



ALTERRA

WAGENINGEN UR



Validatie van PLEASE op regionale schaal

Fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in de stroomgebieden
Quarles van Ufford, Drentse Aa, Krimpenerwaard en Schuitembeek

Alterra-rapport 1968.3
ISSN 1566-7197

M. Pleijter and C. van der Salm

Validatie van PLEASE op regionale schaal

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van EZ, in het kader van BO-12.07-009-004.

Validatie van PLEASE op regionale schaal

Fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in de stroomgebieden
Quarles van Ufford, Drentse Aa, Krimpenerwaard en Schuitembeek

M. Pleijter and C. van der Salm

Alterra-rapport 1968.3

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013

Referaat

Pleijter, M. and C. van der Salm, 2010. *Validatie van PLEASE op regionale schaal; