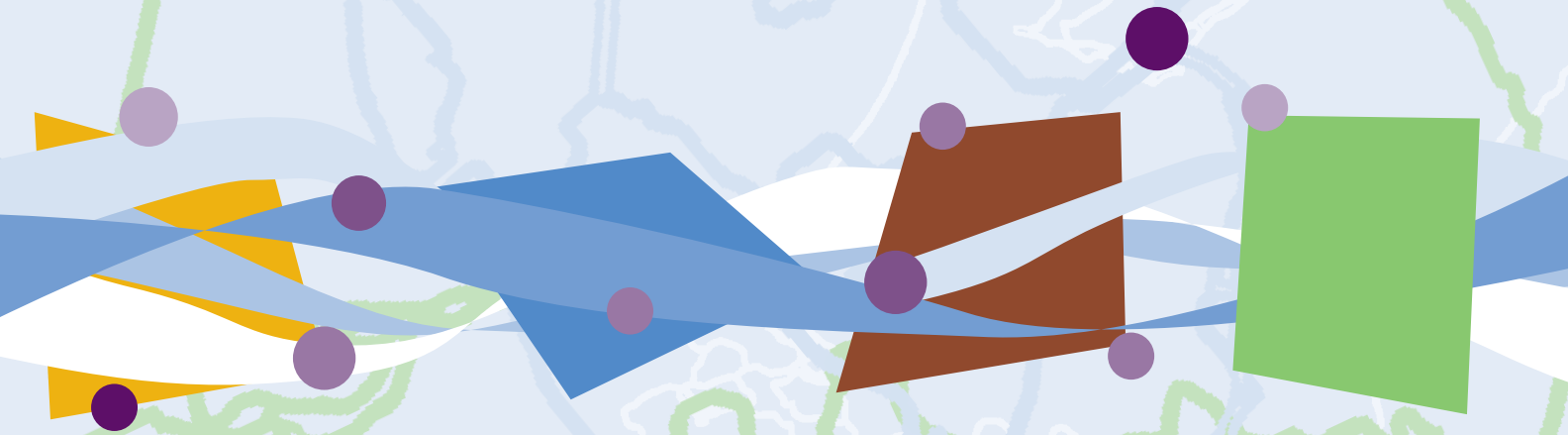
ALTERRA
WAGENINGEN UR

Deltares
Enabling Delta Life

# Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa

## Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden

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



Alterra-rapport 2218, ISSN 1566-7197
Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I

25



Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa

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

# Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa

## Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden

J. Roelsma[1], B. van der Grift[2], H.M. Mulder[1] en T.P. van Tol-Leenders[1]

1 Alterra
2 Deltares

**Alterra-rapport 2218**
**Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I**

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa; bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2218. 82 blz.; 42 fig.; 10 tab.; 16 ref.

Deze rapportage richt zich op het stroomgebied de Drentse Aa. 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 Drentse Aa 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: mestbeleid, modelsysteem, monitoring, nutriënten, Drentse Aa, stroomgebied, systeemanalyse, bronnenanalyse, sturingsmogelijkheden.

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 2218**
Wageningen, oktober 2011

# Inhoud


Samenvatting 7

Woord vooraf 9

1 Inleiding 11
1.1 Aanleiding en doel 11
1.2 Projectaanpak 11
1.3 Leeswijzer 13

2 Stroomgebied de Drentse Aa 15
2.1 Beschrijving van het gebied 15
2.2 Kenschets gebied 17

3 Methodiek 19
3.1 Meetmethoden oppervlaktewaterkwaliteit 19
3.2 Aanvullende meetgegevens in het stroomgebied van de Drentse Aa 19
3.2.1 Bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa 19
3.2.2 Meetmethode fostaatvoorraad in de bodem 20
3.2.3 Meetmethode processen oppervlaktewater Zeegserloopje 20
3.3 Bepaling routes bodemsysteem 21
3.4 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium 23
3.5 Bronnenanalyse 24
3.6 Sturingsmogelijkheden 25

4 Data-analyse 27
4.1 Oppervlaktewaterkwaliteit van de Drentse Aa 27
4.1.1 Langjarige waarnemingen 27
4.1.2 Gemiddelde concentraties in het gebied 28
4.1.3 Ruimtelijke patronen van de concentraties in het gebied 33
4.2 Aanvullende metingen in het stroomgebied van de Drentse Aa 35
4.2.1 Bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa 35
4.2.2 Fosfaatvoorraad in de bodem 38
4.2.3 Procesmetingen in het Zeegserloopje 38
4.3 Routes nutriënten in de Drentse Aa 40

5 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium 47
5.1 Beperkte kalibratie en resulterende oppervlaktewaterkwaliteit 47
5.2 Water- en nutriëntenbalansen van oppervlaktewater en bodem 49
5.3 Berekende routes nutriënten in de Drentse Aa 51

6 Bronnenanalyse 53
6.1 Inleiding 53
6.2 Resultaten bronnenanalyse 53

7 Sturingsmogelijkheden 59
7.1 Effecten mestbeleid 59
7.2 Sturingsmogelijkheden 60
7.3 Aanvullende maatregelen 63

8 Discussie en conclusies 65
8.1 Oppervlaktewaterkwaliteit 65
8.2 Bronnen en routes van nutriënten 66
8.3 Sturingsmogelijkheden 67
8.4 Aanvullende maatregelen 67
8.5 Monitoring 67
8.6 Opschaling 68
8.7 Ecologie 70

Referenties 73

Bijlage 1 Bijgestelde parameters oppervlaktewaterkwaliteitsmodel 75

Bijlage 2 Balansen landsysteem 79

# Samenvatting

Het project Monitoring Stroomgebieden richt zich op de vragen wat de invloed is van het mestbeleid op de kwaliteit van het oppervlaktewater en hoe kan worden gestuurd op schoon water. Daarvoor is op het niveau van stroomgebieden onderzocht, wat de bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater zijn en via welke transportroutes de nutriënten in het oppervlaktewater terechtkomen. In dit synthese rapport wordt de nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa 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.

De waterkwaliteit in de Drentse Aa voldoet voor het overgrote deel aan de gebiedsgerichte normen (2,2 mg.l$^{-1}$ N-totaal en 0,10 mg.l$^{-1}$ P-totaal in het zomerhalfjaar). Benedenstrooms in de Drentse Aa wordt over de gehele waarnemingsperiode (2004 - 2010) een zomerhalfjaargemiddelde van 1,6 mg.l$^{-1}$ N en 0,10 mg.l$^{-1}$ P gevonden. De gemiddelde stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar zit daarmee onder de norm. De gemiddelde fosforconcentratie in het zomerhalfjaar zit echter op de norm. In slechts enkele, meer landbouw beïnvloede, gedeelten van de Drentse Aa worden de normen overschreden. Dit heeft met name betrekking op de overschrijding van de norm voor stikstof, maar de laatste paar jaar ook op de overschrijding van de norm voor fosfor.

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. Aanvullend is ook de fosfaatvoorraad in de bodem bepaald. Het modelsysteem is hierop vervolgens aangepast. In het stroomgebied van de Drentse Aa 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 Drentse Aa 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 Drentse Aa. Bij landbouwgronden, en vooral de maïs- en akkerbouwgronden, is de stikstofuitspoeling hoog; bij natuurgronden 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 de grootste bron, terwijl voor fosfor dit de bron historische bemesting (oplading van de bodem) is.

Strikt genomen hoeven in de Drentse Aa geen extra inspanningen verricht te worden, aangezien de waterkwaliteit in de Drentse Aa voor het overgrote deel voldoet aan de gebiedsgerichte normen. Echter, in sommige deelstroomgebieden wordt de norm voor stikstof en fosfor niet gehaald. Voor deze gebieden zijn extra inspanningen wenselijk. Om de norm voor stikstof te kunnen halen is sturen op de bemesting het meest effectief. Voor fosfor is sturen op bemesting veel minder effectief. Dit komt doordat fosfor in het

oppervlaktewater met name bepaald wordt door de oplading van de bodem, dus door bemesting in het verleden. Met alleen sturen op de mestgiften zou de norm voor fosfor in enkele deelstroomgebieden ook niet gehaald worden. Aanvullende maatregelen zijn dan nodig. Voor het halen van de norm voor fosfor kan dan gedacht worden aan (gerichte) fosforuitmijning. Ook ingrepen in het oppervlaktewatersysteem (bijvoorbeeld het vasthouden van water) en gerichtere sturing op teelten in het gebied (het extensiveren van de aardappelteelt) lijken kansrijke maatregelen in de Drentse Aa.

Om adequaat op de normen in het oppervlaktewater te kunnen sturen is het van belang om het gehele systeem (van bodemsysteem naar oppervlaktewatersysteem) te bezien. Naast metingen in het oppervlaktewater is het gewenst om te kunnen beschikken over actuele waarnemingen in het bodemsysteem. Meetgegevens in het oppervlaktewater geven een vertraagd beeld van de toestand van het bodemsysteem weer. Veranderingen in de bodemvoorraad van vooral fosfor, bijvoorbeeld door aanpassing van de mestwetgeving, zijn pas na verloop van tijd zichtbaar in het oppervlaktewater. Op die manier vormt het bodemkwaliteitsmeetnet een nuttig instrument voor de sturing van specifieke doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water.

# Woord vooraf

De 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 UR en Deltares.

Deze rapportage richt zich op het stroomgebied van de Drentse Aa. 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 meetgegeven en het leggen van relaties om de bronnen en transportroutes van nutriënten in beeld te brengen waren modellen en aanvullende metingen noodzakelijk. In dit synthese rapport worden de bronnen, routes en de sturingsmogelijkheden om de nutriëntenkwaliteit in het oppervlaktewater van de Drentse Aa te verbeteren beschreven.

De voorlopige resultaten zijn in het gebied op 19 april 2011 besproken. Een twintigtal mensen van Waterschap Hunze en Aa's, provincie Drenthe en provincie Groningen, DLG, Staatsbosbeheer, DLV, gemeente Tynaarlo, PPO en boerenorganisaties kwamen in Schipborg bijeen voor de presentatie van het onderzoeksproject Monitoring Stroomgebieden voor het stroomgebied van de Drentse Aa. De opmerkingen van de aanwezige partijen 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 Marian van Dongen onze contact persoon bij Waterschap Hunze en Aa's 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:

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

Jan Roelsma
*Corresponderend auteur*
0317 - 48 64 53
jan.roelsma@wur.nl

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

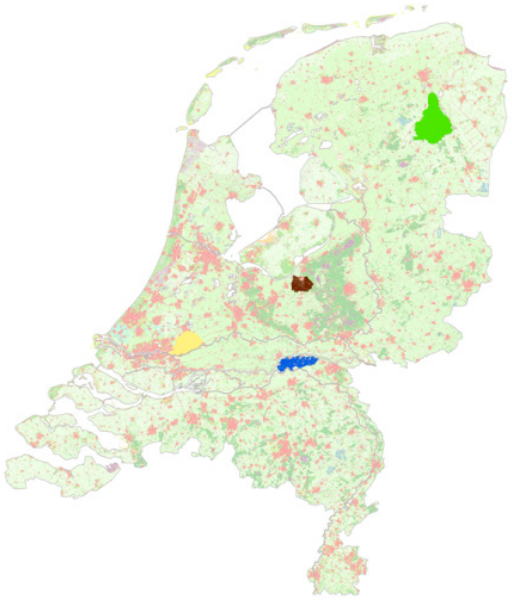
Vanaf de jaren tachtig zijn talloze wetenschappelijke onderzoeken gedaan naar het effect van het mestbeleid op de kwaliteit van het grondwater en het oppervlaktewater. Het bleek echter niet mogelijk om op landelijk niveau de relatie tussen het mestbeleid en de kwaliteit van het oppervlaktewater aan te 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.

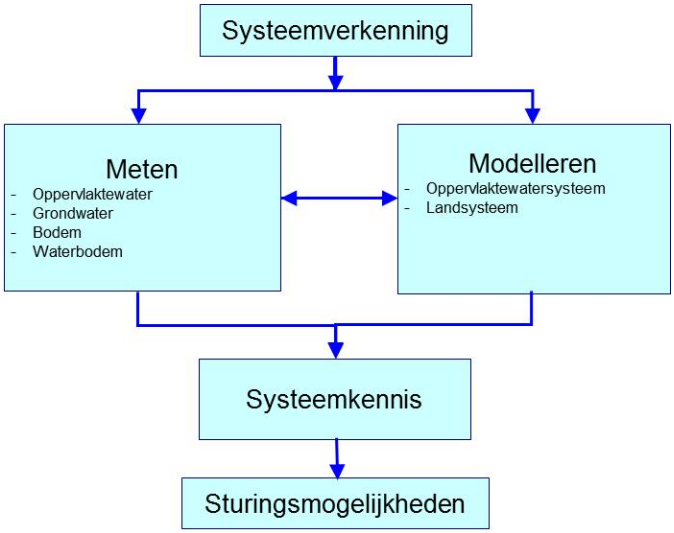
## 1.2 Projectaanpak

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), Schuitenbeek (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 kennishiaten in de vier onderzoeksgebieden opgevuld. Daarna zijn de bronnen en routes van nutriënten naar het oppervlaktewater gekwantificeerd.




*Figuur 1.2*
*Aanpak van het project Monitoring Stroomgebieden.*

Naast de gerichte extra veldmetingen zijn de bestaande oppervlaktewatermeetnetten van de waterschappen in de periode 2004 tot oktober 2010 verdicht, door het toevoegen van nieuwe meetlocaties maar ook door vaker te meten aan bepaalde meetlocaties. Ieder jaar zijn de meetresultaten met de betrokken waterbeheerders geëvalueerd en opnieuw vastgelegd in meetplannen. De nieuwe metingen zijn binnen Monitoring Stroomgebieden gebruikt om procesmodellen te ontwikkelen op het niveau van het stroomgebied. Deze modellen zijn afgeleid van het bestaande, landelijke model STONE, dat in 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

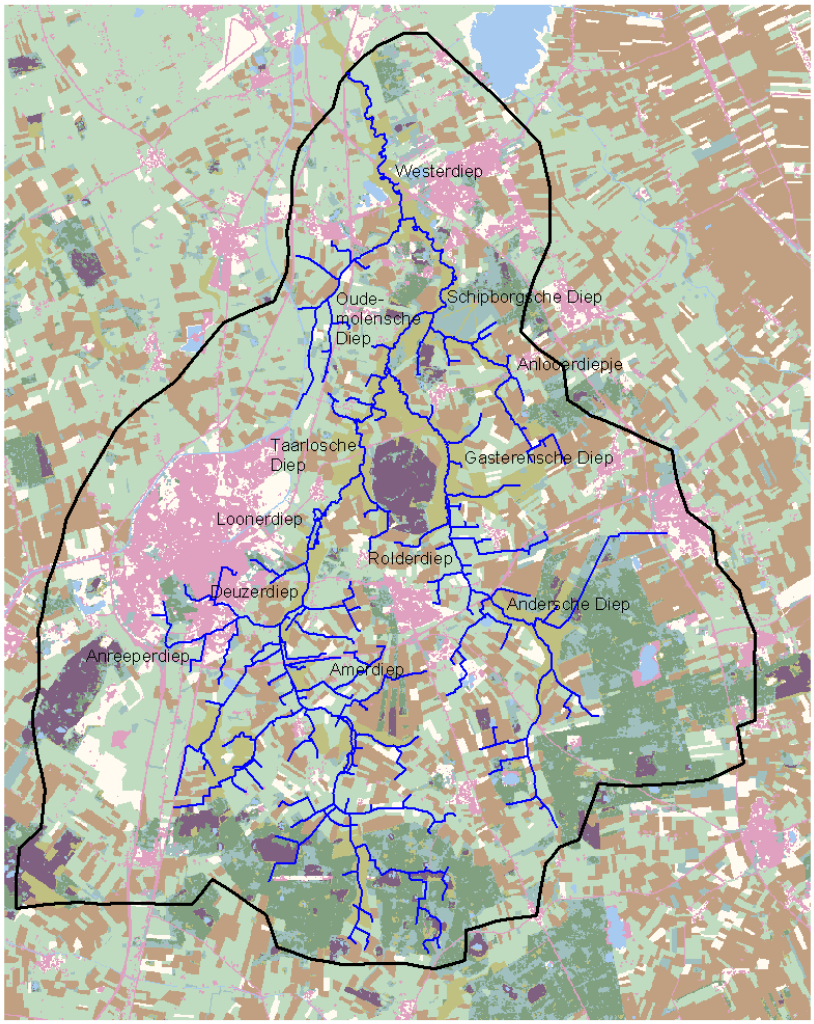
Het voorliggende rapport betreft het 'achtergrondrapport' voor de Drentse Aa. Hierin zijn de activiteiten die in het kader van het project Monitoring Stroomgebieden in de Drentse Aa zijn uitgevoerd beschreven en geïnterpreteerd. Na de systeemanalyse Fase 3 bleek namelijk dat er aanvullende gegevens nodig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

## 2.1 Beschrijving van het gebied

Het stroomgebied van de Drentse Aa ligt in het noordoosten van de provincie Drenthe, in de driehoek Assen-Glimmen-Gieten en is ca. 30 000 hectare in omvang. Het beekstelsel ontspringt op de Hondsrug en het Drentsch Plateau (ca. 22 m. boven N.A.P.) in het zuiden van het stroomgebied. In noordelijke richting neemt de maaiveldhoogte af naar ca. 0.60 m. boven N.A.P. in de buurt van Glimmen.

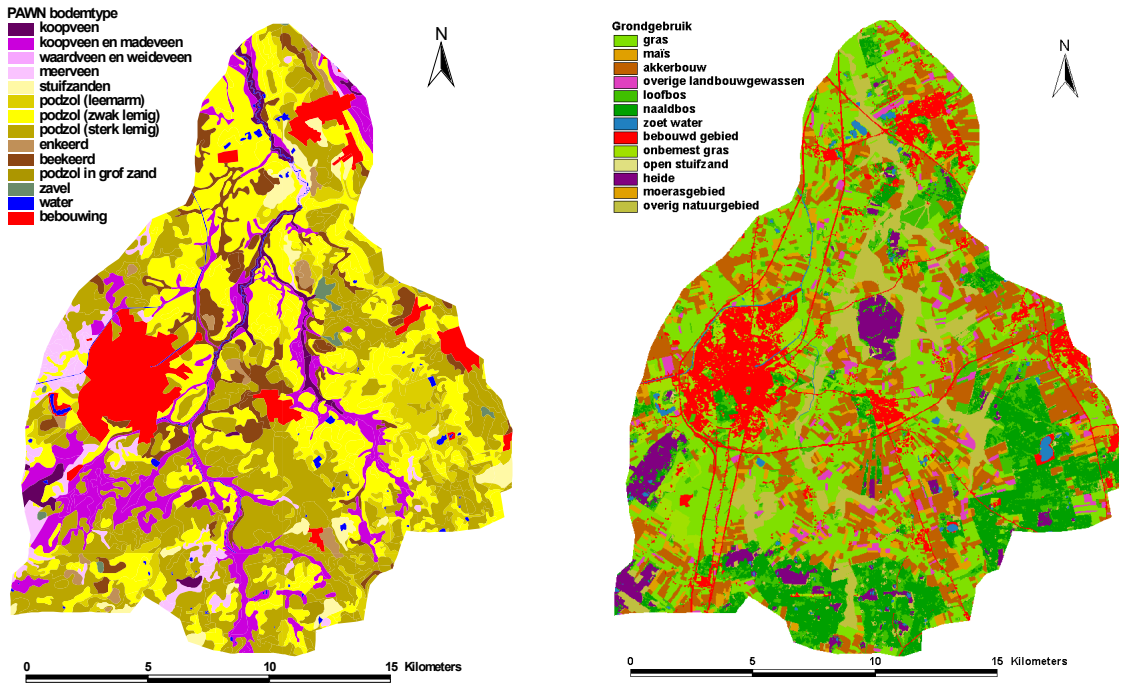



*Figuur 2.1*
*Beekstelsel de Drentse Aa.*

Het stroomgebied van het beekstelsel de Drentse Aa is een onder natuurlijk verval afwaterend gebied. In het zuidelijk deel van het stroomgebied bestaat de Drentse Aa uit drie hoofdtakken, het Anreeperdiep, het Amerdiep en het Anderschediep (Figuur 2.1). De meest westelijke beek (Anreeperdiep) geldt als oorspronkelijke hoofdstroom tezamen met het Amerdiep. De oostelijke hoofdtak (Anderschediep) gaat als Rolderdiep en Gasterenschediep verder en vormt de belangrijkste bijdrage aan de waterafvoer. Benedenstrooms komen de twee hoofdtakken tezamen en wateren uiteindelijk af op het Noord-Willemskanaal. De twee belangrijkste zijlopen welke benedenstrooms afwateren op de Drentse Aa zijn het Zeegserloopje en het Anloerdiepje.

In de zestiger jaren van de vorige eeuw is een aantal bovenlopen van de Drentse Aa genormaliseerd (te weten: Amerdiep, Anreeperdiep, Deurzerdiep, Rolderdiep, Anderschediep en het Zeegserloopje). Het bekenstelsel de Drentse Aa is een continu watervoerend stelsel, met in de zomer een afvoer van ca. 50 duizend $m^3$.d-1. De piekafvoer in het najaar kan oplopen tot ca. 1200 duizend $m^3$.d-1. Bij het uitlaatpunt Schipborg is een gemiddelde jaarlijkse waterafvoer van ca. 65 miljoen $m^3$.jr-1 over de periode 1993-2001 gemeten. Het hydrologisch stelsel van de Drentse Aa kan worden opgedeeld in inzijggebieden (de Hondsrug en het Drentsch Plateau) en kwelgebieden (beekdalen). In perioden met neerslag zal er door de combinatie van de weerstand van de keileemlagen en de intensiteit van de ontwatering veel water door het oppervlaktewaterstelsel worden afgevoerd. Dit veroorzaakt de snelle component van de afvoer van de beek. De langzame component (ook wel basisafvoer genoemd) wordt veroorzaakt door kwel. De intensiteit van de kwel wordt bepaald door de diepte van de insnijding van het beekdal en door het voorkomen van slechtdoorlatende lagen (potklei en keileem).

Het stroomgebied bestaat voor het overgrote deel uit zandgronden (ruim 90%), met in de beekdalen laagveen (Figuur 2.2). De zandgronden bestaan voor ca. 80% uit podzolgronden. In het gebied komt een aantal keileemlagen en potklei voor, die als slechtdoorlatende lagen zijn te beschouwen.




*Figuur 2.2*

*Bodemindeling (links) en landgebruik (rechts) in het stroomgebied van de Drentse Aa.*

Het stroomgebied van de Drentse Aa bestaat voor ruim de helft van het oppervlak uit agrarisch gebied. Hiervan is circa de helft (ca. 27%) in gebruik als grasland (Figuur 2.2). Verder zijn vooral aardappelen en granen sterk in het stroomgebied vertegenwoordigd (respectievelijk met ca. 15 en 12%). Naast landbouw neemt natuur een aanzienlijk deel van het grondgebruik in het stroomgebied voor haar rekening (ca. 35%).

