maar ook de ecologische randvoorwaarden mee te nemen in de analyse.

8.4 Opschaling

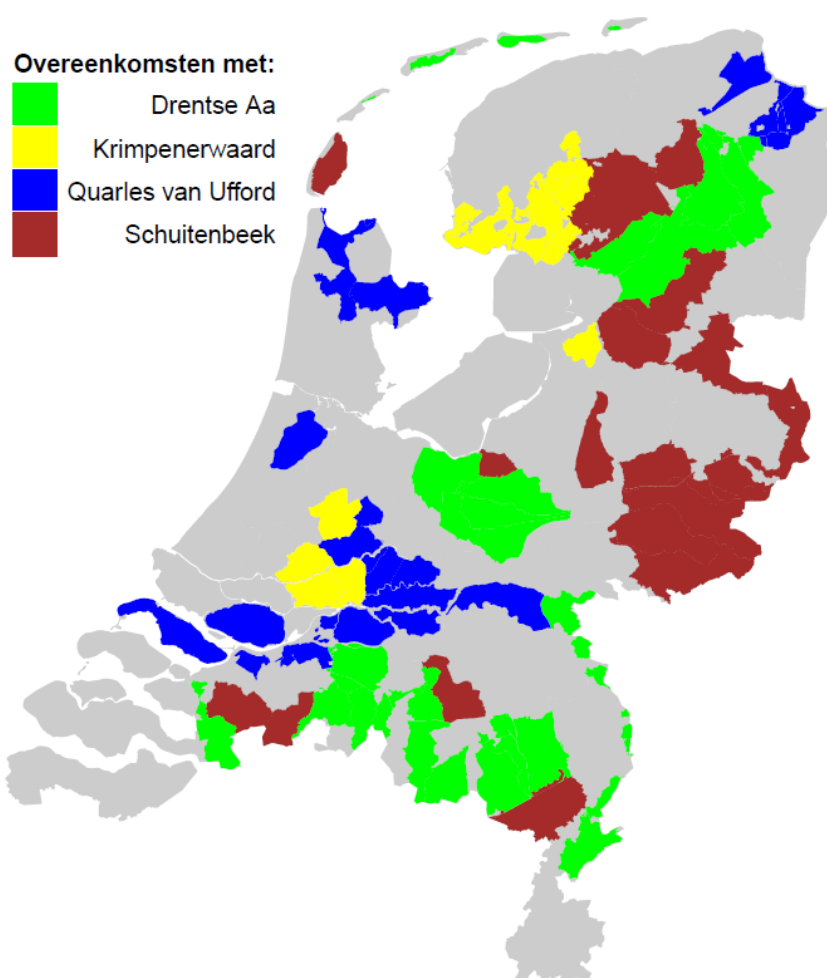
De bronnen en routes bepalen de sturingsmogelijkheden voor schoon water in de gebieden. In Nederland zijn mogelijk gebieden aan te wijzen waarbij de waterkwaliteit vergelijkbaar kan worden gestuurd als in Quarles van Ufford. Om een overzicht te krijgen van de stroomgebieden elders in Nederland, die vergelijkbaar zijn met Quarles van Ufford of één van de drie andere gebieden, is onderzocht of deze 120 stroomgebieden onderscheidende kenmerken gemeen hebben met één van de onderzoeksgebieden. Om deze onderscheidende kenmerken te bepalen zijn de bronnen en routes gerelateerd aan de volgende onderscheidende kenmerken, waarvan voor heel Nederland veel informatie van beschikbaar was:

1. Bodem
Quarles van Ufford is een kleigebied met daarbij horende specifieke afspoelingsprocessen en fosfaatbinding. Op basis van de bodemkaart (bron: 1 : 50 000 bodemkaart) is aan de 120 gebieden waarin Nederland verdeeld is toegekend of hier met name zand, veen of klei aanwezig is.
2. Geïsoleerd gebied of inlaatwater
De rol van inlaatwater is voor de poldergebieden heel belangrijk. Het onderscheid of een gebied water inlaat of geïsoleerd ligt is voor Nederland beschikbaar (Boekel et al., 2011).
3. Landgebruik (% landbouw)
Voor alle vier gebieden binnen Monitoring Stroomgebieden speelt de rol van de landbouw, in de vorm van bemesting, een belangrijke bron. Daarom is op basis van de landgebruikskaart voor Nederland (LGN 4) een percentuele verdeling voor het aandeel landbouw in een gebied gemaakt.
4. Fosfaatverzadiging van het landsysteem
De verzadiging van het landsysteem met fosfaat is een belangrijke bron die de kwaliteit van het oppervlaktewater sterk bepaalt. In het verleden werd geen mest afgevoerd maar ter plekke toegepast. Gebieden met een hoge mestproductie kennen meestal ook een hoge fosfaatverzadiging van het landsysteem. Een landelijke kaart met daarin het percentage fosfaatverzadigde gronden is beschikbaar (Schoumans et al., 2004).

Naast bovenstaande vier kenmerken zijn er vanzelfsprekend nog andere onderscheidende kenmerken te identificeren zoals de verdeling tussen diepe en ondiepe transportroutes door het grondwater of de waterbodem van het oppervlaktewatersysteem. Er is echter geen landsdekkende informatie beschikbaar die het onderscheid in deze kenmerken in voldoende mate weergeeft.

