

Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek

Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden

J. Roelsma, B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders

Alterra-rapport 2219, ISSN 1566-7197
Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II



Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek

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 oppervlaktewater van de Schuitenbeek

Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden

J. Roelsma¹, B. van der Grift², H.M. Mulder¹, T.P. van Tol-Leenders¹

1 Alterra

2 Deltares

Alterra-rapport 2219
Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder, T.P. van Tol-Leenders, 2011. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en oppervlaktewater van de Schuitenbeek; bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2219. 76 blz.; 38 fig.; 10 tab.; 16 ref.

Deze rapportage richt zich op het stroomgebied de Schuitenbeek. 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 syntheserapport wordt de nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek beschreven, met als doel het totale systeem te doorgronden (waaronder de bronnen en routes van nutriënten in het systeem) en vanuit die positie de sturingsmogelijkheden om de waterkwaliteit te verbeteren aan te geven.

Trefwoorden: bronnenanalyse, mestbeleid, modelsysteem, monitoring, nutriënten, Schuitenbeek, stroomgebied, sturingsmogelijkheden, 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 2219

Wageningen, oktober 2011

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding en doel	11
1.2 Projectaanpak	11
1.3 Leeswijzer	13
2 Stroomgebied de Schuitenbeek	15
2.1 Beschrijving van het gebied	15
2.2 Kenschets gebied	17
3 Methodiek	19
3.1 Meetmethoden oppervlaktewaterkwaliteit	19
3.2 Meetmethode fosfaatvoorraad in de bodem	19
3.3 Bepaling routes bodemsysteem	20
3.4 Beperkte kalibratie	21
3.5 Bronnenanalyse	22
3.6 Sturingsmogelijkheden	23
4 Data-analyse	25
4.1 Oppervlaktewaterkwaliteit van de Schuitenbeek	25
4.2 Fosfaatvoorraad in de bodem	33
4.3 Routes nutriënten in de Schuitenbeek	33
5 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium	39
5.1 Beperkte kalibratie en resulterende oppervlaktewaterkwaliteit	39
5.2 Water- en nutriëntenbalansen van oppervlaktewater en bodem	41
5.3 Berekende routes nutriënten in de Drentse Aa	43
6 Bronnenanalyse	47
6.1 Inleiding	47
6.2 Resultaten bronnenanalyse	47
7 Sturingsmogelijkheden	53
7.1 Effecten mestbeleid	53
7.2 Sturingsmogelijkheden	54
7.3 Aanvullende maatregelen	57
8 Discussie en conclusies	59
8.1 Oppervlaktewaterkwaliteit	59
8.2 Bronnen en routes van nutriënten	60
8.3 Sturingsmogelijkheden	60

8.4	Aanvullende maatregelen	61
8.5	Opschaling	61
8.6	Ecologie	63
Referenties		65
Bijlage 1	Ammoniumconcentraties in de Schuitenbeek	67
Bijlage 2	Balansen landsysteem	73

Woord vooraf

Deze rapportage 'Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa, *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 de 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/de betrokken waterbeheerders zitting. Het project wordt uitgevoerd door Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte, onderdeel van Wageningen University en Research centre en Deltares.

Deze rapportage richt zich op het stroomgebied van de Schuitenbeek. 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 synthesesrapport worden de bronnen, routes en de sturingsmogelijkheden om de nutriëntenkwaliteit in het oppervlaktewater van de Schuitenbeek te verbeteren beschreven.

De voorlopige resultaten zijn in het gebied op 14 april 2011 besproken. Een twintigtal mensen van Waterschap Veluwe en Waterschap Vallei en Eem, Rijkswaterstaat, provincie, Gelderse Milieufederatie en het onderzoeksproject Monitoring Stroomgebieden kwamen in Putten bijeen voor een presentatie van de resultaten van het onderzoeksproject voor het stroomgebied van de Schuitenbeek. De tijdens deze gebiedsbijeenkomst gemaakte opmerkingen zijn in deze rapportage verwerkt. Hierbij willen we de aanwezigen nogmaals bedanken voor hun inbreng.

Dank gaat uit naar de leden van de begeleidingscommissie, vooral Andrea Swenne onze contactpersoon bij Waterschap Veluwe 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 - 484279
dorothee.vantol-leenders@wur.nl

Jan Roelsma
Corresponderend auteur
0317 - 486453
jan.roelsma@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 synthesesrapport wordt de nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek beschreven, met als doel het totale systeem te doorgronden (waaronder de bronnen en routes van nutriënten in het systeem) en vanuit die positie de sturingsmogelijkheden om de waterkwaliteit te verbeteren aan te geven.

Over de gehele meetperiode (2004 - 2010) wordt een zomerhalfjaargemiddelde van 3,5 mg.l⁻¹ N en 0,29 mg.l⁻¹ P gevonden. De waterkwaliteit in de Schuitenbeek voldoet daarmee niet aan de gebiedspecifieke normen die voor fosfor zijn opgesteld (0,14 mg.l⁻¹ P-totaal in het zomerhalfjaar). In de gehele monitoringsperiode (2004 - 2010) overschrijdt de waargenomen zomerhalfjaargemiddelde fosforconcentratie de norm. Bovendien neemt het zomerhalfjaargemiddelde vanaf 2005 jaarlijks toe. De stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar zitten onder de norm van 4,0 mg.l⁻¹ N. Voor stikstof wordt wel aan de norm voldaan, al wordt in het zomerhalfjaar van 2010 wel de norm voor stikstof overschreden.

In de meetperiode van het project Monitoring Stroomgebieden (2004 - 2010) is een stijging in fosforconcentraties in het oppervlaktewater zichtbaar. Deze stijging wordt voor een deel veroorzaakt door hoge pieken van fosforconcentraties in de zomerperiode (vooral zomer 2010), vaak in combinatie met intensieve regenbuien. Hoe belangrijk de bijdrage van extreme neerslag kan zijn op de fosforconcentraties in het oppervlaktewater blijkt in 2010. Eind augustus 2010 werd tijdens een extreem natte week een fosforvracht in het stroomgebied van de Schuitenbeek van ruim 1000 kg fosfor bepaald. Dit is vergelijkbaar met bijna de helft van de totale fosforvracht in een jaar.

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 nutriëntenhuishouding in de bodem en de uitspoeling van stikstof en fosfor naar het grond- en oppervlaktewater, SWQN voor de waterhuishouding van het oppervlaktewaterstelsel en NuswaLite voor de nutriëntenhuishouding in het oppervlaktewater. Een uitgebreide set met meetgegevens van de (chemische) waterkwaliteit en waterafvoer is gebruikt ter kalibratie en validatie van deze modellen. Op basis van historische metingen van fosfor in de bodem van het stroomgebied van de Schuitenbeek is door middel van geo-statistische methoden een ruimtelijke interpolatie uitgevoerd. Het modelsysteem is hierop vervolgens aangepast. In het stroomgebied van de Schuitenbeek zijn de meetreeksen van waterafvoer en waterkwaliteit eveneens gebruikt om de route van nutriënten door het bodemsysteem via de zogenaamde Hydrograph Separation te bepalen. Op basis van deze methodiek is bepaald dat het overgrote deel van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater van de Schuitenbeek komt vanuit het bovenste grondwater en de onverzadigde zone.

De belasting van het oppervlaktewater met stikstof is gerelateerd aan het landgebruik in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Bij landbouwgronden, en met name de grasland- en akkerbouwgronden, is de stikstofuitspoeling hoog; bij natuurgebieden is deze laag. De fosforuitspoeling is juist gerelateerd aan de nattere beekdalen.

De belangrijkste bron van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater is het landsysteem. De nutriënten die vanuit het landsysteem uit- en afspoelen naar het oppervlaktewater zijn voornamelijk afkomstig uit de

mestgiften. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de huidige en de historische bemesting. Voor stikstof is de huidige bemesting en nalevering vanuit het bodemsysteem de grootste bron, terwijl voor fosfor dit de bron historische bemesting (oplading van de bodem) is.

De waterkwaliteit in de Schuitenbeek voldoet niet aan de gebiedspecifieke normen die voor fosfor zijn opgesteld. In de Schuitenbeek dienen maatregelen genomen te worden om uiteindelijk aan de norm voor fosfor te kunnen voldoen. Verlagen van de mestgiften in het stroomgebied van de Schuitenbeek heeft onvoldoende effect. Er bestaat dus de noodzaak om voor de Schuitenbeek aanvullende maatregelen te benoemen om aan de norm voor fosfor te kunnen voldoen. Voor de Schuitenbeek zijn de volgende aanvullende maatregelen benoemd:

- Gerichte fosfaatuitmijning van de bodem (dus meer fosfor onttrokken aan het bodemsysteem dan via bemesting wordt toegevoegd). Hier is de term gericht gebruikt, omdat uit modelstudie is gebleken dat de fosforbelasting van het oppervlaktewater vlakbij de beekdalen is gesitueerd. Door op deze locaties de maatregel fosfaatuitmijning toe te passen maakt deze maatregel effectiever dan een generieke benadering.
- Ingrepen in het oppervlaktewatersysteem. Bijvoorbeeld ingrepen die gericht zijn op het verlengen van de verblijftijden van water (vasthouden van water), waardoor retentie in het oppervlaktewater wordt vergroot.

Voor stikstof wordt bij de huidige bemestingsniveau benedenstrooms in de Schuitenbeek al voldaan aan de norm.

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

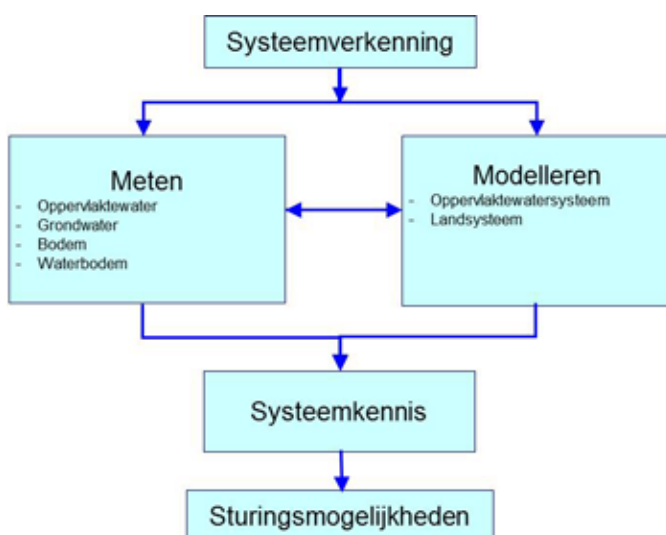
In het onderzoek van Monitoring Stroomgebieden zijn metingen en modelberekeningen gedaan in vier stroomgebieden met zeer verschillende kenmerken. De veenweidepolder Krimpenerwaard staat voor de veengebieden in Nederland, de kleipolder Quarles van Ufford voor de kleigebieden (Figuur 1.1). Om goed zicht te krijgen op de manier waarop nutriënten zich in zandgebieden gedragen, is gekozen voor een stroomgebied waar een hoge nutriëntenbelasting werd verwacht - de Schuitenbeek - en een stroomgebied met een lagere belasting - de Drentse Aa.



Figuur 1.1

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

Het onderzoek van Monitoring Stroomgebieden begon met een systeemverkenning, waarbij alle bestaande kennis over de vier stroomgebieden is verzameld (Figuur 1.2). 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 kennislaten in de vier onderzoeksgebieden opgevuld. Daarna zijn de bronnen en routes van nutriënten naar het oppervlaktewater gekwantificeerd.



Figuur 1.2

De 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 fases 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 Leeswijzer

Het voorliggende rapport betreft het 'achtergrondrapport' voor de Schuitenbeek. Hierin zijn de activiteiten die in het kader van het project Monitoring Stroomgebieden in de Schuitenbeek zijn uitgevoerd beschreven en geïnterpreteerd. Na de systeemanalyse Fase 3 bleek namelijk dat er aanvullende gegevens nodig zijn (Jansen et al., 2008) en dat het modelsysteem moet worden aangepast om het gedrag van de nutriënten in de Schuitenbeek te snappen 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 de Schuitenbeek. 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.

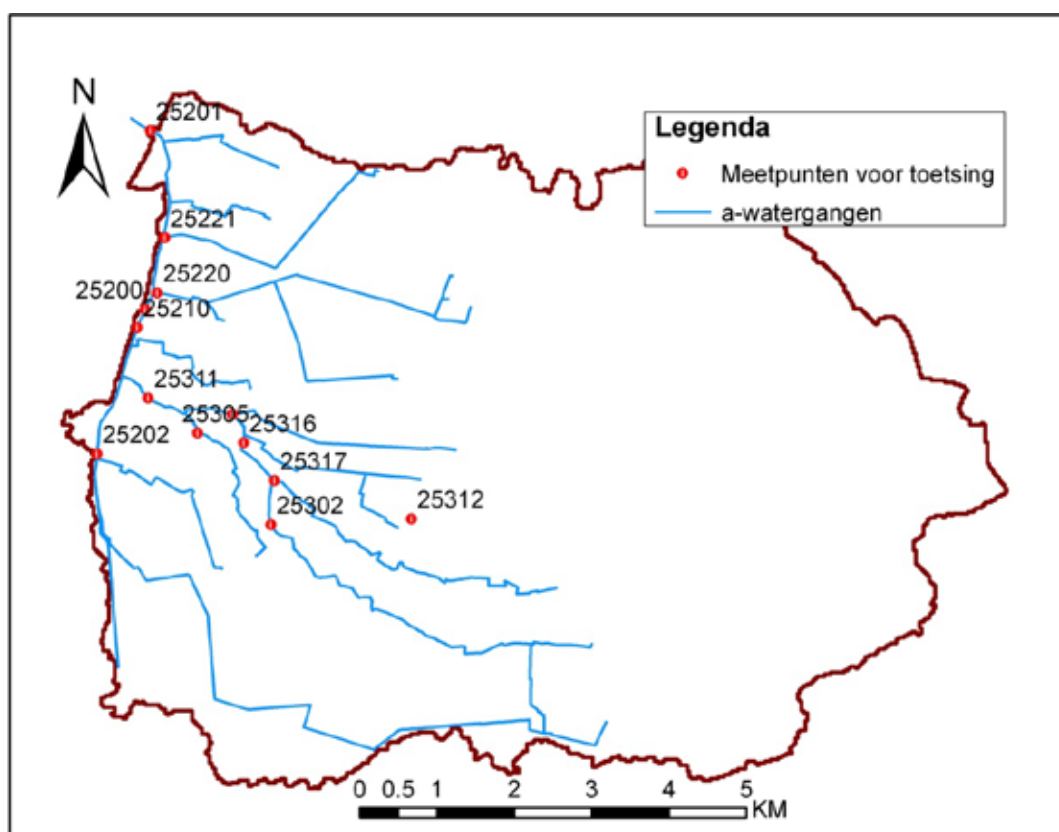
Hoofdstuk 2 geeft de beschrijving van het stroomgebied van de Schuitenbeek, inclusief karakteristieke kenmerken voor nutriënten in dit gebied. Hoofdstuk 3 geeft de beschrijving van de methodiek: welke metingen zijn uitgevoerd en hoe is het modelinstrumentarium opgebouwd om de nutriëntenbronnen en -routes te kwantificeren en hoe zijn de sturingsmogelijkheden vastgesteld. De hierop volgende hoofdstukken geven de inhoudelijke beschrijvingen van deze activiteiten: de data-analyse anders dan met het modelinstrumentarium (hoofdstuk 4), de beperkte kalibratie van het modelsysteem (hoofdstuk 5), de bronnenanalyse (hoofdstuk 6) en de sturingsmogelijkheden (hoofdstuk 7). Hoofdstuk 8 beschrijft de conclusies uit het onderzoek en sluit af met een aantal aanbevelingen.

2 Stroomgebied de Schuitenbeek

2.1 Beschrijving van het gebied

Het stroomgebied van de Schuitenbeek bevindt zich in het westelijk deel van de provincie Gelderland en ligt ten zuiden van Putten en ten oosten van Nijkerk. Het Nuldernauw (onderdeel van de Randmeren van de Flevopolders) vormt de noordwestelijke begrenzing. De zuidgrens bevindt zich ongeveer ter hoogte van Voorthuizen. Het gebied heeft een oppervlakte van ongeveer 7.500 ha. Het westelijk deel van het stroomgebied bevindt zich in de Gelderse Vallei. Het oostelijk deel maakt deel uit van het Veluwemassief. Het stroomgebied van de Schuitenbeek helt overwegend van het oosten naar het westen en is een onder natuurlijk verval afwaterend gebied. Alleen het relatief laaggelegen westelijk deel heeft een zichtbare (oppervlaktewater) afwatering.

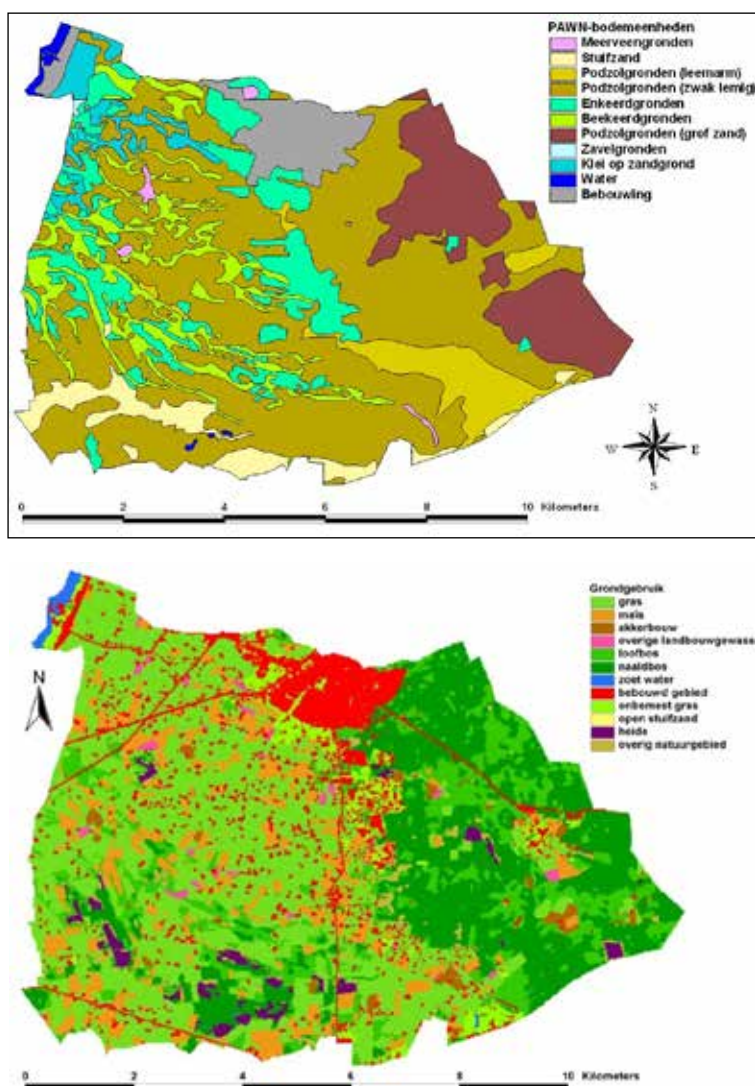
Het beekstelsel volgt in grote lijnen de topografie. Tussen de min of meer parallel lopende beekdalen bevinden zich iets hoger gelegen ruggen. De Schuitenbeek zelf stroomt in noordelijke richting, min of meer loodrecht op de natuurlijke beekdalen (Figuur 2.1). De Schuitenbeek is echter een *gegraven* waterloop en had destijds als doel om de wateroverlast tegen te gaan, die het gevolg was van het afgraven van laaggelegen veengronden in de Gelderse Vallei. De Schuitenbeek watert af op het Nuldernauw, één van de Randmeren van de Flevopolders.



Figuur 2.1

Oppervlaktewatersysteem en locaties meetpunten in de Schuitenbeek.

De breedte van de Schuitenbeek is maximaal 5,5 m. De maximale waterdiepte is 1,50 meter, maar in het grootste deel is de beek minder dan 80 cm. diep. Voordat in 1996 een stuw werd geplaatst voor de uitmonding van de Veldbeek, viel de bovenloop van de Schuitenbeek (de Appelsche Maalschap) 's zomers droog. De belangrijkste zijbeek is de Veldbeek, die ongeveer 43% van het zichtbare afwaterende oppervlak van het stroomgebied afwatert. De Veldbeek en de hierop uitkomende Beek Goot Hell zijn halfnatuurlijke beken met relatief schoon water. De bodem van de Veldbeek is 0.5 tot 1.5 m. breed, de waterdiepte is doorgaans minder dan 40 cm. De bovenloop van de Veldbeek valt meer dan zes maanden per jaar droog. De belangrijkste zijbeken van de Veldbeek zijn de Goorsteegbeek en Knapzaksteeg, die eveneens een groot deel van het jaar droog vallen. Alleen het benedenstroomse deel van de Schuitenbeek, de Veldbeek en Beek Groot Hell zijn (in principe) permanent watervoerend (in 2003 stonden alle beken in het stroomgebied droog, inclusief de Schuitenbeek). In het algemeen is de reactietijd van het oppervlaktewatersysteem op de neerslag kort. Dit leidt tot grote variaties in de afvoer. Op het benedenstrooms gelegen continue meetpunt 25210 (Figuur 2.1) zijn in extreme situaties afvoeren van meer dan $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ -gemeten. De gemiddelde jaarafvoer is hier ongeveer negen miljoen m^3 .



Figuur 2.2

Bodemindeling (boven) en landgebruik (onder) in het stroomgebied van de Schuitenbeek.

In het gebied komen vrijwel uitsluitend zandgronden voor (Figuur 2.2). De meest voorkomende bodemeenheden zijn podzolen (ca. 66%, vooral in het hooggelegen deel) en enkeerdgronden (ca. 11%, vooral langs de rand van het Veluwemassief). In een klein deel (8% van het stroomgebied) bevinden zich beekdal- en beekkeerdgronden. Meer benedenstrooms in het stroomgebied komt een klein gebied met klei op zandgronden en veengronden voor.

Het landgebruik is sterk gerelateerd aan de topografie en de, hiermee sterk samenhangende, grondwaterstanden. In het oostelijke, hooggelegen deel komt vooral naaldbos, loofbos en heide voor (in totaal ongeveer 42% van het stroomgebied; Figuur 2.2). De landbouwgronden (47% van het stroomgebied) bevinden zich overwegend in het lager gelegen westelijke deel, waar hogere grondwaterstanden voorkomen. Van het areaal cultuurgrond is het overgrote deel in gebruik als grasland. Ten opzichte van 1992 is het landgebruik vrijwel niet veranderd. Ruim 10% van het stroomgebied bestaat uit verhard oppervlak (o.a. Putten).

2.2 Kenschets gebied

Het stroomgebied van de Schuitenbeek is te kenschetsen in een aantal elementen die tezamen het typerende van het gebied, en de daarmee samenhangende problematiek met betrekking tot nutriënten, bepalen. Deze elementen zijn:

- **Zangronden.** De zandgronden zorgen er voor dat nutriënten, vooral stikstof, gemakkelijk kunnen uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater.
- **Landbouw.** In het westelijk deel (het deel van het zichtbare deel van het oppervlaktewaterstelsel van de Schuitenbeek) is het deel waar de landbouw sterk is vertegenwoordigd. De mestproductie is hier hoog. Nu wordt het teveel aan geproduceerde mest getransporteerd naar gebieden waar nog dierlijke mest kan worden geaccepteerd of wordt dierlijke mest verwerkt in mestverwerkingsbedrijven. Voorheen werd die hoeveelheid dierlijke mest in het gebied zelf aangewend. Om die reden is de fosfaatverzadiging van de bodem in het gebied van de Schuitenbeek hoog (Breeuwsma et al., 1989).
- **Gebiedseigen water.** In de Schuitenbeek wordt geen gebiedsvreemd water ingelaten. De kwaliteit van het oppervlaktewater wordt dan ook bepaald door activiteiten in en processen van het gebied zelf.

3 Methodiek

3.1 Meetmethoden oppervlaktewaterkwaliteit

In de periode 2004 - 2010 is er uitgebreid gemeten in de vier stroomgebieden van het project Monitoring Stroomgebieden als aanvulling op de al aanwezige meetdata bij de waterschappen. In het kader van dit project is aangesloten op de aanwezige debietproportionele meetlocatie (locatie 25210) in de Schuitenbeek (zie hoofdstuk 2, Figuur 2.1). Het meetnet is jaarlijks, samen met het waterschap, geëvalueerd en daar waar nodig aangepast. Zo is het meetnet in de Schuitenbeek verdicht door het toevoegen van extra meetlocaties, maar ook door vaker in de tijd (wekelijks en twee-wekelijks) te gaan meten.

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. 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 nauwelijks regionaal gedifferentieerde gegevens beschikbaar over (historische) bemestingsgiften en de mestsamstelling. 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., 2010). 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.