## 2.2 Kenschets gebied

Het stroomgebied van de Drentse Aa 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, met name stikstof, gemakkelijk kunnen uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater. In de beekdalen van de Drentse Aa bevinden zicht echter veenpakketten. Deze veenpakketten hebben een bufferende werking op de hogere stikstofconcentraties in het (ondiepe) grondwater.
- **Landbouw**. In het stroomgebied van de Drentse Aa komt landbouw en natuur afwisselend voor. In het algemeen wordt de landbouw in de Drentse Aa gekarakteriseerd door lage producties van dierlijke mest (melkveehouderij) en een groot aandeel akkerbouw (hoofdzakelijk aardappelteelt). Door aanvoer van dierlijke mest vanuit gebieden met een te hoge productie van dierlijke mest is het gebruik van dierlijke mest in het gebied van de Drentse Aa momenteel gelijkwaardig met landbouw in de rest van Nederland. Door de lage mestproductie in de Drentse Aa is de fosfaatverzadiging van de bodem relatief laag, maar is sinds medio jaren 90 stijgende in vooral de akkerbouwgebieden.
- **Gebiedseigen water**. In de Drentse Aa 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 uitgebreid gemeten in de vier stroomgebieden van het project Monitoring Stroomgebieden als aanvulling op de al aanwezige meetgegevens bij de waterschappen. Voor het stroomgebied de Drentse Aa is aanvullend in het oppervlaktewater gemeten met behulp van twee debietsproportionele meetstations, waarvan één benedenstrooms en één in een landbouwintensief deelgebied, genaamd het Zeegserloopje. Het meetnet is jaarlijks, samen met het waterschap, geëvalueerd en daar waar nodig aangepast. Zo is het meetnet in de Drentse Aa verdicht door het toevoegen van extra meetlocaties, maar ook door vaker in de tijd (wekelijks en tweewekelijks) te gaan meten.

## 3.2 Aanvullende meetgegevens in het stroomgebied van de Drentse Aa

### 3.2.1 Bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa

In het kader van het bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa van de provincie Drenthe worden ca. 70 meetlocaties in het stroomgebied van de Drentse Aa bemonsterd op onder meer het nutriëntengehalte in de bodem en het bovenste grondwater (Roelsma en Knotters, 2009). Het doel van het meetnet is een beeld te krijgen van de huidige toestand van de bodem en het ondiepe grondwater in relatie tot de thema's vermesting en verspreiding. Daarnaast dient het meetnet veranderingen in de bodemkwaliteit (en het bovenste grondwater) te signaleren, zodat vastgesteld kan worden of maatregelen effect hebben gehad en doelstellingen met betrekking tot de bodemkwaliteit gehaald worden. De meetlocaties liggen op zowel landbouwgronden (ca. 40 locaties) als op natuurterreinen (30 locaties).

De meetlocaties maken deel uit van een indeling van een deel van het stroomgebied in zeven homogene deelgebieden. Deze indeling is gebaseerd op een combinatie van een landgebruikskaart en bodemkaart. Het betreft hier de homogene deelgebieden:
- natuurlijke graslanden op eerdveen (777 ha);
- grasland op eerdveen (720 ha);
- grasland op podzol (5 932 ha);
- bouwland op podzol (3 389 ha);
- loofbos op podzol (1 150 ha);
- naaldbos op podzol (1 803 ha);
- heide op podzol (759 ha).

De zeven homogene deelgebieden samen beslaan ruim 50% van de totale oppervlakte van het stroomgebied van de Drentse Aa.

Op de circa 70 meetlocaties is vanaf 1995 in het voorjaar jaarlijks het ondiepe grondwater bemonsterd op aanwezigheid van nutriënten (nitraat, ammonium, fosfaat en kalium), chloride en zware metalen. De bodem (diepte 0 - 25 cm) is vanaf 1994 in het najaar eenmaal in de vier jaar op de aanwezigheid van nutriënten en eenmaal in de acht jaar op de aanwezigheid van zware metalen bemonsterd.

### 3.2.2 Meetmethode fostaatvoorraad 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 vaak 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 namelijk nauwelijks regionaal gedifferentieerde gegevens beschikbaar over (historische) bemestingsgiften en de mestsamenstelling. 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.

Door middel van een gestratificeerde steekproef zijn in het stroomgebied van de Drentse Aa ca. 70 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.

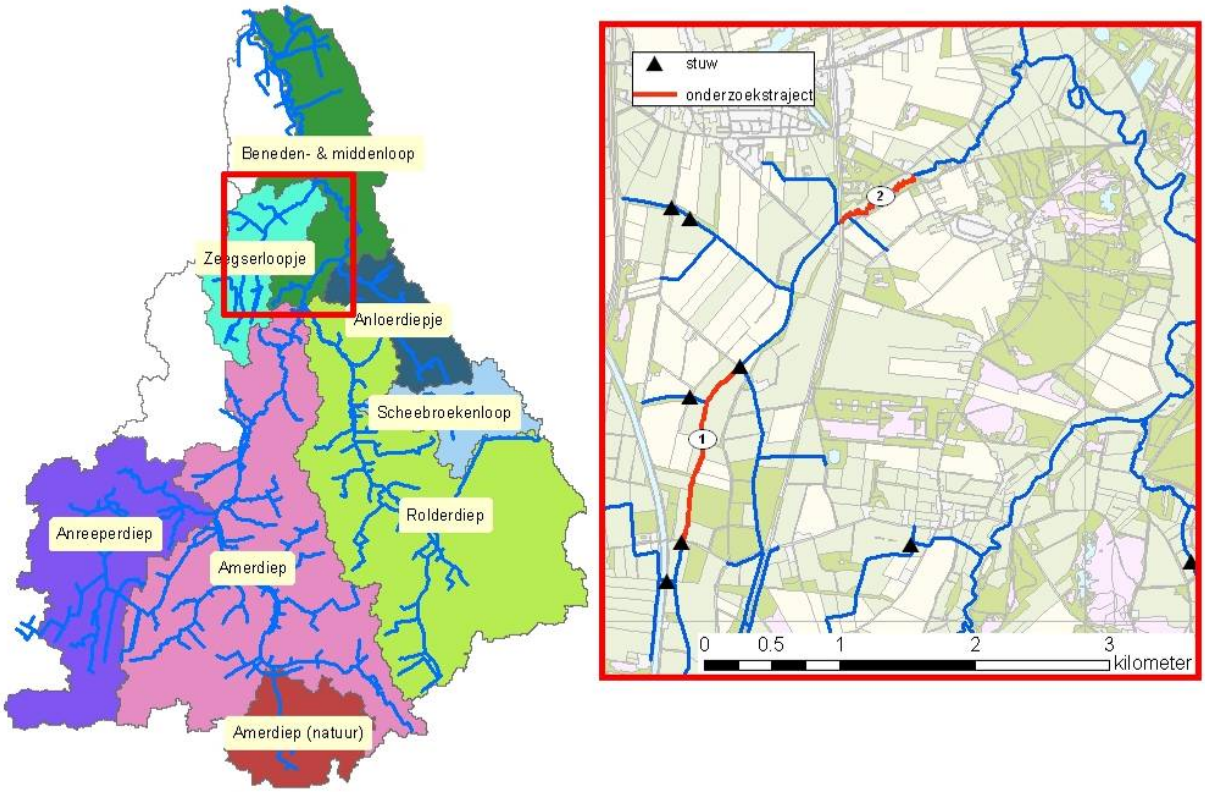
Per bodemlaag zijn de monsters geanalyseerd op een aantal bodemeigenschappen die relevant zijn voor de fosfaattoestand van de bodem: oxalaat-extraheerbaar fosfor ($P_{ox}$), een maat voor de hoeveelheid aan ijzer en aluminium gebonden fosfor in de bodem; oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium ($Fe_{ox}+Al_{ox}$), 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.

### 3.2.3 Meetmethode processen oppervlaktewater Zeegserloopje

Het nutriëntenzuiverend vermogen van het Zeegserloopje is gedurende drie weken in de zomer en het najaar van 2009 intensief bemeten (periode 1: 27 juli - 4 augustus; periode 2: 15 - 24 september; periode 3: 20 - 29 oktober). Het gaat om twee trajecten in het Zeegserloopje, één genormaliseerd (rechtgetrokken) traject en één in oorspronkelijke staat meanderend traject (Figuur 3.1). Per traject is het zuiverend vermogen bepaald door:

- het meten van retentieprocessen (denitrificatie, sedimentatie en nutriëntenopname door waterplanten);
- het opstellen van een water- en nutriëntenbalans door te meten hoeveel water en nutriënten het traject binnenkomen en verlaten. Het verschil hierin geeft een idee van het zuiverend vermogen.

De meetopzet is uitgebreid beschreven in Van Gerven et al. (2010). De gemeten snelheden van de retentieprocessen zijn gebruikt in de kalibratie (zie paragraaf 4.4), door het in deze studie gebruikte oppervlaktewaterkwaliteitsmodel processnelheden te laten kiezen die vallen binnen de gemeten range aan processnelheden.

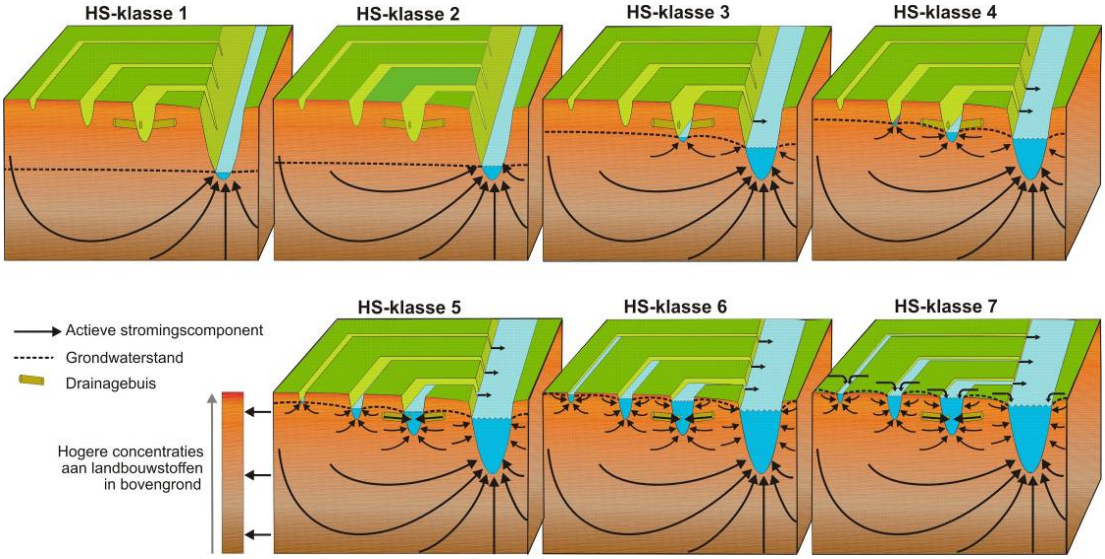



*Figuur 3.1*

*Deelstroomgebieden van de Drentse Aa en de locatie van het rechte (1) en meanderende (2) onderzoekstraject (bron: Van Gerven et al., 2010).*

## 3.3 Bepaling routes bodemsysteem

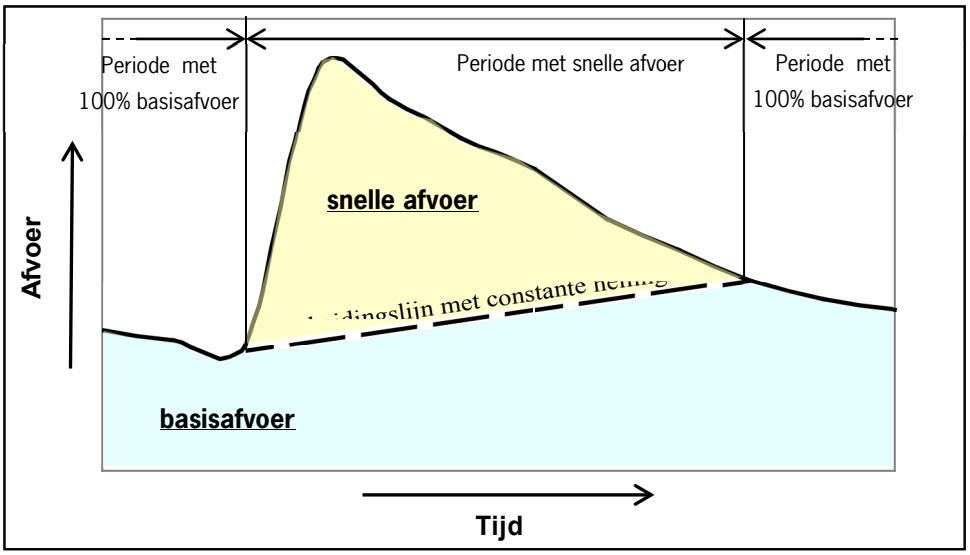
De oppervlaktewaterkwaliteit wordt mede bepaald door de hydrologische omstandigheden. Er zijn daarom relaties te vinden tussen chemische samenstelling van een oppervlaktewatermonster en de hydrologische omstandigheden op het tijdstip van bemonstering. De achtergrond hiervan is dat onder natte omstandigheden andere transportroutes vanuit het landsysteem een rol spelen dan onder droge omstandigheden. Wanneer deze verschillende transportroutes karakteristieke concentraties kennen is het logisch dat de oppervlakte-waterkwaliteit afhankelijk is van de wijze van afvoer naar het oppervlaktewater. 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 3.2 is dit concept gevisualiseerd voor een geschematiseerde dwarsdoorsnede van een stroomgebied dat representatief is voor Pleistoceen 'hoog' Nederland.




*Figuur 3.2*

*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 HS 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, 2008).*

Rozemeijer et al. (2008) heeft een methodiek ontwikkeld om op basis van afvoermetingen in oppervlaktewater een scheiding te maken in afvoerklassen, zogenaamde HydrograafScheiding of Hydrograph Separation (HS-) klassen. Het principe van deze methode is afgebeeld in Figuur 3.3. 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 beeksysteem kan nu het percentage snelle afvoer ten opzichte van basisafvoer worden berekend. De chemische samenstelling 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 belangrijker 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.



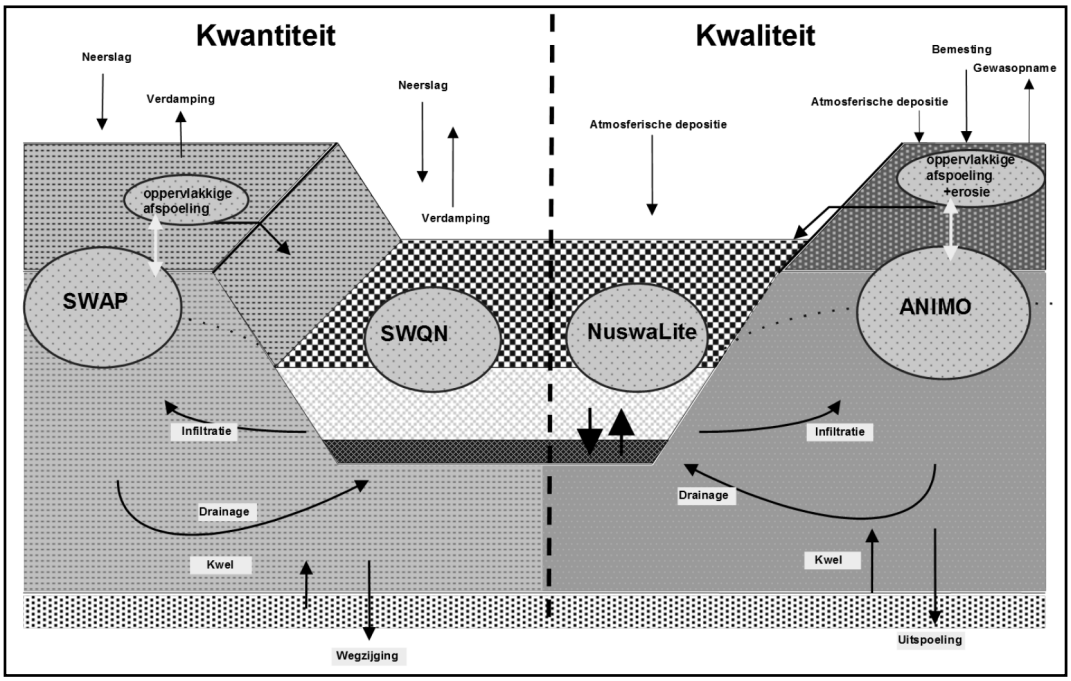

*Figuur 3.3*
*Illustratie van de toegepaste methode voor Hydrograph Separation.*

## 3.4 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium

Het modelsysteem van Monitoring Stroomgebieden bestaat uit vier gekoppelde procesmodellen (Figuur 3.4). 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 waren 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 (Roelsma 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.

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 Drentse Aa zijn 500 runs uitgevoerd waarin alle gekozen parameters zijn gevarieerd binnen vooraf gestelde bandbreedtes. Op basis van de berekende modelefficiënties 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).




*Figuur 3.4*

*Blokdiagram van de verschillende modules van het modelinstrumentarium.*

## 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 rivierwater)
- Watersysteem (bergingsverandering in waterbodem, waterkolom en waterplanten)

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

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

## 3.6 Sturingsmogelijkheden

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

1. Effecten mestbeleid: één van de grote vragen voor het project Monitoring Stroomgebieden 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.

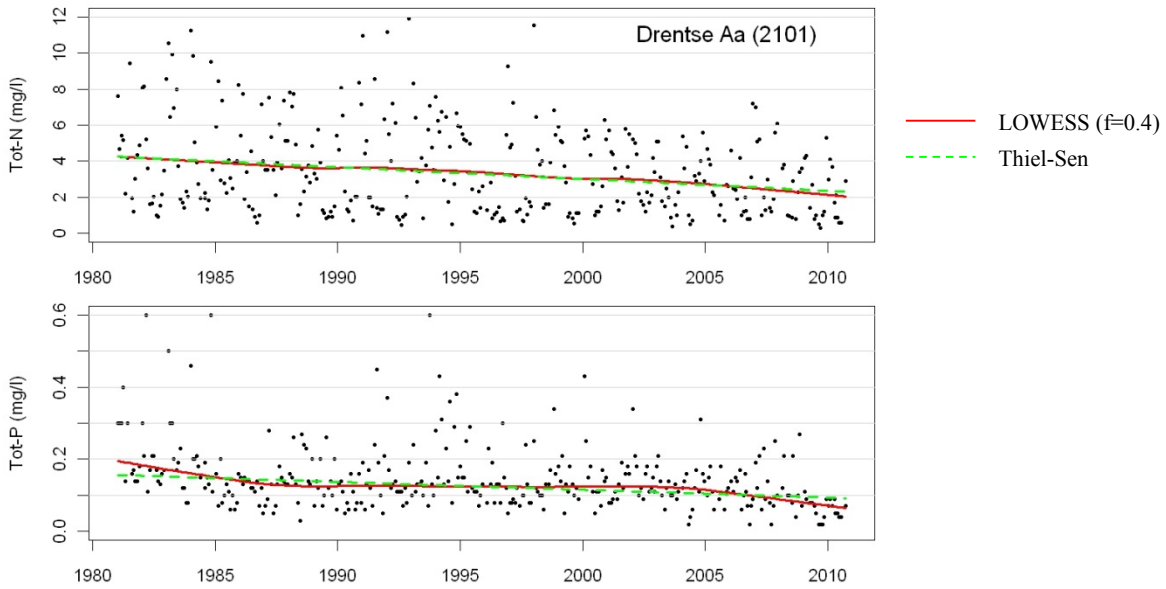
# 4 Data-analyse

## 4.1 Oppervlaktewaterkwaliteit van de Drentse Aa

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 Drentse Aa op de benedenstroomse meetlocatie 2101 (Figuur 4.6) 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 Drentse Aa (meetlocatie 2101).*

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 periodes 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 Drentse Aa op meetlocatie 2101 blijkt dat voor totaal-stikstof en totaal-fosfor vanaf 1980 een significante daling van de waargenomen concentraties in het oppervlaktewater optreedt (Figuur 4.1 en Tabel 4.1). De neerwaartse trend voor totaal-stikstof is vrij constant over de jaren heen, waardoor de LOWESS nauwelijks afwijkt van de Thiel-Sen hellinglijn. De neerwaartse trend is waarschijnlijk toe te schrijven aan de afgenomen bemesting door het Mestbeleid, aangezien bemesting een zeer belangrijke nutriëntenbron is (zie bronnenanalyse in hoofdstuk 6). De neerwaartse trend voor totaal-fosfor laat in de beginperiode (1980 - 1982) en in de eindperiode (2009 - 2010) een afwijking zien tussen LOWESS en de Thiel-Sen hellinglijn. Voor de beginperiode kunnen de uitschieters in gemeten fosforconcentraties een verklaring geven voor deze afwijking. In de periode 2009 - 2010 liggen de waargenomen fosforconcentraties op meetlocatie 2101 (meetpunt waterschap) structureel lager dan de waarnemingen in het benedenstroomse meetpunt van het Waterlaboratorium Noord (meetlocatie 1100; Figuur 4.6). Discussie over de oorzaken van deze verschillen in waargenomen fosforconcentraties loopt nog.

*Tabel 4.1*

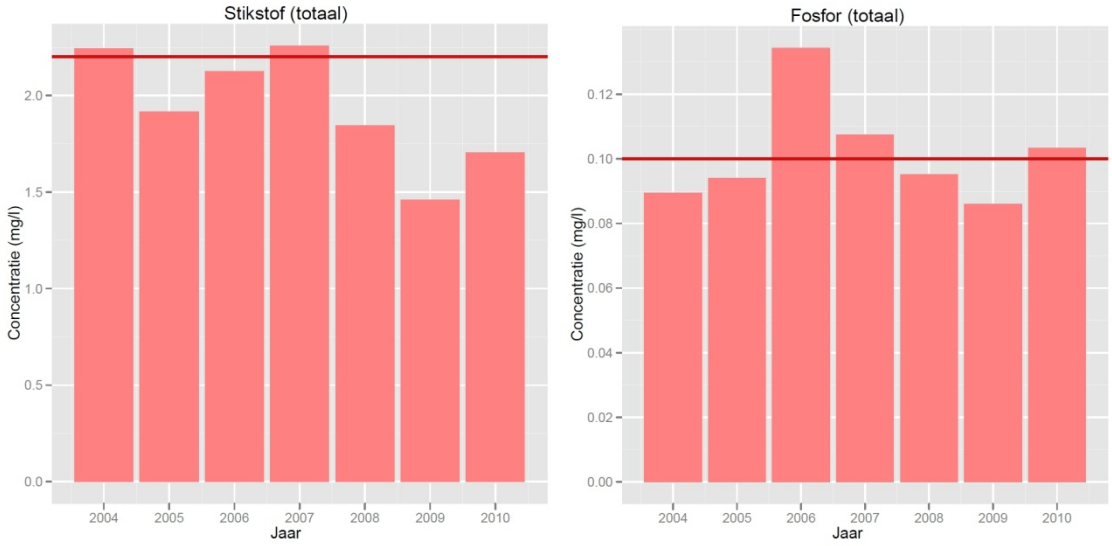
*De sterkte en significantie van de trend in de gemeten totaal-N en totaal-P concentraties op de benedenstroomse meetlocatie 2101 voor de jaren 1980 - 2010 en 2000 - 2010. De SMK-tau waarde geeft de richting en sterkte van de trend. Negatief betekent een neerwaartse trend en positief een opwaartse trend, berekend met de Seasonal Mann Kendall test. De p- waarde geeft de significantie van de trend.*

| | Stikstof (N) | | Fosfor (P) | |
|---|---|---|---|---|
| | 1980-2010 | 2000-2010 | 1980-2010 | 2000-2010 |
| SMK-tau | -0,26 | -0,30 | -0,22 | -3,0 |
| p | $5{,}2*10^{-11}$ | $5{,}2*10^{-5}$ | $5{,}3*10^{-8}$ | $3{,}2*10^{-5}$ |

Groen = significante neerwaartse trend (p<0,01)
Grijs= geen significante trend (p>0,01)

### 4.1.2 Gemiddelde concentraties in het gebied

In figuur 4.2 zijn de gemeten gemiddelde stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater voor het zomerhalfjaar voor de Drentse Aa voor de periode 2004 - 2010 (meetperiode project Monitoring Stroomgebieden) *voor alle meetlocaties* in het stroomgebied weergegeven. Hieruit blijkt dat voor stikstof de norm, op enkele overschrijdingen na, wordt gehaald. Voor fosfor zijn de overschrijdingen van de norm groter dan voor stikstof. Over de gehele periode (2004 - 2010) wordt een zomerhalfjaargemiddelde van 2,1 $mg.l^{-1}$ N en 0,11 $mg.l^{-1}$ P gevonden. De stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar zitten daarmee net onder de norm van 2,2 $mg.l^{-1}$ N. De fosforconcentraties in het zomerhalfjaar zitten echter net boven de norm van 0,10 $mg.l^{-1}$ P.




***Figuur 4.2***

*Gemeten zomergemiddelde concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor alle meetlocaties in de Drentse Aa. De rode lijn geeft de gebiedsgerichte norm weer.*

Benedenstrooms zijn de stikstof- en fosforconcentraties in het algemeen lager dan op basis van alle meetlocaties in de Drentse Aa (Figuur 4.3). Retentie (processen in het oppervlaktewater die er voor zorgen dat nutriënten worden vastgelegd of verdwijnen) is de reden voor dit verschil. Geheel benedenstrooms in de Drentse Aa bevinden zich in de periode 2004 - 2010 drie meetlocaties voor waterkwaliteit (zie ook Figuur 4.6). Dit zijn de meetlocaties 2101 (waterschap; maandelijkse steekbemonstering), 1100 (Waterlaboratorium Noord; maandelijkse steekbemonstering) en 1112 (Alterra; wekelijkse debietsproportionele verzamelmonster). Op de drie meetlocaties benedenstrooms wordt over de gehele periode (2004 - 2010) een zomerhalfjaar-gemiddelde van 1,6 mg.l-1 N en 0,10 mg.l-1 P gevonden (Tabel 4.2). De stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar zitten daarmee onder de norm van 2,2 mg.l-1 N. De fosforconcentraties in het zomerhalfjaar zitten echter op de norm van 0,10 mg.l-1 P.




*Figuur 4.3*

*Gemeten zomergemiddelde concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor de drie meetlocaties benedenstrooms in de Drentse Aa. De rode lijn geeft de gebiedsgerichte norm weer.*

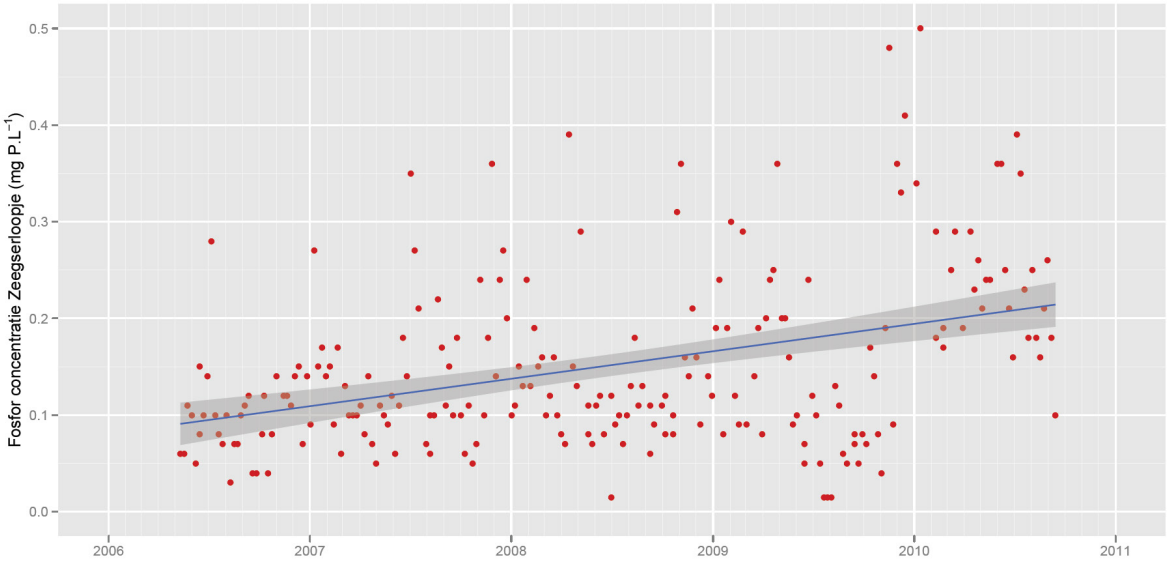
*Tabel 4.2*

*Overzicht van de meetlocaties benedenstrooms in de Drentse Aa.*

| Meetlocatie | 2101 | 1100 | 1112 (CMS1) |
|---|---|---|---|
| Bemonstering | Waterschap Hunze en Aa's | Waterlaboratorium Noord | Alterra |
| Meetfrequentie | Maandelijks | Maandelijks | Wekelijks |
| Meetmethode | Steekmonster | Steekmonster | Debietsproportioneel verzamelmonster |
| Gemiddelde zomerconcentratie stikstof (mg.l$^{-1}$ N-totaal) | 1,55 | 1,52 | 1,61 |
| Gemiddelde zomerconcentratie fosfor (mg.l$^{-1}$ P-totaal) | 0,089 | 0,103 | 0,098 |

Toch zijn de verschillen in meetwaarden tussen de verschillende meetpunten benedenstrooms nog groot (Figuur 4.3). Zo wordt voor het jaar 2010 een overschrijding van de norm voor fosfor voor de meetlocaties 1100 en CMS1 geregistreerd, terwijl in datzelfde jaar de gemiddelde fosforconcentratie voor het zomerhalfjaar in meetlocatie 2101 ruim onder de norm blijft. Verschil in meetfrequentie en -methode kan hierbij een rol spelen. Discussie over de oorzaken van deze verschillen in waargenomen fosforconcentraties loopt nog.

De laatste jaren worden echter stijgende fosforconcentraties in het oppervlaktewater in enkele deelgebieden van de Drentse Aa gevonden. Dit betreft vooral de meer landbouwintensieve delen van de Drentse Aa, zoals in het stroomgebied van het Zeegserloopje (Figuur 4.4). Deze stijging van fosforconcentraties in het oppervlaktewater komt overeen met een stijging van waargenomen fosfaatvoorraden in (landbouw)bodems in de Drentse Aa (zie paragraaf 4.2.1).




***Figuur 4.4***

*Trendanalyse totaal-fosforconcentraties in het door landbouw gedomineerde stroomgebied van het Zeegserloopje (meetlocatie CMS3). De schaduwing rondom de trendlijn geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval van de trendlijn aan.*

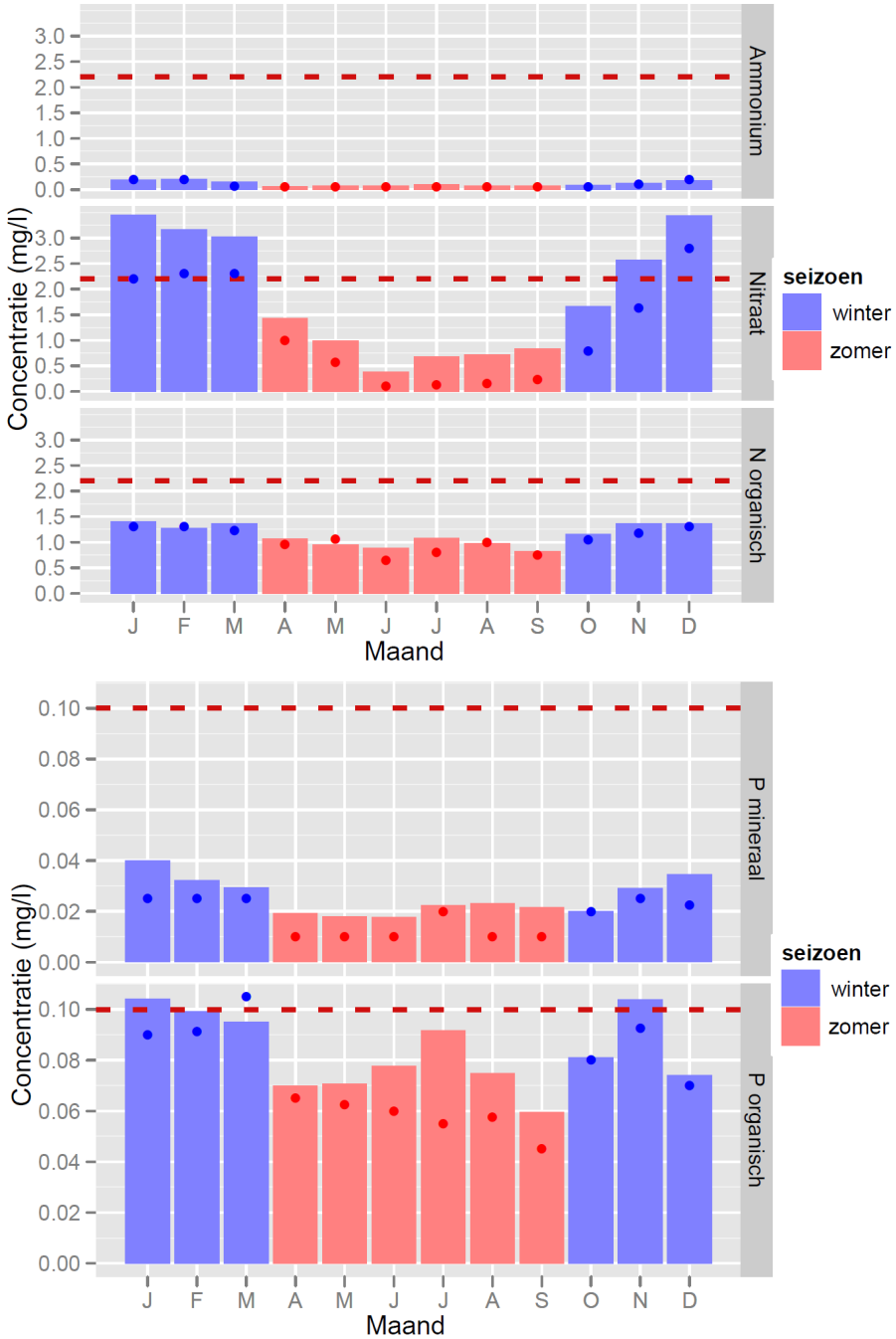
Benedenstrooms in de Drentse Aa wordt (nog) geen stijging van de gemeten fosforconcentraties gevonden (Figuur 4.2). Al is dit beeld niet uniform. Op meetlocatie 2101 worden voor het zomerhalfjaar 2010 juist lagere fosforconcentraties gemeten, terwijl de metingen op meetlocatie CMS1 in het zomerhalfjaar 2010 min of meer gelijk is aan de zomerhalfjaargemiddelden van 2004, 2005, 2007 en 2008. Echter, op meetlocatie 1100 (slechts 200 meter benedenstrooms van meetlocatie 2101) wordt voor het zomerhalfjaar 2010 de hoogste waarde in de meetreeks van 2004 - 2010 gevonden.

In Figuur 4.5 zijn de gemeten gemiddelde maandelijkse concentraties van de afzonderlijke stikstofcomponenten (ammonium, nitraat en organische stikstof) in het oppervlaktewater voor alle meetlocaties in de Drentse Aa weergegeven. Hieruit blijkt dat in de Drentse Aa nagenoeg geen ammonium in het oppervlaktewater wordt aangetroffen. De landbouw-beïnvloed de beken in het zandgebied in Nederland bevatten een jaargemiddelde concentratie van ongeveer 0,2 mg.l$^{-1}$ $NH_4$-N (Roelsma et al., 2011). Het ammoniumgehalte in de Drentse Aa zit hier duidelijk onder. Waardoor dit wordt veroorzaakt is vooralsnog niet duidelijk.

De seizoendynamiek van stikstof wordt met name veroorzaakt door de dynamiek in nitraat en niet door organisch stikstof (Figuur 4.5). In de Drentse Aa bestaat het overgrote deel van de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater uit nitraat. Vooral 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 Drentse Aa tussen de 0,5 en 1 mg.l$^{-1}$ N. In die periode wordt het aandeel organische stikstof het grootst. In de Drentse Aa wordt door het gehele jaar een stabiele fractie organische stikstof van ca. 1 mg.l$^{-1}$ N waargenomen.

In de Drentse Aa worden in het gehele jaar lage ortho-fosfaatconcentraties gemeten (Figuur 4.5). Het aandeel opgeloste organische fosforconcentratie en particulair gebonden fosfor is hiermee het grootste deel van het

totaal-fosforgehalte in de Drentse Aa. Ook de gemeten fosforconcentraties laten een seizoendynamiek zien: hoger in de winterperiode, lager in de zomerperiode. De reden hiervoor is dezelfde als genoemd bij stikstof. In absolute zin is het verschil in fosforconcentraties in de zomer- en winterperiode echter kleiner dan voor stikstof. Een van de verklaringen hiervoor is dat de processen die zorgen voor vastlegging van fosfor in het oppervlaktewater (voor fosfor is dat met name vastlegging aan de waterbodem en in de Drentse Aa tevens het voorkomen van ijzerrijke kwel; ijzer in gereduceerde vorm is een extra bindingscomplex voor fosfor) het gehele jaar rond een rol spelen



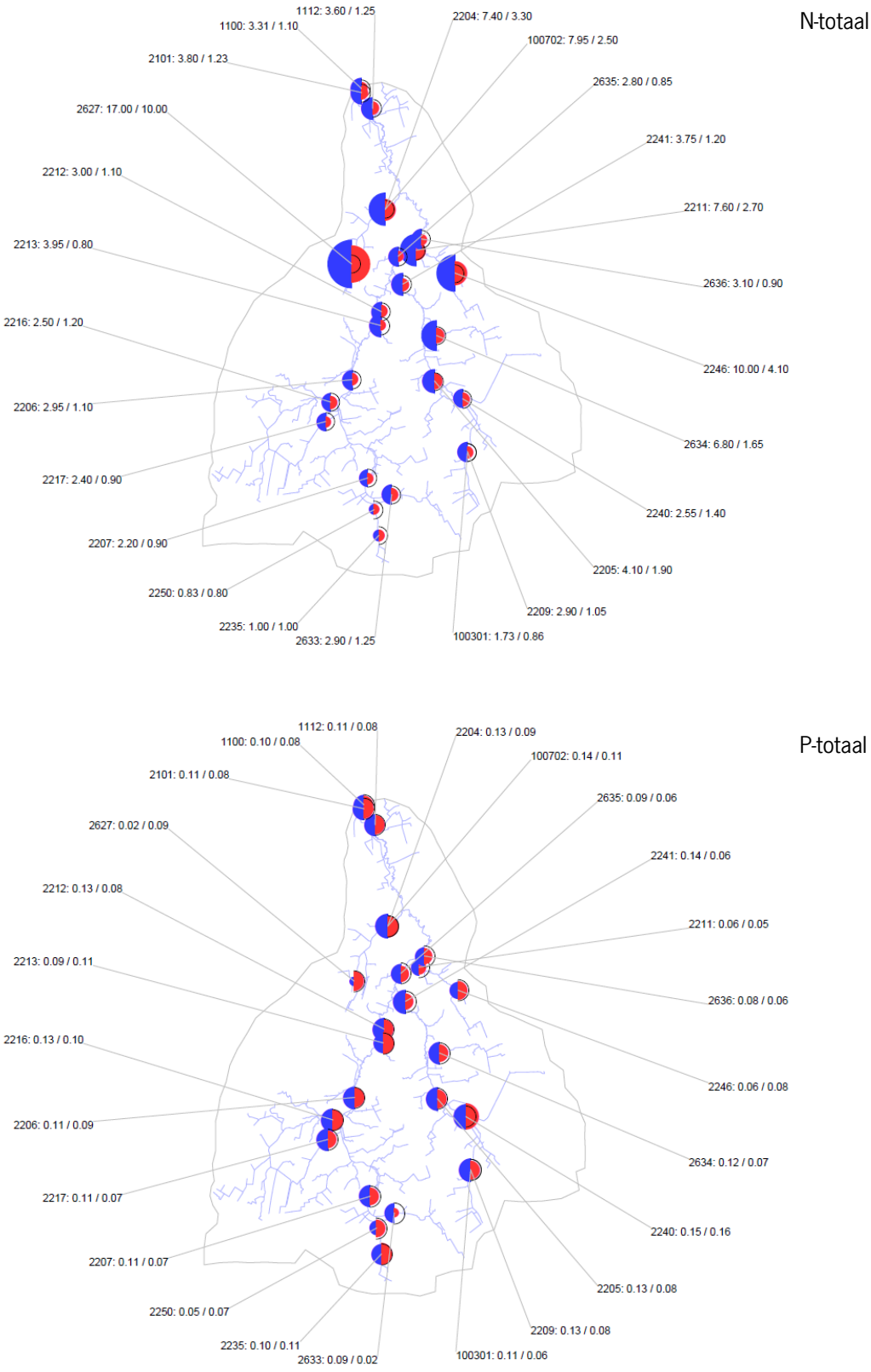

***Figuur 4.5***

*Gemeten gemiddelde maandelijkse ammonium-, nitraat- en organische-stikstofconcentratie (boven) en ortho-fosfaat- en organische-fosforconcentratie (onder) in het oppervlaktewater van de Drentse Aa over de periode 2004 – 2010.*

### 4.1.3 Ruimtelijke patronen van de concentraties in het gebied

Behalve in tijd, verschillen de nutriëntenconcentraties ook nog eens in de ruimte. Voor de Drentse Aa blijft de gemiddelde waargenomen stikstofconcentratie voor alle meetlocaties voor het zomerhalfjaar weliswaar onder de norm van 2,2 mg.$l^{-1}$ N (Figuur 4.2 en 4.3), toch zijn er enkele meetlocaties waar deze norm wel degelijk wordt overschreden (Figuur 4.6). Deze overschrijdingen van de norm voor stikstof vinden plaats in de landbouw beïnvloede deelgebieden het Zeegserloopje (meetlocaties 2204, 100702 en 2627) en het Anloerdiepje (meetlocaties 2211 en 2246). Op de meetlocaties in natuurgebieden worden echter lagere stikstofconcentraties waargenomen (meetlocaties 2235 en 2250).

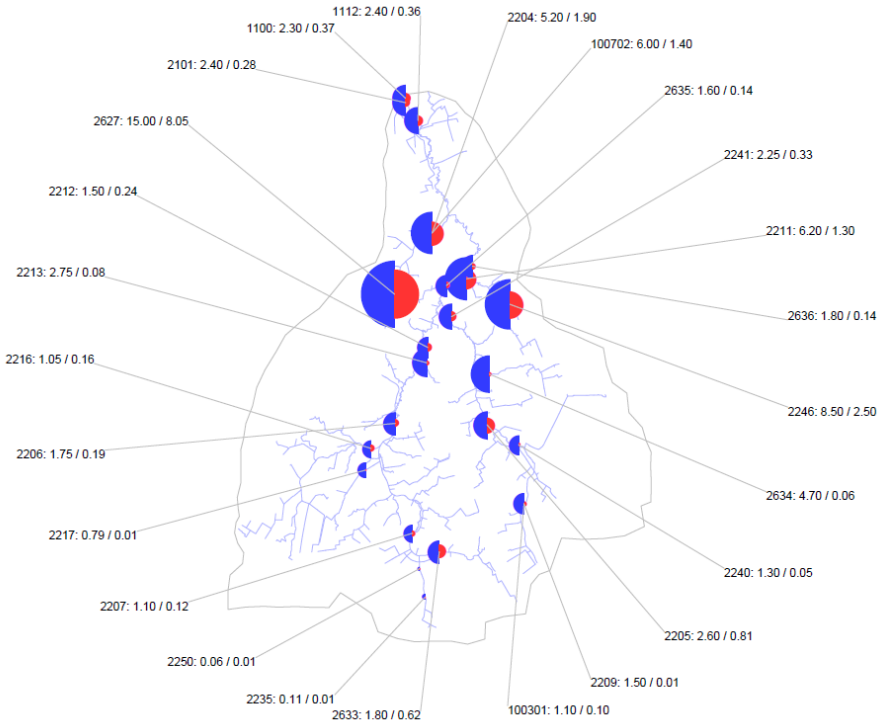
De gemeten fosforconcentraties in de Drentse Aa geeft, in tegenstelling tot gemeten stikstofconcentraties, een vrij constant ruimtelijk beeld. De meeste waarnemingen zijn net onder of boven de norm van 0,10 mg.$l^{-1}$ P. Opvallend is dat de gemeten fosforconcentraties in de natuurgebieden in dezelfde orde van grootte zijn als de gemeten fosforconcentraties in de landbouw beïnvloede gebieden. Het voorkomen van ijzerrijke kwel in het benedenstroomse deel van het Zeegerloopje en het Anloerdiepje zou hiervoor een verklaring kunnen zijn.




***Figuur 4.6***

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

Een opvallend fenomeen voor de ruimtelijke variatie van gemeten stikstofconcentraties in de Drentse Aa is de sterke variatie van de nitraatconcentraties (Figuur 4.7). In natuurgebieden (meetlocaties 2235 en 2250) wordt zowel in de zomerperiode als in de winterperiode nagenoeg geen nitraat in het oppervlaktewater waargenomen (ca. 0,01 mg.l$^{-1}$ $NO_3$-N in het zomerhalfjaar). In de landbouw-gedomineerde gebieden worden echter hoge nitraatconcentraties in het oppervlaktewater waargenomen. In deze gebieden wordt in het winterhalfjaar ruim 150 maal hogere nitraatconcentraties waargenomen dan in de natuurgebieden. In het zomerhalfjaar kan dit oplopen tot ruim 350 maal hogere nitraatconcentraties.