Als randvoorwaarde is gesteld dat een stroomgebied in ieder geval de bodem, het gebruik van inlaatwater en één van de twee andere onderscheidende kenmerk gemeen moet hebben met één van de vier onderzoeksgebieden om hiermee vergelijkbaar te zijn. Uit deze exercitie kwam een kaart van Nederland met stroomgebieden die vergelijkbaar zijn met de Krimpenerwaard, de Drentse Aa, de Schuitembeek en Quarles van Ufford (Figuur 29). In deze stroomgebieden kan mogelijk gebruik gemaakt worden van de onderzoeksresultaten van Monitoring Stroomgebieden.

Quarles van Ufford komt overeen met grote delen van het rivierengebied, maar ook met delen van Noord-Holland, vanwege het bodemtype, de afhankelijkheid van inlaatwater en de invloed van de landbouw. Weinig overeenkomst is te vinden met de zandgebieden in Noord-Brabant, Gelderland en Overijssel en grote delen van Friesland en Groningen. Slechts de naastliggende Bloemerpolder in het Land van Maas en Waal en de Bommelerwaard komen op alle vier de kenmerken overeen.



Figuur 29

Scoringskaart voor overeenkomsten met de verschillende gebieden.

Referenties

Boekel, E.M.P.M. van, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, N.B.P. Polman, L.V. Renaud en D.J.J. Walvoort, 2011. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Bijdrage van het voorgenomen beleid en aanvullende (landbouwkundige) maatregelen op de realisatie van de KRW-nutriëntendoelstelling. Alterra, Wageningen.

Cleveland, W.S., 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. J. Am. Stat. Ass. 74, 829 - 836.

Dam, J.C. van, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en J.G. Kroes, 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone J., Vol.7, No.2.

Groenendijk, P., R.F.A. Hendriks, F.J.E. van der Bolt en H.M. Mulder, in voorbereiding. Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Alterra rapport, Wageningen.

Groenendijk, P., L.V. Renaud en J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the Animo4.0 model. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 983.

Hirsch, R.M., J.R. Slack, en R.A. Smith, 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resour. Res.18 (1), 107 – 121.

Koopmans, G.F., 2004. Characterization, desorption and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Wageningen. Wageningen University, PhD-thesis.

LGN 4. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN).

Salm, C. van der, J. Dolfing, J.W. van Groenigen, M. Heinen, G.F. Koopmans, J. Oenema, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2006. Diffuse belasting van oppervlaktewater met nutriënten uit de veehouderij : monitoring van nutriëntenverliezen uit grasland op zware klei in Waardenburg. Alterra-rapport 1266. Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F., 2004. Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Alterra-rapport 730.4. Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse en R. Zwijnen, 1991. De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AI-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden. Rapport 112, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1991.

Siderius, C., J. Roelsma, M. Mulder, L.P.A. van Gerven, R.F.A. Hendriks en T.P. van Tol-Leenders (2011) Kalibratie Modelstelsel Monitoring Stroomgebieden. Alterra rapport 2216, Alterra, Wageningen.

Siderius, C., P. Groenendijk, L.P.A. van Gerven, M.H.J.L. Jeuken en A.A.M.F.R. Smit, 2008. Process description of NuswaLite; a simplified model for the fate of nutrients in surface waters. Alterra Rapport 1226.2, Alterra, Wageningen.

Smit, A.A.M.F.R, C. Siderius en L.P.A. van Gerven, in voorbereiding. Process description of SWQN; A simplified hydraulic model. Alterra Rapport 1226.1, Alterra, Wageningen.

Soppe, R.W.O., J. Roelsma, E. Bergersen en F.J.E. van der Bolt, 2005. Systeemverkenning Quarles van Ufford. Alterra-rapport 970. Reeks Monitoring Stroomgebieden 2-IV, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.

Tol-Leenders, T.P., B. van der Grift, D.J.J. Walvoort, G.M.C.M. Janssen, J.C. Rozemeijer, A. Marsman en F.J.E. van der Bolt, 2011. Monitoring van de nutriënten in het oppervlaktewater van de Drentse Aa, Schuitembeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford. Reeks Monitoring Stroomgebieden 26. Wageningen, Alterra, rapportnummer 2222.

Walvoort, D.J.J., C. Siderius en T.P. van Tol-Leenders, 2010. Validatie van modelsystemen voor het voorspellen van de oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit in het stroomgebied 'Quarles van Ufford'. Alterra rapport 1954, Alterra, Wageningen.

Walvoort, D.J.J., D.J. Brus, C. van der Salm, M. Pleijter, T.P. van Tol-Leenders, 2011. Kwantificering van de fosfaattoestand in de bodem van vier stroomgebieden. Alterra rapport 1958, Alterra, Wageningen.

Bijlage I Gadolinium in het oppervlaktewater

Een aandachtspunt voor Quarles van Ufford is de invloed van inlaatwater vanuit de Maas. Gedurende de zomermaanden vindt er (ernstige) verdroging van de polder plaats. Om dit tegen te gaan wordt gedurende deze maanden Maaswater in het gebied gepompt. Tot op heden was niet bekend hoe het Maaswater zich door het gebied verspreidt en in hoeverre het inlaatwater via de hoofdvaarten en de kleinere sloten doordringt tot in de 'haarvaten' van het watersysteem. Het was daardoor niet goed mogelijk onderscheid te maken tussen de bijdrage van nutriënten vanuit de landbouw en de bijdrage van het inlaatwater. Dit is echter wel belangrijk om de effectiviteit van maatregelen (mestbeleid) in te kunnen schatten.

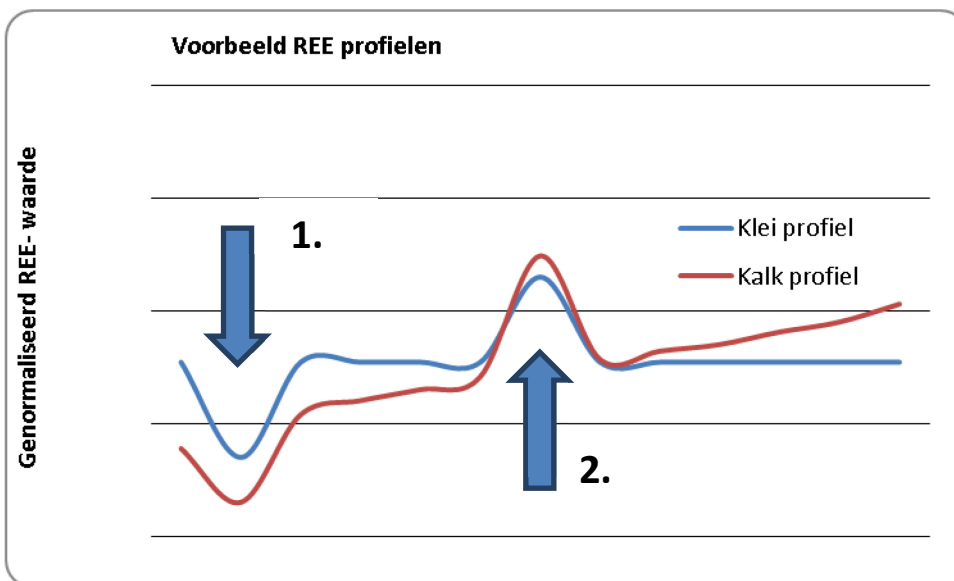
Om de verspreiding van inlaatwater in Quarles van Ufford te kunnen bepalen is een nieuwe tracer-techniek ingezet, de zogenaamde gadolinium-anomalie. De literatuur en pilotstudies van Deltares en de Franse geologische dienst (BRGM) in de Dommel en de Maas laten zien dat de 'zeldzame aarde elementen' (ZAE) de potentie hebben om inlaatwater van regenwater en grondwater te onderscheiden (Petelet-Giraud et al., 2009).

Theoretische achtergrond

Gadolinium is één van de zogenaamde 'zeldzame aarde elementen' (ZAE). Dit is een groep van vijftien elementen uit het periodiek systeem, bestaande uit de elementen 57-71, ook wel de lanthaniden genoemd, met Lanthanum (La) als lichtste en Lutetium (Lu) als zwaarste element. Als groep laten deze elementen een zeer specifiek geochemisch gedrag zien. Als gevolg van het progressief vullen van de f-electronen schil, is er een graduele afname van de ionstraal van La naar Lu ('lanthanide contractie'). Dit zorgt voor de kleine maar systematische verandering in de chemische eigenschappen in de ZAE-serie van de lichtste ZAE tot de zwaarste ZAE. De belangrijkste eigenschap is de toenemende complexatie met liganden van La tot Lu. Onder lage pH-condities worden de ZAE gemobiliseerd. De mate van mobilisatie en het hierop volgende gedrag in rivierwater hangt af van een aantal factoren. Deze factoren zijn de kinetiek van het oplossen van mineralen, oppervlakte sorptie-desorptie mechanismen (bijvoorbeeld aan ijzeroxide/-hydroxide deeltjes), ion-complexatie (bijvoorbeeld met organisch materiaal), de pH van het water en het transport van de zwevende bestanddelen. In oppervlaktewater neemt de ZAE-adsorptie op zwevende bestanddelen met toenemende pH toe van de lichte naar de zware ZAE. Met afnemende pH komen de ZAE in dezelfde orde vrij van de zwevende bestanddelen. Dit betekent dat de samenstelling van de ZAE's in het opgeloste water, hier gedefinieerd als gefilterd water over een $< 0.45 \mu\text{m}$ filter, gecontroleerd wordt door oppervlaktereacties en de aanwezigheid van zwevende bestanddelen. Om deze fractionering inzichtelijk te maken worden de gemeten concentraties in een monster genormaliseerd door ze te delen door referentieconcentraties in standaard kleimonsters. Door deze normalisatie wordt het duidelijk of bijvoorbeeld de zware ZAE's ten opzichte van de lichte ZAE's aangerijk zijn én of er een aanrijking is van bijvoorbeeld gadolinium (de Gadolinium-anomalie).

Praktische invulling

Een voorbeeld van een genormaliseerd ZAE-profiel met mogelijke processen die het profiel beïnvloeden is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1

Theoretisch zeldzame aarde patroon voor een klei- en een kalkmonster (REE is Engels voor ZAE). De pijlen geven elementen aan die minder (verarmd) dan wel meer (verrijkt) voor kunnen komen ten opzichte van wat je aan de hand van je zeldzame aardepatroon zou verwachten. 1. Cerium (Ce) kan preferent gebonden worden aan ijzerhydroxide, dit is een natuurlijk proces. 2. Gadolinium (Gd) wordt door antropogene (menselijke) oorzaken in het milieu verrijkt. Deze drie karakteristieke eigenschappen van het zeldzame aarde profiel kunnen in potentie gebruikt worden om verschillende waterbronnen te onderscheiden.

Indicatoren van zeldzame aarde profielen

De verrijking van de lichtere ZAE (Lantaan, Presodinium) ten opzichte van de zwaardere ZAE (Yterbium en Lutetium) geeft informatie over de helling van het zeldzame aarde-patroon. Voor een kleimonster is dit recht, je hebt immers de gemeten zeldzame aarde-concentraties gedeeld (genormaliseerd) door de concentratie in een standaard kleimonster. Een kalkmonster daarentegen laat een verrijking zien van de zwaardere ZAE ten opzichten van de lichtere elementen. De verrijking van de zwaardere zeldzame aarde-elementen ten opzichte van de lichtere zeldzame aarde-elementen is dus een eigenschap van je zeldzame aarde profiel die gebruikt kan worden om iets over de herkomst van het water te zeggen. Deze verhouding wordt als volgt berekend:

$$\frac{ZZAE}{LZAE} = \frac{(Yb_m + Lu_m)}{(La_m + Pr_m)} \quad (1)$$

ZZAE = zware zeldzame aarde-elementen
 LZAE = lichte zeldzame aarde-elementen
 Yb_n = genormaliseerde waarde van Yterbium in het monster
 Lu_n = genormaliseerde waarde van Lutetium in het monster
 La_n = genormaliseerde waarde van Lantaan in het monster
 Pr_n = genormaliseerde waarde van Presodinium in het monster

Een anomalie is een verlaging (negatieve) of verhoging (positieve) van de genormaliseerde waarde ten opzichte van de verwachte genormaliseerde waarden aan de hand van de andere zeldzame aarde waarden. De gadolinium-anomalie (pijl 2 in figuur 1) heeft een menselijke oorzaak. De natuurlijke achtergrondconcentraties van de ZAE in het oppervlaktewater zijn doorgaans erg laag (<0.01 µg/L). Gadolinium-houdende stoffen worden echter sinds de jaren '80 verwerkt in contrastmiddelen die in ziekenhuizen worden gebruikt bij het opsporen van tumoren met MRI-scans. Vermoedelijke kankerpatiënten krijgen een dergelijk contrastmiddel voorafgaand aan hun MRI-onderzoek ingespoten. Het middel hoopt zich op in het kankerweefsel en door de afwijkende magnetische eigenschappen van gadolinium wordt de tumor goed zichtbaar op de MRI-scan. Na

een aantal uren verlaat het gadolinium-complex het lichaam van de patiënt weer via de urine. Gadolinium wordt niet afgebroken en komt via het rioolstelsel en de waterzuiveringsinstallaties in het oppervlaktewater terecht. De achtergrondconcentratie van gadolinium in het oppervlaktewater in Nederland (en grote delen van de rest van de wereld) is dermate laag dat deze verhoging, hoe gering ook, terug te meten is. De extra aanwezige gadolinium in het water ten opzichte van de concentratie die je zou verwachten aan de hand van de overige ZAE wordt ook wel de gadolinium-anomalie genoemd. De gadolinium-anomalie is dus een maat voor de beïnvloeding van het water door menselijk handelen (sinds halverwege de jaren 80). Een andere toepassing van de gadolinium-anomalie is dat het gebruikt kan worden als indicator voor de potentiële aanwezigheid van andere medicijnresten in het water die niet voor 100% door een RZWI verwijderd kunnen worden. In de grote rivieren van Nederland (Maas en Rijn) en de minder grote rivieren (Geul in Zuid-Limburg, Dommel in Brabant) is de gadolinium-anomalie al aangetoond. De gadolinium-anomalie wordt als volgt berekend:

$$Gd_{ano} = \frac{Gd_m}{\left(\frac{1}{3} Sm_m + \frac{2}{3} Tb_m\right)} \quad (2)$$

Gd_{ano} = de berekende gadolinium-anomalie
 Gd_m = genormaliseerde waarde van gadolinium in het monster
 Sm_m = genormaliseerde waarde van Samarium in het monster
 Tb_m = genormaliseerde waarde van Terbium in het monster

De Cerium-anomalie (pijl 1 in Figuur 1) wordt hier niet nader besproken omdat hij in het huidige onderzoek minder geschikt was om inlaatwater en gebiedseigen water van elkaar te onderscheiden.

De verschillende indicatoren van het zeldzame aarde profiel zijn ook te combineren. Het combineren heeft als voordeel dat er ook voor meer dan twee waterbronnen geschat kan worden wat de relatieve bijdragen zijn van de individuele bronnen.