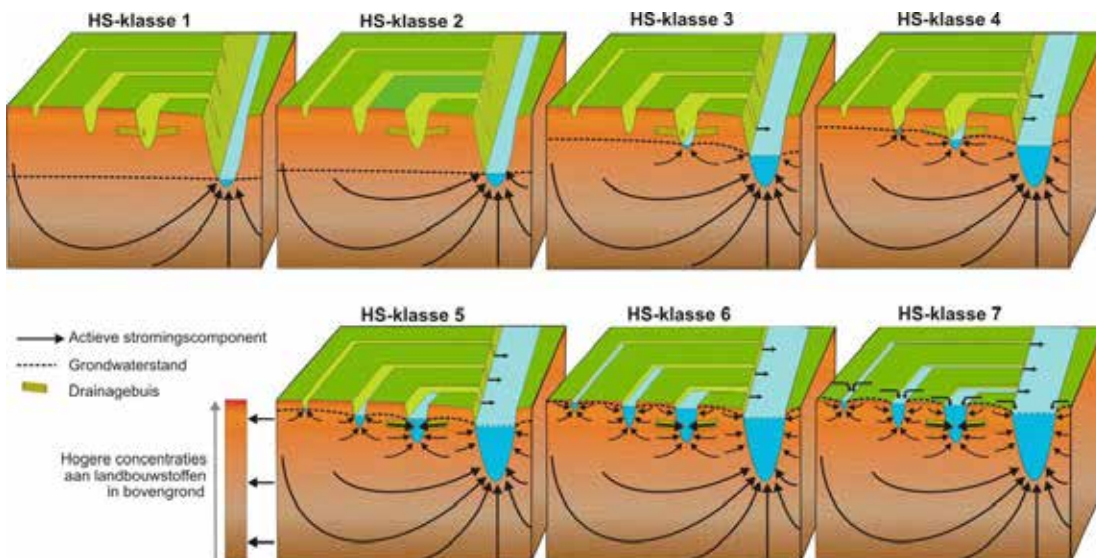
Voor het stroomgebied de Schuitenbeek is gebruik gemaakt van historische metingen in het kader van het project BOVAR (Breeuwsma et al., 1989). In die studie zijn, door middel van een gestratificeerde steekproef, in het stroomgebied van de Schuitenbeek ruim 300 locaties bemonsterd. Per meetlocatie zijn vier bodemlagen bemonsterd:

- 0 - 20 cm-m.v.
- 20 - 35 cm-m.v.
- 35 - 50 cm-m.v.
- 50 - 100 cm-m.v.

Per bodemlaag zijn de monsters 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.

3.3 Bepaling routes bodemsysteem

De oppervlaktewaterkwaliteit wordt mede bepaald door de hydrologische omstandigheden. Er zijn daarom relaties te vinden tussen chemische samenstelling van een oppervlaktewatermonster en de hydrologische omstandigheden op het tijdstip van bemonstering. De achtergrond hiervan is dat onder natte omstandigheden andere transportroutes vanuit het landsysteem een rol spelen dan onder droge omstandigheden. Wanneer deze verschillende transportroutes karakteristieke concentraties kennen is het logisch dat de oppervlaktewaterkwaliteit afhankelijk is van de wijze van afvoer naar het oppervlaktewater.



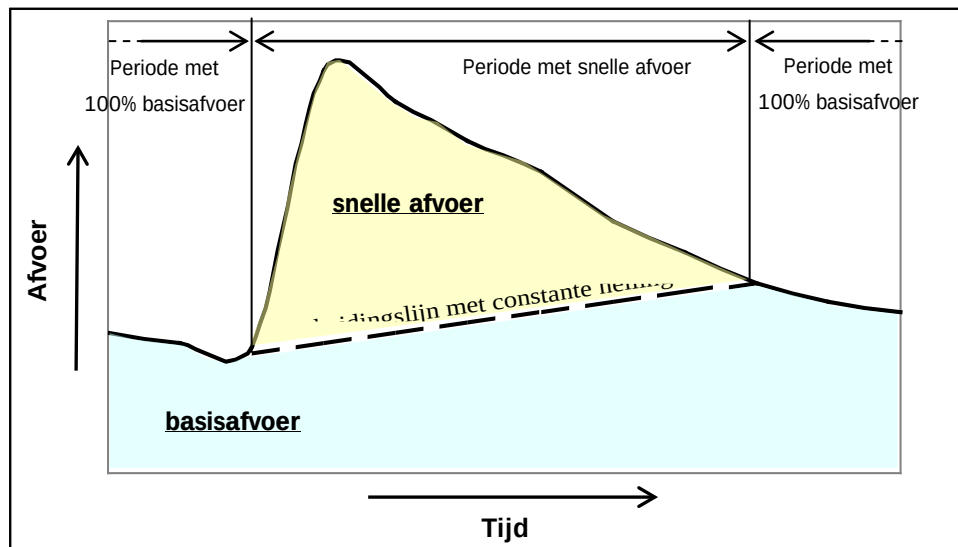
Figuur 3.1

Visualisatie van het conceptuele model voor de relatie tussen grond- en oppervlaktewater; grondwaterstromingscomponenten die onder verschillende afvoeromstandigheden bijdragen aan het oppervlaktewater. HS-klassen: HS klasse 1 representeert basisafvoer omstandigheden en de klassen 2 tot en met 7 steeds nattere condities, zie uitleg in rapport). Dit concept geldt vooral voor Pleistoceen 'hoog' Nederland (figuur afkomstig uit Rozemeijer et al., 2008).

De oppervlaktewaterkwaliteit is de resultante van een bepaalde mengverhouding van water afkomstig van verschillende diepteniveaus, dus water met verschillende routes door of zelfs over de bodem. Deze mengverhouding is afhankelijk van de afvoeromstandigheden; bij snelle afvoer verschuift de mengverhouding naar de ondiepere, snellere afvoercomponenten. Bij basisafvoer hebben de diepere, tragere afvoercomponenten meer invloed. Door de verschillen in waterkwaliteit tussen de diepteniveaus hebben de verschuivingen in de mengverhouding gevolgen voor de oppervlaktewaterkwaliteit. In figuur 3.1 is dit concept gevisualiseerd voor een geschematiseerde dwarsdoorsnede van een stroomgebied dat representatief is voor Pleistoceen 'hoog' Nederland.

Rozemeijer et al. (2008) heeft een methodiek ontwikkeld om op basis van afvoermetingen in oppervlaktewater een scheiding te maken in afvoerclassen, zogenaamde HydrograafScheidings of hydrograph separation (HS-) klassen. Het principe van deze methode is afgebeeld in figuur 3.2. De basisafvoer en de snelle afvoer worden van elkaar gescheiden door een lijn met constante helling. Deze lijn begint als de afvoer snel toeneemt als gevolg van neerslag in het stroomgebied. Vervolgens stijgt de lijn met een constante helling totdat hij de dalende afvoerlijn weer snijdt. De eenheid van de helling is een volume afvoer per tijdseenheid waarmee de basisafvoer toeneemt in periodes van snelle afvoer. Bij continue metingen van de afvoer van een beekstelsel kan nu het percentage snelle afvoer ten opzichte van basisafvoer worden berekend. De chemische samen-

stelling van het oppervlaktewater kan dan worden uitgezet tegen het percentage snelle afvoer ten opzichte van basisafvoer. Uitgaande van de hypothese dat basisafvoer voornamelijk diep grondwater afvoert en bij snelle afvoer het ondiepe grondwater belangrijkere wordt kan dan een relatie worden gelegd tussen de afvoer en de route van het water door de bodem. Wanneer de afvoer van de beek dagelijks wordt gemeten kan een schatting worden gemaakt van het belang van de verschillende routes van het water door de ondergrond aan de totale water en stoffenafvoer van een beek.

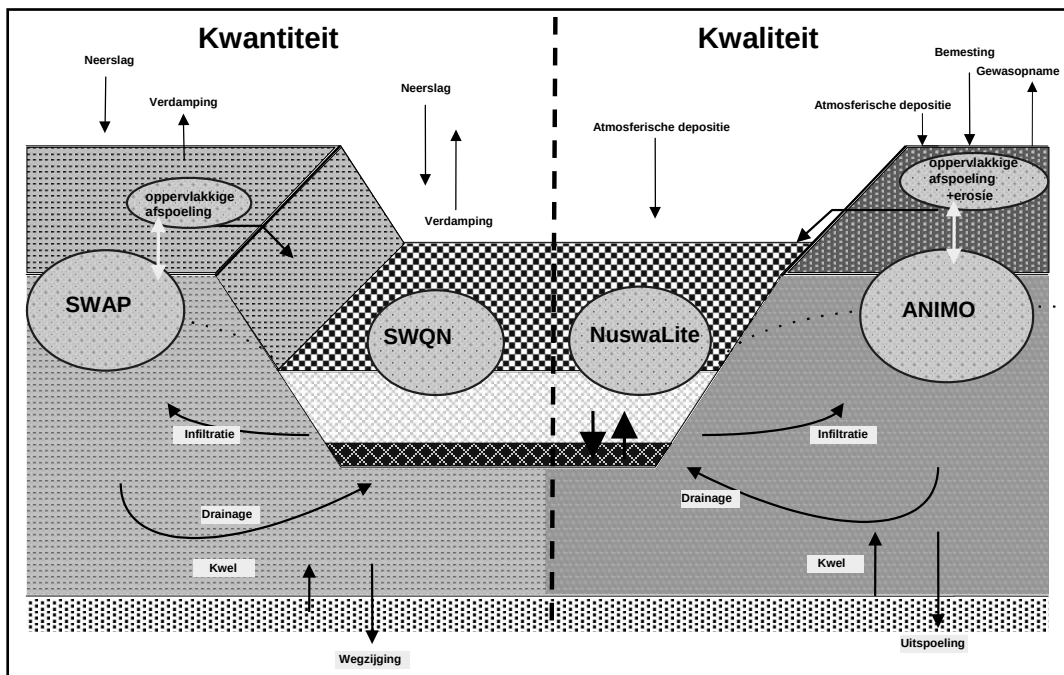


Figuur 3.2

Illustratie van de toegepaste methode voor Hydrograph Separation.

3.4 Beperkte kalibratie

Het modelsysteem van Monitoring Stroomgebieden bestaat uit vier gekoppelde procesmodellen (Figuur 3.3). Het modelsysteem wordt onderverdeeld in een component voor het landsysteem en een component voor het oppervlaktewatersysteem. Daarnaast wordt in deze beide deelsystemen onderscheid gemaakt tussen waterkwantiteit (stroming, peilen en grondwaterstanden) en waterkwaliteit (uitspoeling van nutriënten, processen). De kalibratie van Monitoring Stroomgebieden is een beperkte kalibratie. Hierin zijn alleen de parameters in de waterkwaliteitsmodellen (ANIMO en NuswaLlite) gevarieerd. De parameters voor de kwantiteitsmodellen (SWAP en SWQN) blijven gelijk. Dit heeft zowel inhoudelijke als praktische redenen. De schematisatie en parameterisatie van de kwantiteitmodellen zijn op basis van regionale gegevens al in een eerdere fasering aangepast. Regionale gegevens over procesparameters in de kwaliteitsmodellen was vrijwel niet beschikbaar. Uit de modellering in een eerdere fasering bleek echter, dat vooral een aantal moeilijk te kwantificeren procesparameters die de waterkwaliteitsprocessen in de bodem van de zandgebieden sturen sterk bepalend zijn voor de uitspoeling naar het oppervlaktewater (Jansen et al., 2008). Daarnaast heeft een eerdere gevoeligheidsanalyse aangetoond, dat ook de procesparameters in het oppervlaktewater van grote invloed kunnen zijn (Van Gerven, 2009). Tenslotte spelen ook praktische randvoorwaarden een rol in de keuze om ons te beperken tot de waterkwaliteitsparameters. Zo is de rekentijd van de kwantiteitmodellen veel groter dan die van de kwaliteitsmodellen, wat het veelvuldig doorrekenen van de gebieden lastig maakt.



Figuur 3.3

Blokdiagram van de verschillende modules van het modelinstrumentarium.

Wat betreft de tijdsperiode worden alle parameters gevarieerd vanaf de initialisatie van het bodemsysteem, 1941, tot en met de laatste rekenperiode 2001 - 2010. De selectie voor de te variëren parameters is gebaseerd op eerdere gevoeligheidsanalyses, de inzichten opgedaan in eerdere fases van de modellering en expert judgement van de ontwikkelaars van de gebruikte modellen.

Voor de Schuivenbeek zijn 500 runs uitgevoerd waarin alle gekozen parameters zijn gevarieerd binnen vooraf gestelde bandbreedtes. Op basis van de berekende modefficiënties voor zowel stikstof als fosfor voor een aantal specifieke meetpunten met langjarige meetreeksen is vervolgens het beste model gekozen wat als basis heeft gediend voor de uiteindelijke bronnenanalyse (Siderius et al., 2011).

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 de beste 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:

Landsysteem:

- Bemesting
- Atmosferische depositie

- Kwel
- Infiltratie van oppervlaktewater
- Bodem

Oppervlaktewatersysteem:

- Landsysteem (uit- en afspoelend water)
- Atmosferische depositie
- Puntbronnen
- Inlaat (van gebiedsvreemd water)
- 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 was altijd inzicht te krijgen in effecten van het mestbeleid op de oppervlaktewaterkwaliteit. Hiervoor zijn in een scenarioberekening met het modelinstrumentarium de mestgiften uit de 2^e helft van de jaren tachtig gecontinueerd tot 2010, gecombineerd met de bijbehorende gewasopnamen. De berekende N- en P-concentraties als gevolg van het continueren van de mestgiften 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. Hiervan zijn de bronnen die stuurbaar zijn in scenarioanalyses gereduceerd tot een realistisch minimaal niveau. Dit zijn de bronnen bemesting en atmosferische depositie. Met het gekalibreerde modelinstrumentarium is berekend welk effect de bronreducties hebben op de hoeveelheid nutriënten in de Drentse Aa. Dit geeft inzicht in de effecten van potentiële maatregelen voor verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit.

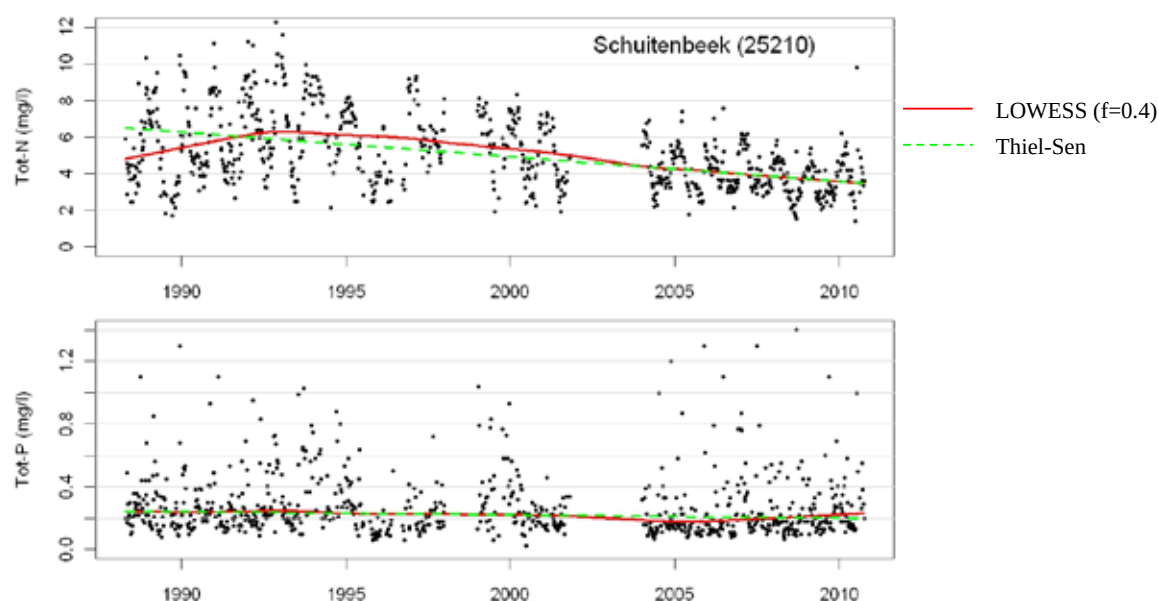
4 Data-analyse

4.1 Oppervlaktewaterkwaliteit van de Schuitenbeek

Een belangrijke vraag voor 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 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).

4.1.1 Langjarige waarnemingen

In figuur 4.1 is de langjarige meetreeks van totaal-stikstof en totaal-fosfor in de Schuitenbeek op de beneden-stroomse meetlocatie 25210 (zie hoofdstuk 2, Figuur 2.1) weergegeven. Op de meetwaarden van deze meetlocatie is een trendanalyse uitgevoerd.



Figuur 4.1

Trendanalyse van het totaal-stikstofgehalte en totaal-fosforgehalte in het uitstroompunt van de Schuitenbeek (meetlocatie 25210).

De trend is bepaald met twee verschillende methodes: de Thiel-Sen hellingschatter en de LOWESS. De Thiel-Sen hellingschatter (Hirsch et al., 1982) is een robuuste non-parametrische trendschatter. Robuust betekent dat de methode weinig gevoelig is voor extreme waarden en perioden zonder metingen in de meetreeks, dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld lineaire regressie. Non-parametrisch wil zeggen dat de dataset niet normaal verdeeld hoeft te zijn. De Thiel-Sen hellingschatter bepaalt de mediane trend uit alle mogelijke trends tussen onderlinge datapunten en komt zo tot een trendlijn. De LOWESS (LOcally WEighted Scatterplot Smoothing) is een kromme trendlijn gebaseerd op het 'lopend' fitten van polynomen (krommen) op een steeds opschuivend gedeelte van de meetreeks (Cleveland, 1979). Het principe lijkt op een lopend gemiddelde of een lopende

mediaan, waarbij voor een steeds één tijdstap opschuivend deel van de meetreeks het gemiddelde of de mediaan wordt berekend. De zogenaamde 'smoothing span' parameter bepaalt de grootte van de subdataset rond het centrale datapunt dat meedoet met het fitten van de polynoom. De gebruikte spanwijdte voor de LOWESS is in ons geval 0,4 jaar.

Uit de trendanalyse van de langjarige meetreeksen in de Schuitenbeek op meetlocatie 25210 blijkt dat voor totaal-stikstof vanaf 1988 een significante daling van de waargenomen concentraties in het oppervlaktewater optreedt (Figuur 4.1 en Tabel 4.1). Echter, voor de periode 1988 - 1992 is een stijging in de gemeten stikstofconcentraties waarneembaar. Dit is goed te zien op basis van het verschil tussen de LOWESS en de Thiel-Sen hellinglijn voor die periode. De stijging van de stikstofconcentratie in de beginperiode van de waarnemingen kan worden veroorzaakt doordat de hoge mestgiften in de periode voor de intrede van het mestbeleid in 1987 via het bodemsysteem na-ijlt richting het oppervlaktewatersysteem. De neerwaartse trend vanaf 1992 is waarschijnlijk toe te schrijven aan de afgenomen bemesting door het mestbeleid, aangezien bemesting een zeer belangrijke nutriëntenbron is (zie bronnenanalyse in hoofdstuk 6).

Voor totaal-fosfor wordt, op basis van de langjarige meetreeksen in de Schuitenbeek op meetlocatie 25210, geen significante trend gevonden. Niet voor de gehele waarnemingsperiode (1988 - 2010) noch voor de periode 2000 - 2010 (Tabel 4.1). Opvallend is dat voor de gehele meetperiode (1988 - 2010) een afname van de fosforconcentraties is waar te nemen (negatieve hellingshoek), maar dat voor de meetperiode van deze studie (2004 - 2010) een toename van de fosforconcentraties is waar te nemen (positieve hellingshoek).

Tabel 4.1

De sterkte en significantie van de trend in de gemeten totaal-N- en totaal-P-concentraties op de benedenstroomse meetlocatie 25210 voor de jaren 1988 - 2010 en 2000 - 2010. De SMK-tau waarde geeft de richting en sterkte van de trend. Negatief betekent een neerwaartse trend en positief een opwaartse trend, berekend met de Seasonal Mann Kendall test. De p-waarde geeft de significantie van de trend.

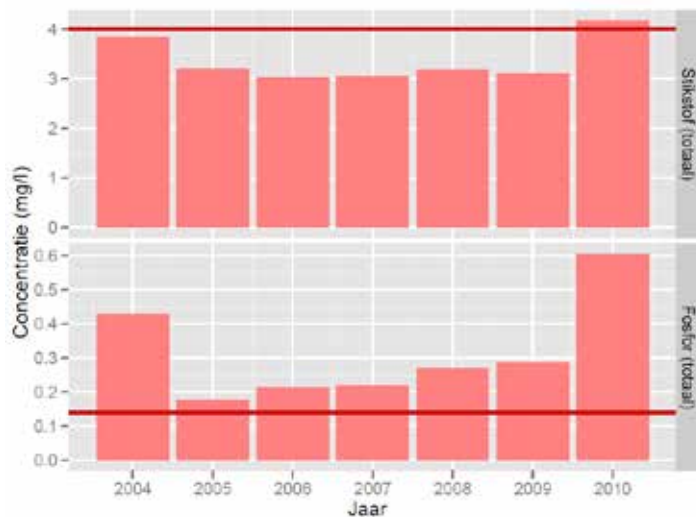
	Stikstof (N)		Fosfor (P)	
	1988-2010	2000-2010	1988-2010	2000-2010
SMK-tau	-0,44	-0,42	-0,097	0,047
p	0,00	$1,6 \cdot 10^{-7}$	0,046	0,56

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

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

4.1.1 Gemiddelde concentraties in het gebied

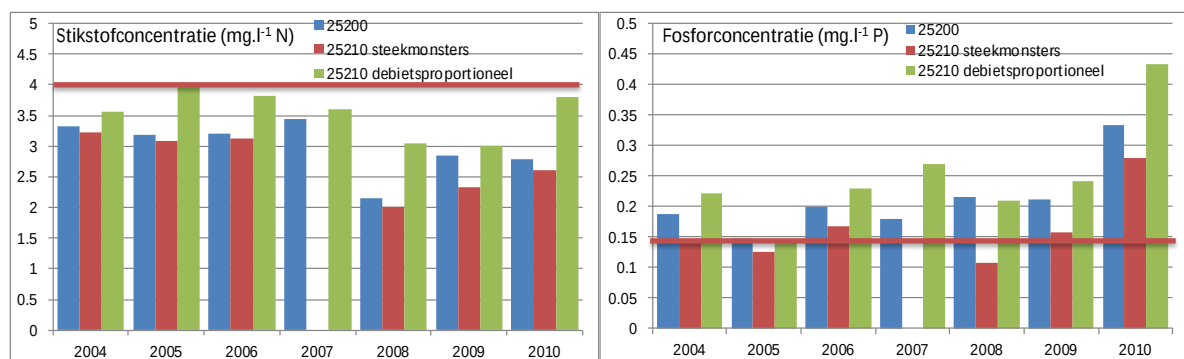
In figuur 4.2 zijn de gemeten gemiddelde stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater voor het zomerhalfjaar voor de Schuitenbeek voor de periode 2004 - 2010 (meetperiode project Monitoring Stroomgebieden) voor alle meetlocaties in het stroomgebied weergegeven. Hieruit blijkt dat voor stikstof, ondanks de hoge concentraties, de norm van $4,0 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N}$ voor het zomerhalfjaar, op één jaar na (2010), wordt gehaald. Voor fosfor wordt voor ieder jaar vanaf de meetperiode van 2004 de norm overschreden. Bovendien neemt vanaf 2005 de zomergemiddelde fosfaatconcentratie jaarlijks toe. In 2010 wordt de norm voor fosfor met een factor 3 overschreden. Over de gehele periode (2004 - 2010) wordt een zomerhalfjaargemiddelde van $3,5 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N}$ en $0,29 \text{ mg.l}^{-1} \text{ P}$ gevonden. De stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar zitten daarmee onder de norm van $4,0 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N}$. De fosforconcentraties in het zomerhalfjaar zitten (ruim) boven de norm van $0,14 \text{ mg.l}^{-1} \text{ P}$.



Figuur 4.2

Gemeten zomergemiddelde concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor alle meetlocaties in de Schuivenbeek. De rode lijn geeft de gebiedspecifieke norm weer.

Benedenstrooms zijn de stikstof- en fosforconcentraties in het algemeen lager dan op basis van alle meetlocaties in de Schuivenbeek (Figuur 4.3). Retentie (processen in het oppervlaktewater die er voor zorgen dat nutriënten worden vastgelegd of verdwijnen) is verantwoordelijk voor dit verschil.



Figuur 4.3

Gemeten zomergemiddelde concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor de twee benedenstroomse meetlocaties in de Schuivenbeek. De rode lijn geeft de gebiedspecifieke norm weer.