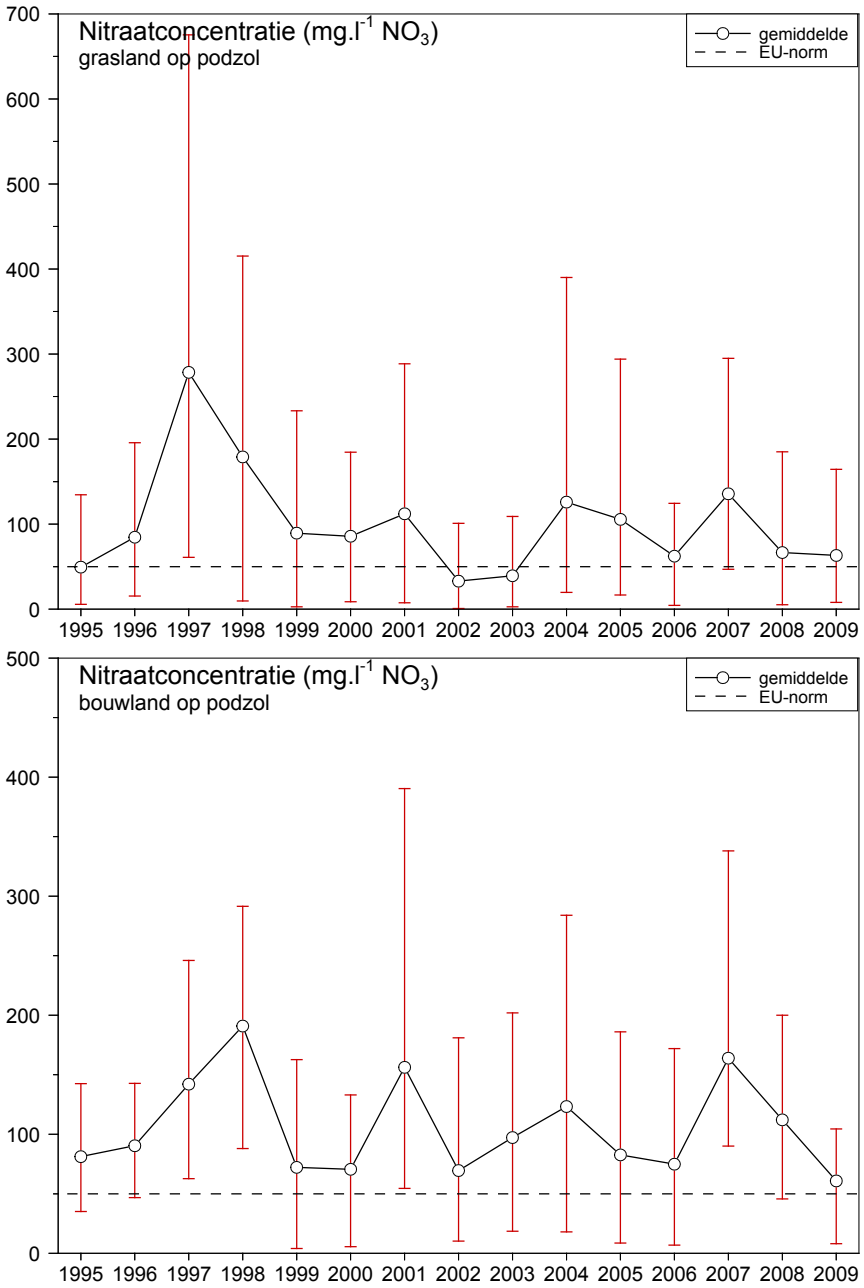

*Figuur 4.7*

*Gemiddelde gemeten winterhalfjaar (blauw) en zomerhalfjaar (rood) nitraat-stikstofconcentraties in het oppervlaktewater van de Drentse Aa over de periode 2004 – 2010.*

## 4.2 Aanvullende metingen in het stroomgebied van de Drentse Aa

### 4.2.1 Bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa

Voor de kwaliteit van het ondiepe grondwater is nitraat de belangrijkste parameter. De meetlocaties op landbouwpercelen op zandgrond laten hoge nitraatconcentraties zien (Figuur 4.8). De gemiddelde nitraatconcentratie over de periode 1995 - 2009 is ruim 100 mg.l$^{-1}$ $NO_3$ (103 mg.l$^{-1}$ $NO_3$ voor grasland op podzol en 106 mg.l$^{-1}$ $NO_3$ voor bouwland op podzo)l. Hiermee wordt voor dit deel van het gebied de nitraatrichtlijn van 50 mg.l$^{-1}$ $NO_3$ ruimschoots overschreden. De gemiddelde nitraatconcentraties in de andere deelgebieden (natuurterreinen en veengronden) liggen ruim onder de nitraatrichtlijn. Verder is er geen zichtbare trend in de tijd in de nitraatconcentraties waar te nemen.

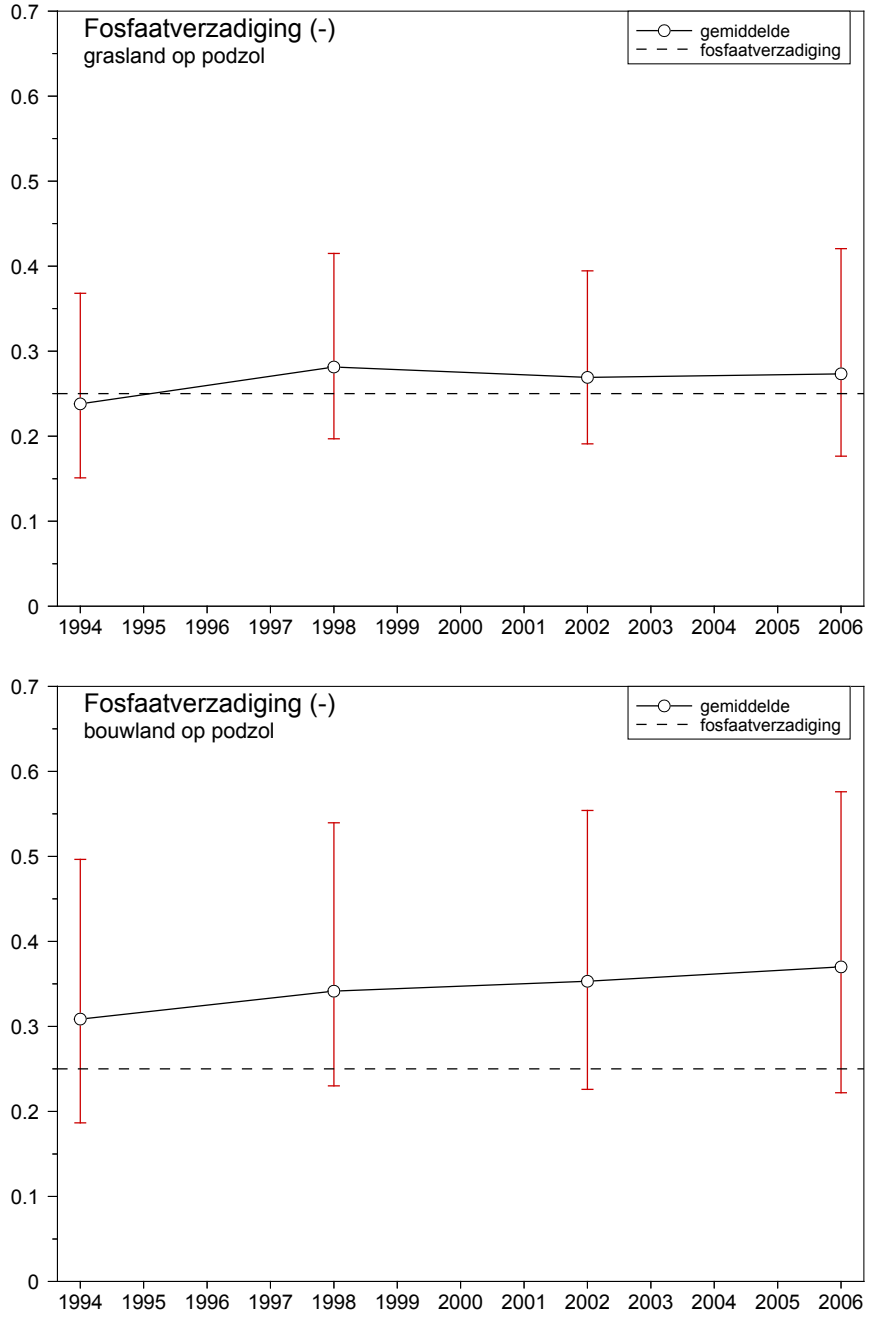



***Figuur 4.8***

*Gemiddelde nitraatconcentraties in het bovenste grondwater voor het homogene deelgebied grasland op podzol (boven) en voor het homogene deelgebied bouwland op podzol (onder). In rood is de spreiding weergegeven (5% en 95% van de meetwaarden).*

Uit Figuur 4.9 blijkt dat de fosfaatverzadiging in het homogene deelgebied grasland op podzol vanaf 1994 stijgt en na 2002 min of meer stabiel blijft op een waarde welke boven de streefwaarde voor fosfaatverzadiging van 25% ligt. Voor het homogene deelgebied bouwland op podzol stijgt de fosfaatverzadiging vanaf 1994 in de gehele waarnemingsperiode en ligt het gemiddelde van de waarnemingen boven de streefwaarde voor fosfaatverzadiging van 25%. Wanneer de waarnemingen in de bodem zich boven de streefwaarde van 25% bevinden spreken we van fosfaatverzadigde gronden (Schoumans, 2004). Bij fosfaatverzadigde gronden is (een deel) van de bindingscapaciteit van de bodem benut en zal extra aan de bodem toegediend fosfaat kunnen uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater. Bij een fosfaatverzadiging van

25% (op zandgronden) zal voor het bovenste grondwater een ortho-fosfaatconcentratie worden aangetroffen die boven de 0,10 mg.l$^{-1}$ zal liggen. Dit fosfaatrijke grondwater kan vervolgens weer uitspoelen naar het oppervlaktewater.

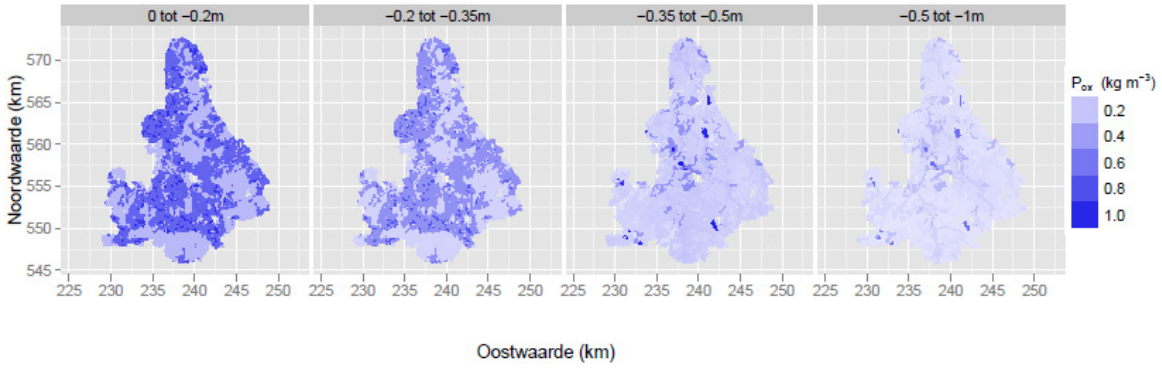



***Figuur 4.9***

*Gemiddelde fosfaatverzadiging in de bodem voor het homogene deelgebied grasland op podzol (boven) en voor het homogene deelgebied bouwland op podzol (onder). In rood is de spreiding weergegeven (5% en 95% van de meetwaarden).*

### 4.2.2 Fosfaatvoorraad in de bodem

Op basis van aanvullende metingen naar de fosfaatvoorraad in de bodem op circa 70 locaties in het stroomgebied van de Drentse Aa zijn de fosfaatkarakteristieken in het modelsysteem aangepast. Figuur 4.10 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.



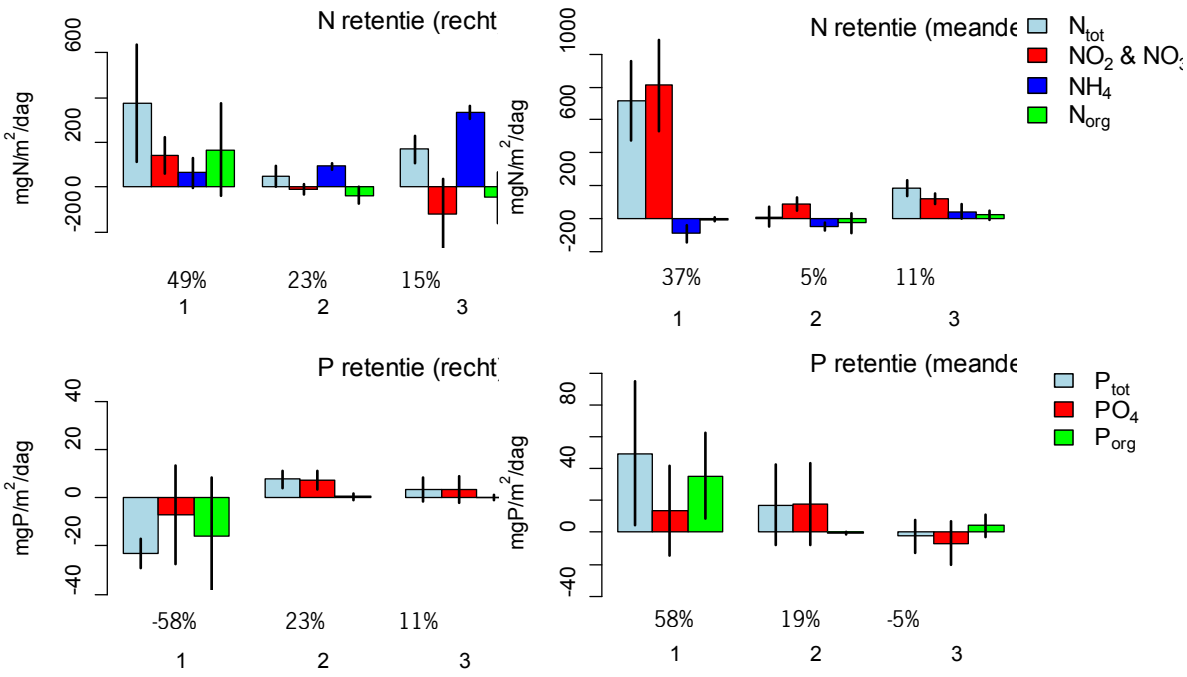

*Figuur 4.10*

*Ruimtelijke kaart van het geïnterpoleerde oxalaat-extraheerbare fosfor (in kg.m-3 P) voor de vier bodemdieptes voor de Drentse Aa.*

### 4.2.3 Procesmetingen in het Zeegserloopje

In het Zeegserloopje zijn gedurende een periode van drie weken twee trajecten (één rechtgetrokken (genormaliseerd) traject en één meanderend traject) intensief bemeten (zie paragraaf 3.2.3). De gemeten nutriëntenretentie in het Zeegserloopje verschilt per traject, per stof en per meetperiode (Figuur 4.11):

- In beide trajecten wordt gedurende alle meetperiodes stikstof vastgelegd met retentiepercentages (Rr.) van 5% tot 50% per meetperiode (voor meetperiodes, zie paragraaf 3.2.3).
- In beide trajecten wordt in bijna alle meetperiodes fosfor vastgelegd met retentiepercentages oplopend tot bijna 60%. Uitzondering is de grote fosfornalevering in het genormaliseerde traject in de eerste meetperiode (Rr = -60%).
- De retentie vertoont veel dynamiek zowel binnen meetperiode als per meetperiode.
- De fosforretentie is dynamischer dan de stikstofretentie.
- Het meanderende traject heeft geen structureel groter zuiverend vermogen dan het genormaliseerde traject: de kleinere verblijftijd van het water in het meanderende traject draagt hieraan bij.




*Figuur 4.11*

*Dagelijkse retentie van N en P van verschillende fracties voor het rechte traject (links) en het meanderende traject (rechts), per meetperiode. De zwarte lijnen geven de standaarddeviatie. De percentages geven de relatieve retentie van totaal-N en totaal-P (bron: Van Gerven et al., 2010).*

De gemeten retentie kan niet goed worden verklaard door de gemeten processen (Figuur 4.12). Oorzaken hiervoor zijn:

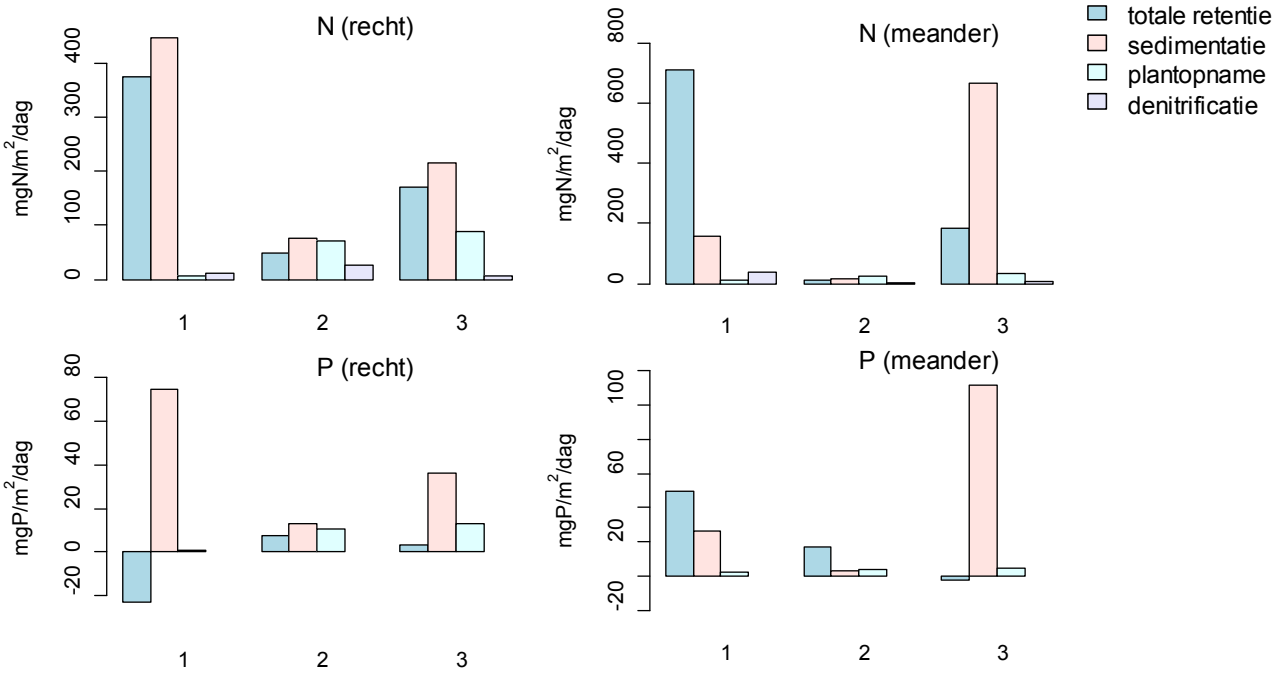
- De procesmetingen (puntmetingen in ruimte en/of tijd) zijn niet representatief voor het gehele traject of meetperiode.
- De gemeten water- en nutriëntenbalans is niet sluitend, voornamelijk door onnauwkeurigheden in de gemeten hoeveelheden inkomend en uitgaand water.
- Niet alle retentieprocessen zijn gemeten (zoals de resuspensie van gesedimenteerde nutriënten en de nutriëntenbinding aan de waterbodem).

Het valt op dat de bijdrage van denitrificatie aan de stikstofretentie klein is. De gemeten retentie van nitraat (Figuur 4.11) doet vermoeden dat de gemeten denitrificatiesnelheden (puntmetingen) niet representatief zijn voor de totale denitrificatie in het traject die groter is, zeker in meetperiode 1 en 3.

Verder valt op dat de sedimentatie een belangrijke rol speelt in de retentie voor zowel stikstof als fosfor. De resuspensie kon echter niet worden gemeten, waardoor niet duidelijk is welk deel van de gesedimenteerde deeltjes daadwerkelijk wordt vastgelegd en niet alsnog in het water terecht komt. De vastlegging en nalevering van (particulair) organisch stikstof en fosfor (Figuur 4.11) doet vermoeden dat sedimentatie en resuspensie elkaar compenseren. Uitzondering is meetperiode 1 waarin in het meanderende traject de sedimentatie overheerst en in het rechte traject de resuspensie groter is. Dit laatste is niet wat je verwacht aangezien meetperiode 1 wordt gekenmerkt door afnemende stroomsnelheden waardoor je verwacht dat de sedimentatie overheerst.

De plantopname levert vooral in meetperiode 2 een grote bijdrage aan de retentie. Deze periode kenmerkt zich door veel waterplanten en weinig stroming (lange verblijftijden van het water).

In bijlage 1 zijn de gemeten processnelheden vertaald naar modelparameters (gebruikt voor de kalibratie). Een overzicht van alle resultaten en bevindingen van de metingen in het Zeegserloopje wordt gegeven in Van Gerven et al. (2010).




*Figuur 4.12*

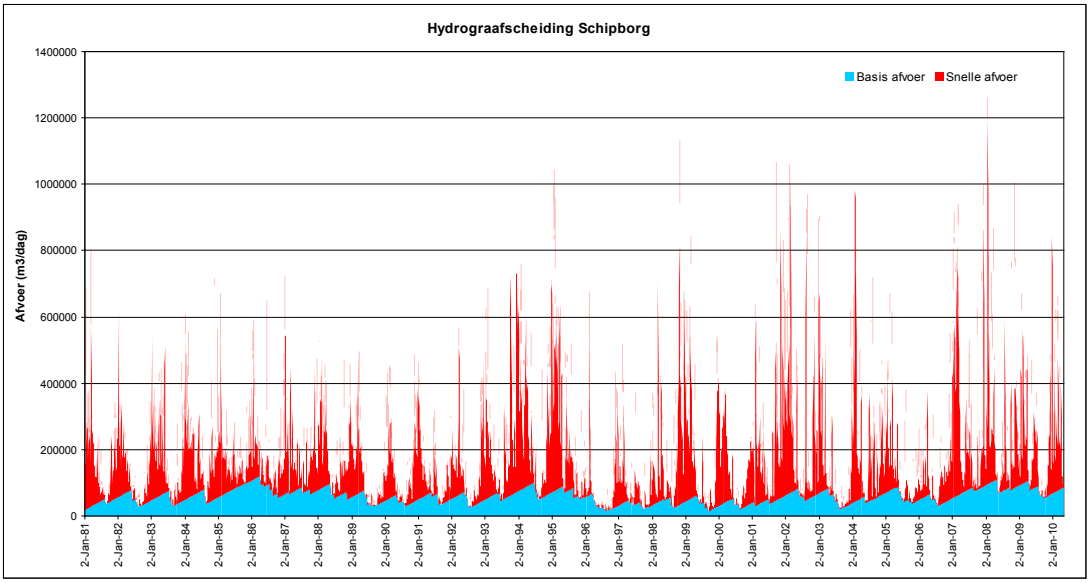
*Geschatte aandeel van de processen in de gemeten retentie, voor het rechte traject (links) en het meanderende traject (rechts), per meetperiode. Let op: de sedimentatie representeert niet de vastlegging, aangezien de resuspensie niet is beschouwd (bron: Van Gerven et al., 2010).*

## 4.3 Routes nutriënten in de Drentse Aa

In Figuur 4.13 zijn de resultaten van de Hydrograph Separation te zien voor het meetpunt Schipborg (uitstroompunt voor de gemeten waterafvoeren van de Drentse Aa) voor de gehele meetperiode vanaf 1981 – 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

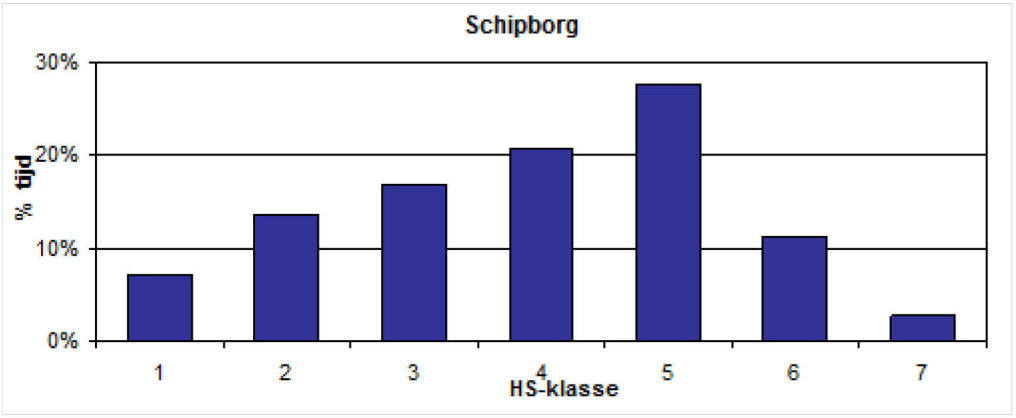
- Klasse 7: 90-100% snelle afvoer




***Figuur 4.13***

*De resultaten van de Hydrograph Separation voor de periode 1981-2010 voor de meetlocatie Schipborg (uitstroompunt Drentse Aa).*

In Figuur 4.14 is de frequentieverdeling van de HS-klassen in de tijd over de periode 1981-2010 weergegeven. Hieruit blijkt dat de klasse 1 en 7 vrij zeldzaam zijn en vooral de klassen 3, 4 en 5 veel vaker voorkomen.

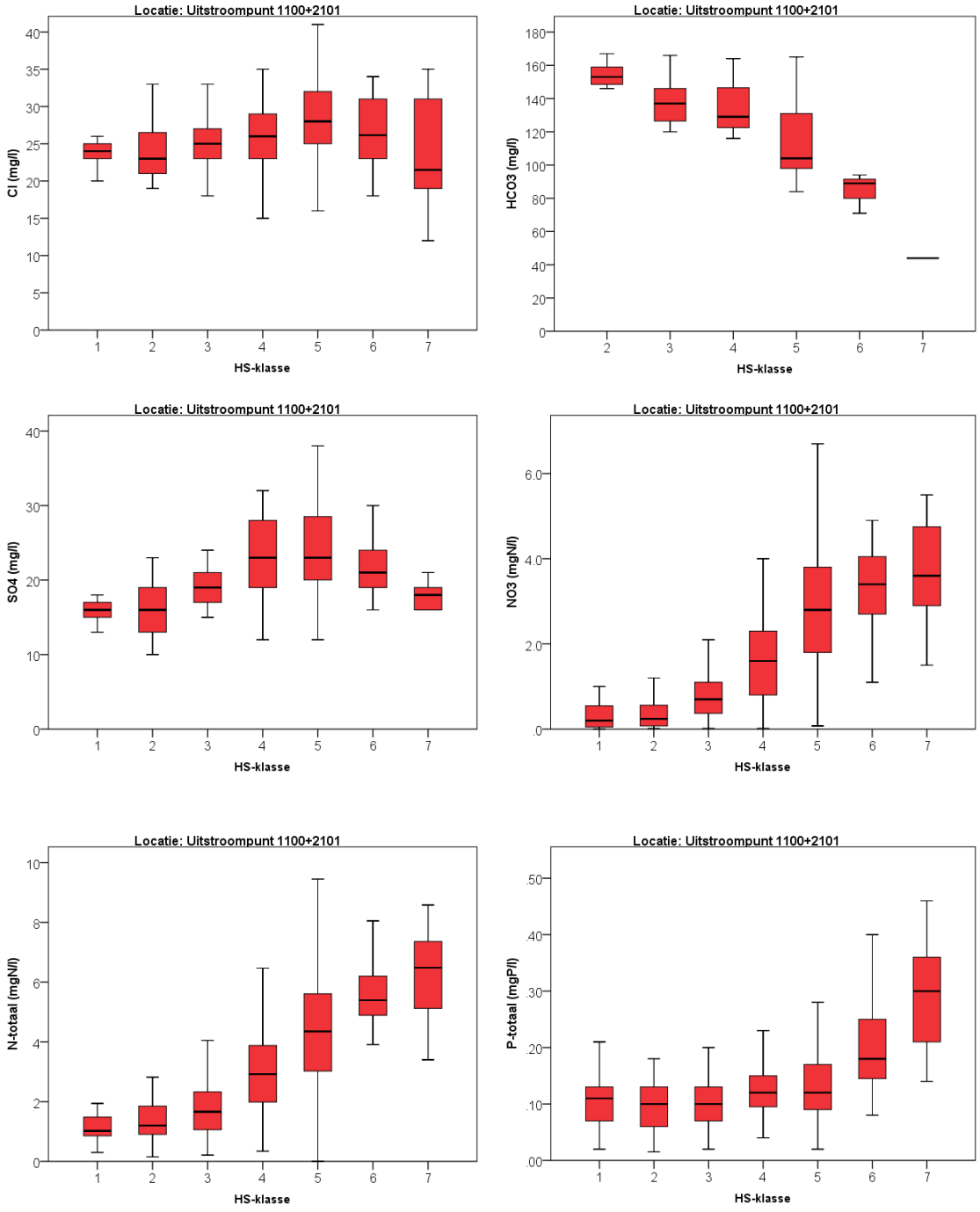



***Figuur 4.14***

*Frequentieverdeling van de afvoerklasse over de periode 1981-2010 voor de meetlocatie Schipborg.*

In Figuur 4.15 zijn voor het uitstroompunt van de Drentse Aa de boxplots afgebeeld van de oppervlaktewaterkwaliteit in de zeven afvoer-klassen. Hierin is te zien dat er duidelijke relaties bestaan tussen de stofconcentraties en de afvoer-klassen. 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 4.15***

*Uitstroompunt 2101 + 1100 (in 1100 zijn alleen nutriënten gemeten).*

Er is een duidelijk patroon in *bicarbonaatconcentratie*. In de boxplots is duidelijk een vrijwel lineaire afname van de bicarbonaatconcentraties te zien met de toename van de afvoer. Van 160 mg.l$^{-1}$ in HS-klasse 2 tot 40 mg.l$^{-1}$ in HS-klasse 7. Dit komt 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 duidelijk bewijs dat het conceptuele model dat een relatie legt tussen de afvoer van een beek en de bijdrage van het grondwater voor de Drentse Aa opgaat.

*Totaal-stikstof* en *nitraat* laten in de boxplots van Figuur 4.15 een duidelijke toename zien met de HS-klassen tot klasse 6 of 7. In de monsters met alleen basisafvoer (HS-klasse 1) zit net als in het diepe grondwater nauwelijks nitraat en een vrij constante concentratie totaal stikstof. In de hogere afvoerklasse is nitraat verreweg de belangrijkste stikstof component. Nitraat is erg mobiel, maar wordt over het algemeen in de overgangszone van de onverzadigde naar de verzadigde zone (de zone rondom de fluctuaties van het grondwater) gedenitrificeerd voordat het in het diepe grondwater terecht kan komen. In het ondiepe grondwater komen wel verhoogde nitraatconcentraties voor. Dit is te zien aan de oppervlaktewaterkwaliteit in de HS-klassen 2 t/m 4. In deze HS-klassen krijgt het diepere grondwater een steeds groter aandeel. In de HS-klassen 5 en 6 zit duidelijk meer nitraat dan in het diepere grondwater. Dit wijst op een groter wordende inbreng van het bovenste grondwater waar hogere nitraatconcentraties voorkomen. In klasse 7 zijn de nitraatconcentraties vergelijkbaar met klasse 6. Voor totaal stikstof blijft de concentratie stijgen. Er treedt verdunning van nitraat door snel afstromend regenwater op. Deze snelle route neem dus wel wat andere stikstof componenten mee (waarschijnlijk aan deeltjes gebonden organisch stikstof).

*Fosfor* bindt sterk aan bodemmateriaal. Door deze binding spoelt fosfor, dat via bemesting in de bodem komt, niet snel uit en blijft met name geconcentreerd in de bouwvoor (zie paragraaf 4.2.2). Toch komen er ook in het ondiepe en diepe grondwater kleine hoeveelheden fosfor voor door de verwering van mineralen en de afbraak van organisch materiaal. Fosforconcentraties in klasse 6 en 7 zijn hoger dan in klasse 1 t/m 5. Hieruit blijkt dat bij hoge grondwaterstanden fosfor tot uitspoeling komt.

*Sulfaat* laat een duidelijk ander patroon zien dan de voorgaande vier stoffen. In Figuur 4.15 is te zien dat de sulfaatconcentratie bij basisafvoer (HS-klasse 1) rondom de 15 mg.l$^{-1}$ ligt. De concentraties nemen dan toe tot HS-klasse 4 en 5, met mediaanconcentraties van 23 mg.l$^{-1}$. Bij de meest snelle afvoeren van HS-klassen 6 en 7 nemen de sulfaatconcentraties weer af. Dit patroon is ook weer te verklaren met sulfaatconcentraties in het grondwater. 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. Bij het toenemen van de afvoer neemt de sulfaatconcentratie daarom eerst toe. Onder afvoercondities waarbij snelle transportroutes belangrijk worden neemt de concentratie weer iets af. Het bovenste grondwater bevat lagere sulfaatconcentratie dan het ondiepe grondwater. Ook de verdunning door snel afstromend regenwater met nog lagere sulfaatconcentraties veroorzaakt het waargenomen patroon.

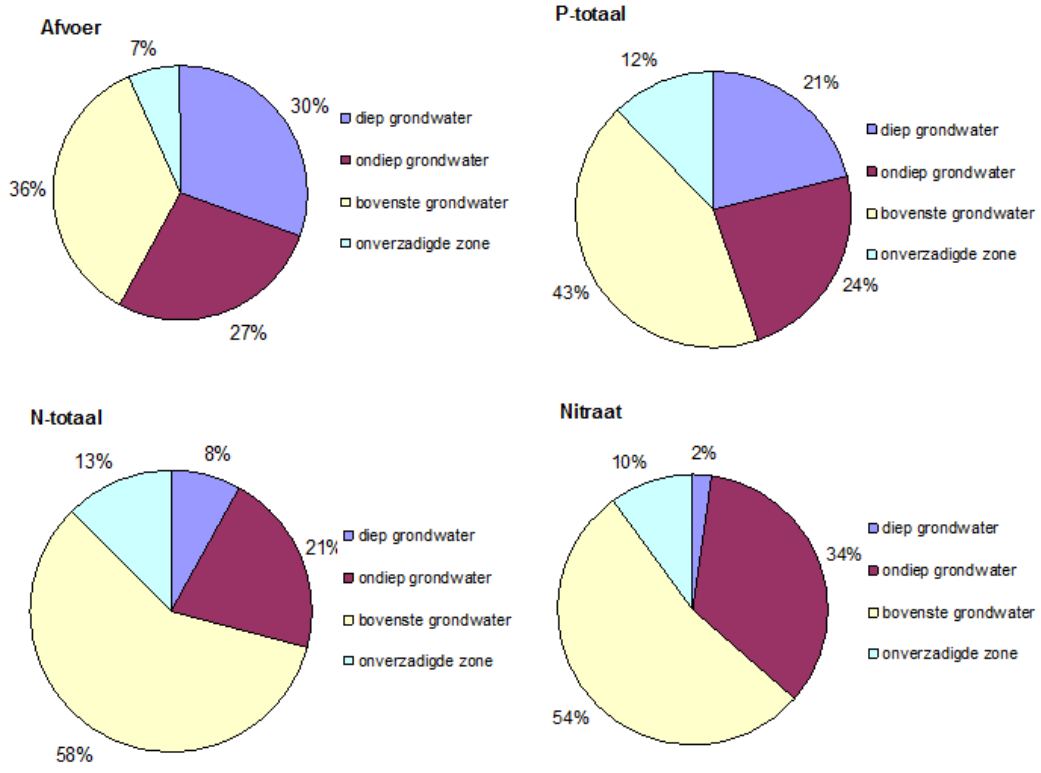
Het uitstroompunt van de Drentse Aa heeft nauwelijks patroon in *chlorideconcentratie*. De spreiding van de chlorideconcentratie lijkt iets toe te nemen bij hogere HS-klassen. In alle klassen ligt de mediaan chlorideconcentratie tussen de 20 en 25 mg/l.

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 Drentse Aa in de periode 1980 - 2010. Bicarbonaat geeft hiervoor het duidelijkste voorbeeld. De concentraties in de Drentse Aa zijn hoog bij lage afvoerklassen. Dit heeft 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 het maaiveld (alleen onder zeer natte omstandigheden).

Op ieder moment is er sprake van één van bovenstaande omstandigheden. Op basis van gemeten concentraties en afvoerreeksen is 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.



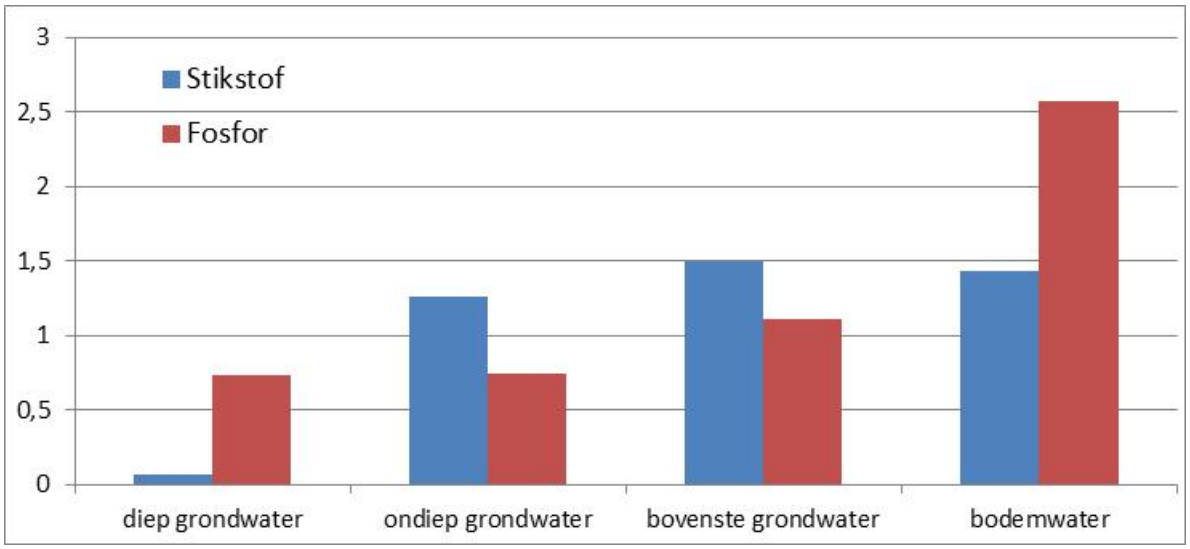

*Figuur 4.16*

*Bijdrage van de verschillende diepte-niveau's aan de totale vracht van de Drentse Aa (periode 1981-2010).*

Wanneer al het water van Drentse Aa zou worden opgevangen, dan zou 7% van de afvoer vanuit de onverzadigde zone (bodemwater) komen, 36% vanuit het bovenste grondwater, 27% vanuit het ondiepe grondwater en 30% vanuit het diepe grondwater (Figuur 4.16). In dit opgevangen water zou 10% van het nitraat uit de onverzadigde zone komen, 54% uit het bovenste grondwater, 34% uit het ondiepe grondwater en slechts 2% uit het diepe grondwater. Voor totaal-stikstof zien we min of meer hetzelfde beeld als voor nitraat, al is de bijdrage vanuit de onverzadigde zone en het bovenste grondwater iets groter dan bij nitraat. Aangezien het percentage stikstof dat uit het bovenste grondwater komt groter is dan het percentage water, kan worden

geconcludeerd dat het bovenste grondwater een relatief belangrijke bijdrage levert aan de stikstofvracht (Figuur 4.17). Het diepe grondwater (30% van de afvoer en 2% van de stikstofvracht) levert een relatief kleine bijdrage.

Voor fosfor is het water uit de onverzadigde zone (bodemwater) van belang (Figuur 4.17). Toch komt er voor fosfor nog een aanzienlijke bijdrage van het diepere grondwater. Dit komt overeen met de waarnemingen uit het grondwatermeetnet van provincie Drenthe waaruit blijkt dat in het stroomgebied van de Drentse Aa het diepere grondwater relatief hoge fosforconcentraties heeft.

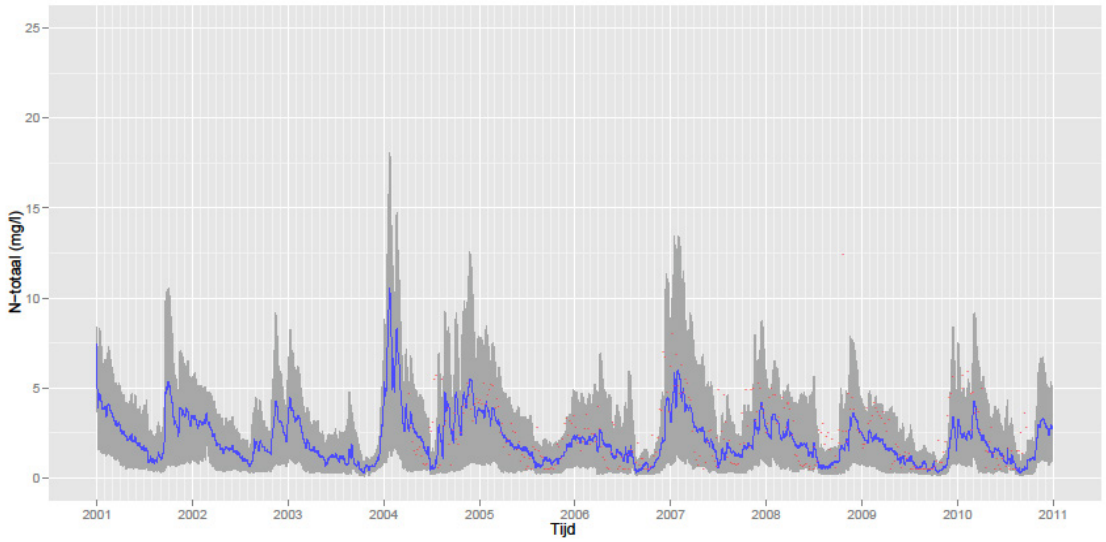



*Figuur 4.17*
*Relatieve bijdrage van de route op stikstof en fosfor (<1: route minder belangrijk; >1: route meer belangrijk.*

# 5 Beperkte kalibratie van het modelinstrumentarium

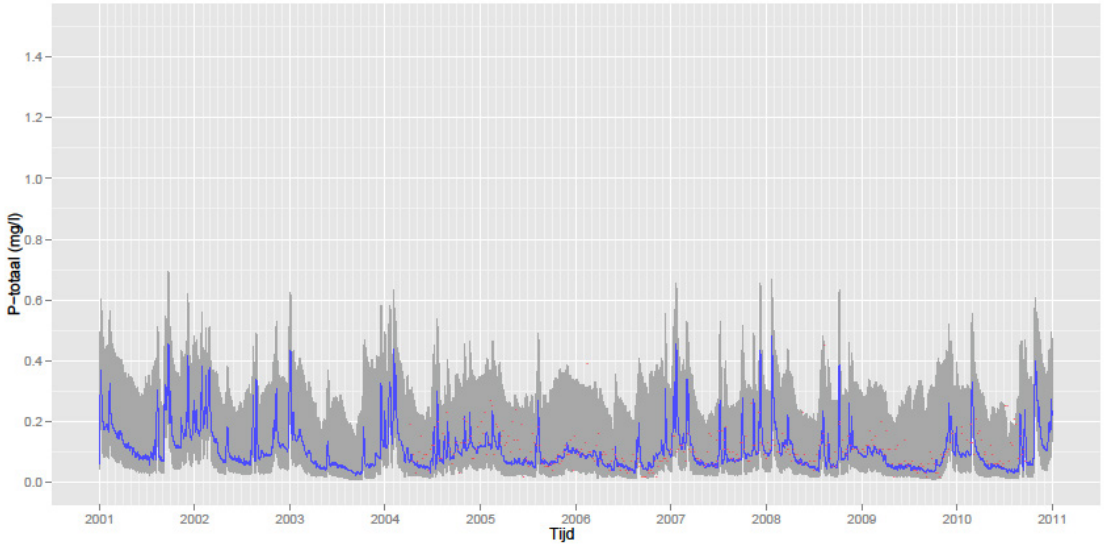
## 5.1 Beperkte kalibratie en resulterende oppervlaktewaterkwaliteit

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 wel 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. Voor stikstof 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 dat het model een meerwaarde biedt boven het gemiddelde van de metingen. Voor fosfor worden modelefficiënties bepaald die licht negatief zijn.




*Figuur 5.1*

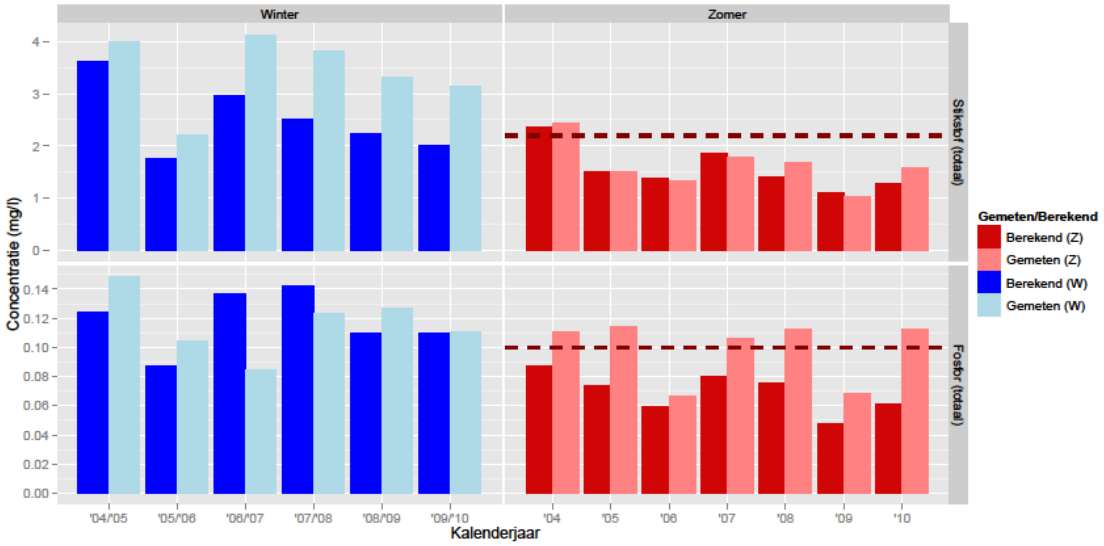
*Gemeten (rode punten) en berekende stikstofconcentraties in de benedenstroomse debietsproportionele meetlocatie (CMS1) van de Drentse Aa. De blauwe lijn geeft de resultaten van de beste modelvariant, het grijze gebied geeft de bandbreedte van de resultaten van de overige doorgerekende modelvarianten.*




*Figuur 5.2*

*Gemeten (rode punten) en berekende fosforconcentraties in de benedenstroomse debietsproportionele meetlocatie (CMS1) van de Drentse Aa. 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 stikstofconcentraties voor het zomerhalfjaar goed worden benaderd door het model. De stikstofconcentraties in het winterhalfjaar en de fosforconcentraties in het zomerhalfjaar worden echter onderschat. De fosforconcentraties voor het winterhalfjaar worden redelijk door het model benaderd.