Methode

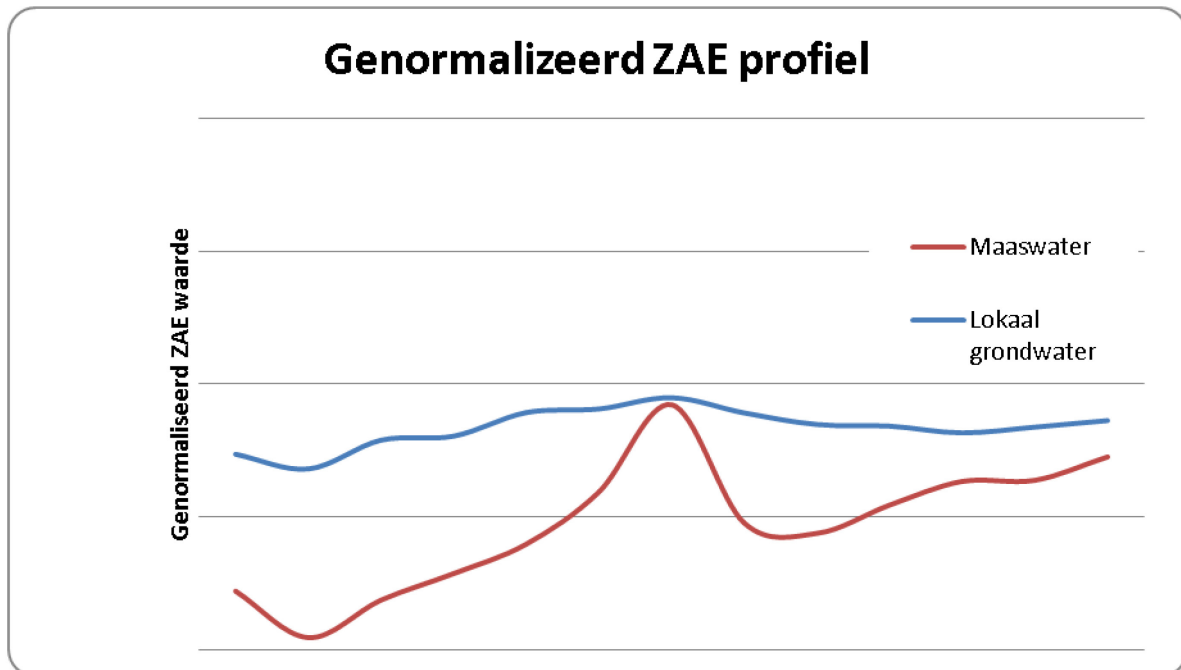
In pilotgebied Quarles van Ufford is door middel van de gadolinium-anomalie de verspreiding van inlaatwater onderzocht om conclusies te kunnen trekken over de mate van de invloed van inlaatwater op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater ten opzichte van af- of uitspoeling van gebiedseigen water.

Om dit te onderzoeken zijn op 20 locaties op twee verschillende tijdstippen (gedurende de zomer en het najaar) oppervlaktewatermonsters genomen. De 20 locaties zijn dezelfde als die ook sinds 2003 bemonsterd worden door Waterschap Rivierenland voor het project Monitoring Stroomgebieden. Hiertoe behoren onder meer de inlaatpunten (maximale invloed inlaatwater) en het uitlaatgemaal. Verder liggen de meetlocaties voornamelijk in de hoofdwatergangen, maar er zitten ook kleinere landbouwsloten tussen. Er is tijdens de bemonsteringsronde ook gezocht naar een aanvullende locatie waar er een minimale invloed van inlaatwater werd verwacht. Deze is gekozen als het begin van een sloot die een hoger gelegen rivierduin ontwaterd.

Op 5 augustus 2010 vond de eerste meetronde plaats. Doordat de zomer zeer droog was, werd er een grote invloed van inlaatwater verwacht. Op 22 oktober 2010 is een tweede bemonsteringsronde uitgevoerd. Gezien de grote neerslaghoeveelheden vanaf eind augustus 2010 werd verwacht dat de invloed van inlaatwater flink zou zijn afgenomen. De eerste bemonsteringsronde zegt dus iets over de distributie van Maaswater in het gebied, de tweede ronde zegt iets over de verblijftijd van het Maaswater in het gebied nadat de actieve inlaat gestopt is. Een complicerende factor in het geheel is de aanwezigheid van een RWZI in het gebied zelf, die plaatselijk ook voor verhoogde gadoliniumconcentraties kan zorgen.

De analyses zijn uitgevoerd door het Geo Milieu Onderzoeks Laboratorium (GMOL) van Deltares. Door de extreem lage concentraties van de ZAE in het oppervlaktewater is dit een zeer specialistische analyse. Het laboratorium heeft eerst een test-analyse op een deel van de monsters gedaan om te controleren of er

überhaupt wel een verschil in lichte en zware ZAE-concentraties en in gadolinium-anomalie was tussen het inlaatwater en het water in de kleine landbouwslootjes (zie Figuur 2). De zeldzame aarde patronen in figuur 2 geven aan dat in ieder geval de gadolinium-anomalie en de verhouding lichte ten opzichte van zware ZAE gebruikt kunnen worden om Maaswater van lokaal grondwater te onderscheiden. Na deze test zijn alle 20 monsters op ZAE-concentraties geanalyseerd.



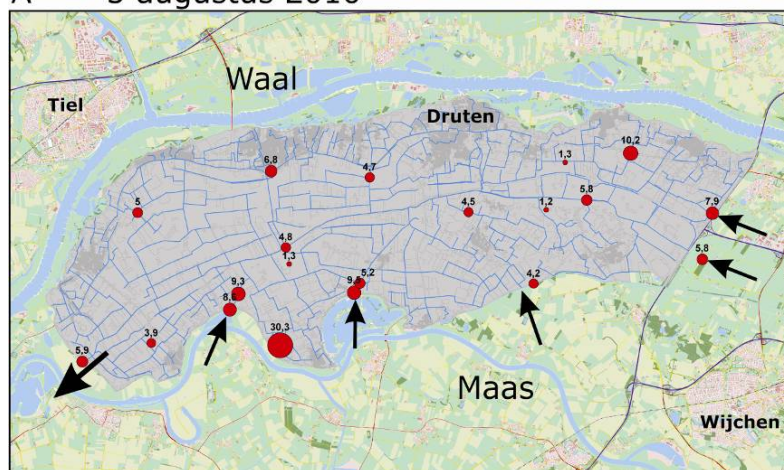
Figuur 2

Voorbeeldprofiel zoals gemeten in het veldwerkgebied. Het rode profiel is geïnterpreteerd als Maaswater. Het blauwe profiel is geïnterpreteerd als lokaal grondwater/regenwater. De verhouding lichte ZAE ten opzichte van zware ZAE en de aanwezigheid van de gadolinium-anomalie is afwijkend bij beide profielen.