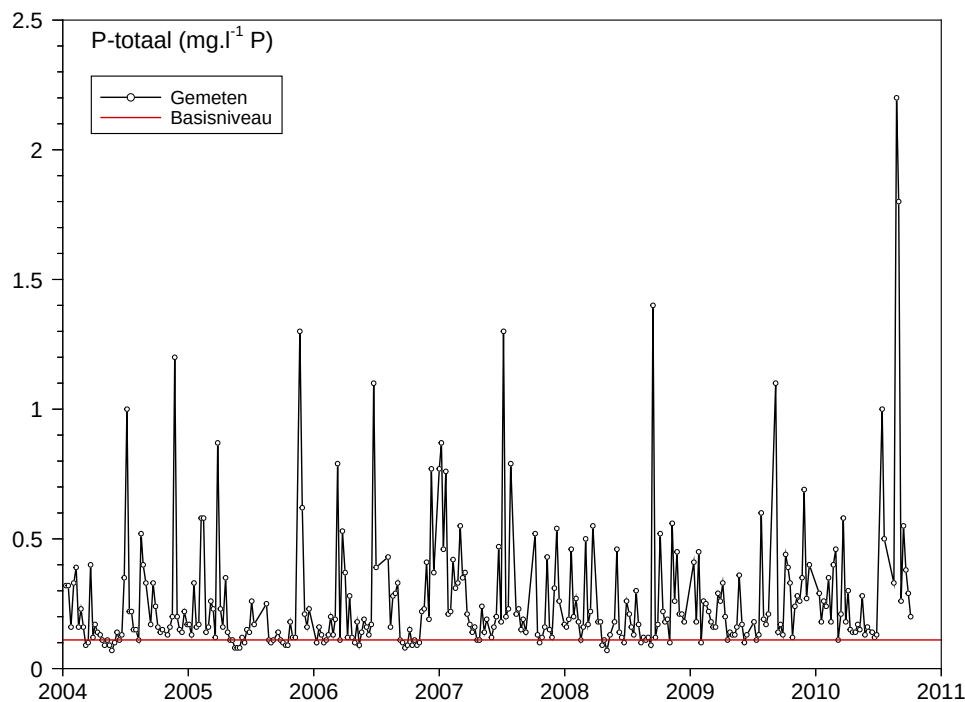
Geheel benedenstrooms in de Schuivenbeek bevinden zich in de periode 2004 - 2010 twee meetlocaties voor waterkwaliteit (Figuur 4.8). Dit zijn de meetlocaties 25200 en 25210. Op meetlocatie 25210 wordt zowel een twee-wekelijks steekmonster genomen als een wekelijks debietsproportionele verzamelmonster (Tabel 4.2). Op de twee meetlocaties benedenstrooms wordt over de gehele periode (2004 - 2010) een zomerhalfjaargemiddelde van 3,2 mg.l⁻¹ N en 0,22 mg.l⁻¹ P gevonden. De stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar zitten daarmee onder de norm van 4,0 mg.l⁻¹ N. De fosforconcentraties in het zomerhalfjaar zitten echter boven de norm van 0,14 mg.l⁻¹ P.

Tabel 4.2*Overzicht van de meetlocaties benedenstrooms in de Schuitenbeek.*

Meetlocatie	25200	25210	25210 (CMS)
Meetfrequentie	Twee-wekelijks	Twee-wekelijks	Wekelijks
Meetmethode	Steekmonster	Steekmonster	Debietsproportioneel verzamelmonster
Gemiddelde zomerconcentratie stikstof (mg.l^{-1} N-totaal)	3,05	2,79	3,52
Gemiddelde zomerconcentratie fosfor (mg.l^{-1} P-totaal)	0,204	0,171	0,250

Toch zijn de verschillen in meetwaarden tussen de verschillende meetpunten benedenstrooms nog groot (Figuur 4.3). In het algemeen zijn de debietsproportionele metingen (wekelijkse verzamelmonsters) hoger dan de steekmonsters. Dit geeft aan dat pieken in concentraties worden gemist in de steekmonsters.

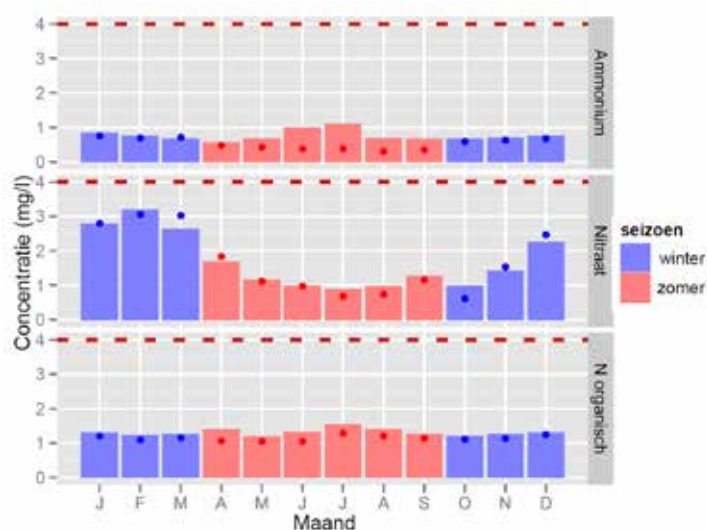
In de meetperiode van het project Monitoring Stroomgebieden (2004 - 2010) is voor fosfor weer een stijging in concentraties zichtbaar (Figuur 4.2 en 4.2). Deze stijging wordt voor een deel veroorzaakt door hoge pieken van fosforconcentraties in de zomerperiode (vooral zomer 2010).

**Figuur 4.4***Gemeten debietsproportionele fosforconcentraties benedenstrooms in het oppervlaktewater in de Schuitenbeek.*

In figuur 4.5 zijn de gemeten gemiddelde maandelijkse concentraties van de afzonderlijke stikstofcomponenten (ammonium, nitraat en organische stikstof) in het oppervlaktewater van de Schuitenbeek weergegeven. Het overgrote deel van de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater bestaat uit nitraat. Met name in de

winterperiode worden de hoogste nitraatconcentraties waargenomen. In de zomerperiode echter wordt het aandeel nitraat kleiner (nitraatconcentraties schommelen dan tussen de 1 en 2 mg.l⁻¹ N) en wordt het aandeel nitraat gelijk aan het aandeel organische stikstof. Het aandeel ammonium is door het gehele jaar redelijk stabiel met een waarde van 0,5 - 1,0 mg.l⁻¹ N. Deze waarden voor ammonium liggen hoger dan door landbouw beïnvloede beken in het zandgebied in Nederland. Deze beken bevatten een jaargemiddelde concentratie van ongeveer 0,2 mg.l⁻¹ NH₄-N (Klein et al., in voorbereiding). Analyse van de samenstelling van het grondwater laat zien dat de hogere ammoniumconcentraties in het oppervlaktewater worden veroorzaakt door de bijdrage van het grondwater (bijlage 1).

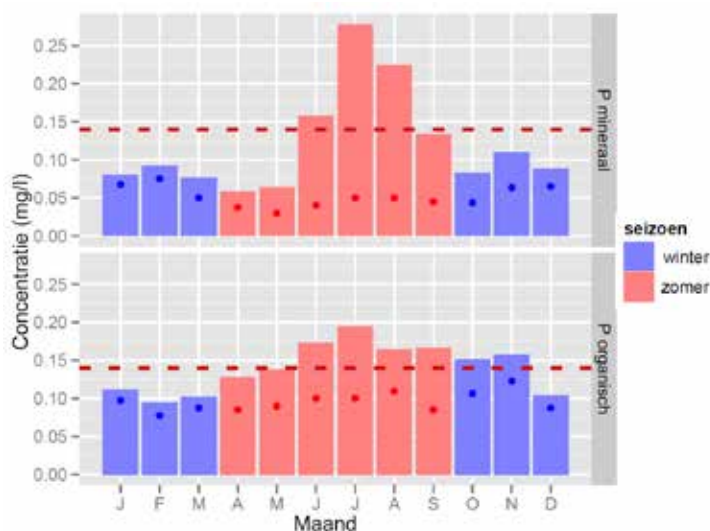
De seizoendynamiek van stikstof wordt vooral veroorzaakt door de dynamiek in nitraat en niet door organisch stikstof of ammonium (Figuur 4.5). In de Schuitenbeek bestaat het grootste deel van de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater uit nitraat. Met name in de winterperiode worden de hoogste nitraatconcentraties waargenomen. Dit komt doordat in de winterperiode de stikstofuitspoeling (vooral in de vorm van nitraat) uit het landsysteem het grootst is, terwijl de processen die zorgen voor vastlegging of verdwijning van stikstof in het oppervlaktewater in de winterperiode juist gering zijn. In de zomerperiode is dit juist omgekeerd: minder uitspoeling vanuit het landsysteem en grotere vastlegging en verdwijning in het oppervlaktewater. In de zomerperiode schommelt de nitraatconcentratie in de Schuitenbeek tussen de 1 en 1,5 mg.l⁻¹ N. In die periode is het aandeel nitraat gelijk aan het aandeel organische stikstof. In de Schuitenbeek wordt door het gehele jaar een stabiele fractie organische stikstof van circa 1 mg.l⁻¹ N waargenomen.



Figuur 4.5

Gemeten gemiddelde maandelijkse ammonium-, nitraat- en organische stikstofconcentratie in het oppervlaktewater van de Schuitenbeek over de periode 2004 – 2010.

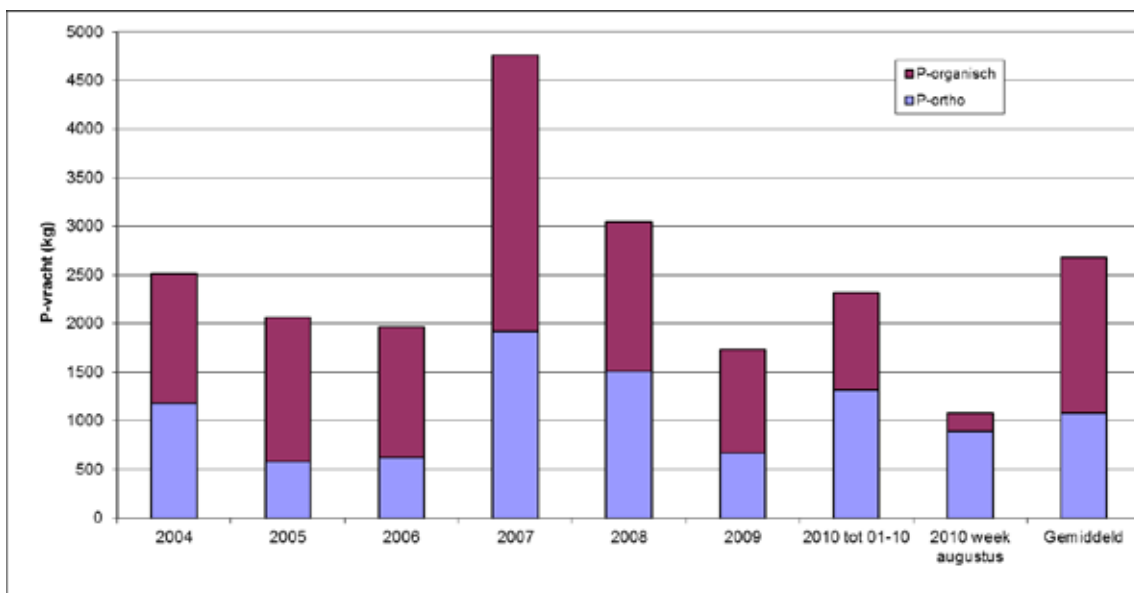
In de Schuitenbeek is het aandeel opgeloste organische fosforconcentratie en particulier gebonden fosfor min of meer even groot als het aandeel ortho-fosfaat (Figuur 4.6). Het aandeel organische fosforconcentratie en particulier gebonden fosfor is echter door het gehele jaar redelijk stabiel met een waarde tussen 0,10 en 0,15 mg.l⁻¹ P. Het aandeel ortho-fosfaat laat met name in de zomerperiode hogere waarden zien. Een aantal van die hoge uitschieters van ortho-fosfaat kunnen worden verklaard door intensieve regenbuien in de zomer. Zo zijn de hoge pieken van gemeten fosforconcentraties in juli en augustus 2010 duidelijk gerelateerd aan de grote hoeveelheid neerslag in die periode.



Figuur 4.6

Gemeten gemiddelde maandelijkse ortho-fosfaat- en organischefosforconcentratie in het oppervlaktewater van de Schuivenbeek over de periode 2004 – 2010.

Hoe belangrijk de bijdrage van extreme neerslag is op de fosforconcentraties in het oppervlaktewater wordt weergegeven door figuur 4.7. Eind augustus 2010 werd tijdens een extreem natte week (178 mm gemeten in neerslagstation Putten over de periode 23 t/m 31 augustus 2010) een fosforvrucht in het stroomgebied van de Schuivenbeek van 1.100 kg fosfor bepaald. Dit is vergelijkbaar met bijna de helft van de totale fosforvrucht in 2010 en 40% van de gemiddelde fosforvrucht over de periode 2004 - 2009 (Figuur 4.7). De werkelijke fosforvrucht in die week lag nog hoger. Doordat de meetsluis volledig was verdrongen kon de waterafvoer niet goed worden bepaald en is daardoor onderschat.



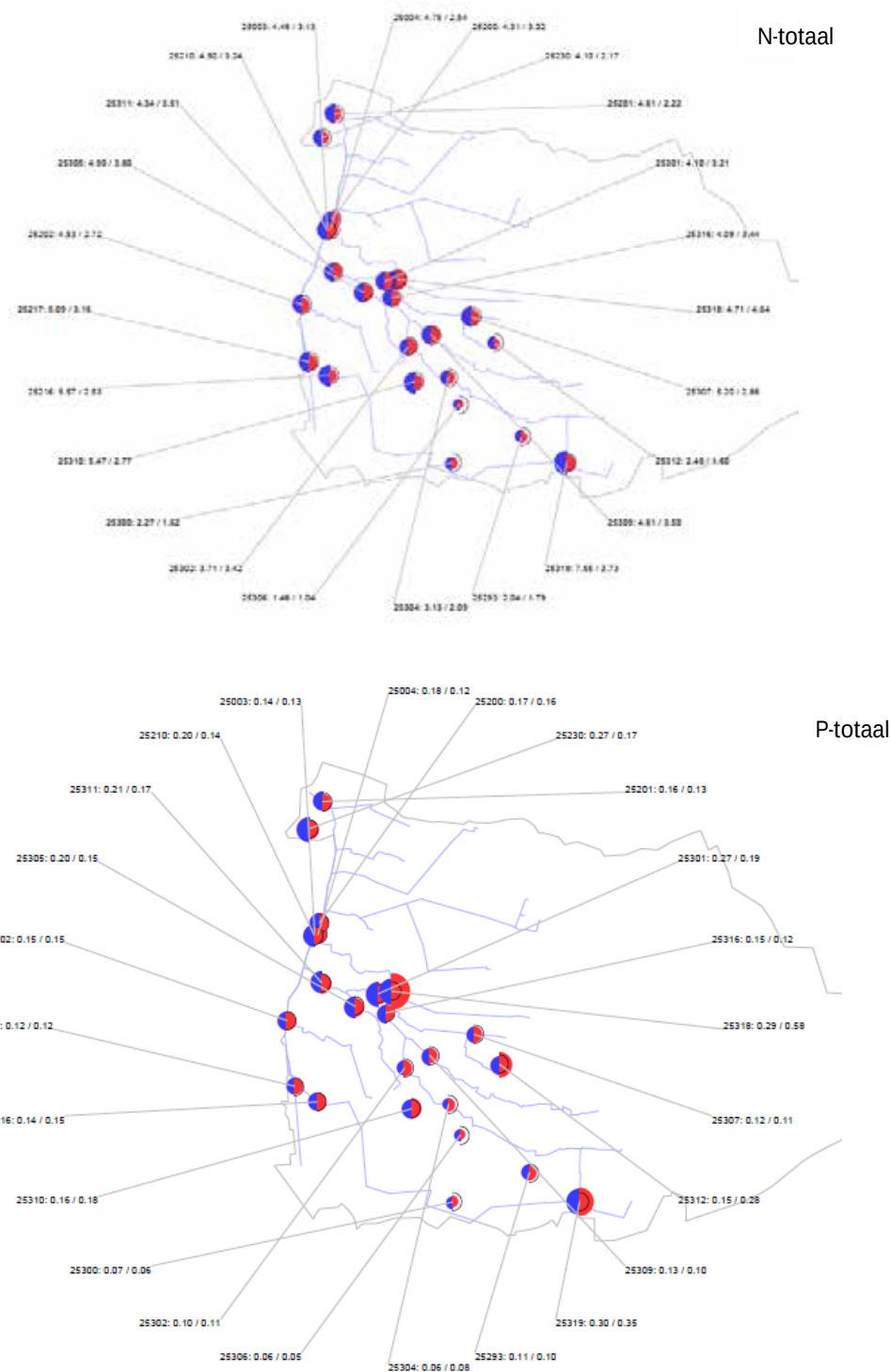
Figuur 4.7

De fosforvrucht voor Schuivenbeek per jaar en de vrucht na een extreme regenbui in augustus 2010.

4.1.1 Ruimtelijke patronen van de concentraties in het gebied

Behalve in tijd, verschillen de nutriëntenconcentraties ook nog eens in de ruimte. In de Schuitenbeek is de ruimtelijke variatie in fosforconcentraties groter dan de ruimtelijke variatie in stikstofconcentraties (Figuur 4.8). In de meetpunten in de natuurgebieden (meetlocaties 25293, 25300 en 25306) worden zowel lage stikstof- als lage fosforconcentraties waargenomen. Opvallend is dat in de meetpunten in de landbouwgebieden (meetlocaties 25307 en 25312) relatief lage stikstofconcentraties worden gemeten. Met name in meetlocatie 25312 zijn de stikstofconcentraties laag. De gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar is 2,9 en 1,6 mg.l⁻¹ N voor respectievelijk meetlocatie 25307 en 25312, terwijl in het benedenstroomse meetpunt 25210 een gemiddelde stikstofconcentratie van 3,2 mg.l⁻¹ N in de periode 2004 - 2010 is gemeten. Alleen in meetlocatie 25307 is de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie in het winterhalfjaar (5,2 mg.l⁻¹ N) hoger dan benedenstrooms (4,5 mg.l⁻¹ N). In het bovenstroomse meetpunt 25319, nabij het industrieel terrein van Struik Foods B.V., worden ook hogere stikstofconcentraties waargenomen. Vooral de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie in het winterhalfjaar (7,6 mg.l⁻¹ N) is hoger dan benedenstrooms. Afstroming van nutriënten door afspoeling over verhard oppervlak zou hiervoor een verklaring kunnen zijn.

In de twee meetpunten in het landbouwgebied worden lagere fosforconcentraties in het winterhalfjaar gemeten (0,12 en 0,15 mg.l⁻¹ P voor respectievelijk meetlocatie 25307 en 25312) dan geheel benedenstrooms (0,20 mg.l⁻¹ P). Opvallend is dat in meetlocatie 25312 hogere fosforconcentraties in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar worden gemeten. Dit fenomeen openbaart zich op nog enkele meetlocaties; vooral in de bovenloop van het beekstelsel (Figuur 4.8). De hoogste fosforconcentraties worden echter in een zijtak van de Veldbeek (meetlocatie 25318) en in de Veldbeek zelf (25311) gemeten. In 2004 wordt in meetlocatie 25318 uitschieters van fosfor van 9 mg.l⁻¹ P-totaal gemeten. Deze uitschieters komen overeen met zeer hoge waarnemingen van het ammoniumgehalte (ca. 40 mg.l⁻¹ NH₄-N) en zijn terug te leiden tot een illegale dumping van de inhoud van een giertank in de beek nabij meetlocatie 25318. Ook in 2010 worden hoge fosforconcentraties op meetlocatie 25318 gemeten (circa 5 mg.l⁻¹ P-totaal). Deze hoge concentraties werden waarschijnlijk veroorzaakt door droge omstandigheden in juni en begin juli 2010 ('indikking' van het water), gevolgd door extreem hoge neerslaghoeveelheden in midden juli en eind augustus 2010, waardoor veel fosfor uit de bodem is gespoeld.

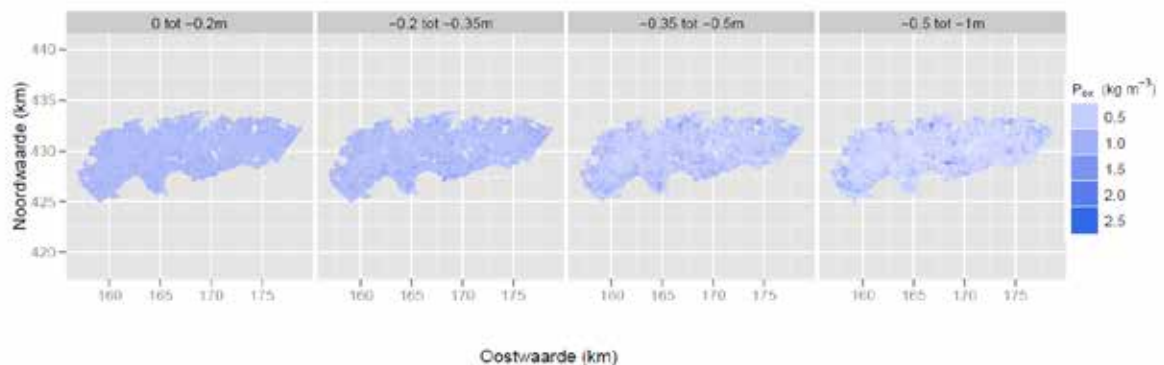


Figuur 4.8

Gemiddelde gemeten winterhalfjaar (blauw) en zomerhalfjaar (rood) totaal-stikstof- (boven) en totaal-fosforconcentratie (onder) in het oppervlaktewater van de Schuivenbeek over de periode 2004 - 2010. De norm voor het zomerhalfjaar is als een cirkel weergegeven.

4.2 Fosfaatvoorraad in de bodem

Op basis van de metingen naar de fosfaatvoorraad in de bodem op ruim 300 locaties in het stroomgebied van de Schuitenbeek (Breeuwsma et al., 1989) zijn de fosfaatkarakteristieken in het modelsysteem aangepast. Figuur 4.9 toont de verdeling van fosfaat over de verschillende bodemlagen. Het meeste fosfaat ligt opgeslagen in de bovenste 35 cm. Dat is ook te verwachten omdat bemesting een belangrijke bron is voor fosfor in de bodem en fosfor zich goed bindt aan het complex van organische stof, wat zich vooral in het bovenste deel van de bodem (bouwvoor) bevindt. Op een aantal locaties zijn ook op grotere dieptes (dieper dan -0,50 m-m.v.) nog aanzienlijke fosforgehaltes aanwezig (Walvoort et al., 2010). De aanpassingen van het modelsysteem hebben geleid tot een betere inschatting van de uitspoeling van fosfaat uit de bodem.



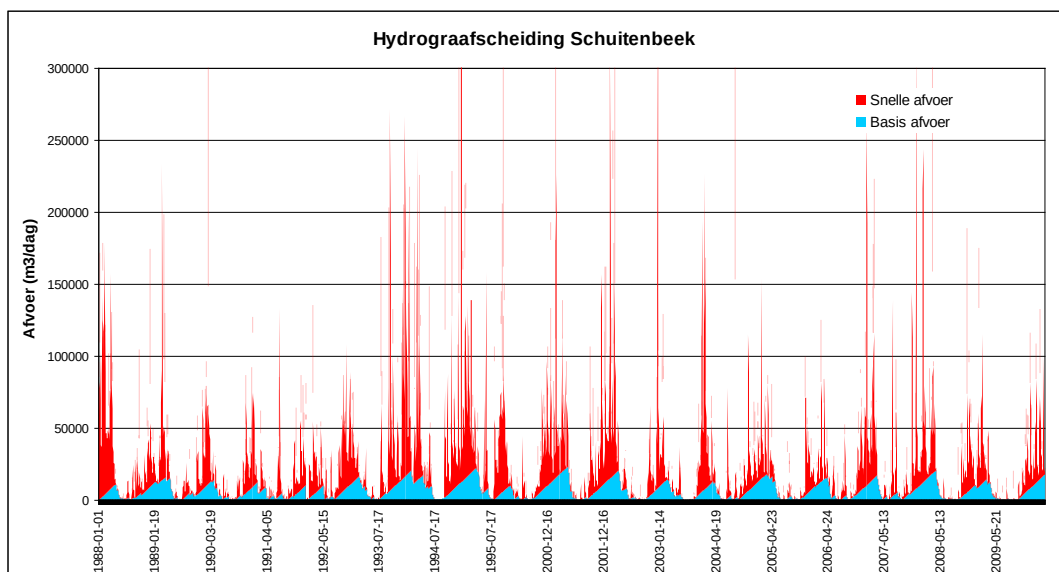
Figuur 4.9

Ruimtelijke kaart van het geïnterpoleerde oxalaat-extraheerbare fosfor (in kg.m^{-3} P) voor de vier bodemdieptes voor de Schuitenbeek.

4.3 Routes nutriënten in de Schuitenbeek

In figuur 4.10 zijn de resultaten van de Hydrograph Separation te zien voor het meetpunt 25210 (uitstroompunt Schuitenbeek) voor de gehele meetperiode 1988 - 2010. Dit figuur maakt alleen onderscheid tussen basisafvoer en snelle afvoer. Om meer onderscheid aan te kunnen brengen in de klasse 'snel' is deze klasse verder onderverdeeld. Van elk meetmoment is daarom ook het percentage snelle afvoer ten opzichte van de basisafvoer berekend. De afvoermetingen zijn vervolgens ingedeeld in zeven klassen. Op deze manier wordt onderscheid aangebracht tussen extreem natte periodes en minder extreme situaties en kunnen patronen in waterkwaliteit goed worden bekeken. Het onderscheid binnen de klasse met snelle afvoer is gemaakt aan de hand van het percentage snelle afvoer ten opzichte van de totale afvoer:

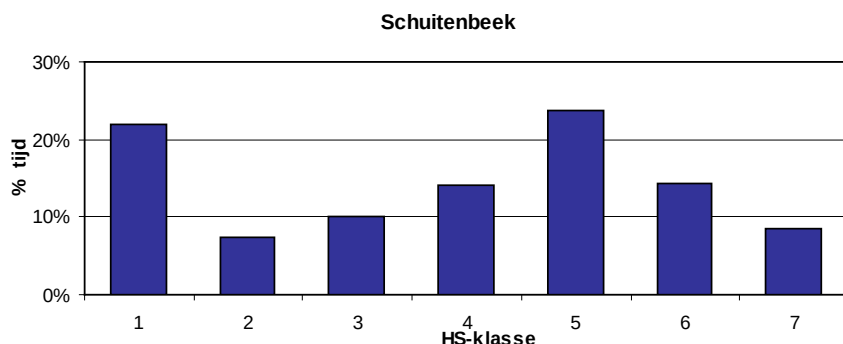
- Klasse 1: 100% basisafvoer
- Klasse 2: 0-20% snelle afvoer
- Klasse 3: 20-40% snelle afvoer
- Klasse 4: 40-60% snelle afvoer
- Klasse 5: 60-80% snelle afvoer
- Klasse 6: 80-90% snelle afvoer
- Klasse 7: 90-100% snelle afvoer



Figuur 4.10

De resultaten van de Hydrograph Separation voor de periode 1988 - 2010 voor de meetlocatie 25210 (uitstroompunt Schuitenbeek).