*Figuur 5.3*

*Gemeten en berekende stikstof- en fosforconcentraties per winter- en zomerhalfjaar in de benedenstroomse debietsproportionele meetlocatie (CMS1) van de Drentse Aa 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 Drentse Aa 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 80% het gebied weer in opgeloste fractie. Dit resulteert voor het stroomgebied van de Drentse Aa in een langjarige stikstofretentie van 20%.

*Tabel 5.1*

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

Oppervlakte balansgebied: 24944 ha

| IN | $10^3$ kg N | UIT | $10^3$ kg N |
|---|---|---|---|
| Aanvoer vanuit landsysteem | 334.4 | Afvoer opgeloste fractie | 281.0 |
| Atmosferische depositie | 17.6 | Afvoer biomassa | 1.8 |
| RWZI | 0.0 | Sedimentatie organisch | 43.9 |
| Inlaat | 0.0 | Infiltratie naar landsysteem | 0.0 |
| | | Denitrificatie | 34.8 |
| Totaal | 351.9 | Totaal | 361.5 |
| Berging | | | -9.6 |

In Tabel 5.2 is de berekende fosforbalans van het oppervlaktewatersysteem van de Drentse Aa 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 Drentse Aa. 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 Drentse Aa in een langjarige fosforretentie van 29%.

*Tabel 5.2*

*Berekende fosforbalans van het oppervlaktewatersysteem over de periode 2001 – 2010.*

Oppervlakte balansgebied: 24944 ha

| IN | $10^3$ kg P | UIT | $10^3$ kg P |
|---|---|---|---|
| Aanvoer vanuit landsysteem | 25.1 | Afvoer opgeloste fractie | 17.9 |
| RWZI | 0.0 | Afvoer biomassa | 0.5 |
| Inlaat | 0.0 | Sedimentatie organisch | 4.7 |
| | | Sedimentatie mineraal | 2.7 |
| | | Infiltratie naar landsysteem | 0.0 |
| Totaal | 25.1 | Totaal | 25.8 |
| Berging | | | -0.7 |

In Tabel 5.3 is de berekende stikstofbalans van het landsysteem van het stroomgebied van de Drentse Aa 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 een kleine 15 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 Drentse Aa weergegeven. Op basis van die balansen blijkt dat met name onder maïs- en akkerbouwgronden de stikstofuitspoeling het hoogst is.

*Tabel 5.3*

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

Oppervlakte balansgebied: 23177 ha

| IN | kg.ha$^{-1}$ N | UIT | kg.ha$^{-1}$ N |
|---|---|---|---|
| Atmosferische depositie | 25.4 | Oppervlakkige afspoeling | 0.0 |
| Bemesting | 182.9 | Ammoniakvervluchtiging | -* |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.0 | Denitrificatie | 64.5 |
| Kwel | 0.4 | Netto gewasonttrekking | 127.0 |
| | | Afvoer door ontwatering | 14.7 |
| | | Wegzijging | 1.9 |
| Totaal | 208.9 | Totaal | 208.0 |
| Berging | | | 0.9 |

* 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 Drentse Aa 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 Drentse Aa weergegeven. Op basis van die balansen blijkt dat vooral onder graslanden de fosforuitspoeling het hoogst is. Dit komt omdat de fosforuitspoeling met name op veengronden waar landbouw wordt bedreven plaatsvindt. Het landgebruik van deze veengronden is in de meeste gevallen grasland.

*Tabel 5.4*

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

Oppervlakte balansgebied: 23177 ha

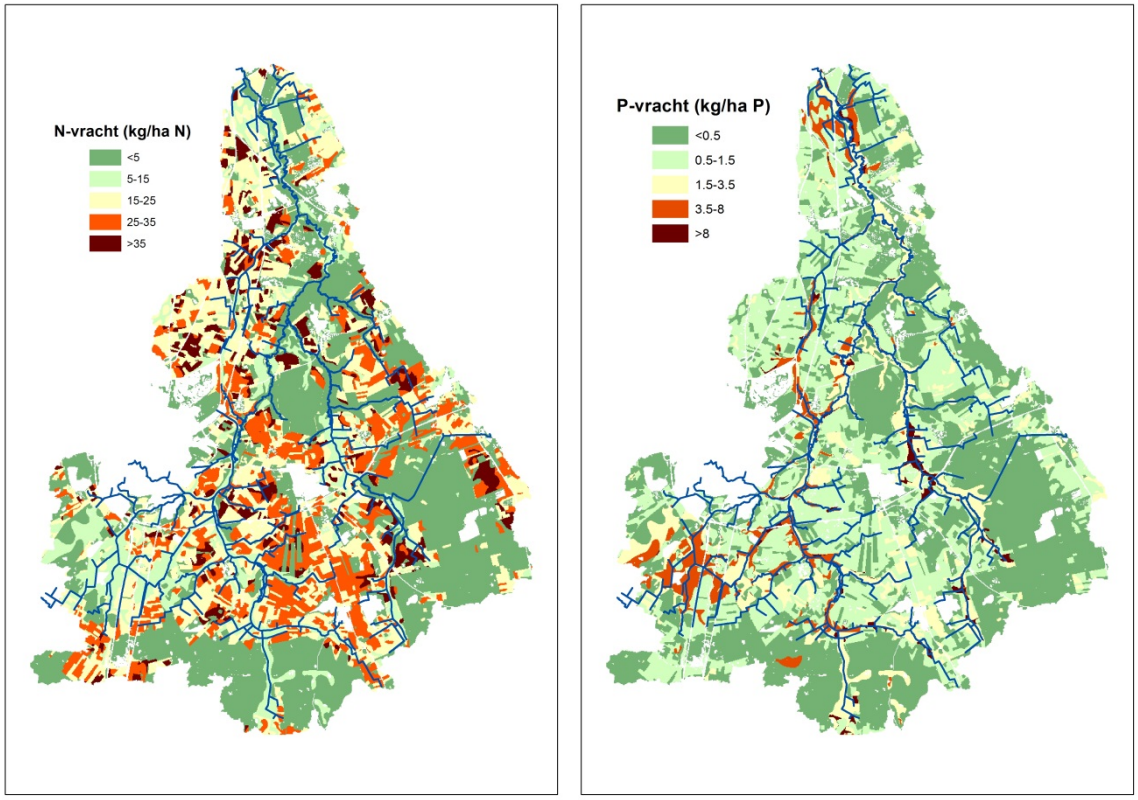
| IN | kg.ha$^{-1}$ P | UIT | kg.ha$^{-1}$ P |
|---|---|---|---|
| Bemesting | 27.0 | Oppervlakkige afspoeling | 0.00 |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.0 | Netto gewasonttrekking | 18.9 |
| Kwel | 0.5 | Afvoer door ontwatering | 1.1 |
| | | Wegzijging | 0.1 |
| Totaal | 27.5 | Totaal | 20.1 |
| Berging | | | 7.4 |

## 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 en dan vooral de bouwlandgebieden (inclusief maïs). 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 veel scherper begrensd dan het gebied met hogere stikstofuitspoeling. Uit de modelstudie blijkt dat een deel van de hogere fosforuitspoeling in de beekdalen voor rekening komt van de fosforrijke kwel, maar dat het grootste deel komt vanuit de uitspoeling van de fosforrijke ondiepe bodems die relatief hoge grondwaterstanden kent.

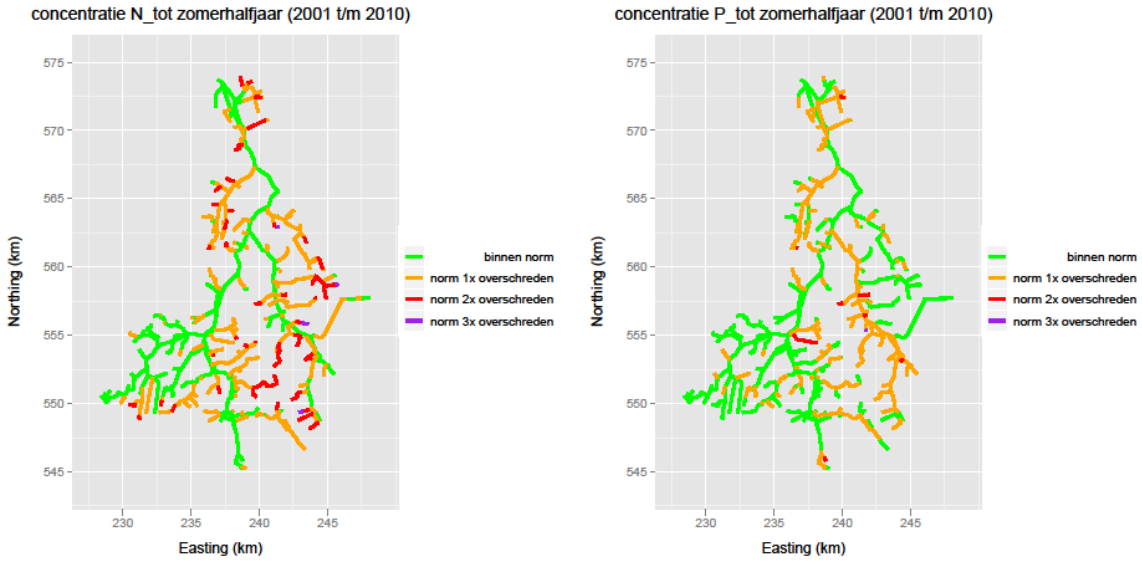
De door het modelinstrumentarium berekende routes van stikstof en fosfor in de Drentse Aa vullen de resultaten van de Hydrograph Separation, beschreven in hoofdstuk 4, goed aan. Bij de Hydrograph Separation ligt de nadruk op herkomst van de nutriënten gerelateerd aan het diepteniveau van het bodemsysteem. In de door het modelinstrumentarium berekende routes laten zien dat herkomst van stikstof is gerelateerd aan landgebruik, terwijl de herkomst van fosfor met name is gerelateerd aan de natte 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 Drentse Aa 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. Voor stikstof zijn deze verschillen groter dan voor fosfor. Eveneens blijkt uit deze simulaties dat in de landbouw beïnvloede deelgebieden (bijvoorbeeld in het Zeegserloopje en het Anloerdiepje) hoge(re) stikstofconcentraties worden gesimuleerd, maar dat in de hoofdloop van het beeksysteem de stikstofconcentraties weer binnen de norm komen.




*Figuur 5.4*

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




*Figuur 5.5*

*Gesimuleerde stikstof- (links) en fosforconcentraties (rechts) in het oppervlaktewaterstelsel van de Drentse Aa.*

# 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

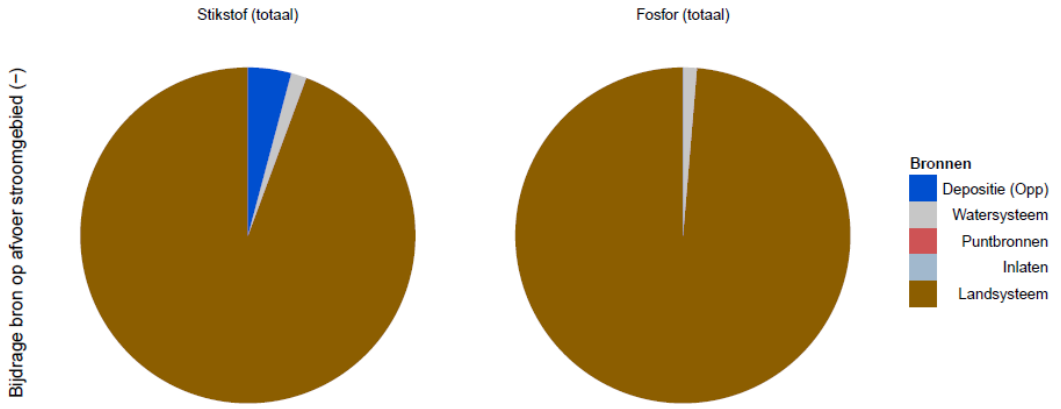
- de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewatersysteem, met als bronnen:
  - landsysteem (uit- en afspoelend water)
  - atmosferische depositie
  - puntbronnen (bijv. RWZI)
  - inlaat (van rivierwater)
  - watersysteem (bergingsverandering in waterbodem, waterkolom en waterplanten)

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

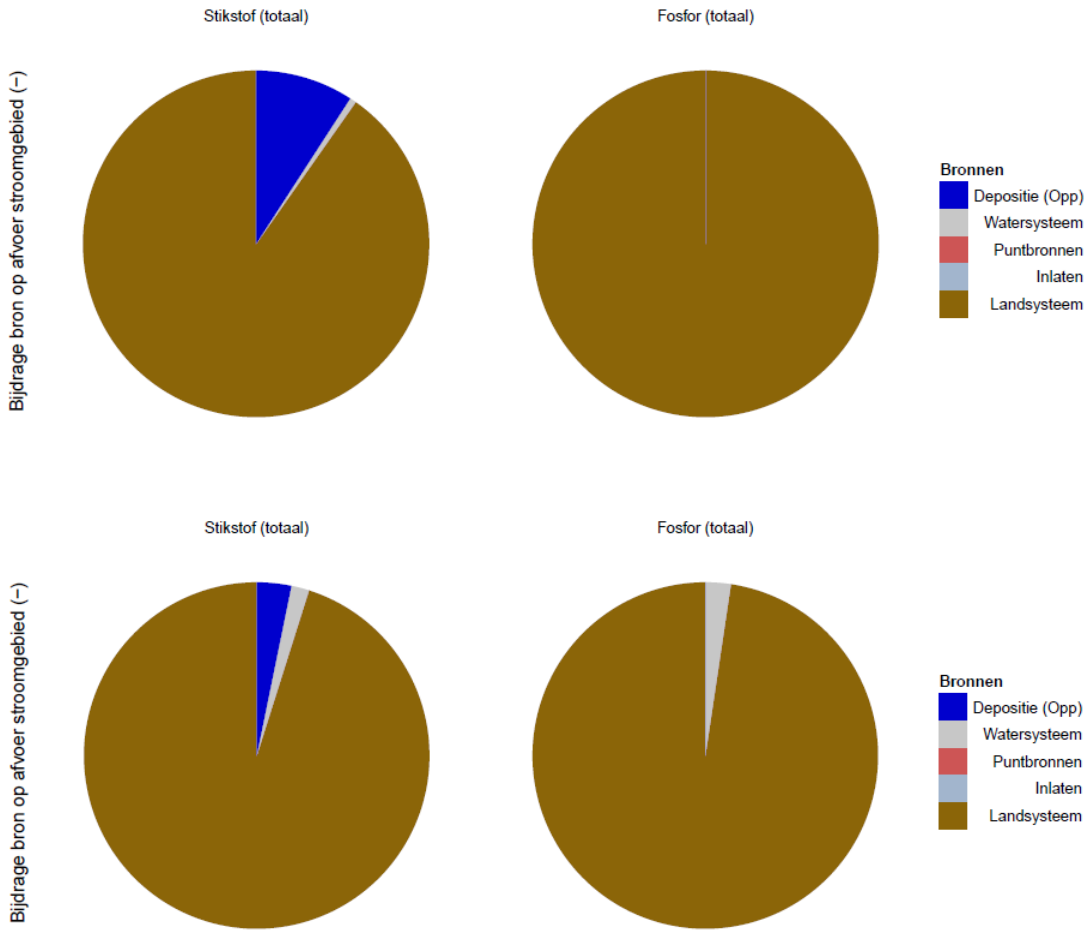
In Figuur 6.1 zijn de resultaten van de bronnenanalyse voor de belasting van het oppervlaktewatersysteem voor het gehele stroomgebied als langjarig gemiddelden weergegeven. Hieruit blijkt dat in de Drentse Aa geen belasting vanuit puntbronnen aanwezig is. Voor zowel stikstof als fosfor is de belasting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

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 6.1*

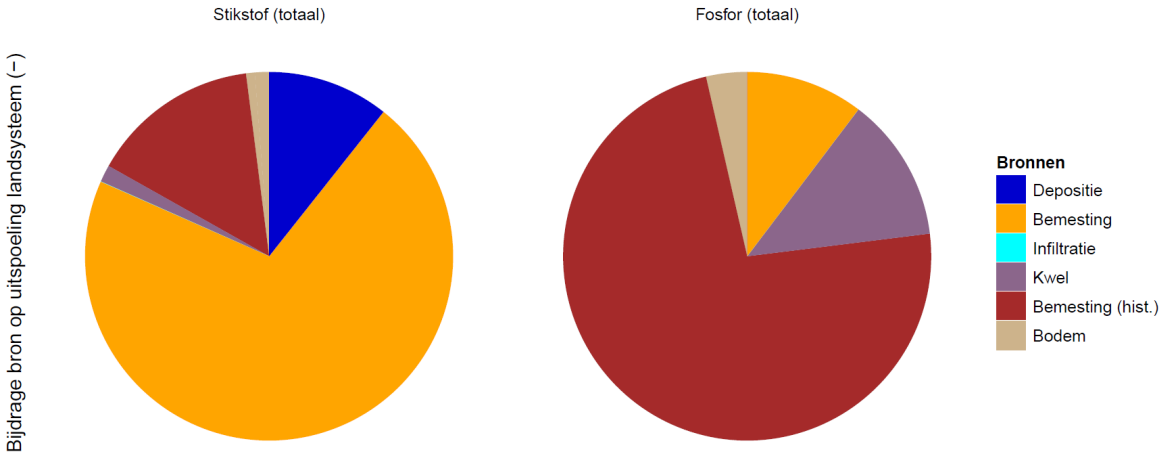
*Bronnenanalyse langjarig gemiddeld (2001-2010) voor stikstof (links) en fosfor (rechts) voor de concentraties in het oppervlaktewater van de Drentse Aa voor het gehele stroomgebied.*




*Figuur 6.2*

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

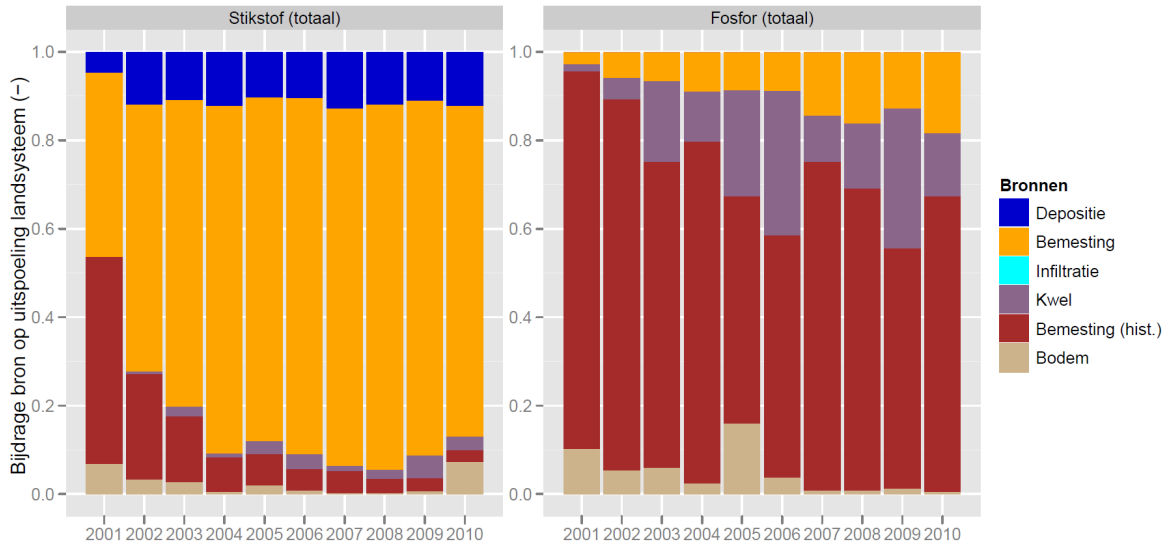
In Figuur 6.3 zijn de resultaten van de bronnenanalyse voor de uitspoeling vanuit het bodemsysteem voor het gehele stroomgebied als langjarig gemiddelden weergegeven. Voor de bron landbouw is onderscheid gemaakt in de bron huidige bemesting en de bron historische bemesting (oplading van het bodemsysteem met stikstof en fosfor). Wat duidelijk opvalt is het verschil in de bron huidige bemesting voor stikstof (grote 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: groot voor fosfor, gering voor stikstof. Voor stikstof is de bron atmosferische depositie eveneens relevant (circa 10%). Bij fosfor is, in tegenstelling tot stikstof, tevens de kwel nog een bron van betekenis (15%). Het bodemsysteem levert bij fosfor nog circa 5 % na (Figuur6.3).




***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).



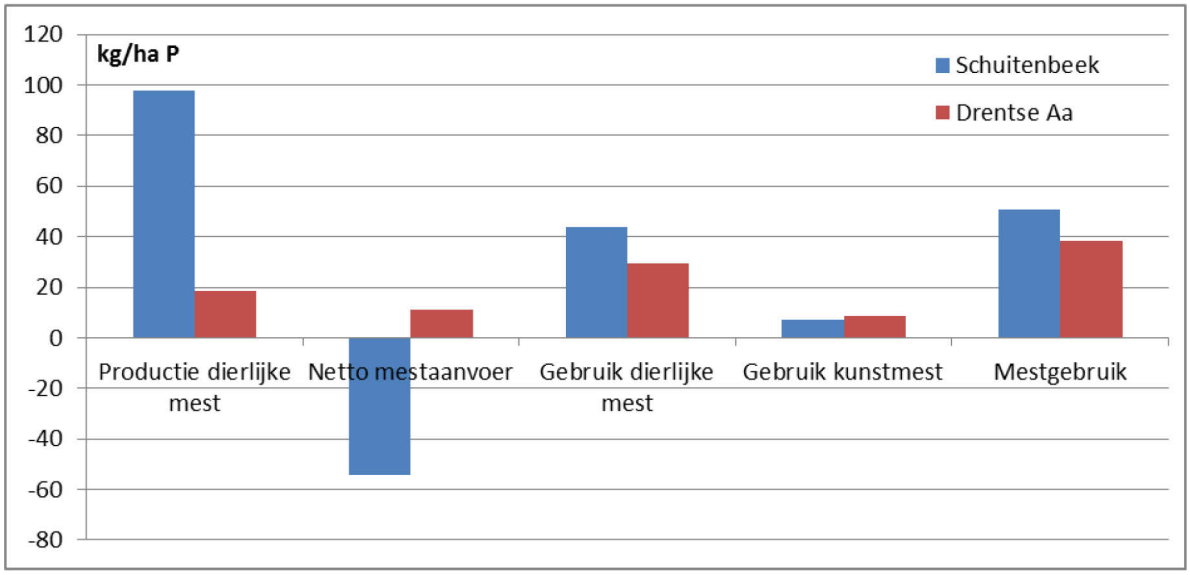

*Figuur 6.4*

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

Vooral de bron bodemvoorraad kan voor stikstof jaarlijks sterk variëren. Zo zijn er jaren dat de bron bodemvoorraad positief is (dus valt te beschouwen als een bron) en jaren waarin bron bodemvoorraad negatief is (bijvoorbeeld 2007 en 2008). In die jaren fungeert de bodem als een 'verdwijnpost' voor stikstof. Concreet betekent het dat in die jaren netto meer stikstof wordt vastgelegd in de bodem dan vrijkomt uit de bodem. Het extra vastgelegde stikstof kan later wel weer vrijkomen (zie de jaren 2009 en 2010).