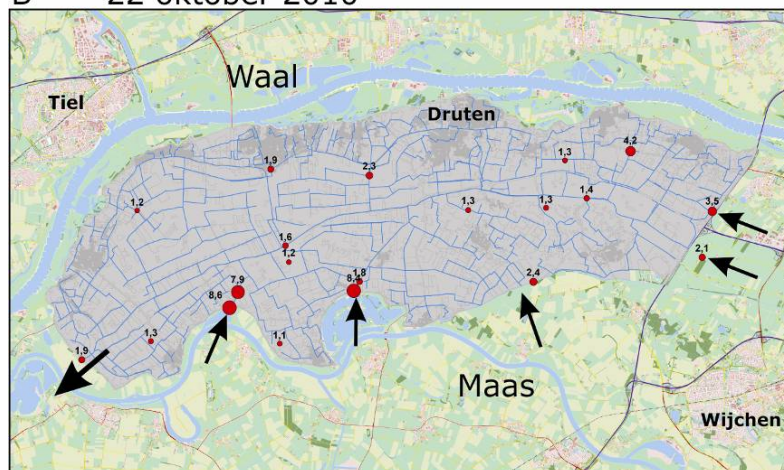
Resultaten

In Figuur 3 is de hoogte van de gadolinium-anomalie weergegeven op de bemonsterde locaties voor de bemonstering van 5 augustus 2010 (Figuur 3A) en 22 oktober 2010 (Figuur 3B). De grootte en het getal bij de bolletjes geeft de grootte van de anomalie weer.

A 5 augustus 2010



B 22 oktober 2010



Figuur 3

Gemeten gadolinium-anomalie op 5 augustus 2010 (A) en op 22 oktober 2010 (B). De pijlen geven de in- en uitlaatpunten weer.

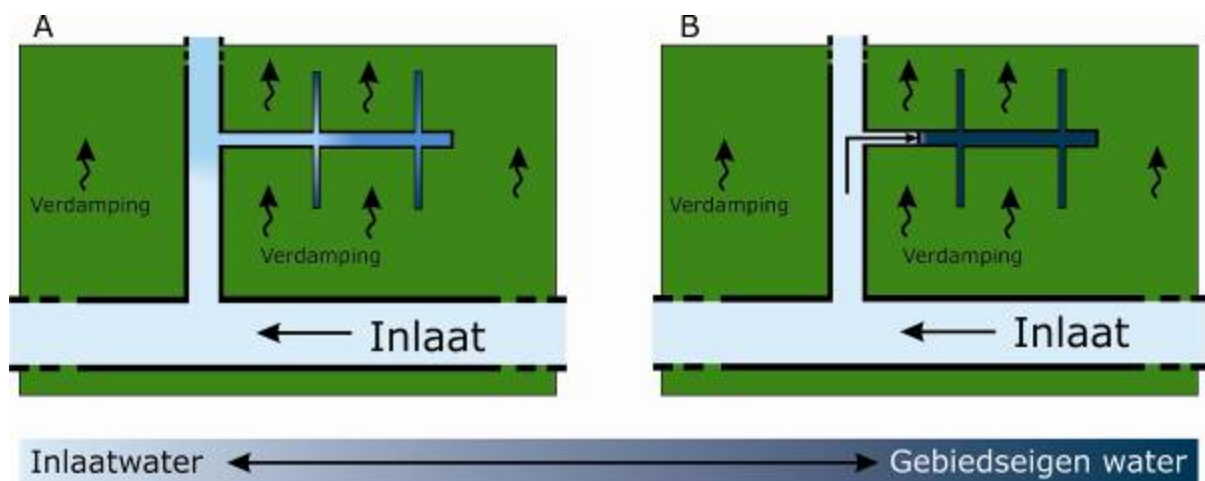
De resultaten van de bemonstering op 5 augustus 2010 laten zien dat er in de landbouwslootjes geen gadolinium-anomalie (1.2 - 1.3) is gemeten. Dat betekent dat het gebiedseigen water betreft, dat niet of nauwelijks beïnvloed is door inlaatwater. In de hoofdwatgangen wordt wel in het gehele gebied een verhoogde gadolinium-anomalie gevonden. Deze hoofdwatgangen worden duidelijk direct door het inlaatwater vanuit de Maas en vanuit de naastgelegen polder Bloemers gevoed. In één van de landbouwsloten is een zeer hoge anomalie (30.3) gemeten. Een kleine nabijgelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie heeft kennelijk veel invloed gehad op de watersamenstelling op die plek. Het effluent blijft 'hangen' in de buurt van de RWZI doordat in de zomer het water wordt vastgehouden en er nauwelijks doorstroming is.

Bij de meetronde van 22 oktober 2010 was de gadolinium-anomalie van het inlaatwater vanuit de Maas nog hetzelfde als op 5 augustus 2010. Alleen in het zuiden van het gebied is nog water aangetroffen met een gadolinium-anomalie van Maaswater. Het is onbekend of dit actief inlaat van Maaswater is of dat dit kwelwater van de Maas is wat onder de dijk door komt. In de overige monsterlocaties is er veel minder Maaswater aanwezig en is de dominante waterbron lokaal regenwater/grondwater. Dit geeft aan dat in de periode tussen de eerste bemonstering (5 augustus 2010) en de tweede bemonstering (22 oktober 2010) het water (bijna) geheel is ververs in de polder. De verblijftijd van het water in dit poldergebied is dus korter dan 2.5 maand.