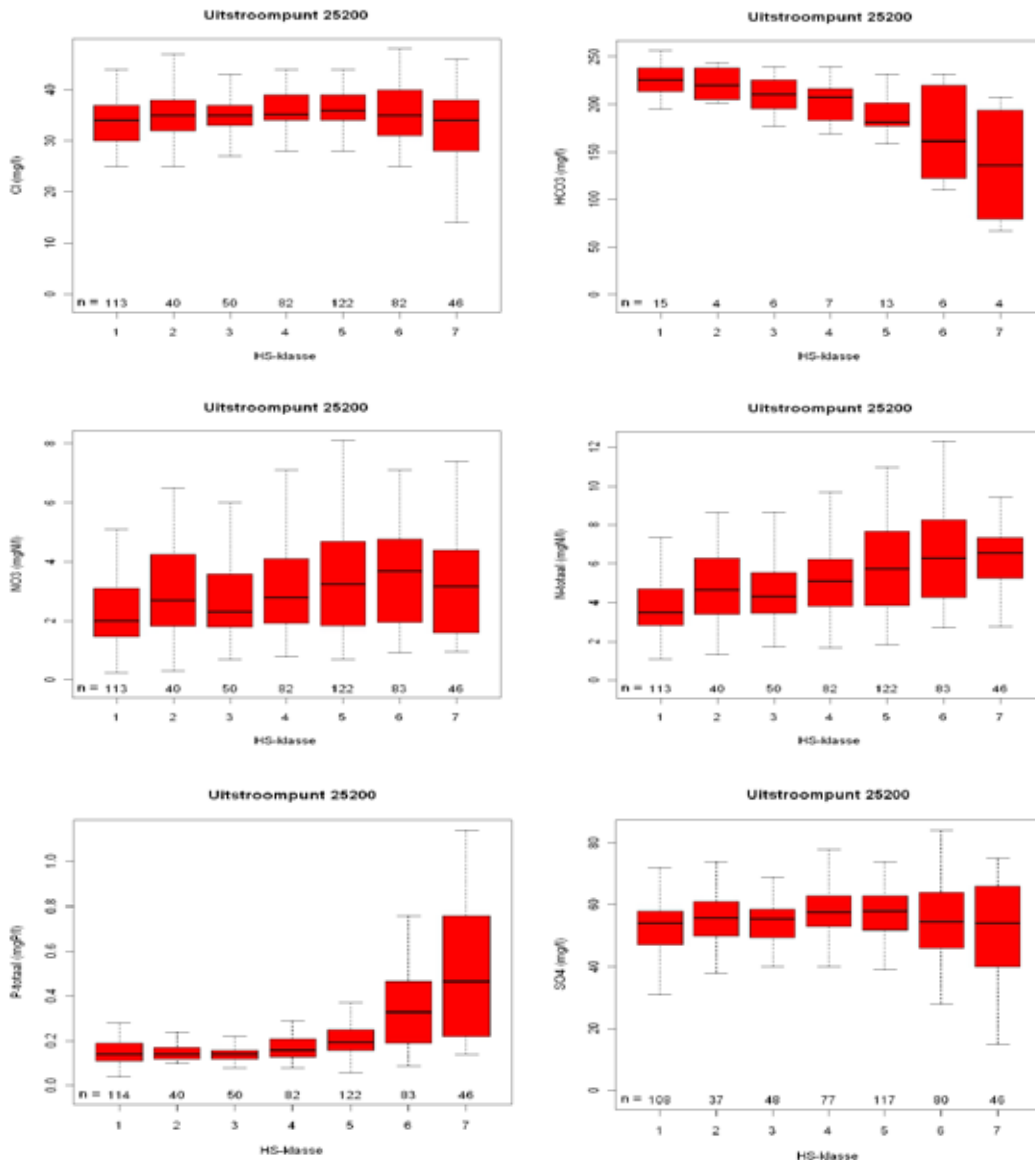
In figuur 4.11 is de frequentieverdeling van de HS-klassen in de tijd over de periode 1988 - 2010 weer-gegeven. Hieruit blijkt dat de klassen 2 en 7 minder vaak voorkomen en met name de klassen 1 en 5 vaker voorkomen. Dit betreft dus de tijd dat een HS-klasse voorkomt en zegt niets over de bijbehorende afvoer.



Figuur 4.11

Frequentieverdeling van de afvoerklasse over de periode 1988 - 2010 voor meetlocatie 25210 (uitstroompunt Schuitenbeek).

In figuur 4.12 zijn voor het uitstroompunt van de Schuitenbeek de boxplots afgebeeld van de oppervlaktewater-kwaliteit in de zeven afvoerklassen. Hierin is te zien dat er duidelijke relaties bestaan tussen de stofconcentraties en de afvoerklassen. Ook is het opvallend dat deze relatie verschillend is voor de verschillende stoffen. De meeste verschillen kunnen worden verklaard aan de hand van de verschillen in chemische eigenschappen van de stoffen en de hieraan gerelateerd concentraties in het bovenste, ondiepe en diepe grondwater. Uit de gevonden patronen kunnen dus routes worden afgeleid.



Figuur 4.12

Boxplots van de verschillende stoffen op uitstroompunt 25200.

Er is een duidelijk patroon in *bicarbonaatconcentratie* te zien in figuur 4.12. De boxplots geven een afname van de bicarbonaatconcentraties te zien met de toename van de afvoer. Van circa 235 mg.l⁻¹ in HS-klasse 1 tot circa 130 mg.l⁻¹ in HS-klasse 7. Het waargenomen patroon wordt veroorzaakt door de hoge bicarbonaatconcentraties in het diepe grondwater. Naarmate het aandeel snelle afvoer groter wordt, gaat het oppervlaktewater qua samenstelling meer lijken op regenwater (weinig bicarbonaat en een lage pH). Het gevonden patroon in de bicarbonaatconcentratie is daarmee een bewijs dat het conceptuele model dat een relatie legt tussen de afvoer van een beek en de bijdrage van het grondwater voor de Schuitensbeek opgaat.

Totaal-stikstof en *nitraat* laten in de boxplots van figuur 4.12 een lichte toename in concentratie zien met de HS-klassen. Het patroon voor totaal-stikstof is wat duidelijker dan voor nitraat. In de monsters met alleen basisafvoer (HS-klasse 1) zit al relatief veel totaal-stikstof en nitraat (mediaanconcentratie van respectievelijk circa 3,3 en 2,0 mg.l⁻¹). Dit loopt richting HS-klasse 7 op tot circa 6,0 en 3,5 mg.l⁻¹. De relatief hoge stikstofconcentraties in de lage HS-klassen kunnen er op duiden dat het diepere grondwater ook nitraat bevat. Het verschil tussen nitraat en totaal-stikstof kan worden toegeschreven aan ammonium en organische stikstof.

Daarnaast kan geconcludeerd worden dat door de afwezigheid van 'echte' basisafvoer (zie voorgaande paragraaf) in klasse 1 relatief ondiep grondwater wordt afgevoerd. De toename van nitraat richting HS-klasse 7 wijst op een groter wordende inbreng van het bovenste grondwater waar de hoogste stikstofconcentraties voorkomen.

De *fosforconcentratie* neemt in alle drie de figuren toe van HS-klasse 5 t/m HS-klasse 7. In de HS-klasse 1 t/m HS-klasse 4 zijn de concentraties constant. Dit betekent dat fosfor alleen onder de nattere omstandigheden, wanneer het bovenste grondwater en de onverzadigde zone meedoen, tot afvoer komt. In figuur 4.12 laat de mediane waarde een stijging zien van circa 0,15 mg.l⁻¹ tot 0,35 mg.l⁻¹. In uitstroompunt 25200 bedraagt de maximale mediaanconcentratie circa 0,45 mg.l⁻¹ in HS-klasse 7.

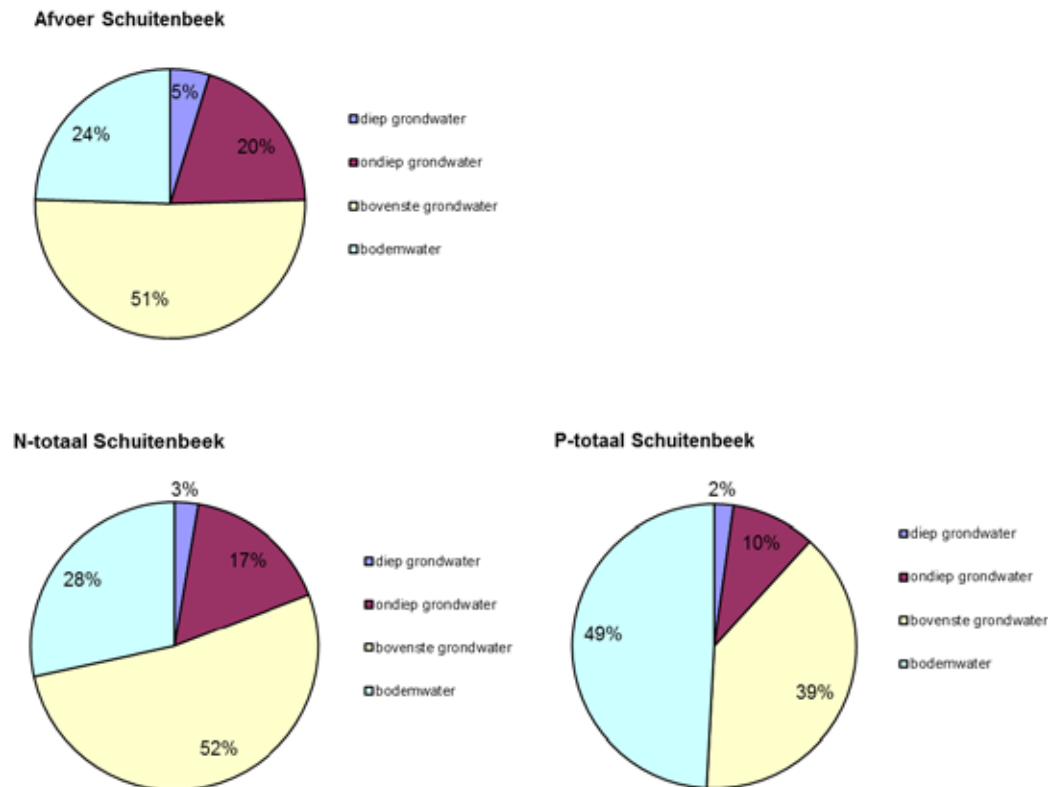
De *sulfaatconcentraties* in de afvoerklassen verschillen niet veel van elkaar. Het patroon in de boxplots over de HS-klassen is zelfs opvallend vlak. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de sulfaatconcentraties in het grondwater op verschillende diepteniveaus niet veel van elkaar verschillen. Wel is een afname van het 25-percentiel en de minimum waarde te zien vanaf HS-klasse 5 en hoger. De sulfaatconcentraties zijn hoog te noemen met mediaanconcentraties tussen 50 mg.l⁻¹ en 60 mg.l⁻¹. De hoge sulfaatconcentraties kunnen diverse oorzaken hebben. Sulfaat in het grondwater komt grotendeels uit atmosferische depositie en mest, maar de verhoogde concentraties op grotere diepte worden mede veroorzaakt door pyrietoxidatie. Het diepere grondwater bevat over het algemeen wat lagere sulfaatconcentraties dan het ondiepe grondwater.

Het uitstroompunt van de Schuitenbeek geeft geen patroon in *chlorideconcentratie*. De spreiding van de chlorideconcentratie lijkt iets toe te nemen bij hogere HS-klassen. In alle klassen ligt de mediaan chlorideconcentratie rond de 35 mg.l⁻¹.

Aan de hand van de chemische samenstelling van de verschillende HS-klassen kan globaal worden afgeleid welke routes hebben bijgedragen aan de afvoer van de Schuitenbeek in de periode 1988 - 2010. Bicarbonaat geeft hiervoor het duidelijkste voorbeeld. De concentraties in de Schuitenbeek zijn hoog bij lage afvoerklassen. Dit is de signatuur van diep grondwater. Met het toenemen van de afvoer nemen de concentraties af. Het aandeel van ondiep grondwater en oppervlakkige afstroming met lage bicarbonaatconcentraties wordt steeds groter. Het is dus mogelijk om op basis van de HS-klasse een afleiding te maken over de bijdrage van de grondwater diepteniveaus (ofwel routes door de ondergrond) aan de totale ontwatering. Hierbij is een indeling in bovenste grondwater, ondiep grondwater en diep grondwater aangehouden. Deze indeling is aangevuld met een vierde niveau: 'water vanuit de onverzadigde zone' ofwel onverzadigde afvoer, hier bodemwater genoemd. De menging van het water vanuit deze vier diepteniveaus resulteren in vier typen oppervlaktewater, namelijk:

- Oppervlaktewater dat voornamelijk bestaat uit diep grondwater (alleen onder zeer droge omstandigheden).
- Oppervlaktewater dat bestaat uit diep grondwater en ondiep grondwater.
- Oppervlaktewater dat bestaat uit diep grondwater, ondiep grondwater en bovenste grondwater.
- Oppervlaktewater dat bestaat uit diep grondwater, ondiep grondwater, bovenste grondwater en bodemwater, inclusief afvoer via maaiveld (alleen onder zeer natte omstandigheden).

Op ieder moment is er sprake van één van bovenstaande omstandigheden. Op basis van gemeten concentraties en afvoerreksen valt een schatting te maken van karakteristieke debieten en concentraties van deze oppervlaktewatertypes. Hiermee kan het belang van de verschillende routes aan de totale afvoer van de beek worden berekend.

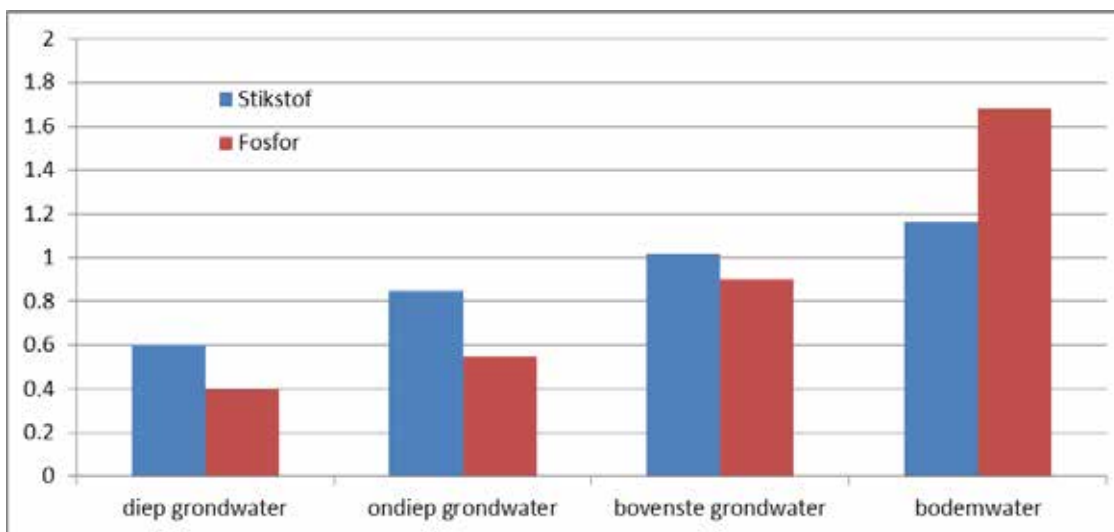


Figuur 4.13

Bijdrage van de verschillende diepteniveaus aan de totale vracht van de Schuitenbeek (periode 1988 - 2010).

Wanneer al het water van Schuitenbeek zou worden opgevangen, dan zou circa een kwart van de afvoer vanuit de onverzadigde zone (bodemwater) komen, circa de helft vanuit het bovenste grondwater, 20% vanuit het ondiepe grondwater en 5% vanuit het diepe grondwater (Figuur 4.13). In dit opgevangen water zou circa de helft (49%) van het fosfor uit de onverzadigde zone (bodemwater) komen, 39% uit het bovenste grondwater, 10% uit het ondiepe grondwater en slechts 2% uit het diepe grondwater. Aangezien het percentage fosfor dat uit het bovenste grondwater komt groter is dan het percentage water, kan worden geconcludeerd dat het water uit de onverzadigde zone (bodemwater) een relatief belangrijke bijdrage levert aan de fosforvracht. Het diepere grondwater (ondiep grondwater en diep grondwater, gezamenlijk 25% waterafvoer en 12% fosforvracht) levert een relatief kleine bijdrage (Figuur 4.14). Dit is in overeenstemming met meetgegevens, waaruit blijkt dat in het stroomgebied van de Schuitenbeek de fosforconcentraties van het diepere grondwater laag zijn.

De verdeling van de totale vracht van stikstof lijkt op de verdeling van de waterafvoer. Alle vier de grondwaterdiepteniveaus dragen bij. De vracht van stikstof kent wel een relatief grotere bijdrage uit het bovenste grondwater en de onverzadigde zone (bodemwater).



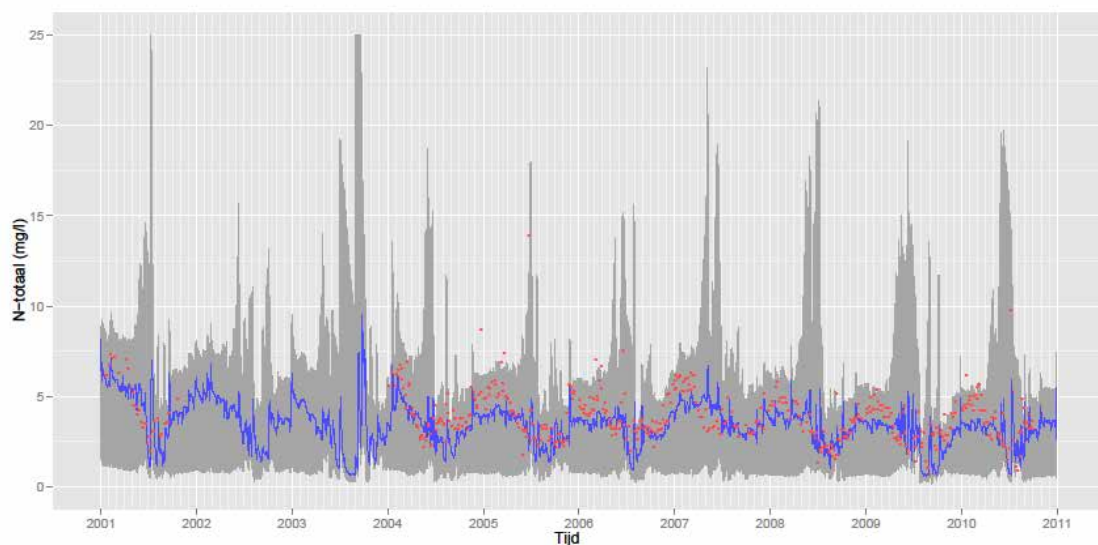
Figuur 4.14

Relatieve bijdrage van de route op stikstof en fosfor (<1: route minder belangrijk; >1: route meer belangrijk.

5 Beperkte kalibratie van het model-instrumentarium

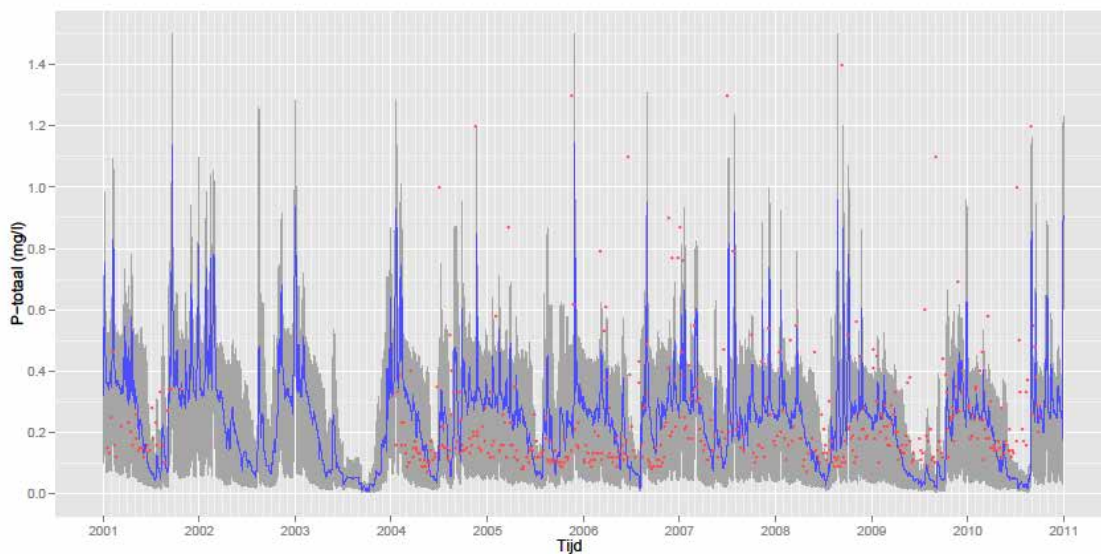
5.1 Beperkte kalibratie en resulterende oppervlaktewaterkwaliteit

In figuur 5.1 en 5.2 zijn de gemeten en berekende stikstof- en fosforconcentraties in de benedenstroomse meetlocatie na beperkte kalibratie weergegeven. Voor zowel stikstof als fosfor laat het model eenzelfde dynamiek zien als de metingen. Ook worden de minima en maxima goed benaderd. De modelefficiënties (statistische maat voor de correctheid van het modelsysteem) zijn voor stikstof beter dan voor fosfor. Een reden hiervoor is dat metingen voor fosfor bestaan uit meerdere pieken welke vaak lokaal worden veroorzaakt (bijvoorbeeld lokale regenbui en/of lokale maaiveldafstroming), terwijl het modelsysteem regionaal is geparametriseerd. Echter, zowel voor stikstof als voor fosfor worden modelefficiënties bepaald die groter zijn dan nul. De modelefficiëntie kan worden gezien als een gestandaardiseerde versie van de totale fout. Een waarde van nul geeft aan dat het gemiddelde van de waarnemingen een even goede predictor is als de modelvoorspellingen. Een waarde boven de nul geeft aan het model een meerwaarde biedt boven het gemiddelde van de metingen.



Figuur 5.1

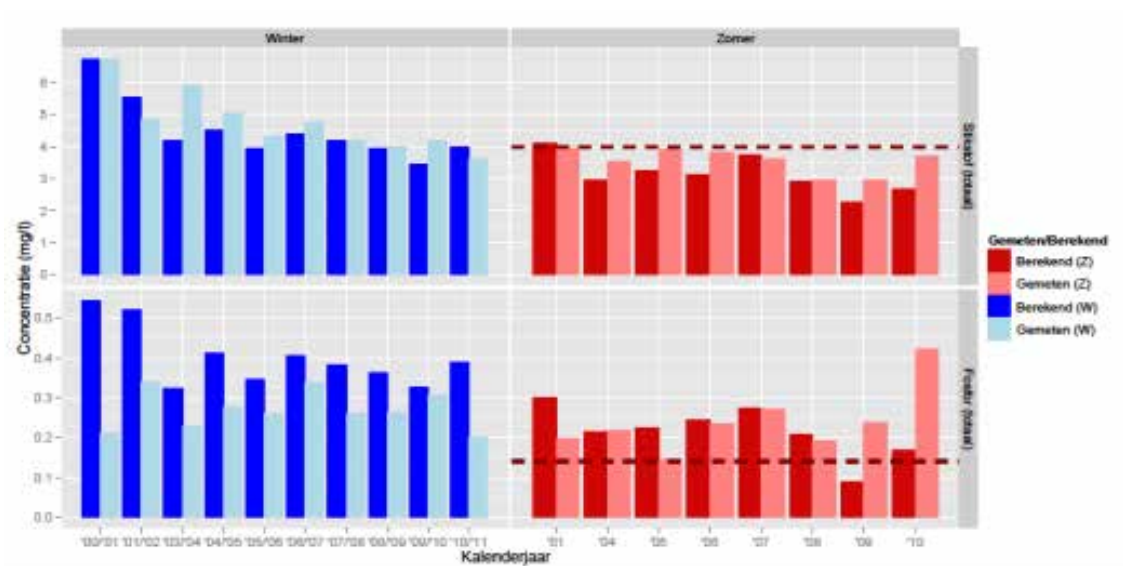
Gemeten (rode punten) en berekende stikstofconcentraties in de benedenstroomse debietsproportionele meetlocatie (25210) van de Schuitenbeek. De blauwe lijn geeft de resultaten van de beste modelvariant, het grijze gebied geeft de bandbreedte van de resultaten van de overige doorgerekende modelvarianten.