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 dat bij de bronnenanalyse in het modelsysteem vanaf 2001 de bronsterkte wordt bepaald een rol spelen. 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). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de mestproductie in het stroomgebied van de Drentse Aa weliswaar relatief laag is, maar dat door aanvoer van dierlijke mest van buiten het gebied de uiteindelijke bemesting toch een belangrijke rol speelt. Deze dierlijke mest komt vanuit gebieden die een hoge mestproductie kennen en wordt binnen het gebied de Drentse Aa afgezet binnen 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 moeten 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 $kg.ha^{-1}$ 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*

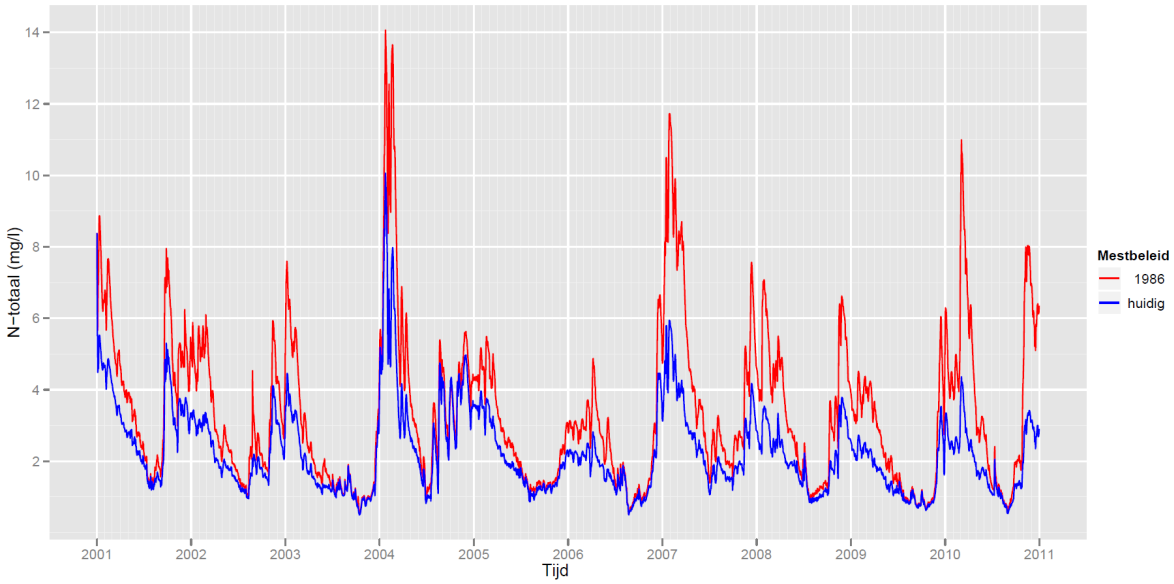
*Productie, aanvoer, afvoer en gebruik van dierlijke mest (in kg.ha[1] P) voor het jaar 2008 (bron: Statline CBS).*

# 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 modelleninstrumentarium. Tevens zijn aanvullende sturingsmogelijkheden gedefinieerd en is met het modelinstrumentarium berekend wat het effect op de oppervlaktewaterkwaliteit is geweest van een al genomen maatregel, namelijk het mestbeleid.

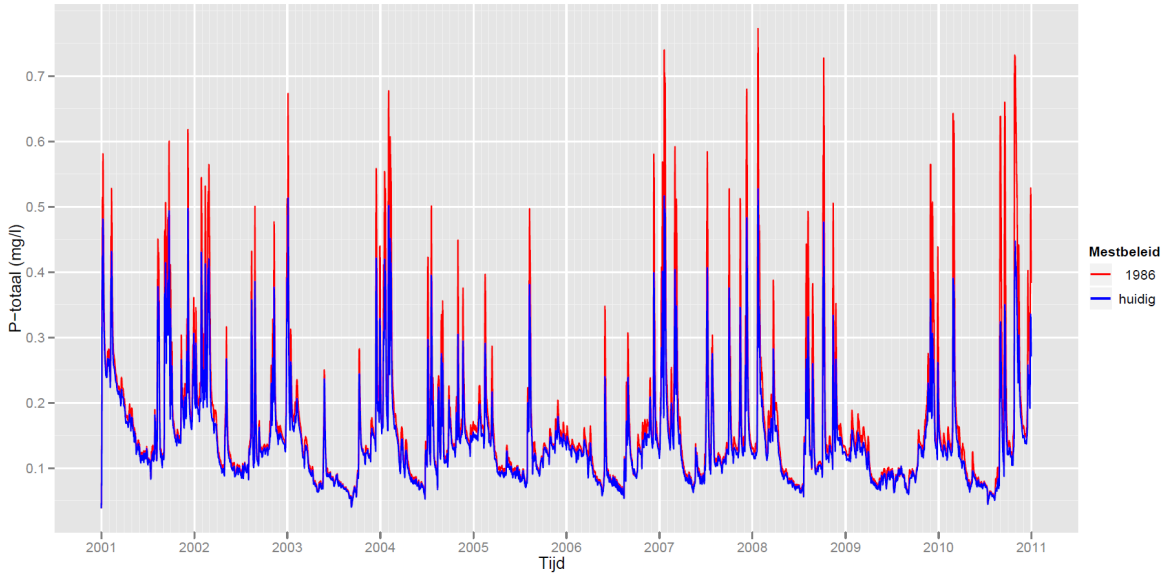
## 7.1 Effecten mestbeleid

Om de effecten van het mestbeleid te analyseren is, door middel van een modelberekening, 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 7.2 laat duidelijk zien dat met name 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 groter dan voor fosfor (reductie in langjarig gemiddelde stikstofconcentraties is respectievelijk 27% en 35% voor het zomerhalfjaar en winterhalfjaar; voor fosfor is dit 11% en 15%). Dit komt doordat nog een groot deel van het fosfaat uit de bemesting gebonden kan worden aan de bodem omdat in het stroomgebied van de Drentse Aa nog niet het gehele fosfaatbindingscapaciteit in de bodem is verzadigd.




*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.*

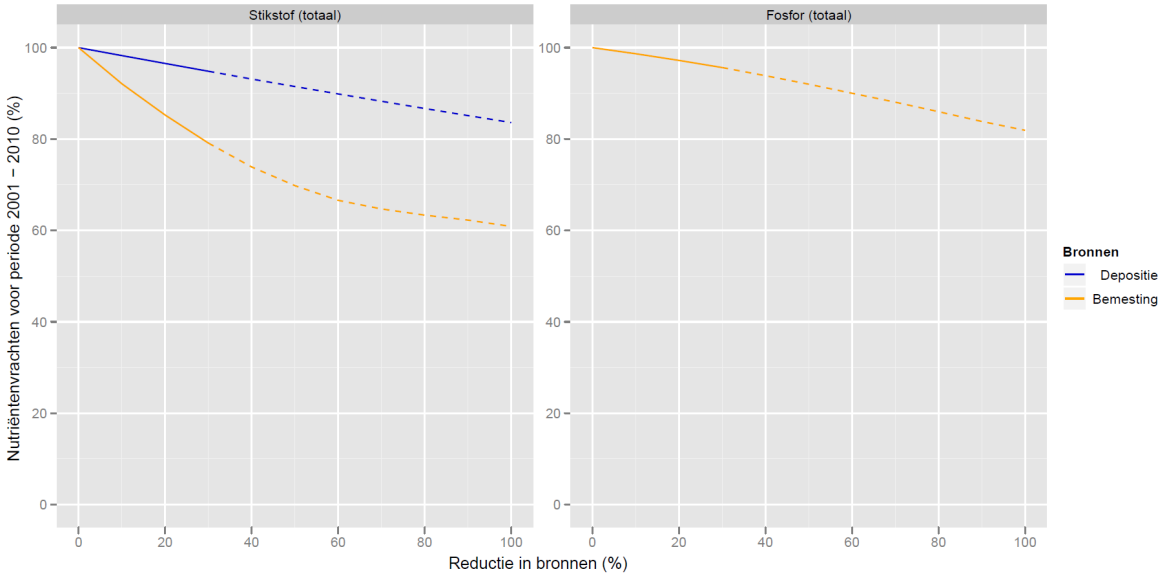



***Figuur 7.2***

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

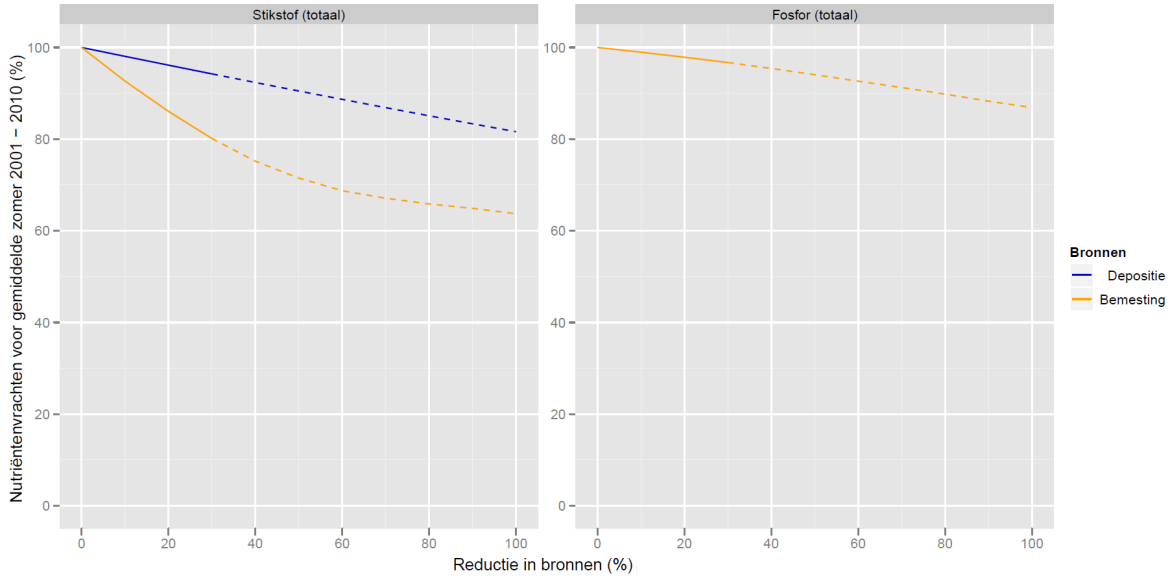
## 7.2 Sturingsmogelijkheden

In Figuur 7.3 zijn de reducties van de stikstof- en fosforvracht voor het gehele stroomgebied van de Drentse Aa als functie van de reducties van de bronnen bemesting en atmosferische depositie weergegeven. 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 een kleine 20%. Voor alleen het zomerhalfjaar is dit effect kleiner. De afname van de fosforconcentratie, bij volledige uitsluiting van de bron bemesting, is dan nog ca. 13% (Figuur 7.4). Bij een gemiddelde fosforconcentratie in het zomerhalfjaar van 0,10 mg.l$^{-1}$ P-totaal (zie hoofdstuk 4) komt dit neer op een concentratie van iets minder dan 0,09 mg.l$^{-1}$ P-totaal bij het volledig stopzetten van de bemesting. De marges met betrekking tot de norm voor fosfor blijft dan nog steeds klein. Bovendien wordt met sturen van de bron bemesting in het landbouw beïnvloede deelgebied Zeegserloopje de norm voor fosfor op korte termijn (periode 2001 - 2010) niet gehaald.



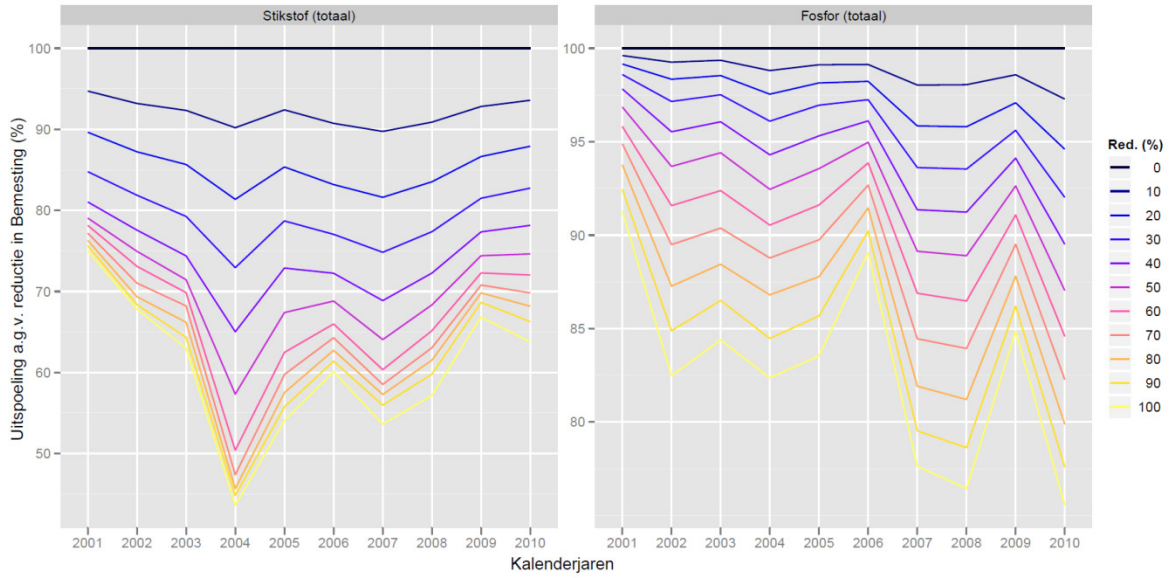

*Figuur 7.3*

*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 Drentse Aa. 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 Drentse Aa 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 tien jaar nog aan het afnemen is. In een periode van tien jaar is de reductie van de fosforuitspoeling ca. 25% (Figuur 7.3). Als over een langere periode wordt beschouwd kan dit effect nog groter worden.

Voor stikstof wordt bij de huidige bemesting benedenstrooms in de Drentse Aa al voldaan aan de norm (zie hoofdstuk 4). Alleen in de landbouw beïnvloede deelgebieden van de Drentse Aa (bijvoorbeeld het Zeegserloopje en het Anloerdiepje) wordt niet voldaan aan de norm voor stikstof. In deze gebieden moet de stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar met 15% (Zeegserloopje) tot 20% (Anloerdiepje) dalen om de norm te halen. Om dit te bereiken dient de stikstofbemesting met 20 - 30 % gereduceerd te worden (Figuur 7.4). Ook het terugdringen van de atmosferische depositie heeft een positieve uitwerking op de waterkwaliteit, al is het effect hiervan minder groot dan voor de bemesting.

Tabel 7.1 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 7.1*

*Sturingsmogelijkheden in de Drentse Aa.*

| Sturingsmogelijkheid | Bron | Route | Beoogd effect | |
|---|---|---|---|---|
| | | | N | P |
| Verlagen of verbieden van mestaanvoer in het stroomgebied van de Drentse Aa | X | - | ++ | 0/+ |
| Terugdringen van de overschotten (extensiveren) | X | - | ++ | 0/+ |
| Terugdringen atmosferische depositie | X | - | + | 0 |

## 7.3 Aanvullende maatregelen

Hoewel de noodzaak tot maatregelen, puur gezien vanuit het oogpunt van het behalen van de zomerconcentraties benedenstrooms in de Drentse Aa, gering is kunnen maatregelen genomen worden om in hoger belaste deelgebieden (landbouw beïnvloede deelgebieden) eveneens de norm te halen. In paragraaf 7.2 is al aangegeven dat met verlaging van de mestgiften (voor stikstof) de norm gehaald kan worden. Om dit te kunnen bereiken dient eveneens gekeken te worden naar mogelijkheden voor een 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 het Zeegserloopje 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.

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 beeksysteem, bijvoorbeeld via hermeanderen en de aanleg natuurvriendelijke oevers, kan zorgen voor een langere verblijftijd. In periodes van lage waterafvoeren 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.

Uit eerdere meetcampagnes in het Zeegserloopje (Project Water in Bedrijf) en het project Monitoring Stroomgebieden is gebleken dat uit gebieden met akkerbouwgronden, welke in de meeste gevallen gedraineerd zijn, hoge stikstofconcentraties worden gemeten. In het oppervlaktewater kan dit oplopen tot 20 $mg.l^{-1}$ N-totaal; in drainbuizen onder akkerbouwgronden kan dit zelfs oplopen tot 45 $mg.l^{-1}$ N-totaal. Het overgrote deel van de akkerbouwgronden in de Drentse Aa bestaat uit aardappelteelt. Gerichtere sturing op de teelt van gewassen (minder aardappelteelt) resulteert in een lagere stikstofbelasting van het oppervlaktewater en verbetering van de waterkwaliteit.

Om in de landbouw beïnvloede deelgebieden de norm voor fosfor te kunnen halen zijn aanvullende maatregelen nodig. Een 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 fosfaat-uitmijning 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 kennissysteem Hydrometra (Van Os et al., 2009) is het effect van een dergelijke maatregel bepaald. Voor het stroomgebied van de Drentse Aa is berekend dat fosfor-uitmijning op korte termijn een reductie van de belasting van het oppervlaktewater van 19% oplevert. Bij een dergelijke reductie zou voor het Zeegserloopje de norm voor fosfor nog niet gehaald worden (gebaseerd op meetjaar 2010). Wat het uiteindelijke effect van combinaties van (aanvullende) maatregelen is, is in deze studie niet onderzocht.

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

*Tabel 7.2*

*Aanvullende sturingsmogelijkheden in de Drentse Aa.*

| Sturingsmogelijkheid | Bron | Route | Beoogd effect | |
|---|---|---|---|---|
| | | | N | P |
| Herinrichting van het beeksysteem (bovenstrooms) | - | X | + | + |
| Gerichtere sturing op teelt van gewassen (met name aardappelen) | 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 | | | | |
| Gerichte uitmijning van fosfor in de bodem | X | X | 0 | ++ |

# 8 Discussie en conclusies

De gedurende dit project uitgevoerde intensieve metingen, niet alleen van de oppervlaktewaterkwaliteit maar ook van de bovengrond (fosfaatverzadiging) en het ondiepe grondwater, hebben geleid tot veel nieuwe inzichten in de nutriëntenhuishouding in de bodem en in het oppervlaktewater van de Drentse Aa. 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 kan de gemeten oppervlaktewaterkwaliteit worden verklaard en kan met behulp van modelscenario's gekwantificeerd worden 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 Drentse Aa; 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 Drentse Aa voldoet voor het overgrote deel aan de gebiedsgerichte normen. Benedenstrooms in de Drentse Aa wordt over de gehele periode (2004 - 2010) een zomerhalfjaargemiddelde van 1,6 mg.l$^{-1}$ N en 0,10 mg.l$^{-1}$ P gevonden. De gemiddelde stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar zit daarmee onder de norm van 2,2 mg.l$^{-1}$ N. De gemiddelde fosforconcentratie in het zomerhalfjaar zit echter op de norm van 0,10 mg.l$^{-1}$ P. In slechts enkele, meer landbouw beïnvloede, gedeelten van de Drentse Aa worden de normen overschreden. Dit heeft met name betrekking op de overschrijding van de norm voor stikstof. In het Zeegserloopje (een landbouwintensief deelstroomgebied van de Drentse Aa) werd voor de periode 2004 - 2010 een gemiddelde stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar van 2,5 mg.l$^{-1}$ N-totaal (debietsproportionele meetlocatie CMS3) en 3,3 mg.l$^{-1}$ N-totaal waargenomen. Dit komt neer op een overschrijding van de norm met 15 - 50%. Meer bovenstrooms in het Zeegserloopje is deze overschrijding zelfs 355%. In het Anloerdiepje (een deelstroomgebied van de Drentse Aa waar met name de aardappelteelt sterk is vertegenwoordigd) werd voor de periode 2004 - 2010 een gemiddelde stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar van 2,7 mg.l$^{-1}$ N-totaal waargenomen. Dit komt neer op een overschrijding van de norm met circa 25%.

De ruimtelijke variatie van fosfor in het oppervlaktewater in de Drentse Aa is gering. Op enkele locaties in de Drentse Aa, waaronder de meer landbouwintensieve delen van de Drentse Aa, wordt de norm voor fosfor (licht) overschreden. De laatste jaren worden echter stijgende fosforconcentraties in het oppervlaktewater in enkele deelgebieden van de Drentse Aa gevonden. Dit betreft met name de meer landbouwintensieve delen van de Drentse Aa, zoals in het stroomgebied van het Zeegserloopje. Deze stijging van fosforconcentraties in het oppervlaktewater komt overeen met een stijging van waargenomen fosfaatvoorraden in (landbouw)bodems in de Drentse Aa.

De verschillen in meetwaarden tussen verschillende meetpunten op min of meer dezelfde locatie kunnen groot zijn. Zo wordt benedenstrooms in de Drentse Aa voor het jaar 2010 een overschrijding van de norm voor

fosfor voor de meetlocaties 1100 (meetlocatie Waterlaboratorium Noord) en CMS1 (debietsproportionele meetlocatie) geregistreerd, terwijl in datzelfde jaar de gemiddelde fosforconcentratie voor het zomerhalfjaar in meetlocatie 2101 (meetlocatie waterschap Hunze en Aa's) ruim onder de norm blijft. Verschil in meetfrequentie en -methode kan hierbij een rol spelen. Discussie over de oorzaken van deze verschillen in waargenomen fosforconcentraties loopt nog.

## 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. Meer dan de helft van het water in de Drentse Aa komt vanuit het diepere grondwater (het diepe en ondiepe grondwater). Iets meer dan een derde komt vanuit het bovenste grondwater en slechts een klein deel (7%) 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 overgrote deel van stikstof in het oppervlaktewater van de Drentse Aa komt vanuit het bovenste grondwater (circa 60%) en de onverzadigde zone (circa 15%). De bijdrage vanuit het diepere grondwater (het diepe en ondiepe grondwater) is voor stikstof geringer, vanwege denitrificatie in dit deel van het bodemprofiel. Het grootste deel van fosfor in het oppervlaktewater komt vanuit het bovenste grondwater (ruim 40%) en de onverzadigde zone (12%). In tegenstelling tot stikstof komt vanuit het diepere grondwater een niet te verwaarlozen aandeel van fosfor. Dit komt overeen met het beeld van het provinciaal meetnet grondwaterkwaliteit, waar in het stroomgebied van de Drentse Aa het diepere grondwater relatief hoge fosforconcentraties worden waargenomen.

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 Drentse Aa. Bij landbouwgronden, en met name de maïs- 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 is de huidige bemesting de grootste bron (circa 70%), terwijl voor fosfor dit de bron historische bemesting (circa 75%) is. Voor stikstof is de atmosferische depositie nog een bron van betekenis (circa 15%); voor fosfor is de diepe kwel nog een bron van betekenis (circa 15%).

## 8.3 Sturingsmogelijkheden

De waterkwaliteit in de Drentse Aa voldoet voor het overgrote deel aan de gebiedsgerichte normen. Strikt genomen hoeven in de Drentse Aa geen extra inspanningen verricht te worden. Echter, in sommige deelstroomgebieden wordt de norm voor stikstof niet gehaald. Dit gaat om deelgebieden waarvan de waterkwaliteit sterk door landbouw wordt beïnvloed (Zeegserloopje en Anloerdiepje). Ook worden in enkele deelgebieden stijgende fosforconcentraties in het oppervlaktewater waargenomen. Zo werd in 2010 in het Zeegserloopje de norm voor fosfor overschreden. Voor deze gebieden zijn extra inspanningen wenselijk.