Hierboven is alleen de gadolinium-anomalie gebruikt om de twee waterbronnen te onderscheiden. De verhouding tussen lichte ZAE ten opzichte van zware ZAE kan echter ook gebruikt worden om de twee waterbronnen te onderscheiden. Uit deze analyse kwam naar voren dat er nog een andere significante waterbron aanwezig moet zijn in het gebied. Doordat de verschillende uitgangseigenschappen van de verschillende waterbronnen bekend zijn, is het mogelijk voor elk individueel monster de bijdrage van verschillende componenten te berekenen. Op deze manier konden Maas- en Rijnwater en grond- en regenwater van elkaar gescheiden worden. De meetlocaties bleken niet beïnvloed te worden door Rijnwater. Wel kon onderscheid gemaakt worden tussen locaties die in meer of mindere mate beïnvloed werden door regen- en of grondwater.

Conclusie

Het beeld dat inlaatwater in droge perioden overal de oppervlaktewaterkwaliteit bepaalt in polders zoals Quarles van Ufford blijkt niet zonder meer te kloppen. De gadolinium-metingen tonen aan dat het inlaatwater niet of nauwelijks doordringt tot in de bemonsterde kleinere landbouwslootjes. De verdamping in de zomer zorgt er klaarblijkelijk niet voor dat het inlaatwater tot in de haarvaten van het watersysteem wordt 'opgezogen'. Het lijkt erop dat het gebiedseigen water door het inlaatwater wordt 'teruggeduwd' tot in de landbouwsloten (zie Figuur 3). Dit denkmodel sluit aan bij resultaten uit eerder onderzoek (Hendriks, 1990) en bij de ervaringen van gebiedsdeskundigen van Waterschap Rivierenland die deels voortkomen uit watersysteemanalyses voor de KRW-stroomgebiedbeheersplannen.

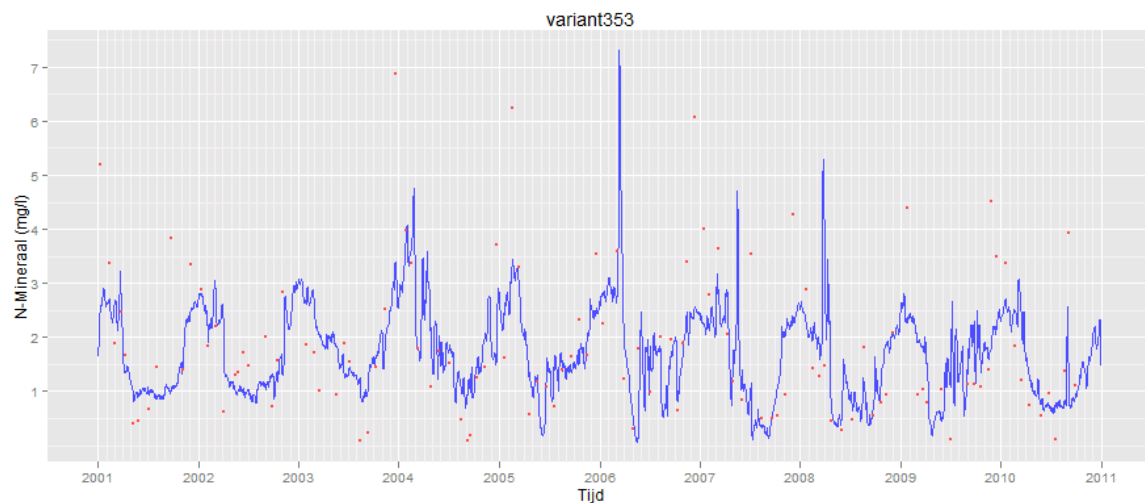


Figuur 3

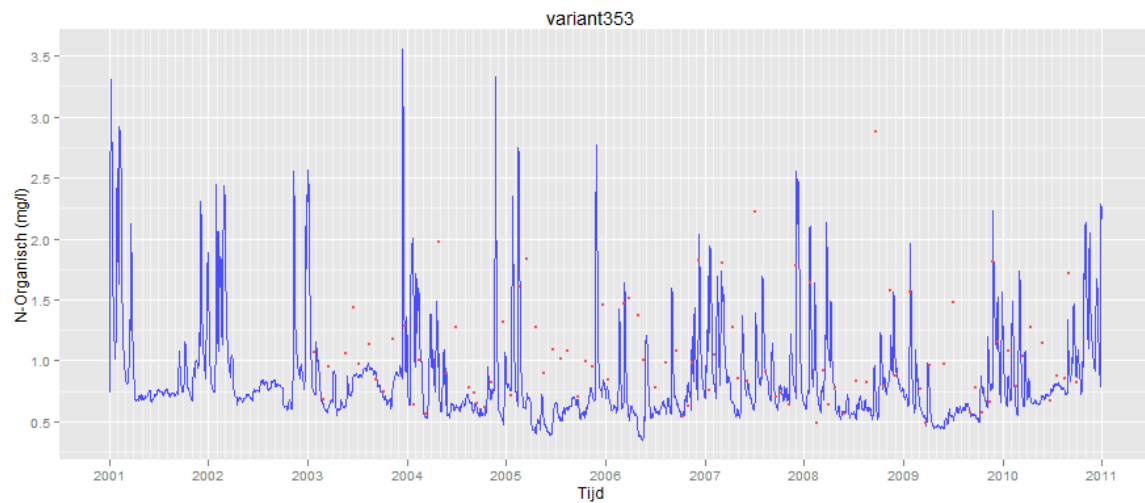
De verspreiding van inlaatwater in droge perioden met veel verdamping. (A): denkmodel vooraf, inlaatwater mixt met gebiedseigen water en dringt helemaal door tot in de haarvaten; (B): huidig denkmodel, minder menging, inlaatwater 'duwt' gebiedseigen water terug de haarvaten in.