Figuur 5.2

Gemeten (rode punten) en berekende fosforconcentraties in de benedenstroomse debietsproportionele meetlocatie (25210) van de Schuivenbeek. De blauwe lijn geeft de resultaten van de beste modelvariant, het grijze gebied geeft de bandbreedte van de resultaten van de overige doorgerekende modelvarianten.

In figuur 5.3 zijn de gemeten en berekende stikstof- en fosforconcentraties per zomerhalfjaar en winterhalfjaar weergegeven. Hieruit blijkt dat de stikstof- en fosforconcentraties voor het zomerhalfjaar goed worden benaderd door het model. Voor de laatste twee jaren (2009 en 2010) wordt de fosforconcentratie door het model echter onderschat. De stikstofconcentraties in het winterhalfjaar worden over de gehele periode (licht) onderschat. Daarentegen, de fosforconcentraties in het winterhalfjaar worden over de gehele periode overschat. Met name de in de winter van 2000/2001 en 2001/2002 worden deze overschat. Opvallend is wel dat voor diezelfde periode hogere stikstofconcentraties worden waargenomen (Figuur 5.3).



Figuur 5.3

Gemeten en berekende stikstof- en fosforconcentraties per winter- en zomerhalfjaar in de benedenstroomse debietsproportionele meetlocatie (25210) van de Schuivenbeek na beperkte kalibratie.

5.2 Water- en nutriëntenbalansen van oppervlaktewater en bodem

In tabel 5.1 is de berekende stikstofbalans van het oppervlaktewatersysteem van de Schuitenbeek voor de periode 2001 - 2010 weergegeven. De stikstofbelasting van het oppervlaktewater komt voor het overgrote deel vanuit het landsysteem. Daarnaast is nog een klein deel van de stikstofbelasting afkomstig van atmosferische depositie. Van de totale hoeveelheid stikstof die het stroomgebied inkomt, verlaat uiteindelijk 75% het gebied weer in opgeloste fractie. Dit resulteert voor het stroomgebied van de Schuitenbeek in een langjarige stikstofretentie van 25%.

Tabel 5.1

Berekende stikstofbalans van het oppervlaktewatersysteem over de periode 2001 – 2010.

Oppervlakte balansgebied: 7286 ha			
IN	10 ³ kg N	UIT	10 ³ kg N
Aanvoer vanuit landsysteem	74,5	Afvoer opgeloste fractie	58,5
Atmosferische depositie	4,2	Afvoer biomassa	0,1
RWZI	0,0	Sedimentatie organisch	17,6
Inlaat	0,0	Infiltratie naar landsysteem	0,0
		Denitrificatie	2,6
Totaal	78,7	Totaal	79,1
Berging			-0,4

In tabel 5.2 is de berekende fosforbalans van het oppervlaktewatersysteem van de Schuitenbeek voor de periode 2001 - 2010 weergegeven. De fosforbelasting van het oppervlaktewater komt voor 100% vanuit het landsysteem. Naast de belasting van het landsysteem zijn geen andere bronnen van fosfor in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Van de totale hoeveelheid fosfor die het stroomgebied inkomt, verlaat uiteindelijk 71% het gebied weer in opgeloste fractie. Dit resulteert voor het stroomgebied van de Schuitenbeek in een langjarige fosforretentie van 29%.

Tabel 5.2

Berekende fosforbalans van het oppervlaktewatersysteem over de periode 2001- 2010.

Oppervlakte balansgebied: 7286 ha			
IN	10 ³ kg P	UIT	10 ³ kg P
Aanvoer vanuit landsysteem	8,14	Afvoer opgeloste fractie	5,81
RWZI	0,00	Afvoer biomassa	0,02
Inlaat	0,00	Sedimentatie organisch	1,69
		Sedimentatie mineraal	0,63
		Infiltratie naar landsysteem	0,00
Totaal	8,14	Totaal	8,16
Berging			-0,02

In tabel 5.3 is de berekende stikstofbalans van het landsysteem van het stroomgebied van de Schuitenbeek voor de periode 2001 - 2010 weergegeven. Hierin is te zien dat bemesting de grootste aanvoerpost is voor stikstof in het gebied. Voor de afvoer zijn dit de posten gewasonttrekking en denitrificatie. Voor de uitspoeling naar het oppervlaktewatersysteem blijft ca. 11 kg.ha⁻¹ N over. In bijlage 2 zijn de stikstofbalansen voor het landsysteem, uitgesplitst naar landgebruik grasland, maïs, akkerbouw en natuur, voor het stroomgebied van de Schuitenbeek weergegeven. Op basis van die balansen blijkt dat met name onder grasland- en akkerbouwgronden de stikstofuitspoeling het hoogst is.

Tabel 5.3

Berekende stikstofbalans van het landsysteem over de periode 2001 – 2010.

Oppervlakte balansgebied: 6781 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ N	UIT	kg.ha ⁻¹ N
Atmosferische depositie	31,6	Oppervlakkige afspoeling	0,0
Bemesting	180,8	Ammoniakvervluchtiging	.*
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0,1	Denitrificatie	47,1
Kwel	0,2	Netto gewasonttrekking	127,2
		Afvoer door ontwatering	11,1
		Wegzijging	3,5
Totaal	212,8	Totaal	188,9
Berging			23,8

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

In tabel 5.4 is de berekende fosforbalans van het landsysteem van het stroomgebied van de Schuitenbeek voor de periode 2001 - 2010 weergegeven. Ook hier is de bemesting de grootste aanvoerpost voor fosfor in het gebied. Voor de afvoer is dit de post gewasonttrekking. Voor de uitspoeling naar het oppervlaktewatersysteem blijft ruim 1 kg.ha⁻¹ P over. In bijlage 2 zijn de fosforbalansen voor het landsysteem, uitgesplitst naar landgebruik grasland, maïs, akkerbouw en natuur, voor het stroomgebied van de Schuitenbeek weergegeven. Op basis van die balansen blijkt dat vooral bij akkerbouwgronden de fosforuitspoeling het hoogst is.

Tabel 5.4

Berekende fosforbalans van het landsysteem over de periode 2001 – 2010.

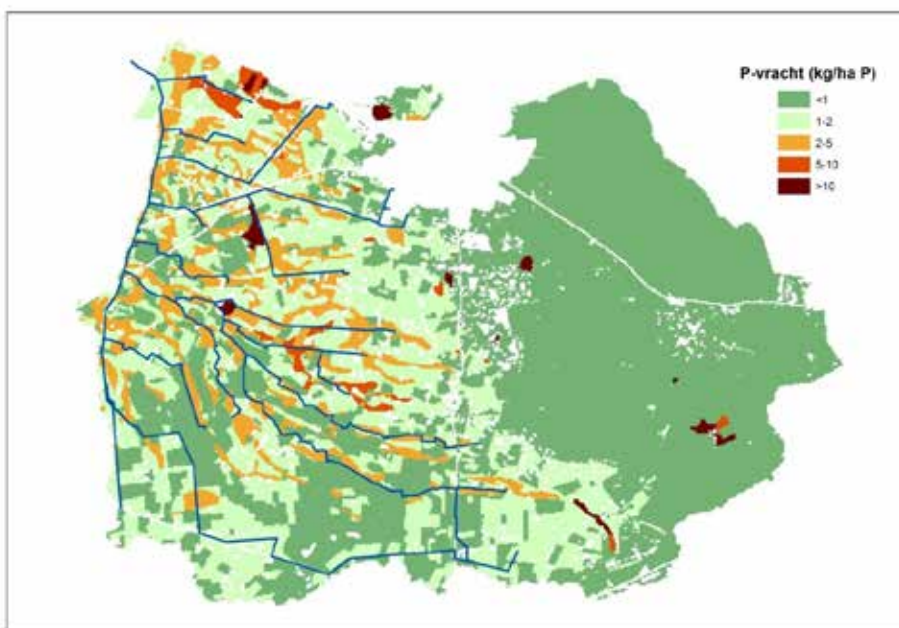
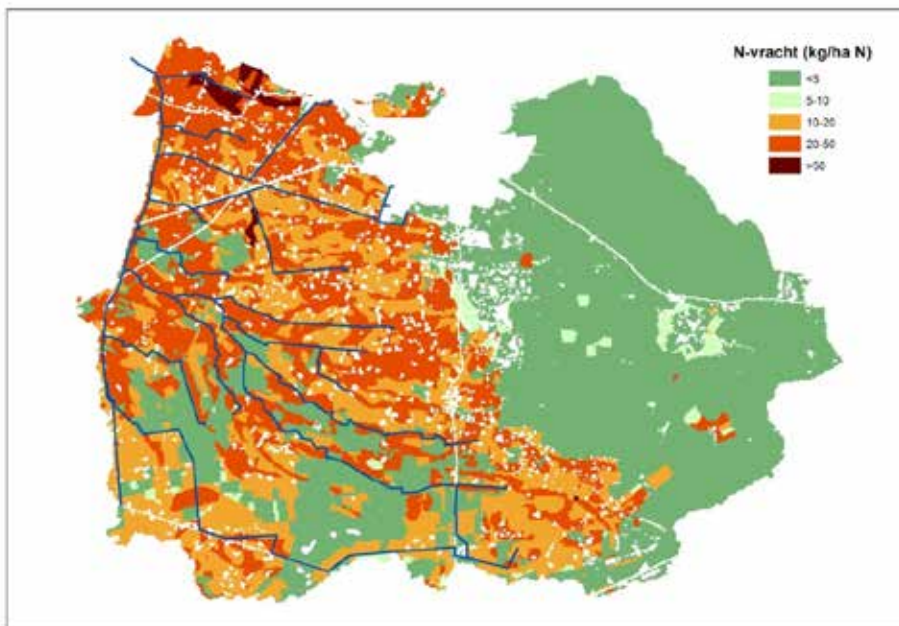
Oppervlakte balansgebied: 6781 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ P	UIT	kg.ha ⁻¹ P
Bemesting	21,03	Oppervlakkige afspoeling	0,00
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0,00	Netto gewasonttrekking	18,21
Kwel	0,14	Afvoer door ontwatering	1,22
		Wegzijging	0,22
Totaal	21,18	Totaal	19,65
Berging			1,51

5.3 Berekende routes nutriënten in de Drentse Aa

In figuur 5.4 is de gemiddelde stikstof- en fosforvracht over de periode 2001 - 2010 ruimtelijk weergegeven. Hieruit blijkt dat de stikstofuitspoeling sterk is gerelateerd aan het landgebruik: laag in de natuurgebieden, hoog in de landbouwgebieden (westelijk deel van de Schuitenbeek). De stikstofuitspoeling blijkt vrij uniform verdeeld te zijn over deze gronden. Hydrologische omstandigheden (natte of droge bodems) lijken minder van belang voor stikstof. Voor de fosforuitspoeling ligt dit duidelijk anders. Uit figuur 5.4 blijkt dat de fosforuitspoeling is gerelateerd aan het voorkomen van landbouw in de (nattere) beekdalen. Dit gebied is ruimtelijk scherper begrensd dan het gebied met hogere stikstofuitspoeling. Uit de modelstudie blijkt dat het grootste deel van de fosforuitspoeling komt vanuit de uitspoeling van de fosforrijke ondiepe bodems die relatief hoge grondwaterstanden kent. Nadere beschouwing met het modelinstrumentarium laat zien dat deze hoge fosforuitspoeling komt vanuit de veengronden (in de beekdalen) en de zandgronden bestaande uit zwak lemige podzolgronden. Deze gronden beschikken over een lagere fosfaatbindingscapaciteit waardoor fosfor (in de vorm van fosfaat) hier makkelijker uitspoelt. Op basis van de schematisatie van het modelsysteem (Roelsma et al., 2006 en Roelsma et al., 2008) ligt een deel van de akkerbouwgewassen in de Schuitenbeek op deze gronden.

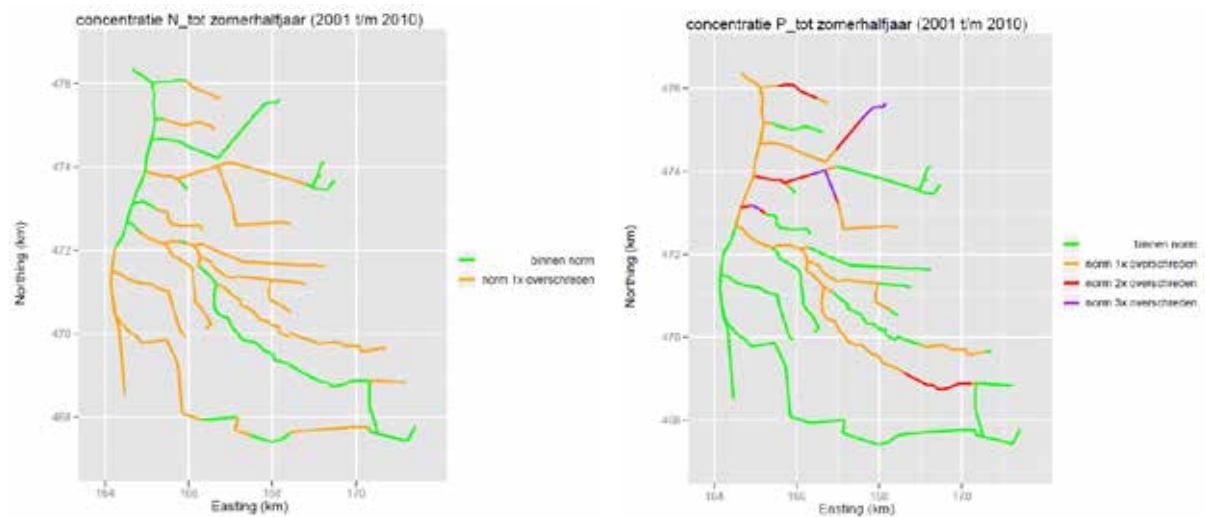
De door het modelinstrumentarium berekende routes van stikstof en fosfor in de Schuitenbeek vult de resultaten van de Hydrograph Separation, beschreven in hoofdstuk 4, goed aan. Bij de Hydrograph Separation ligt de nadruk op herkomst van de nutriënten gerelateerd aan het diepteniveau van het bodemsysteem. De door het modelinstrumentarium berekende routes laten zien dat herkomst van stikstof is gerelateerd aan landgebruik, terwijl de herkomst van fosfor vooral is gerelateerd aan de nattere beekdalen. Voor het nemen van maatregelen in een gebied (zie hoofdstuk 7) is dergelijke informatie waardevol.

In figuur 5.5 zijn de gesimuleerde stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewaterstelsel van de Schuitenbeek weergegeven. De simulaties van de nutriënten in het oppervlaktewater sluiten goed aan op de simulaties van de uitspoeling vanuit het landsysteem (Figuur 5.4). Uit figuur 5.5 blijkt dat bovenstrooms hogere concentraties worden bereikt dan benedenstrooms. Vooral in de Veldbeek worden hoge fosforconcentraties berekend. Deze hoge fosforconcentraties worden veroorzaakt door de daar aanwezige landbouwgebieden. Opvallend is dat de fosforconcentraties hoog blijven in de benedenstroomse delen van de Schuitenbeek. De kleine verblijftijden van het water en geringe aanwezigheid van waterplanten is hieraan debet.



Figuur 5.4

Berekende stikstof- en fosforvracht (in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N of P) in het stroomgebied van de Schuitembeek gemiddeld over de periode 2001 – 2010.



Figuur 5.5

Gesimuleerde stikstof- (links) en fosforconcentraties (rechts) voor het zomerhalfjaar in het oppervlaktewaterstelsel van de Schuitembeek gemiddeld over de periode 2001 – 2010.

6 Bronnenanalyse

6.1 Inleiding

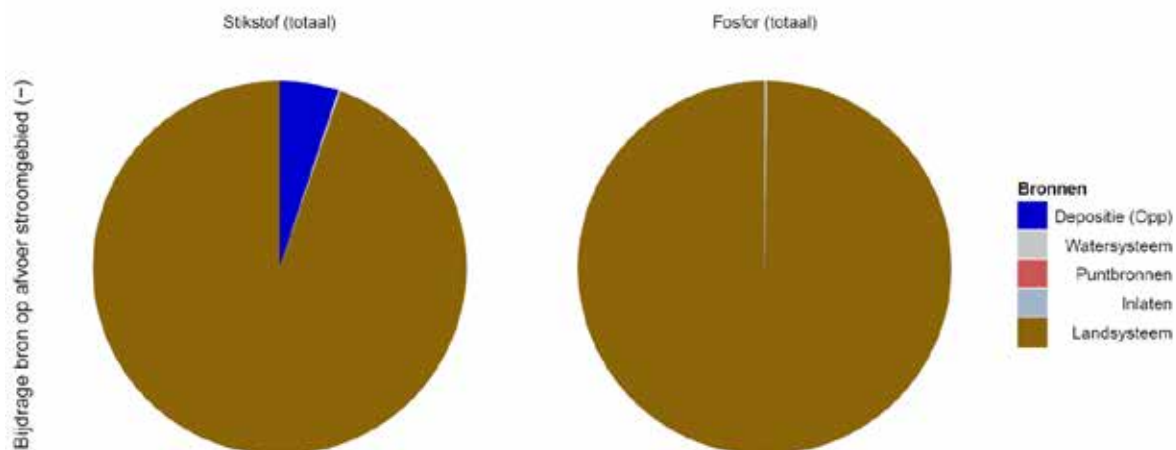
Op basis van het gekalibreerde modelinstrumentarium is een bronnenanalyse uitgevoerd om inzichtelijk te maken welke bronnen in welke mate bijdragen aan:

- de uit- en afspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem naar het oppervlaktewater, met als bronnen:
 - bemesting
 - atmosferische depositie
 - kwel
 - infiltratie van oppervlaktewater
 - bodem
- de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewatersysteem, met als bronnen:
 - landsysteem (uit- en afspoelend water)
 - atmosferische depositie
 - puntbronnen (bijv. RWZI)
 - inlaat (van rivierwater)
 - watersysteem (bergingsverandering in waterbodem, waterkolom en waterplanten)

Sommige bronnen kunnen ook gezien worden als een 'route', zoals de infiltratie van oppervlaktewater die feitelijk geen bron is voor de nutriëntenuitspoeling maar eerder een route omdat het geïnfiltreerde oppervlaktewater uiteindelijk weer uitspoelt. Voor het oppervlaktewater geldt hetzelfde voor de term watersysteem; het watersysteem zorgt voor tijdelijke opslag van nutriënten en is feitelijk geen bron.

6.2 Resultaten bronnenanalyse

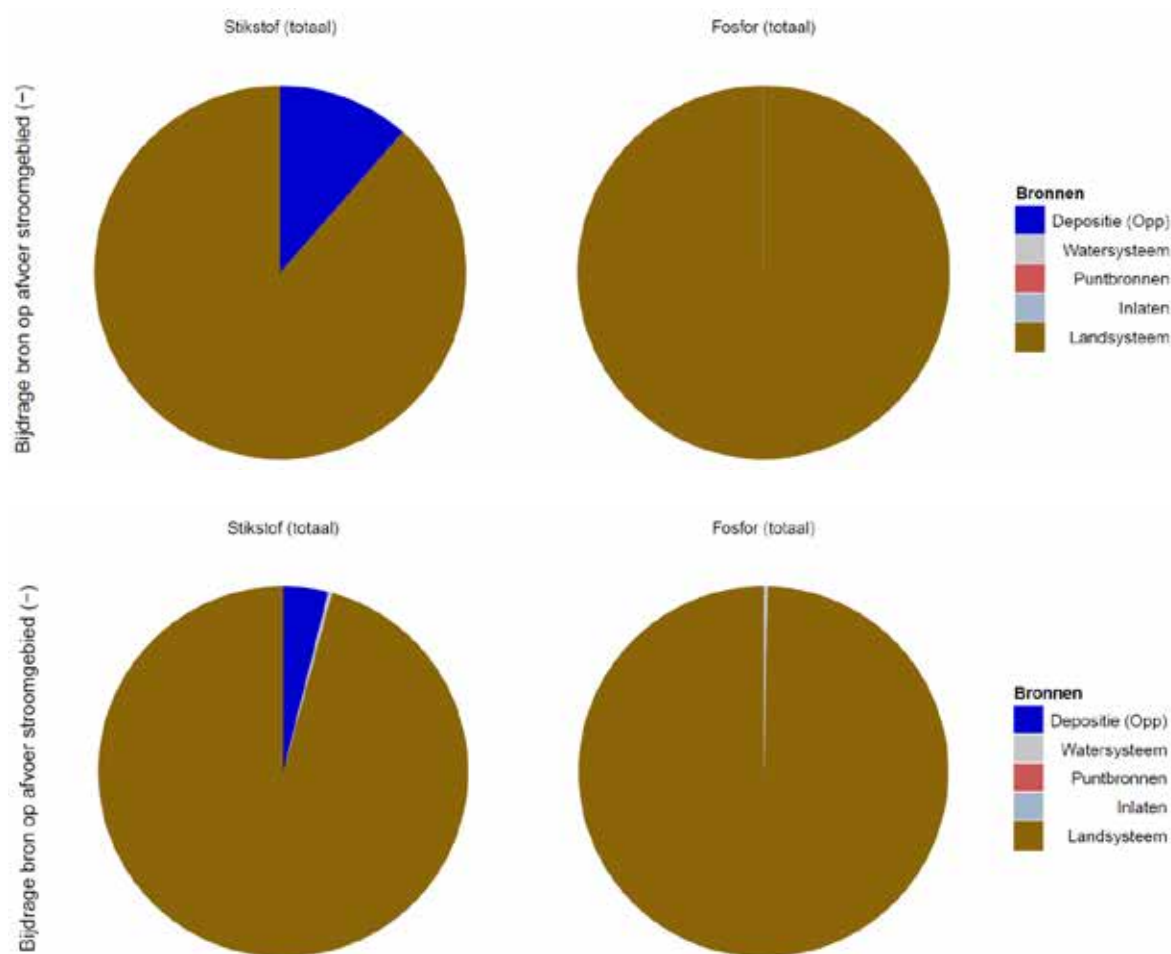
In figuur 6.1 zijn de resultaten van de bronnenanalyse voor de belasting van het oppervlaktewatersysteem voor het gehele stroomgebied als langjarig gemiddelden weergegeven. Hieruit blijkt dat in de Schuitenbeek geen belasting vanuit puntbronnen aanwezig is. Voor zowel stikstof als fosfor is de belasting vanuit het landsysteem de grootste bron.



Figuur 6.1

Bronnenanalyse langjarig gemiddeld (2001-2010) voor stikstof (links) en fosfor (rechts) voor de concentraties in het oppervlaktewater van de Schuivenbeek voor het gehele stroomgebied.

In figuur 6.2 zijn de resultaten van de bronnenanalyse voor de belasting van het oppervlaktewatersysteem voor het gehele stroomgebied als langjarig gemiddelden voor het zomer- en het winterhalfjaar weergegeven. Het beeld voor het zomer- en winterhalfjaar is min of meer gelijk aan het totale jaar (Figuur 6.1). De bijdrage van de bron atmosferische depositie is in het zomerhalfjaar echter iets groter omdat de nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem in het zomerhalfjaar kleiner is. Ook de voorraad van het watersysteem is in het zomerhalfjaar kleiner. Dit komt omdat in de zomer altijd sprake is van een neerslagtekort, waardoor minder water in het systeem aanwezig is.

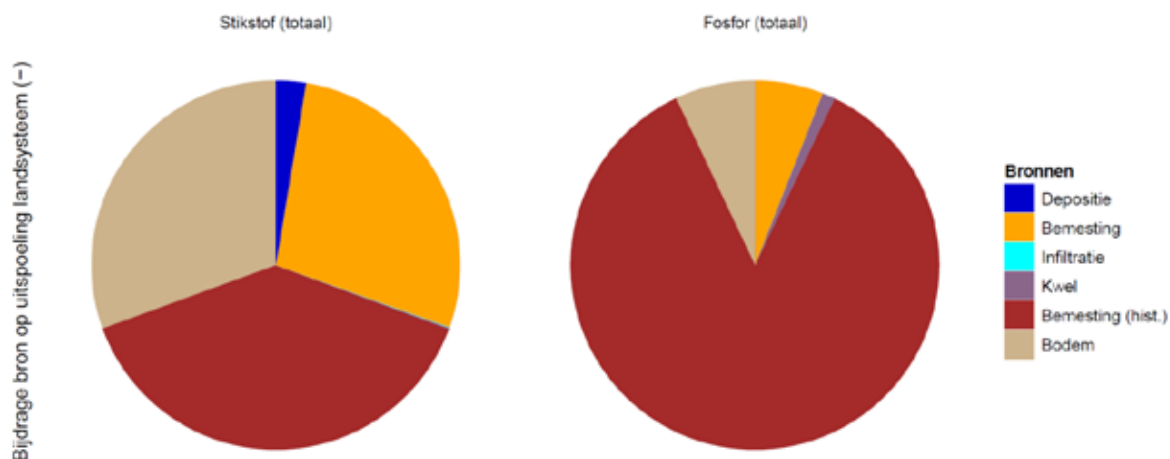


Figuur 6.2

Bronnenanalyse langjarig gemiddeld (2001-2010) voor stikstof (links) en fosfor (rechts) voor de concentraties in het oppervlaktewater van de Schuivenbeek voor het gehele stroomgebied voor het zomerhalfjaar (boven) en het winterhalfjaar (onder).