Voor stikstof is sturen op de bemesting effectiever. In deze studie is berekend dat met een reductie van 20 - 30% van de bemesting de norm voor stikstof in het Zeegserloopje en Anloerdiepje gehaald kan worden. Voor fosfor is sturen op bemesting veel minder effectief. Dit komt doordat fosfor in het oppervlaktewater met name bepaald wordt door de oplading van de bodem, dus door bemesting in het verleden (historische bemesting). Met alleen sturen op de mestgiften zou de norm voor fosfor in 2010 ook niet gehaald worden. Aanvullende maatregelen zijn dan nodig.

## 8.4 Aanvullende maatregelen

Daar waar de normen voor oppervlaktewaterkwaliteit niet gehaald worden en bovenstaande sturingsmogelijkheden niet het gewenst resultaat bereiken, komen aanvullende maatregelen in zicht. Voor de Drentse Aa zijn de volgende aanvullende maatregelen benoemd:

- 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.figuur

- Gerichtere sturing van teelten in het gebied. Het overgrote deel van de akkerbouwgronden in de Drentse Aa bestaat uit aardappelteelt. In deze teelten zijn hoge stikstofuitspoelingen waargenomen.

- Maatregelen gericht op het reduceren van fosforuitspoeling. Hierbij kan gedacht worden aan gerichte fosfaatuitmijning (dus meer fosfor onttrokken aan het bodemsysteem wat 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.

## 8.5 Monitoring

Meetgegevens in het oppervlaktewater geven een vertraagd beeld van de toestand van het bodemsysteem weer. Veranderingen in de bodemvoorraad van met name fosfor, bijvoorbeeld door aanpassing van de mestwetgeving, zijn pas na verloop van tijd zichtbaar in het oppervlaktewater. Bij fosfor in het bodemsysteem is daarnaast nog van belang dat pas boven een bepaalde drempelwaarde fosfor in verhoogde concentraties uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Om adequaat op de normen in het oppervlaktewater te kunnen sturen is het van belang om te kunnen beschikken over actuele waarnemingen in het bodemsysteem.

Uit de metingen van het bodemkwaliteitsmeetnet de Drentse Aa (meetnet Provincie Drenthe) blijkt dat op de meetlocaties op landbouwpercelen op zandgronden hoge fosforgehaltes worden gevonden. De

fosfaatverzadiging van de bodem op deze meetlocaties ligt boven de streefwaarde van 25%. Verder is er een duidelijke stijging van de fosfaatverzadiging waar te nemen voor met name de bouwlandgronden.

De toestand van het bodemsysteem reageert in het algemeen relatief snel op veranderingen in aanvoer en afvoer van nutriënten. Veranderingen in de bedrijfsvoering van de landbouwbedrijven, bijvoorbeeld aanpassingen in het kader van de mestwetgeving, zijn relatief snel waarneembaar in de bodem en het ondiepe grondwater.

De meetresultaten van het bodemkwaliteitsmeetnet kunnen worden gezien als een vroeg waarschuwingssignaal (early warning system) met betrekking tot de oppervlaktewaterkwaliteit in het stroomgebied van de Drentse Aa. Om adequaat op de normen in het oppervlaktewater te kunnen sturen is het van belang om het gehele systeem te bezien. Naast metingen in het oppervlaktewater is het zeer gewenst om te kunnen beschikken over actuele waarnemingen in het bodemsysteem. Op die manier vormt het bodemkwaliteitsmeetnet een nuttig instrument voor de sturing van specifieke doelen met betrekking tot de Europese Kaderrichtlijn Water.

## 8.6 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 Drentse Aa. 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 Drentse Aa of een 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 Drentse Aa is een zandgebied met daarbij horende specifieke afspoelingsprocessen en fosfaatbinding. Op basis van de bodemkaart (bron: 1:50 000 bodemkaart) is aan de 120 stroomgebieden waarin Nederland verdeeld is toegekend of hier met name 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 behulp van 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 landdekkende 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

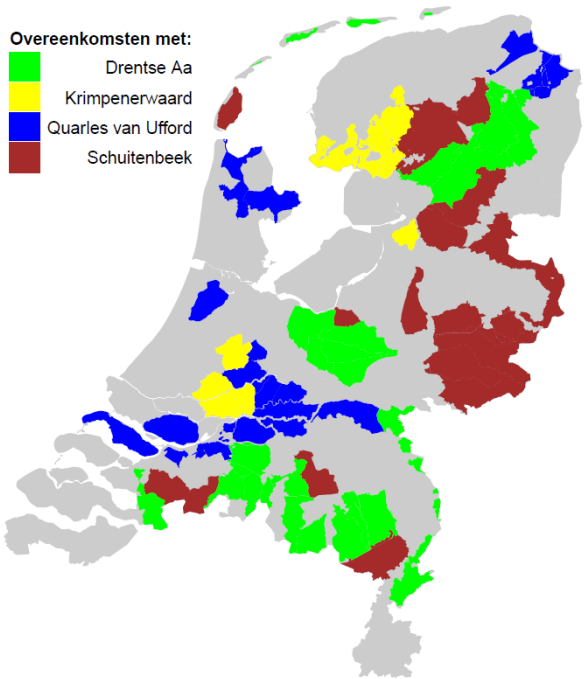
toegepast. Gebieden met een hoge mestproductie kennen meestal ook een hoge fosfaatverzadiging van het landsysteem. Een landelijke kaart met daarin het percentage fosfaatverzadigde gronden is beschikbaar (Schoumans, 2004).

*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% |

In Tabel 8.1 zijn de deze vier kenmerken voor de vier onderzochte gebieden weergegeven. Hieruit blijkt dat het stroomgebied van de Drentse Aa is gekenmerkt als een gebied met relatief weinig landbouw (51%), een lage fosfaatverzadiging (36% 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.




*Figuur 8.1*

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

Het stroomgebied van de Drentse Aa vertoont overeenkomsten met delen van Noord-Brabant, delen van de Veluwe, met andere delen van Drenthe, alsook met de Waddeneilanden (Figuur 8.1). Deze gebieden bestaan net als de Drentse Aa (hoofdzakelijk) uit zandbodems, hebben geen inlaatwater, kennen relatief weinig landbouw en hebben een geringe fosfaatverzadiging van de bodem.

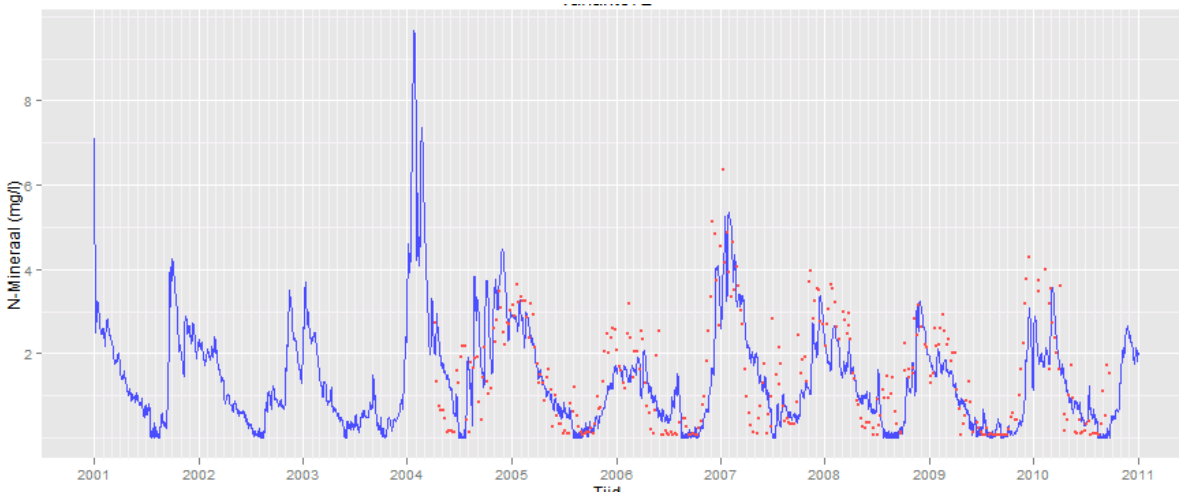
## 8.7 Ecologie

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 Drentse Aa 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 0 of de detectielimiet liggen. Wanneer een fractie niet meer aanwezig is kan echter niet direct geconcludeerd worden dat er ook een beperking van de ecologische groei als gevolg hiervan optreedt. De uitputting van de minerale facties in de zomer zijn wel een indicatie hiervoor.

*Tabel 8.2*
*Uitputting van de fracties stikstof en fosfor bij het uitstroompunt van de Drentse Aa.*

| Stroomgebied | N-mineraal | P-mineraal |
|---|---|---|
| De Drentse Aa | Ja | Ja |




*Figuur 8.2*

*Limitering N-mineraal voor de Drentse Aa (meetpunt CMS1).*

In de zomer is er in het uitstroompunt van de Drentse Aa zowel een beperking van de minerale stikstoffractie als de minerale fosforfractie in het gebied (Tabel 8.2 en Figuur 8.2). Dit betekent dat zowel stikstof als fosfor beperkend is voor de ecologie (bijvoorbeeld voor de groei van algen). Het stijgen van bijvoorbeeld de fosforconcentraties zou niet meteen resulteren in de (toename van de) groei van algen, omdat in dat geval stikstof de beperkende factor is (Loebe et al., 2009).

# Referenties


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

Loeb, R., P.F.M. Verdonschot, F. Kragt en H. van Grinsven, 2010. Sturen op fosfor of stikstof voor verbetering ecologische kwaliteit van zoete wateren. H2O 22, 32-34.

Loeb R. en P. Verdonschot, 2009. Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. Werkdocument 128. Alterra.

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., 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.

Roelsma J. en M. Knotters, 2009. Evaluatie van het bodemkwaliteitsmeetnet de Drentsche Aa en Elperstroom. Alterra-rapport 1911. Alterra, Wageningen.

Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II. Alterra-rapport 2219. 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 Bijgestelde parameters oppervlaktewaterkwaliteitsmodel

**Denitrificatie**
Voor elk traject is in elke meetperiode gedurende drie uur de denitrificatie op een bepaalde plek gemeten. Hieronder staat beschreven hoe de gemeten denitrificatieflux is vertaald naar de modelparameter in NuswaLite die de denitrificatiesnelheid beschrijft.

Aanpak: Het aandeel van de gemeten denitrificatieflux (mg/m$^2$/dag) is bepaald t.o.v. de hoeveelheid mineraal-N in de bovenliggende waterkolom op het moment van meten.

Aannamen:
- Gedenitrificeerd N is afkomstig uit de waterkolom
- De denitrificatie wordt alleen gestuurd door de hoeveelheid mineraal-N en de temperatuur (conform het model) en dus niet door de zuurstoftoestand
- De denitrificatie grijpt aan op mineraal-N ($NO_3$,$NO_2$ + $NH_4$) i.p.v. alleen op $NO_3$. Dit is conform het model.
- De gemeten denitrificatie representeert het daggemiddelde.

Tabel 1 toont het berekende daggemiddelde aandeel. Aan de hand van de watertemperatuur is dit aandeel ($k_{den,T}$) omgerekend naar de temperatuuronafhankelijke denitrificatie snelheid (1$^e$ orde afbraakcoëfficiënt $k_{den}$), de modelparameter die moet worden ingevoerd in NuswaLite:

$$k_{den,T} = k_{den}(1+\beta_{den})^{T-20} \qquad (1)$$

waarin:

| | | |
|---|---|---|
| $k_{den}$ | denitrificatie snelheid (temperatuuronafhankelijk) | [dag$^{-1}$] |
| $\beta_{den}$ | denitrificatie temperatuurcoëfficiënt = 0.045 | [-] |
| $T$ | watertemperatuur | [ºC] |

De gevonden snelheden komen overeen met een waarde voor $k_{den}$ van 0.01 tot 0.09 per dag.

*Tabel 1*

*Het daggemiddelde aandeel van de gemeten denitrificatie t.o.v. de totale hoeveelheid mineraal-N in de bovenliggende waterkolom. Dit aandeel is omgerekend naar een temperatuuronafhankelijke 1e orde afbraakcoëfficiënt ($k_{den}$, formule 9), zoals die in NuswaLite moet worden opgegeven.*

| datum | periode | traject | denitrificatie mgN/m²/dag | $NO_3$ &$NO_2$ mg/l | $NH_4$ mg/l | water-diepte m | denitrificatie aandeel (t.o.v. $N_{min}$) % | water temperatuur ºC | $k_{den}$ dag$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28-Jul | 1 | recht | 10.7 | 0.73 | 0.22 | 0.70 | 1.6 | 17.6 | 0.018 |
| 15-Sep | 2 | recht | 26.2 | 0.42 | 0.11 | 0.69 | 7.2 | 14.7 | 0.091 |
| 20-Oct | 3 | recht | 7.7 | 1.86 | 0.27 | 0.60 | 0.6 | 8.1 | 0.010 |
| 28-Jul | 1 | meander | 39.6 | 2.30 | 0.07 | 0.28 | 6.0 | 20.5 | 0.059 |
| 15-Sep | 2 | meander | 4.8 | 0.41 | 0.10 | 0.36 | 2.6 | 15.1 | 0.032 |
| 20-Oct | 3 | meander | 6.3 | 1.94 | 0.06 | 0.39 | 0.8 | 7.9 | 0.014 |

**Sedimentatie**

Op een aantal locaties in beide trajecten is de sedimentatie gemeten. Deze geeft een bovengrens voor de 'netto sedimentatie' (= sedimentatie – resuspensie).

Aanpak: Het aandeel van de sedimentatieflux (mg/m²/dag) is bepaald ten opzichte van de hoeveelheid nutriënten in de bovenliggende waterkolom, gemiddeld over de meetperiode.

Aannames:

- De gesedimenteerde deeltjes bevatten 1.2%N en 0.2%P
- De sedimentatie is afhankelijk van de hoeveelheid nutriënten in de waterkolom en de waterdiepte (conform het model)

Moeilijkheden:

- De gehalten $N_{org}$ en $P_{org}$ (=opgeloste organische fractie + nutriënten in zwevende deeltjes) zijn vaak te laag om te kunnen meten waardoor ze de gemeten sedimentatie niet kunnen verklaren
- Gedurende het traject sterven planten af. Dit is een bron van particulaire nutriënten die vervolgens kunnen sedimenteren. Deze bron is niet meegenomen in de berekeningen

Het berekende aandeel van de sedimentatie is weergegeven in Tabel 2. De berekende percentages zijn vaak groter dan 100%, met name in meetperiode 3 en in mindere mate in meetperiode 1. Deze meetperioden worden gekenmerkt door een aantal neerslaggebeurtenissen en fluctuerende afvoeren. Hierdoor is er waarschijnlijk meer resuspensie dan in meetperiode 2 (met lage afvoeren) waarin de resuspensie naar verwachting zeer gering is. Wanneer er veel resuspensie is en een groot deel van de nutriënten die zo in de waterkolom terechtkomt vervolgens weer sedimenteert kan de bruto sedimentatie oplopen tot boven de 100%. De zeer hoge percentages t.o.v. organisch-N en organisch-P komen door de lage gemeten gehalten in het water. Een andere reden voor de hoge percentages is een mogelijk te hoge inschatting van de hoeveelheid N en P in het gesedimenteerde materiaal. Daarbij kan de meetlocatie niet representatief zijn voor het meettraject.

*Tabel 2*

*Daggemiddelde-aandeel van de gemeten bruto sedimentatie t.o.v. de nutriënten in de bovenliggende waterkolom.*

| | | | | Sedimen-tatie | $N_{tot}$ | $P_{tot}$ | sedimentatie aandeel (%), t.o.v. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **periode** | **traject** | **plek** | **m** | **g/m2/dag** | **mg/l** | **mg/l** | **$N_{tot}$** | **$P_{tot}$** | **$P_{min}$** | **$P_{org}$** | **$N_{org}$** |
| 1 | recht | begin | 0.34 | | 1.49 | 0.09 | | | | | |
| 1 | recht | eind | 0.68 | 37.4 | 0.81 | 0.13 | 81 | 82 | 296 | 114 | 548 |
| 1 | meander | begin | 0.27 | 13.3 | 2.06 | 0.10 | 29 | 98 | 166 | 238 | – |
| 1 | meander | eind | 0.18 | | 1.36 | 0.05 | | | | | |
| 2 | recht | begin | 0.41 | 4.4 | 0.67 | 0.11 | 19 | 21 | 21 | 1078 | 862 |
| 2 | recht | eind | 0.69 | 8.4 | 0.54 | 0.08 | 27 | 33 | 33 | – | 134 |
| 2 | meander | begin | 0.36 | 1.4 | 0.42 | 0.15 | 11 | 5 | 5 | – | 34 |
| 2 | meander | eind | 0.34 | | 0.47 | 0.13 | | | | | |
| 3 | recht | begin | 0.42 | 20.4 | 2.45 | 0.07 | 24 | 148 | 160 | 1948 | – |
| 3 | recht | eind | 0.60 | 15.6 | 1.98 | 0.07 | 16 | 78 | 90 | 581 | 314 |
| 3 | meander | begin | 0.39 | 15.8 | 1.93 | 0.06 | 25 | 135 | 147 | 1615 | 969 |
| 3 | meander | eind | 0.16 | 95.7 | 1.70 | 0.06 | 430 | 2032 | 2067 | 121940 | – |

In meetperiode 2 zijn de condities rustig (lage afvoeren) waardoor de resuspensie naar verwachting klein is en de gemeten bruto sedimentatie een aardige benadering geeft voor de netto sedimentatie. In deze periode bedraagt de gemeten sedimentatie tussen de 5% en 33% van de hoeveelheid N-totaal en P-totaal. Dit komt overeen met een 'sediment zinksnelheid' ($w_s$) variërend van 0.02 tot 0.22 m/dag. De 'sediment zinksnelheid' ($w_s$) is in NuswaLite als volgt gedefinieerd:

$$k_{sed} = \frac{w_s}{H} \qquad (2)$$

waarin:

| | | |
|---|---|---|
| $k_{sed}$ | sedimentatie snelheid (1e orde coëfficiënt ) | [dag$^{-1}$] |
| $w_s$ | sediment zinksnelheid | [m dag$^{-1}$] |
| $H$ | waterdiepte | [m] |

In NuswaLite wordt onderscheid gemaakt tussen een 'sediment zinksnelheid' voor organisch-N en organisch-P en een snelheid die betrekking heeft op mineraal-P.

# Bijlage 2 Balansen landsysteem

*Tabel B2.1*

*Berekende stikstofbalans voor grasland voor de periode 2001 – 2010.*

| Oppervlakte balansgebied: 7468 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ N | UIT | kg.ha$^{-1}$ N |
| Atmosferische depositie | 25.4 | Oppervlakkige afspoeling | 0.0 |
| Bemesting | 391.3 | Ammoniakvervluchtiging | -* |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.1 | Denitrificatie | 82.2 |
| Kwel | 0.7 | Netto gewasonttrekking | 293.2 |
| | | Afvoer door ontwatering | 19.3 |
| | | Wegzijging | 0.9 |
| | | | |
| Totaal | 417.5 | Totaal | 395.6 |
| | | | |
| Berging | | | 21.9 |

* 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: 1205 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ N | UIT | kg.ha$^{-1}$ N |
| Atmosferische depositie | 25.4 | Oppervlakkige afspoeling | 0.0 |
| Bemesting | 259.9 | Ammoniakvervluchtiging | -* |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.0 | Denitrificatie | 98.5 |
| Kwel | 0.1 | Netto gewasonttrekking | 161.5 |
| | | Afvoer door ontwatering | 33.0 |
| | | Wegzijging | 10.4 |
| | | | |
| Totaal | 285.5 | Totaal | 303.3 |
| | | | |
| Berging | | | -17.7 |

* 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: 5419 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ N | UIT | kg.ha$^{-1}$ N |
| Atmosferische depositie | 25.4 | Oppervlakkige afspoeling | 0.0 |
| Bemesting | 210.9 | Ammoniakvervluchtiging | -* |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.0 | Denitrificatie | 95.2 |
| Kwel | 0.1 | Netto gewasonttrekking | 120.8 |
| | | Afvoer door ontwatering | 26.8 |
| | | Wegzijging | 4.2 |
| | | | |
| Totaal | 236.5 | Totaal | 247.0 |
| | | | |
| Berging | | | -10.5 |

* 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: 9843 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ N | UIT | kg.ha$^{-1}$ N |
| Atmosferische depositie | 25.4 | Oppervlakkige afspoeling | 0.0 |
| Bemesting | 0.0 | Ammoniakvervluchtiging | -* |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.0 | Denitrificatie | 30.0 |
| Kwel | 0.5 | Netto gewasonttrekking | 0.0 |
| | | Afvoer door ontwatering | 2.3 |
| | | Wegzijging | 0.2 |
| | | | |
| Totaal | 26.0 | Totaal | 32.5 |
| | | | |
| Berging | | | -6.6 |

* 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: 7468 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ P | UIT | kg.ha$^{-1}$ P |
| Bemesting | 42.24 | Oppervlakkige afspoeling | 0.00 |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.00 | Netto gewasonttrekking | 39.39 |
| Kwel | 0.80 | Afvoer door ontwatering | 1.88 |
| | | Wegzijging | 0.06 |
| | | | |
| Totaal | 43.04 | Totaal | 41.34 |
| | | | |
| Berging | | | 1.71 |

*Tabel B2.6*

*Berekende fosforbalans voor maïs voor de periode 2001 – 2010.*

| Oppervlakte balansgebied: 1205 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ P | UIT | kg.ha$^{-1}$ P |
| Bemesting | 54.40 | Oppervlakkige afspoeling | 0.00 |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.00 | Netto gewasonttrekking | 26.24 |
| Kwel | 0.13 | Afvoer door ontwatering | 0.41 |
| | | Wegzijging | 0.03 |
| | | | |
| Totaal | 54.53 | Totaal | 26.68 |
| | | | |
| Berging | | | 27.99 |

*Tabel B2.7*

*Berekende fosforbalans voor akkerbouw voor de periode 2001 – 2010.*

| Oppervlakte balansgebied: 5419 ha | | | |
|---|---|---|---|
| IN | kg.ha$^{-1}$ P | UIT | kg.ha$^{-1}$ P |
| Bemesting | 48.82 | Oppervlakkige afspoeling | 0.00 |
| Infiltratie vanuit oppervlaktewater | 0.00 | Netto gewasonttrekking | 23.51 |
| Kwel | 0.11 | Afvoer door ontwatering | 1.14 |
| | | Wegzijging | 0.05 |
| | | | |
| Totaal | 48.93 | Totaal | 24.70 |
| | | | |
| Berging | | | 24.25 |

*Tabel B2.8*

*Berekende fosforbalans voor natuur voor de periode 2001 – 2010.*

| Oppervlakte balansgebied: 9843 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 | 0.57 | Afvoer door ontwatering | 0.56 |
| | | Wegzijging | 0.03 |
| | | | |
| Totaal | 0.57 | Totaal | 0.59 |
| | | | |
| Berging | | | 0.01 |