Uit dit onderzoek kan overigens niet geconcludeerd worden dat alle kleinere sloten in Quarles van Ufford of in andere gebieden vrij blijven van inlaatwater. Zo zijgt er in het noordelijke deel van Quarles van Ufford 's zomers water weg naar de Waal en onttrekken fruitteilers veel water voor beregning. Door de grotere watervraag dringt het inlaatwater daar mogelijk wel door tot in de kleinere landbouwsloten. Voor de locaties uit het meetnet van Monitoring Stroomgebieden geeft deze analyse wel inzicht in de mate van beïnvloeding door inlaatwater, wat belangrijk is bij de interpretatie van de meetgegevens.

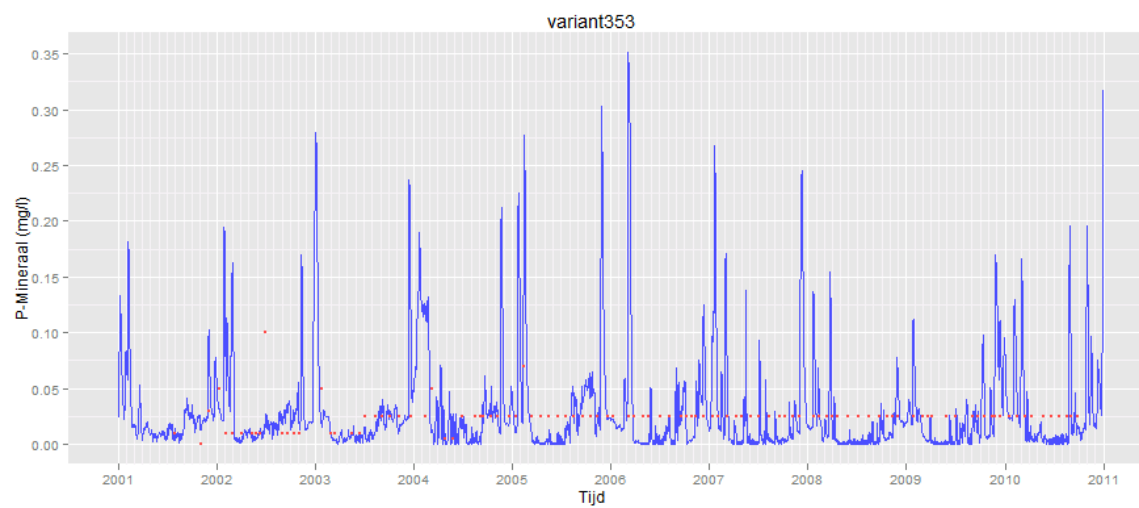
Bijlage II Gemeten en berekende stikstof en fosforconcentraties voor de overige fracties



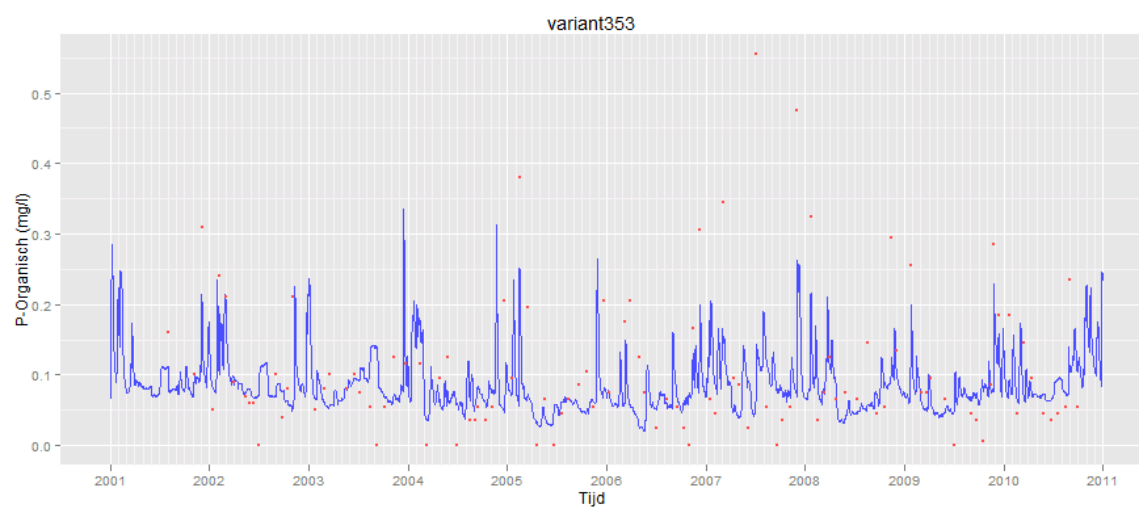
N-mineraal



N-organisch



P-mineraal



P-organisch