In figuur 6.3 zijn de resultaten van de bronnenanalyse voor de uitspoeling vanuit het bodemsysteem voor het gehele stroomgebied als langjarig gemiddelden weergegeven. Voor de bron landbouw is onderscheid gemaakt in de bron huidige bemesting en de bron historische bemesting (oplading van het bodemsysteem met stikstof en fosfor). Wat duidelijk opvalt is het verschil in de bron huidige bemesting voor stikstof (invloed van de bron) en fosfor (geringe invloed van de bron). De invloed van de bron historische bemesting is voor stikstof en fosfor juist omgekeerd: dominant voor fosfor, groot voor stikstof. Voor stikstof zijn de bronnen bemesting, historische bemesting en (natuurlijke) nalevering vanuit de bodem min of meer even groot, met elk een bijdrage van circa 30 - 35%. Voor stikstof is eveneens de bron atmosferische depositie relevant (5%).

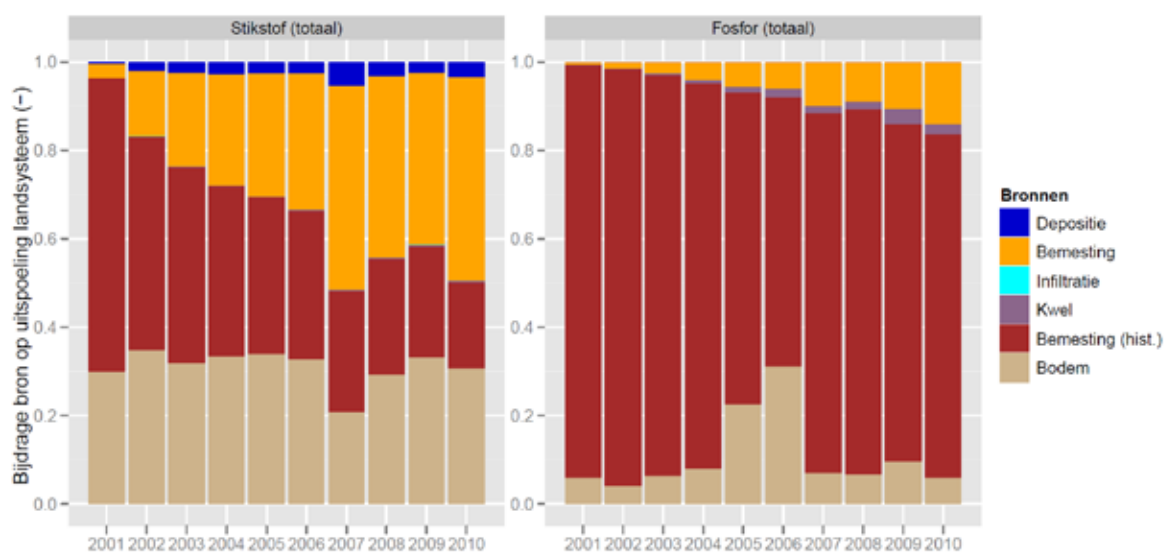
Bij fosfor is de historische bemesting (fosfaatoplading van de bodem) verreweg de grootste bron. Daarnaast is bij fosfor, in tegenstelling tot stikstof, ook de kwel nog een bron van (geringe) betekenis (<5%). Het bodemsysteem levert bij fosfor nog een kleine 10% na (Figuur 6.3).



Figuur 6.3

Bronnenanalyse langjarig gemiddeld (2001-2010) voor stikstof (links) en fosfor (rechts) voor de uitspoeling vanuit het bodemsysteem.

Van jaar tot jaar kan de bijdrage van de bronnen echter variëren (Figuur 6.4). De uitspoeling van stikstof en fosfor is niet alleen afhankelijk van de (sterkte van de) bron, maar ook van het specifieke weerjaar (bijvoorbeeld een nat jaar of juist een droog jaar).



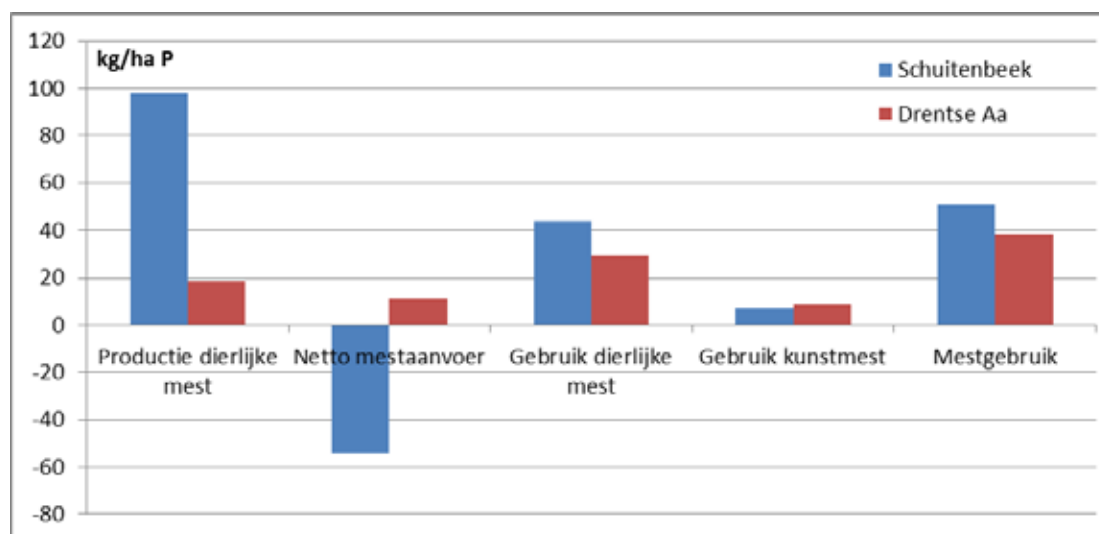
Figuur 6.4

Bronnenanalyse per jaar voor stikstof (links) en fosfor (rechts) voor de uitspoeling vanuit het bodemsysteem.

Voor de bron bodemvoorraad en historische bemesting kan jaarlijks sterk variëren. Zowel voor stikstof als voor fosfor nemen de bronnen bemesting en kwel toe in de periode 2001 - 2010, terwijl het aandeel van de bron historische bemesting juist afneemt. Hier kan het effect een rol spelen dat bij de bronnenanalyse in het modelsysteem vanaf 2001 de bronsterkte wordt bepaald. Het effect van de huidige bemesting wordt gaande van 2001 naar 2010 steeds sterker, terwijl die van de historische bemesting steeds meer afneemt.

Historische oplading van de bodem, zoals berekend door het modelsysteem, kan dan het aandeel van de bronnen mede bepalen.

Voor stikstof is de bemesting door de landbouw de belangrijkste bron van nutriënten in het oppervlaktewater. Voor fosfor is dit de historische bemesting door oplading van de bodem (Figuur 6.3). De mestproductie in het stroomgebied van de Schuitenbeek is hoog. Om toch aan de norm, gesteld in de mestwetgeving, te voldoen, moet het overschot aan dierlijke mest afgevoerd worden naar bedrijven die nog ruimte hebben om dierlijke mest te accepteren. Voor het gebied Schuitenbeek wordt het grootste deel van de geproduceerde mest buiten het gebied afgezet. Eén van de gebieden die netto dierlijke mest kan accepteren is het andere pilotgebied op zandgrond, namelijk de Drentse Aa. In de Drentse Aa wordt deze dierlijke mest afgezet in de akkerbouwgebieden (vooral in de aardappelteelt). Binnen de huidige mestwetgeving krijgen boeren die nog dierlijke mest kunnen gebruiken (aanvullen van de norm voor aanwenden van dierlijke mest) een financiële vergoeding voor het accepteren van deze mest. Omgekeerd moeten boeren die dierlijke mest afvoeren (vanwege hoge productie van dierlijke mest) betalen voor het afvoeren van de mest. In figuur 6.5 zijn de mestproducties, aan- en afvoer van mest en het gebruik van dierlijke mest, in hoeveelheden fosfor in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$ voor het jaar 2008, voor de twee zandgebieden Schuitenbeek en Drentse Aa weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk het verschil in productie van dierlijke mest (hoog in Schuitenbeek, laag in de Drentse Aa) en het verschil in mesttransport (afvoer in Schuitenbeek, aanvoer in de Drentse Aa). Het uiteindelijke gebruik van dierlijke mest (bemesting) is in Schuitenbeek iets hoger dan in de Drentse Aa. Dit komt omdat in Schuitenbeek relatief meer graslanden zijn. Op graslanden zijn de mestgiften hoger dan op bouwlanden.



Figuur 6.5

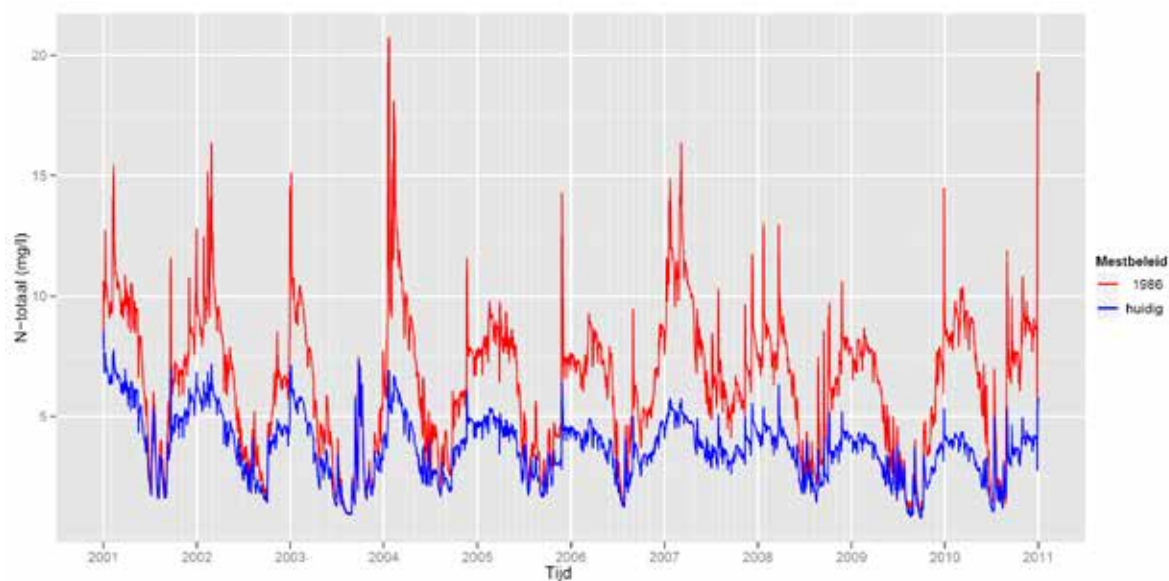
Productie, aanvoer, afvoer en gebruik van dierlijke mest (in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$) voor het jaar 2008 (bron: Statline CBS).

7 Sturingsmogelijkheden

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. Er zijn ook 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.

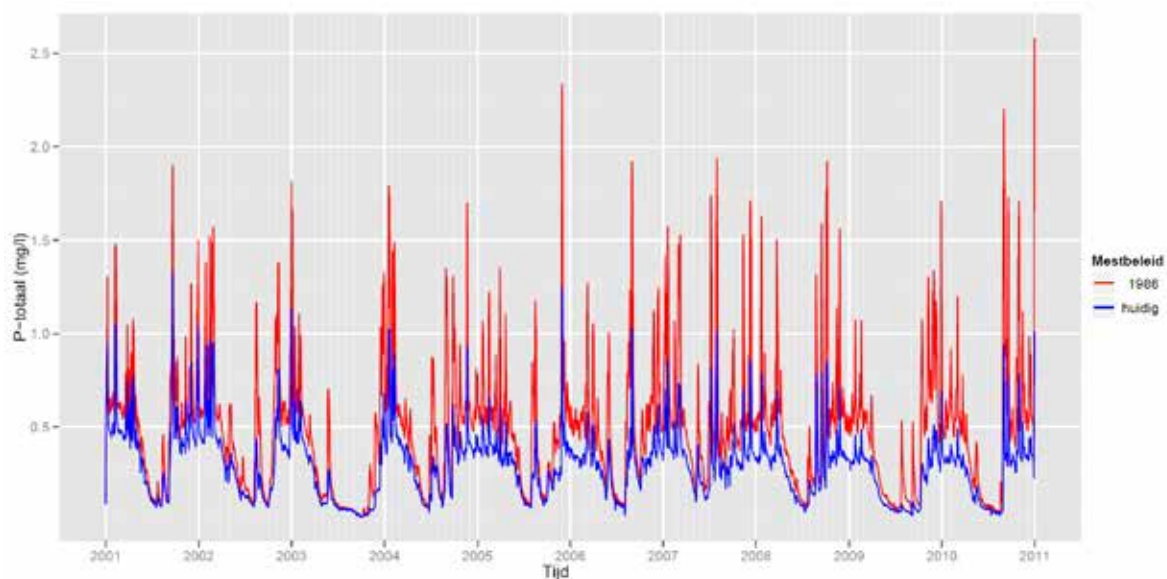
7.1 Effecten mestbeleid

Om de effecten van het mestbeleid te analyseren is, door middel van een modelberekening, gekeken wat de waterkwaliteit zou zijn geweest wanneer de bemesting op het niveau van 1986 was gebleven (met alle overige bronnen volgens de huidige situatie). Figuur 7.1 en figuur 7.2 laten 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 eind jaren 80 en nu (zie hoofdstuk 4, Figuur 4.1). Het effect van het mestbeleid is voor stikstof en fosfor min of meer gelijk (reductie in langjarig gemiddelde stikstofconcentraties is respectievelijk 40% en 44% voor het zomerhalfjaar en winterhalfjaar; voor fosfor is dit 40% en 40%).



Figuur 7.1

Effect van veranderingen in de bemesting (huidige situatie) ten opzichte van het doortrekken van de hoogste bemestingsniveau tot het heden (1986 variant) voor stikstof.

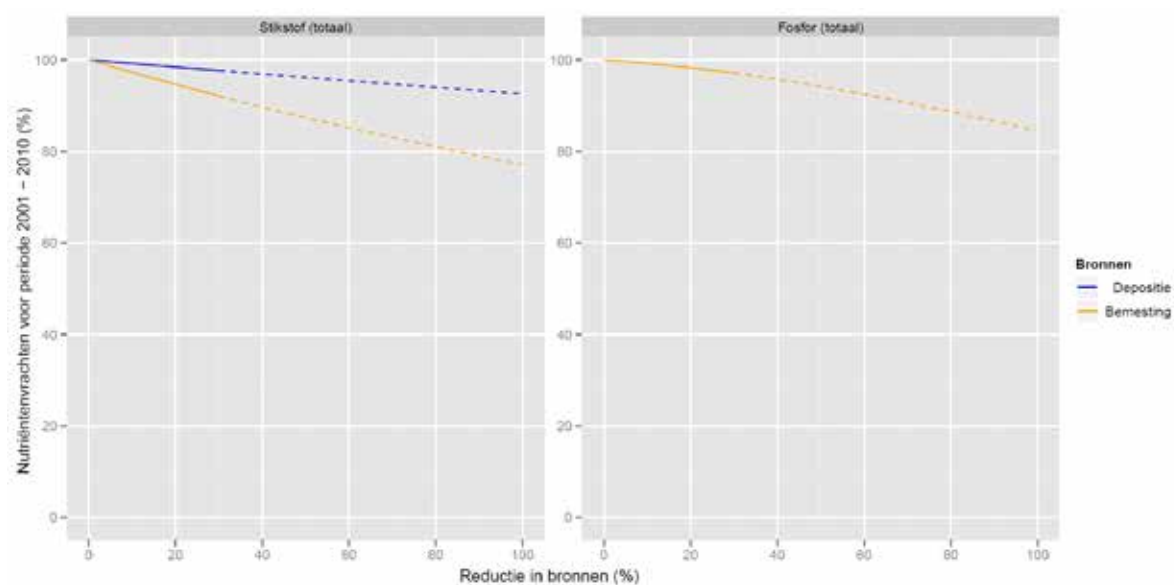


Figuur 7.2

Effect van veranderingen in de bemesting (huidige situatie) ten opzichte van het doortrekken van de hoogste bemestingsniveau tot het heden (1986 variant) voor fosfor.

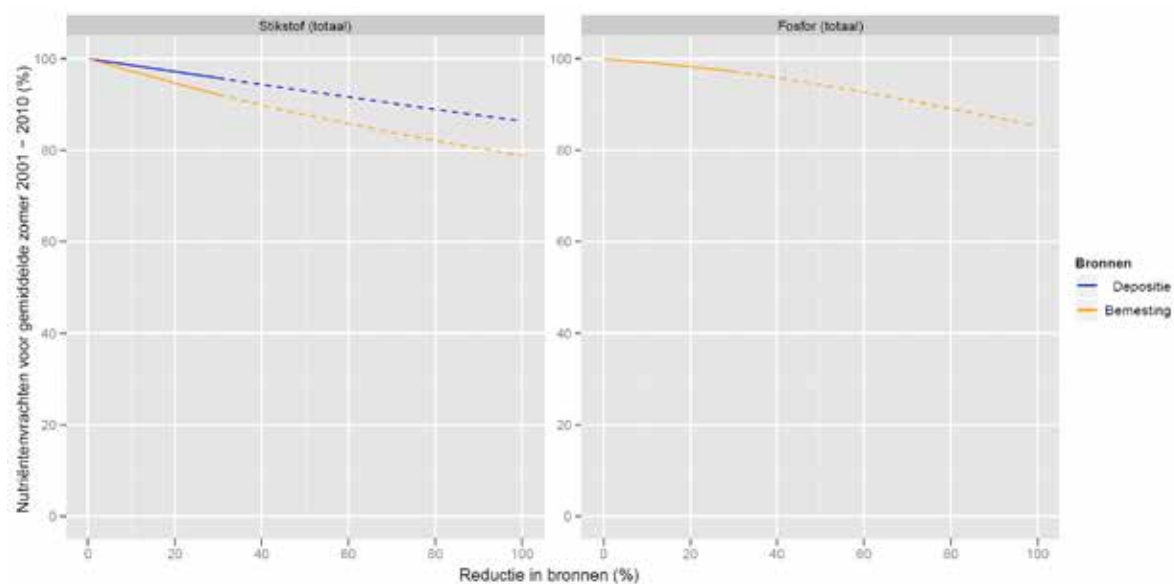
7.2 Sturingsmogelijkheden

In figuur 7.3 zijn de reducties van de stikstof- en fosforvrucht voor het gehele stroomgebied van de Schuitensbeek als functie van de reducties van de bronnen bemesting en atmosferische depositie weer-gegeven. Hieruit blijkt dat het effect in reductie op de bron bemesting meer invloed heeft op stikstof dan op fosfor. Bij volledige uitsluiting van de bron bemesting (100% reductie) neemt de fosforconcentratie benedenstrooms af met circa 15% gemiddeld over de periode 2001 - 2010. Dit geldt voor zowel het gehele jaar als voor het zomerhalfjaar (Figuur 7.4). Bij een gemiddelde fosforconcentratie in het zomerhalfjaar van $0,22 \text{ mg.l}^{-1}$ P-totaal (zie hoofdstuk 4) komt dit neer op een concentratie van $0,19 \text{ mg.l}^{-1}$ P-totaal bij het volledig stopzetten van de bemesting. Hiermee wordt de norm voor fosfor van $0,14 \text{ mg.l}^{-1}$ P-totaal voor het zomerhalfjaar op korte termijn niet gehaald.



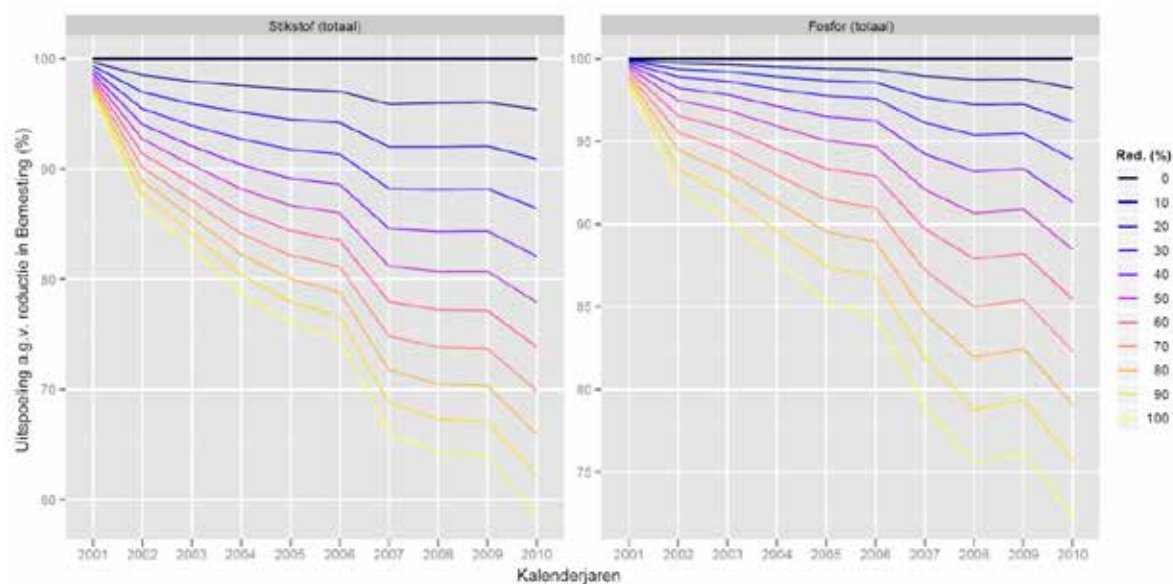
Figuur 7.3

Reductie in nutriëntenvrachten in het oppervlaktewater (in procenten) als functie van reductie van de bronnen bemesting en atmosferische depositie voor het gehele stroomgebied van de Schuivenbeek. De gestippelde lijn, na 30% reductie, geeft aan dat deze reductie mogelijk buiten het waarschijnlijkheidsbereik valt.



Figuur 7.4

Reductie in nutriëntenvrachten in het oppervlaktewater (in procenten) als functie van reductie van de bronnen bemesting en atmosferische depositie voor het gehele stroomgebied van de Schuivenbeek voor het zomerhalfjaar. De gestippelde lijn, na 30% reductie, geeft aan dat deze reductie mogelijk buiten het waarschijnlijkheidsbereik valt.



Figuur 7.5

Jaarlijkse reductie van de uitspoeling van stikstof en fosfor als functie van reductie in bemesting.

In figuur 7.5 staat de reductie van de stikstof- en fosforuitspoeling bij verschillende reducties in bemesting over de periode 2001 - 2010 weergegeven. Hieruit blijkt dat bij volledige uitsluiting van de bemesting de fosforuitspoeling na 10 jaar nog aan het afnemen is. In een periode van 10 jaar is de reductie van de fosforuitspoeling 25 - 30 % (Figuur 7.5). Dit komt overeen met een fosforconcentratie benedenstrooms van 0,16 - 0,17 mg.l⁻¹ P-totaal. Als over een langere periode wordt beschouwd kan dit effect nog groter worden.

Voor de sturingsmogelijkheden voor fosfor is uitgegaan van een langjarige gemiddelde concentratie van 0,22 mg.l⁻¹ P-totaal voor het zomerhalfjaar (zie hoofdstuk 4). Hiermee is geen rekening gehouden met de stijgende trend van fosfor (eveneens beschreven in hoofdstuk 4). Vooral in 2010 is het zomerhalfjaargemiddelde hoger dan in de voorgaande jaren. Deze hoge fosformetingen in het zomerhalfjaar van 2010 is toe te schrijven aan de extreme natte omstandigheden in juli en vooral augustus van dat jaar.

Voor stikstof wordt bij de huidige bemesting benedenstrooms in de Schuitenbeek al voldaan aan de norm (zie hoofdstuk 4).

Tabel 6.1 geeft een overzicht in hoeverre de sturingsmogelijkheden, zoals die binnen Monitoring Stroomgebieden voor de Drentse Aa zijn doorgerekend, de nutriëntenconcentraties op de middellange termijn (ca. tien jaar) kunnen beïnvloeden.

Tabel 6.1

Sturingsmogelijkheden in de Schuitenbeek.

Sturingsmogelijkheid	Bron	Route	Beoogd effect	
			N	P
Terugdringen van de overschotten (verlagen van mestgiften)	X	-	++	0/+
Terugdringen atmosferische depositie	X	-	+	0

7.3 Aanvullende maatregelen

Voor het stroomgebied van de Schuitenbeek bestaat er voor fosfor noodzaak om aan de norm te kunnen voldoen. Maatregelen in de sfeer van terugdringen van de overschotten zijn onvoldoende om de norm te kunnen halen (zie paragraaf 7.2). Zelfs een nulbemesting levert op korte tot middellange termijn (tot ca. 10 jaar) te weinig effect op. Bovenop de maatregelen, genoemd in paragraaf 7.2, moeten voor het stroomgebied van de Schuitenbeek aanvullende maatregelen genomen worden om de norm voor fosfor te kunnen halen.

Eén zo'n aanvullende maatregel kan (gerichte) uitmijning van de fosfaatvoorraad in de bodem zijn. Hierbij wordt meer fosfor door onttrekking van gewas afgevoerd dan aangevoerd door bemesting. Hierdoor neemt de fosfaatvoorraad in de bodem langzaam af. Hier is de term gericht gebruikt, omdat uit modelstudie is gebleken dat de fosforbelasting van het oppervlaktewater vlakbij de beekdalen is gesitueerd (zie hoofdstuk 5, Figuur 5.4). Door op deze locaties de maatregel fosforuitmijning toe te passen maakt deze maatregel effectiever dan een generieke benadering. Het effect van uitmijnen kan worden nagegaan door het bekijken van het effect van een volledige reductie van de fosforbemesting. In het kennisstelsel Hydrometra (Van Os et al., 2009) is het effect van een dergelijke maatregel bepaald. Voor het stroomgebied Noord-Veluwe, waar het stroomgebied van de Schuitenbeek een onderdeel van is, is berekend dat fosforuitmijning op korte termijn een reductie van de belasting van het oppervlaktewater van 21% oplevert. Bij een dergelijke reductie zou de norm voor fosfor nog niet gehaald worden. Wat het uiteindelijke effect van combinaties van (aanvullende) maatregelen is, is in deze studie niet onderzocht.

Ingrepen in het oppervlaktewatersysteem kunnen eveneens leiden tot een betere waterkwaliteit. Zeker als deze ingrepen zorgen voor een langere verblijftijd van het water, waardoor processen meer tijd hebben om het water te zuiveren van nutriënten. Het herinrichten van genormaliseerde delen van het beekstelsel, bijvoorbeeld via hermeanderen en de aanleg natuurvriendelijke oevers, kan zorgen voor een langere verblijftijd. In periodes van lage waterafvoer zoals in de zomer kan hermeandering echter ook leiden tot kortere verblijftijden; het water verblijft er dan korter dan in een genormaliseerd traject dat het water beter vasthoudt door de stuwen. Veldonderzoek in een deelstroomgebied van de Drentse Aa (het Zeegserloopje) bevestigt dit (Van Gerven et al., 2010).

Er dient gekeken te worden naar mogelijkheden voor een gerichte fosforuitmijning en optimale(re) bemesting in relatie tot een rendabele bedrijfsvoering. Het idee hierbij is om de nutriëntenkringlopen zoveel mogelijk te sluiten, het verlies van nutriënten daarbij te minimaliseren (en dus het belasten van het oppervlaktewater met nutriënten te reduceren) en de winstmarge voor de landbouwer te vergroten. Voor een deelstroomgebied van de Drentse Aa (het Zeegserloopje), evenals zes andere proefgebieden in Noord- en Zuid-Nederland, loopt hiervoor een traject in het kader van een innovatieproject Senter Novem (IP-KRW programma), genaamd Landbouw Centraal. Maatregelen die hieruit voortkomen kunnen worden ingezet om de waterkwaliteit te verbeteren.

Tabel 7.2 geeft een algemeen overzicht in hoeverre de aanvullende sturingsmogelijkheden voor de Schuitenbeek de nutriëntenconcentraties op de middellange termijn (ca. 10 jaar) kunnen beïnvloeden.

Tabel 7.2*Aanvullende sturingsmogelijkheden in de Schuitenbeek.*

Sturingsmogelijkheid	Bron	Route	Beoogd effect	
			N	P
Herinrichting van het beekstelsysteem (bovenstrooms)	-	X	+	+
Gerichte uitmijning van fosfor in de bodem	X	X	0	++
Optimale bedrijfsvoering, waaronder:				
· Verbeteren van het bemestingsplan				
· Beperken van erfafspoeling				
· Rijenbemesting maïs	X	-	++	+
· Stoppen met aanwenden van drijfmest na begin augustus				
· Onderzaai van gras in maïs in plaats van vanggewas na oogst				
· Alleen jong grasland (<3 jaar) scheuren voor maïs of akkerbouw				
· Vergroten mestopslagcapaciteit om uitrijden van mest bij slecht weer te voorkomen				

8 Discussie en conclusies

De gedurende dit project uitgevoerde intensieve metingen hebben geleid tot veel nieuwe inzichten in de nutriëntenhuishouding in de bodem en in het oppervlaktewater van de Schuitenbeek. 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.

Er is verkend welke stroomgebieden in Nederland vergelijkbaar zijn met de Schuitenbeek; stroomgebieden waarop de in dit project voor de Drentse Aa 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

De waterkwaliteit in de Schuitenbeek voldoet niet aan de gebiedspecifieke normen die voor fosfor zijn opgesteld. In de gehele monitoringsperiode (2004 - 2010) overschrijdt de waargenomen zomerhalfjaargemiddelde fosforconcentratie de norm. Bovendien neemt het zomerhalfjaargemiddelde vanaf 2005 jaarlijks toe. Voor stikstof wordt wel aan de norm voldaan.

Uit de meetreeksen voor fosfor blijkt dat er regelmatig uitschieters van hoge fosforconcentraties worden waargenomen. Deze vinden vooral in het zomerhalfjaar plaats, vaak in combinatie met intensieve regenbuien. Hoe belangrijk de bijdrage van extreme neerslag kan zijn op de fosforconcentraties in het oppervlaktewater blijkt in 2010. Eind augustus 2010 werd tijdens een extreem natte week een fosforvracht in het stroomgebied van de Schuitenbeek van ruim 1000 kg fosfor bepaald. Dit is vergelijkbaar met bijna de helft van de totale fosforvracht in een jaar.

In de Schuitenbeek is de ruimtelijke variatie in fosforconcentraties groter dan de ruimtelijke variatie in stikstofconcentraties. In de meetpunten in de natuurgebieden worden zowel lage stikstof- als lage fosforconcentraties waargenomen. Opvallend is dat in de meetpunten in de landbouwgebieden relatief lage stikstofconcentraties worden gemeten. In het bovenstroomse meetpunt nabij het industrieel terrein van Struik Foods B.V. worden hogere stikstofconcentraties waargenomen. Met name de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie in het winterhalfjaar is hoger dan benedenstrooms. Afstroming van nutriënten door middel van afspoeling over verhard oppervlak zou hiervoor een verklaring kunnen zijn.

In de meetpunten in het landbouwgebied worden lagere fosforconcentraties in het winterhalfjaar gemeten dan geheel benedenstrooms. Opvallend is dat één meetlocatie (meetlocatie 25312) hogere fosforconcentraties in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar worden gemeten. Dit fenomeen openbaart zich op nog enkele meetlocaties, vooral in de bovenloop van het beekstelsel. De hoogste fosforconcentraties worden echter in een zijtak van de Veldbeek (meetlocatie 25318) en in de Veldbeek zelf (meetlocatie 25311) gemeten. In de

beginperiode (2004) van de waarnemingen is dit toe te schrijven aan een illegale dumping van drijfmest in de beek nabij meetlocatie 25318. In het eind van de waarnemingsperiode (2010) werden deze hoge concentraties waarschijnlijk veroorzaakt door droge omstandigheden in juni en begin juli 2010 ('indikking' van het water), gevolgd door extreme hoge neerslaghoeveelheden in midden juli en eind augustus 2010, waardoor veel fosfor uit de bodem is gespoeld.

8.2 Bronnen en routes van nutriënten

Het grondwater is een belangrijke transportroute van nutriënten naar het oppervlaktewater. De stand van het grondwater bepaalt via welke route de nutriënten in het oppervlaktewater terechtkomen. Omdat de chemische toestand van bodem en grondwater afhankelijk is van de diepte die beschouwd wordt (iedere diepte heeft zijn eigen chemische signatuur), is het van belang via welke route de nutriënten in het oppervlaktewater terechtkomen. In deze studie is onderscheid gemaakt tussen diep grondwater, ondiep grondwater, het bovenste grondwater en bodemwater of verzadigde zone. Een kwart van het water in de Schuitenbeek komt vanuit het diepere grondwater (het diepe en ondiepe grondwater). De helft komt vanuit het bovenste grondwater en een kwart komt vanuit de onverzadigde zone (bodemwater).

Voor de nutriënten is dit beeld anders. Dit wordt veroorzaakt doordat nutriënten in de bodem afgebroken (denitrificatie van stikstof) of vastgelegd kunnen worden (adsorptie van fosfor aan het bodemcomplex). Het grootste deel van stikstof in het oppervlaktewater van de Schuitenbeek komt vanuit het bovenste grondwater (ruim 50%) en de onverzadigde zone (circa 30%). De bijdrage vanuit het diepere grondwater (het diepe en ondiepe grondwater) is voor stikstof klein, vanwege denitrificatie in dit deel van het bodemprofiel. Het overgrote deel van fosfor in het oppervlaktewater komt vanuit het bovenste grondwater (circa 40%) en de onverzadigde zone (circa 50%). De bijdrage vanuit het diepere grondwater (het diepe en ondiepe grondwater) is voor fosfor, net als voor stikstof, klein (totaal diepere grondwater circa 10%).

Het ruimtelijk beeld van de uitspoeling van stikstof en fosfor uit het landsysteem laat een gedifferentieerd beeld zien. De belasting van het oppervlaktewater met stikstof is gerelateerd aan het landgebruik in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Bij landbouwgronden, en met name de grasland- en akkerbouwgronden, is de stikstofuitspoeling hoog; bij natuurgronden is deze laag. De fosforuitspoeling is juist gerelateerd aan de nattere beekdalen. Ruimtelijk is deze herkomst van fosfor sterker begrensd dan het gebied met hogere stikstofuitspoeling.

De belangrijkste bron van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater is het landsysteem dat op jaarbasis, via uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater, verantwoordelijk is voor ruim 90% van de totale stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater. De nutriënten die vanuit het landsysteem uit- en afspoelen naar het oppervlaktewater zijn voornamelijk afkomstig uit de mestgiften. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de huidige en de historische bemesting. Voor stikstof zijn de bijdragen van de bronnen huidige bemesting en historische bemesting het grootst (circa 65%), terwijl voor fosfor dit de bron historische bemesting (circa 80%) is.

8.3 Sturingsmogelijkheden

De waterkwaliteit in de Schuitenbeek voldoet niet aan de gebiedspecifieke normen die voor fosfor zijn opgesteld. In de Schuitenbeek dienen maatregelen genomen te worden om uiteindelijk aan de norm voor fosfor te kunnen voldoen. Verlagen van de mestgiften in het stroomgebied van de Schuitenbeek heeft onvoldoende effect. Met het modelinstrumentarium is berekend dat zelfs bij volledig stoppen van de bemesting (nul-mest variant) de fosforconcentratie benedenstrooms afneemt met circa 15% gemiddeld over en periode

van 10 jaar. Dit geldt voor zowel het gehele jaar als voor het zomerhalfjaar. Bij een gemiddelde waargenomen fosforconcentratie in het zomerhalfjaar van 0,22 mg.l⁻¹ P-totaal (periode 2004 - 2010) komt dit neer op een concentratie van 0,19 mg.l⁻¹ P-totaal bij het volledig stopzetten van de bemesting. Hiermee wordt de norm voor fosfor van 0,14 mg.l⁻¹ P-totaal voor het zomerhalfjaar op korte termijn niet gehaald.

Voor stikstof wordt bij de huidige bemestingsniveau benedenstrooms in de Schuitenbeek al voldaan aan de norm.

8.4 Aanvullende maatregelen

Voor het stroomgebied van de Schuitenbeek bestaat er voor fosfor noodzaak om aan de norm te kunnen voldoen en zijn maatregelen in de sfeer van terugdringen van de overschotten onvoldoende om de norm te kunnen halen. Voor de Schuitenbeek dienen aanvullende maatregelen genomen te worden om de norm voor fosfor te kunnen halen. Voor de Schuitenbeek zijn de volgende aanvullende maatregelen benoemd:

- Gerichte fosfaatuitmijning van de bodem (dus meer fosfor onttrokken aan het bodemsysteem dan via bemesting wordt toegevoegd). Hier is de term gericht gebruikt, omdat uit modelstudie is gebleken dat de fosforbelasting van het oppervlaktewater vlakbij de beekdalen is gesitueerd. Door op deze locaties de maatregel fosfaatuitmijning toe te passen maakt deze maatregel effectiever dan een generieke benadering.
- Ingrepen in het oppervlaktewatersysteem. Bijvoorbeeld ingrepen die gericht zijn op het verlengen van de verblijftijden van water (vasthouden van water), waardoor retentie in het oppervlaktewater wordt vergroot.

8.5 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 de Schuitenbeek. Om dit te onderzoeken is Nederland in ruim 120 stroomgebieden onderverdeeld. Om een overzicht te krijgen van de stroomgebieden elders in Nederland, die vergelijkbaar zijn met de Schuitenbeek of één van de drie andere gebieden, is onderzocht of deze 120 stroomgebieden onderscheidende kenmerken gemeen hebben met een van de onderzoeksgebieden. Om deze onderscheidende kenmerken te bepalen zijn de bronnen en routes gerelateerd aan de volgende onderscheidende kenmerken:

1. Bodem

De Schuitenbeek is een zandgebied met daarbij horende specifieke afspoelingsprocessen en fosfaat-binding. Op basis van de bodemkaart (bron: 1:50 000 bodemkaart) is aan de 120 stroomgebieden waarin Nederland verdeeld is toegekend of hier vooral zand, veen of klei aanwezig is.

2. Gebiedseigen water of inlaatwater

De rol van inlaatwater is voor de poldergebieden voor de nutriëntenhuishouding belangrijk. Op basis van een studie naar het zoetwaterbeheer in Nederland is een geografisch bestand met wateraanvoer in Nederland beschikbaar (Stuyt et al., 2011). Met dit bestand is per stroomgebied aangegeven of wateraanvoer een dominante rol speelt (>50% van gebied heeft wateraanvoer) of dat wateraanvoer geen rol van betekenis speelt (<50% van gebied heeft wateraanvoer).

3. Landgebruik

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 een landsdekkende kaart met landgebruiksvormen (LGN4) 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 (Schoomans, 2004).

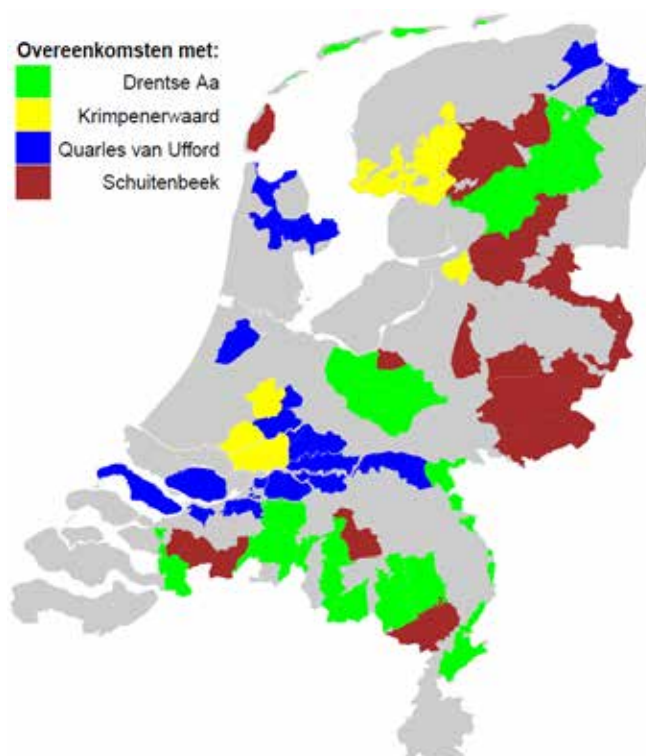
In tabel 8.1 zijn deze vier kenmerken voor de vier onderzochte gebieden weergegeven. Hieruit blijkt dat het stroomgebied van de Schuitenbeek is gekenmerkt als een gebied met relatief veel landbouw (77%), een hoge fosfaatverzadiging (58% van het oppervlakte van het stroomgebied is fosfaatverzadigd), hoofdzakelijk bestaat uit zandbodems en kent geen aanvoer van gebiedsvreemd water. Naast bovenstaande vier kenmerken zijn er nog andere onderscheidende kenmerken te identificeren zoals de verdeling tussen diepe en ondiepe transportroutes door het grondwater of de waterbodem van het oppervlaktewatersysteem. Hierover is echter geen landdekkende informatie beschikbaar die het onderscheid in deze kenmerken in voldoende mate weergeeft. Deze kenmerken zijn daarom niet meegenomen bij het onderzoek naar vergelijkbare stroomgebieden in Nederland.

Tabel 8.1

Waarden van de kenmerken van de vier studiegebieden.

	Drentse Aa	Schuitenbeek	Quarles van Ufford	Krimpenerwaard
Dominante grondsoort	Zand	Zand	Klei	veen
Inlaat of gebiedseigen water	Gebiedseigen water	Gebiedseigen water	Inlaatwater	Inlaatwater
Aanwezigheid landbouw	51%	77%	78%	83%
Fosfaatverzadiging	36%	58%	34%	69%

Het stroomgebied van de Schuitenbeek vertoont overeenkomsten met delen van Noord-Brabant, delen van de Achterhoek en Twente, met een deel van Friesland en Drenthe, alsook met het Waddeneiland Texel (Figuur 8.1). Deze gebieden bestaan net als de Schuitenbeek (hoofdzakelijk) uit zandbodems, hebben geen inlaatwater, kennen relatief veel landbouw en hebben een hoge fosfaatverzadiging van de bodem.



Figuur 8.1

Gebieden in Nederland die voor enkele relevante kenmerken vergelijkbaar zijn met de vier onderzochte stroomgebieden in Monitoring Stroomgebieden.

8.6 Ecologie

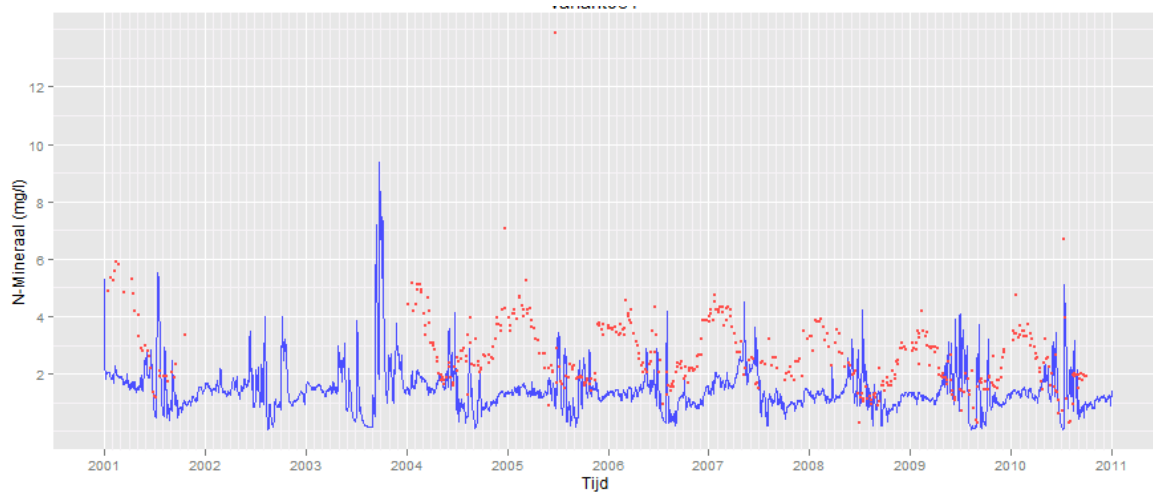
Binnen het project Monitoring Stroomgebieden is het onderzoek geconcentreerd op de nutriënten en de waterkwaliteit. Wat zijn de bronnen en routes van deze nutriënten en hoe kan er worden gestuurd aan de waterkwaliteit? Een belangrijke vraag die voortkomt uit de Kaderrichtlijn Water is die naar de ecologische kwaliteit van een stroomgebied. De kaderrichtlijn stelt vooral ecologische eisen, en de waterschappen zijn naast het beperken van de nutriëntenbelasting dan ook vooral bezig met maatregelen om de ecologische kwaliteit van de stroomgebieden te verbeteren. Om de juiste maatregelen te kunnen nemen is het belangrijk om te weten of stikstof dan wel fosfor beperkend is en dus de ecologie mede stuurt. Want als de beperkende nutriënt toeneemt kan dit leiden tot ongewenste ecologische groei, zoals groei van algen. Het is daarom van belang om de groeibeperkende nutriënt te identificeren. Op deze manier kan er gericht gestuurd worden om deze nutriënt naar beneden te brengen. Ongewenste ecologische groei kan hiermee worden tegengegaan.

In het uitstroompunt van de Schuitembeek is, op basis van de beschikbare tijdsreeksen, geïdentificeerd of en zo ja welke nutriëntfracties beperkend is of zijn. Er is sprake van een beperking van een nutriëntenfractie als gedurende een bepaalde periode (meestal de zomer) metingen rond nul 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.

Tabel 8.2

Uitputting van de fracties stikstof en fosfor bij het uitstroompunt van de Schuitenbeek.

Stroomgebied	N-mineraal	P-mineraal
Schuitenbeek	Nee	Nee



Figuur 8.2

Limitering N-mineraal voor de Schuitenbeek (meetpunt 25210).

In het zomerhalfjaar is er in het uitstroompunt van de Schuitenbeek zowel geen beperking van de minerale stikstof fractie als de minerale fosfor fractie in het gebied (Tabel 8.2 en Figuur 8.2). Dit betekent dat voor de Schuitenbeek geen enkele nutriënten fractie beperkend voor de ecologie is. Ongewenste ecologische groei, zoals algenbloei, kan volop plaatsvinden omdat de groei hiervan niet wordt geremd door een tekort aan beschikbare fracties stikstof of fosfor.

Referenties

Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink en O.F. Schoumans, 1989. Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenseek. Rapport Staring Centrum 10. Staring Centrum, Wageningen.

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

Gerven, L.P.A. van, H.M. Mulder, C. Siderius, T.P. van Tol-Leenders en A.A.M.F.R. Smit, 2009. Analyse van de invloed van processen op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Een modelstudie. Reeks Monitoring Stroomgebieden 15. Alterra-rapport 1855. Alterra, Wageningen.

Gerven, L.P.A. van, J.J.M. de Klein en F.J.E. van der Bolt, 2010. Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater. Meetcampagne in het Zeegserloopje. Alterra-rapport 2133. Alterra, Wageningen.

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.

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), pp. 107–121.

Jansen, H.C., R.J. Löschner-Wolleswinkel, M.E. Sicco Smit, F.J.E. van der Bolt, J. Roelsma, O.F. Schoumans, C. Siderius en T.P. van Tol-Leenders, 2008. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Schuitenseek Fase 3. Reeks Monitoring Stroomgebieden 13-II. Alterra-rapport 1765. Alterra, Wageningen.

Klein, J., J.C. Rozemeijer en H.P. Broers, 2011. Meetnet Nutriënten t.b.v. evaluatie van het mestbeleid; deelrapport B toetsen aan normen en bepaling van trends. Deltares rapport concept.

Os, E.A. van, I.G.A.M. Noij, P.J. van Bakel, W. de Winter en F.J.E. van der Bolt, 2009. Kennissysteem voor het bepalen van effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater. Bijdrage maatregelen WB21 aan de realisatie van de KRW. Alterra-rapport 1863. Alterra, Wageningen.

Roelsma, J., F.J.E. van der Bolt, T.P. Leenders, L.V. Renaud, I. de Vries en K. van der Molen, 2006b. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Drentse Aa Fase 2. Reeks Monitoring Stroomgebieden 8-I. Alterra-rapport 1386. Alterra, Wageningen.

Roelsma, J., T.P. van Tol-Leenders, F.J.E. van der Bolt, R.J. Löschner-Wolleswinkel, L.V. Renaud, J.D. Schaap, O.F. Schoumans, C. Siderius, H. van der Heide en K. van der Molen, 2008. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Drentse Aa Fase 3. Reeks Monitoring Stroomgebieden 13-I. Alterra-rapport 1764. Alterra, Wageningen.

Rozemeijer, J.C., H.P. Broers en H. Passier, 2008. Een quickscan inventarisatie van de bijdrage van het grondwater aan de oppervlaktewaterkwaliteit in Noord-Brabant. Eindrapport, Deelrapport I van het Aquaterra/Stromon project. TNO-rapport 2008-U-R0406/A.

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

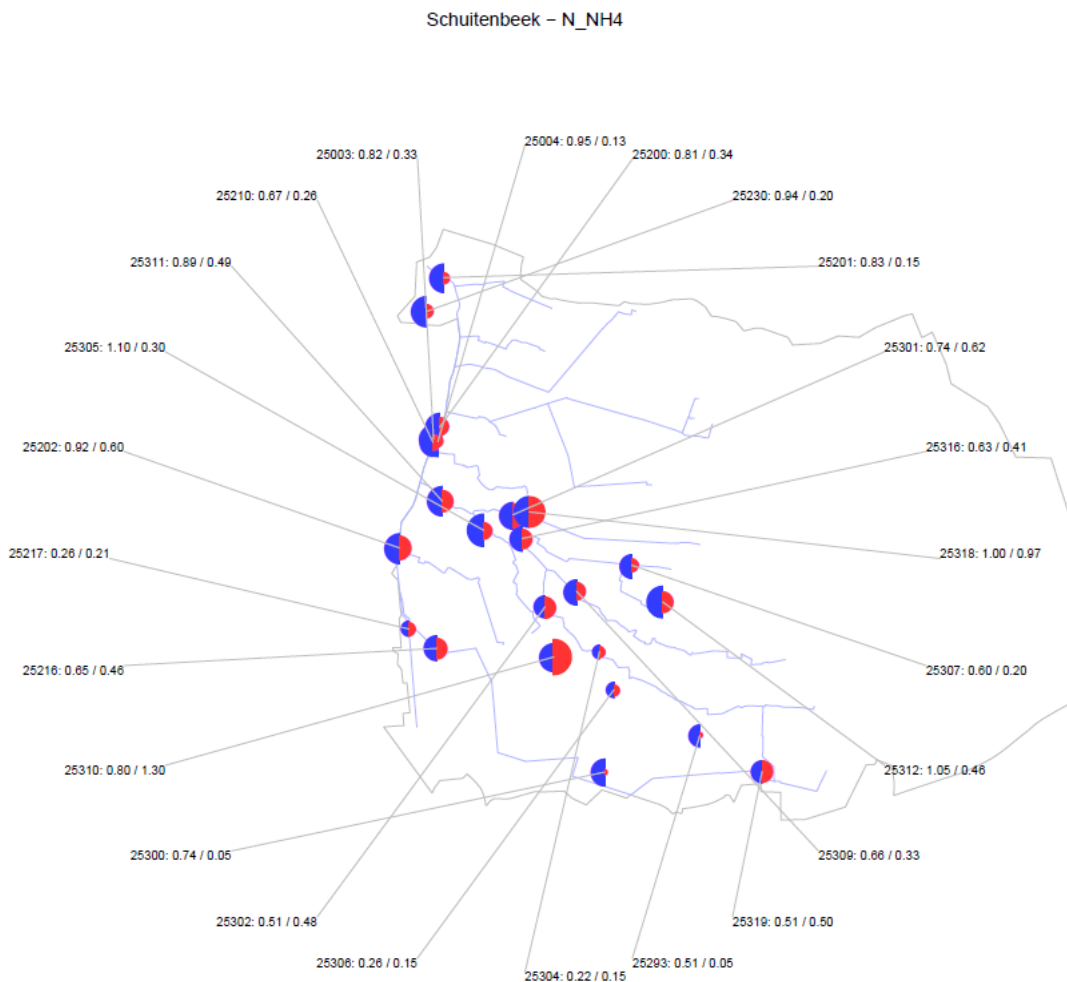
Siderius, C., J. Roelsma, H.M. Mulder, L.P.A. van Gerven, R.F.A. Hendriks en T.P. van Tol-Leenders, 2011. Kalibratie Modelsysteem Monitoring Stroomgebieden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 22. Alterra-rapport 2216. Alterra, Wageningen.

Stuyt, L.C.P.M, P.J.T. van Bakel en H.T.L. Massop, 2011. Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout: Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Alterra-rapport 2200. Alterra, Wageningen.

Walvoort, D.J.J., D.J. Brus, C. van der Salm, M. Pleijter en T.P. van Tol-Leenders, 2010. Kwantificering van de fosfaattoestand in de bodem van vier stroomgebieden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 21. Alterra-rapport 1958. Alterra, Wageningen.

Bijlage 1 Ammoniumconcentraties in de Schuitenbeek

Figuur B1.1 geeft de ruimtelijke verdeling van seizoensgemiddelde ammoniumconcentraties in de Schuitenbeek over de periode 2004-2010. Bij het uitstroompunt van het stroomgebied van de Schuitenbeek (25210, 25003, 25004 en 25200) zijn er opvallend hoge concentraties ammonium, met in de winter gemiddeld tussen de 0,67 en 0,95 mg.l⁻¹ ammonium-N. Bij twee meetpunten in het westelijke deel van de Schuitenbeek (25318 en 25310) werden zelfs uitschieters in de concentraties ammonium gevonden boven de 3 mg.l⁻¹ N. De door landbouw beïnvloede beken in het zandgebied in Nederland bevatten een jaargemiddelde concentratie van ongeveer 0,2 mg.l⁻¹ N (Klein et al., in voorbereiding).



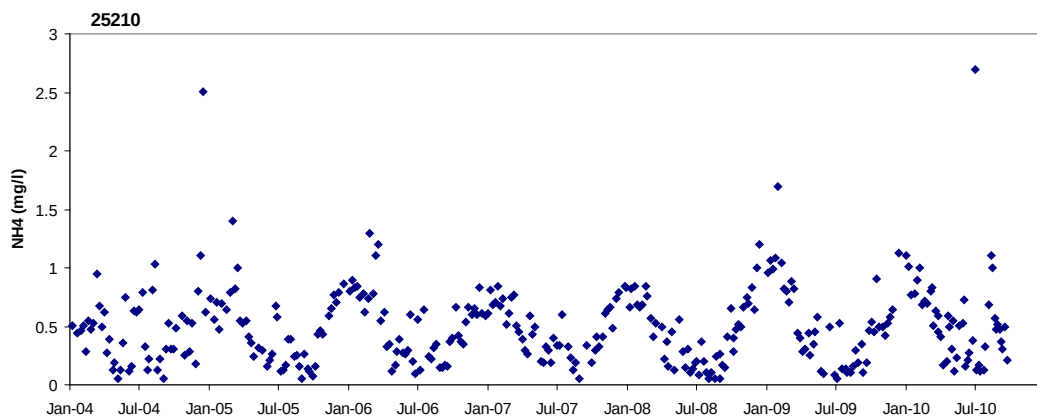
Figuur B1.1

Ruimtelijke verdeling van seizoensgemiddelde ammoniumconcentratie in de Schuitenbeek.

Figuur B1.2 geeft de tijdreeks van gemeten ammoniumconcentraties in het uitstroompunt 25210. Hierin is een zeer duidelijke seizoensdynamiek te zien met concentraties rond de 1 mg.l⁻¹ N in de winterperiode en lagere concentraties in de zomerperiode. De concentraties in de zomer zijn echter nooit heel erg laag, d.w.z. onder de detectielimiet.

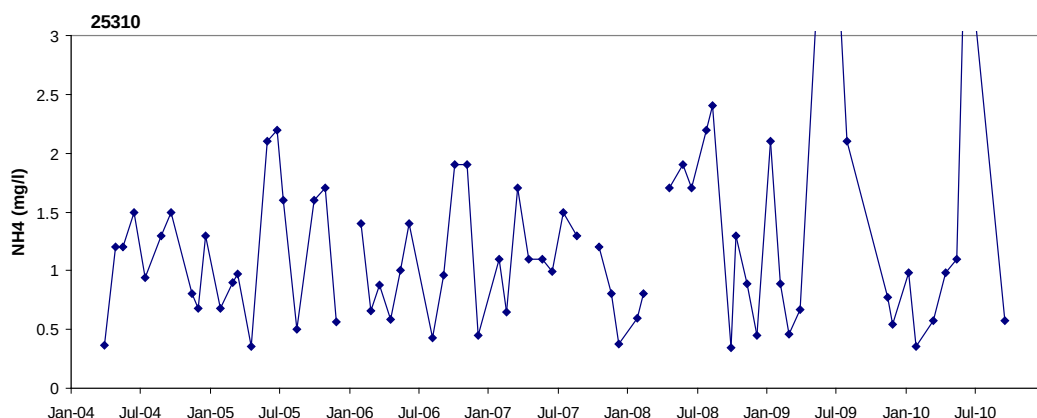
Figuur B1.3 geeft de tijdreeks van gemeten ammoniumconcentraties in het meetpunt 25310. De ammoniumconcentraties zijn hier met gemiddeld 1,2 mg.l⁻¹ N in de periode 2004 - 2010 hoog. Er is geen seizoensdynamiek zichtbaar. De minimum concentraties liggen rond de 0,4 mg.l⁻¹ N. Verder zijn er in juni 2009 en juni 2010 twee uitschieters gemeten met concentraties van respectievelijk 5,1 en 4 mg.l⁻¹ N.

Figuur B1.4 geeft de tijdreeks van gemeten ammoniumconcentraties in het meetpunt 25318. Hier is het opvallend dat in 2004, 2009 en 2010 een aantal extreem hoge waarnemingen boven de 3 mg.l⁻¹ N zijn aangetroffen. Voor de uitschieters is 2004 is bekend dat deze zijn veroorzaakt door een illegale lozing van mest uit een giertank. Het is hier opvallend dat het nog een jaar duurt totdat de ammoniumconcentraties weer op hun basisniveau tussen de 0,2 en 0,5 mg.l⁻¹ N liggen. De oorzaak van de hoge concentraties in 2009 en 2010 is niet bekend.



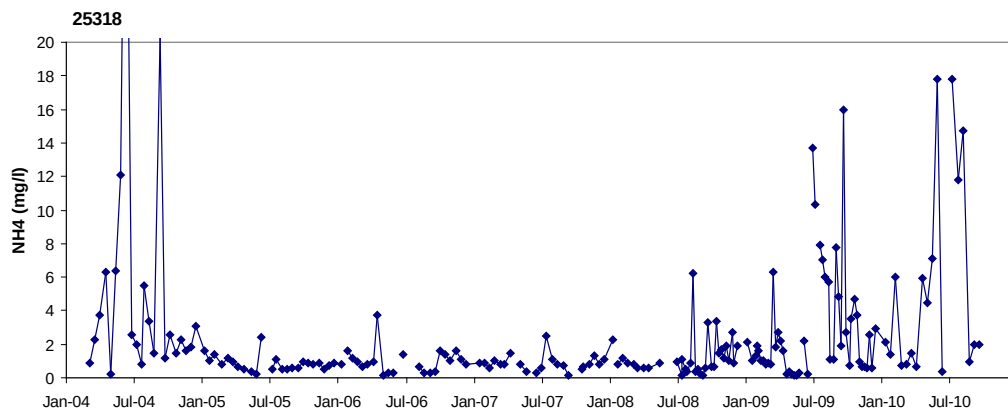
Figuur B1.2

Tijdreeks ammoniumconcentratie in uitstroompunt 25210.



Figuur B1.3

Tijdreeks ammonium-N concentratie in meetlocatie 25310.

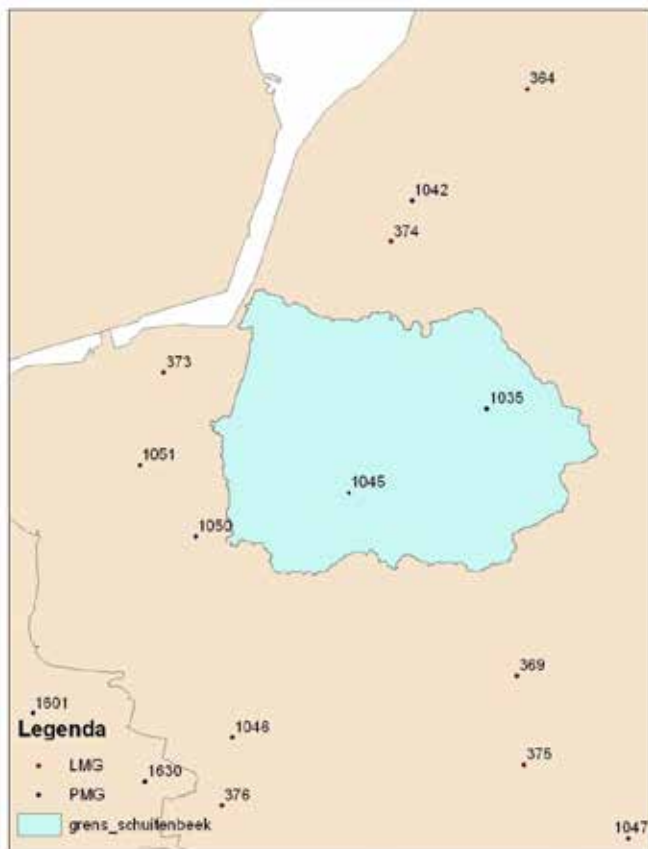


Figuur B1.4

Tijdreeks ammoniumconcentratie in meetlocatie 25318.

Wanneer de meetpunten met hogere ammoniumconcentraties afzonderlijk van elkaar worden beschouwd blijkt dat sprake is van continue belasting of een puntbelasting van het oppervlaktewater. Voor de meetpunten met een continue belasting (het uitstroompunt en meetlocatie 25310) is het dan natuurlijk de vraag wat de bron is van het ammonium. De twee mogelijke bronnen zijn dat ammonium uit mest dat op het land is gebracht of ammonium uit dieper grondwater. Beide bronnen liggen alleen niet erg voor de hand. De Schuitenbeek is immers een zandgebied met een relatief laag organisch stofgehalte in de bodem. Ammonium en organisch stikstof uit mest zullen dan snel nitrificeren (omzetting van ammonium naar nitraat). Het hierbij gevormde nitraat wordt opgenomen door de planten of spoelt uit naar het diepere grondwater of oppervlaktewater. In het diepere grondwater kan het nitraat weer denitrificeren tot stikstofgas. Omzetting van nitraat uit mest in ammonium in het diepere is niet waarschijnlijk. Dit proces wordt alleen waargenomen in stikstofarme bodemsystemen.

De tweede mogelijk bron is dan meer van natuurlijke aard: ammonium in het diepere grondwater. Om te beoordelen of dit een mogelijke bron is, zijn de locaties van het landelijk en provinciale meetnet grondwaterkwaliteit (LMG en PMG) in het stroomgebied van de Schuitenbeek en de direct omgeving beschouwd. De locaties van LMG- en PMG-putten zijn weergegeven in figuur B1.5.



Figuur B1.5

Locaties van PMG- en LMG-meetpunten.

Voor de meetlocaties 1035, 1045, 1050, 1051 en 373 zijn de gemiddelde concentratie van verschillende stoffen over de beschikbare tijdreeks in de database berekend. Deze meetputten hebben twee tot drie filters tussen drie en 25 m-mv. De filters hebben een lengte van twee meter. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de onderstaande tabel B1.1.

Tabel B1.1

Chemische samenstelling van het grondwater in LMG-/PMG-putten.

Locatie	filter	bovenkant filter m-mv	NH4 mgN/l	NO3- N mgN/l	P_totaal mgP/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	HCO3 mg/l	Sr µg/l	Ba µg/l
1035	1	13,00	0,03	1,31	0,07	23,3	24,1	77,1	93,3	9,5
1035	2	23,00	0,02	0,97	0,07	24,2	19,6	74,4	90,7	5,8
1045	1	8,00	0,18	0,12	0,07	30,7	17,7	16,8	50,7	31,3
1045	2	16,50	0,58	0,16	0,17	52,3	40,7	284,8	317,5	80,1
1050	1	3,00	0,10	39,74	0,06	57,2	20,4	5,7	193,0	67,7
1050	2	12,50	0,03	42,15	0,07	72,4	36,1	141,8	412,5	52,2
1051	1	3,00	0,03	11,17	0,07	98,6	51,3	537,9	466,5	132,4
1051	2	12,50	1,37	0,21	0,35	63,6	118,9	621,2	409,8	120,3
373	1	7,00	25,60	0,28	0,31	15,9	1981,9	1204,0	1541,4	729,4
373	2	13,00	24,00	0,20	1,10	66,0	2700,0	858,0		
373	3	20,15	41,49	0,16	4,82	3,3	2870,6	1051,5	1439,0	481,7

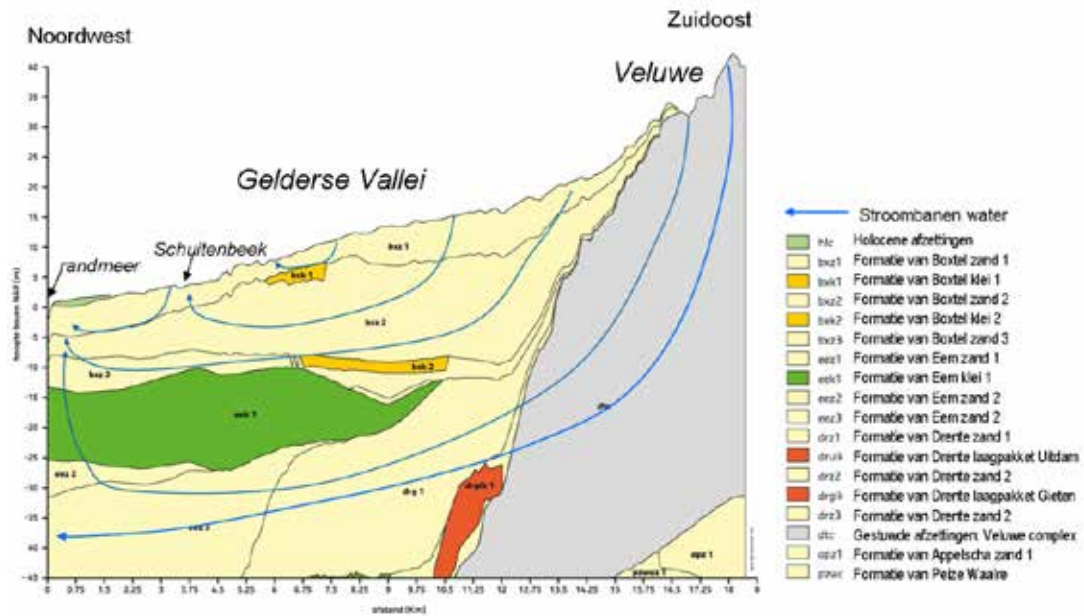
Bij beschouwing van tabel B1.1 vallen een aantal zaken op:

- Locatie 1035 heeft zowel lage ammonium als lage nitraatconcentraties. Ook de andere stoffen hebben lage concentraties wat duidt op infiltratie van natuurlijk regenwater in een ondergrond met weinig reactiviteit, een typische Veluwe situatie.
- Locatie 1045 heeft op een diepte van 16,5 m-mv een ammoniumconcentratie van 0,58 mg.l⁻¹ N. Dit is behoorlijk hoog. Sr- en Ba-concentraties zijn relatief hoog ook de bicarbonaatconcentratie is met 285 mg.l⁻¹ niet laag te noemen. Deze locatie ligt vlak bij het meetpunt 25310 waar de basisconcentratie ammonium niet onder de 0,4 mg.l⁻¹ N zakt. In het eerste filter is er zowel een ammonium als nitraat laag wat duidt op een geringe landbouwinvloed op deze locatie.
- Beide filters in locatie 1050 hebben lage ammoniumconcentraties en hoge nitraatconcentraties, in overeenstemming met concentraties die te verwachten zijn in een hoogbelast zoetwater zandgebied.
- In de richting van de randmeren nemen de ammoniumconcentraties in het grondwater toe. Locatie 1051 zit op een diepte van 12,5 m-mv al op 1,37 mg.l⁻¹ N en locatie 373 tussen de 25 (op 7 m-mv) en 41 mg.l⁻¹ N (op 20 m-mv). Dergelijke concentraties zijn extreem hoog te noemen. Figuur B1.6 geeft een cumulatief frequentiediagram van alle gemeten ammoniumconcentraties in de LMG en PMG meetpunten in Nederland. 25 mg.l⁻¹ N is het 97 percentiel, wat betekent dat slechts 3% van het totaal aantal waarnemingen een concentratie heeft van hoger dan 25 mg.l⁻¹ N. In de locatie 373 zijn ook de Sr en Ba concentraties hoog (respectievelijk > 1500 µg.l⁻¹ en > 500 µg.l⁻¹). Dit duidt op een mariene invloed. Ook de alkaliteit is erg hoog. Dit duidt op afbraak van organisch materiaal in de ondergrond

Op basis van bovenstaande waarneming lijkt ammonium een natuurlijke oorsprong in de ondergrond te hebben, gerelateerd aan mariene afzettingen en afbraak van organisch materiaal. Van zuidoost naar noordwest in het gebied nemen de concentraties toe.

Het gebied van de Schuitenbeek bestaat geologisch uit twee delen (Figuur B1.7). In het lager gelegen westen ligt het landbouwgebied van de Gelderse Vallei. Hier liggen de dekzanden behorende tot de Formatie van Boxtel aan de oppervlakte. Deze vormen een freatisch watervoerend pakket. Hieronder liggen estuariene afzettingen behorende tot de Formatie van Eem-Woudenberg. De Eem klei is de scheidende laag tussen de dunne freatische watervoerende pakket en het dikkere tweede watervoerende pakket waartoe ook de Formatie van Drenthe gerekend wordt. De Eem klei, die niet volledig uit klei bestaat maar ook zandige stukken heeft, volgt de vroegere kustlijn en de daarbij horende overgang van zoetwater naar zeewater. Van zuid naar noord wordt deze mariene invloed in deze laag steeds groter. In deze estuariene afzettingen met een relatief hoog organische stofgehalte komen vaak hogere concentraties ammonium voor.

In het oosten is het bos van de Veluwe met stuwwallen als meest kenmerkende element. Hier vindt regionaal infiltratie van water plaats. De overgrote meerderheid van het water in de Schuitenbeek komt uit het freatische dekzandpakket boven de Eem klei. Omdat dit pakket tamelijk dun is (circa 20 m) vallen grote stukken van de Schuitenbeek droog onder droge omstandigheden. De Eem klei is echter niet volledig ondoorlatend en er is ook een beetje kwel vanuit het tweede watervoerende pakket naar het freatisch watervoerende, vooral in het meest westelijke stuk. Door eeuwenlange diepe kwel van water dat op de Veluwe is geïnfilteerd heeft ook het dekzand boven deze Eem klei op sommige plekken een mariene signatuur gekregen, met hoge ammonium-strontium- en bariumconcentraties. En het ammonium spoelt uit naar het oppervlaktewater van de Schuitenbeek.



Figuur B1.7
Geohydrologisch profiel van de Schuitembeek.

Bijlage 2 Balansen landsysteem

Tabel B2.1

Berekende stikstofbalans voor grasland voor de periode 2001 – 2010.

Oppervlakte balansgebied: 2.700 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ N	UIT	kg.ha ⁻¹ N
Atmosferische depositie	31.6	Oppervlakkige afspoeling	0.0
Bemesting	393.9	Ammoniakvervluchtiging	.*
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.3	Denitrificatie	70.8
Kwel	0.3	Netto gewasonttrekking	277.5
		Afvoer door ontwatering	22.3
		Wegzijging	4.5
Totaal	426.1	Totaal	375.1
Berging			51.0

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

Tabel B2.2

Berekende stikstofbalans voor maïs voor de periode 2001 – 2010.

Oppervlakte balansgebied: 661 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ N	UIT	kg.ha ⁻¹ N
Atmosferische depositie	31.6	Oppervlakkige afspoeling	0.0
Bemesting	209.8	Ammoniakvervluchtiging	.*
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.2	Denitrificatie	84.0
Kwel	0.2	Netto gewasonttrekking	147.6
		Afvoer door ontwatering	16.4
		Wegzijging	3.7
Totaal	241.9	Totaal	251.8
Berging			-9.9

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

Tabel B2.3

Berekende stikstofbalans voor akkerbouw voor de periode 2001 – 2010.

Oppervlakte balansgebied: 128 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ N	UIT	kg.ha ⁻¹ N
Atmosferische depositie	31.6	Oppervlakkige afspoeling	0.0
Bemesting	184.9	Ammoniakvervluchtiging	.*
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.2	Denitrificatie	111.9
Kwel	0.2	Netto gewasonttrekking	128.3
		Afvoer door ontwatering	20.1
		Wegzijging	15.4
Totaal	217.0	Totaal	275.8
Berging			-58.8

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

Tabel B2.4*Berekende stikstofbalans voor natuur voor de periode 2001 – 2010.*

Oppervlakte balansgebied: 3.292 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ N	UIT	kg.ha ⁻¹ N
Atmosferische depositie	31.6	Oppervlakkige afspoeling	0.0
Bemesting	0.0	Ammoniakvervluchtiging	-.*
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.1	Denitrificatie	17.7
Kwel	0.0	Netto gewasonttrekking	-0.2
		Afvoer door ontwatering	0.5
		Wegzijging	2.2
Totaal	31.8	Totaal	20.2
Berging			11.6

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

Tabel B2.5*Berekende fosforbalans voor grasland voor de periode 2001 – 2010.*

Oppervlakte balansgebied: 2.700 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ P	UIT	kg.ha ⁻¹ P
Bemesting	39.22	Oppervlakkige afspoeling	0.00
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.00	Netto gewasonttrekking	38.07
Kwel	0.29	Afvoer door ontwatering	2.27
		Wegzijging	0.36
Totaal	39.51	Totaal	40.69
Berging			-1.28

Tabel B2.6*Berekende fosforbalans voor maïs voor de periode 2001 – 2010.*

Oppervlakte balansgebied: 661 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ P	UIT	kg.ha ⁻¹ P
Bemesting	49.79	Oppervlakkige afspoeling	0.00
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.00	Netto gewasonttrekking	26.13
Kwel	0.18	Afvoer door ontwatering	2.00
		Wegzijging	0.22
Totaal	49.97	Totaal	28.35
Berging			21.64

Tabel B2.7*Berekende fosforbalans voor akkerbouw voor de periode 2001 – 2010.*

Oppervlakte balansgebied: 128 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ P	UIT	kg.ha ⁻¹ P
Bemesting	29.79	Oppervlakkige afspoeling	0.00
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.00	Netto gewasonttrekking	26.91
Kwel	0.17	Afvoer door ontwatering	4.18
		Wegzijging	0.98
Totaal	29.96	Totaal	32.07
Berging			-2.14

Tabel B2.8*Berekende fosforbalans voor natuur voor de periode 2001 – 2010.*

Oppervlakte balansgebied: 3.292 ha			
IN	kg.ha ⁻¹ P	UIT	kg.ha ⁻¹ P
Bemesting	0.00	Oppervlakkige afspoeling	0.00
Infiltratie vanuit oppervlaktewater	0.00	Netto gewasonttrekking	0.00
Kwel	0.02	Afvoer door ontwatering	0.08
		Wegzijging	0.07
Totaal	0.02	Totaal	0.16
Berging			-0.10

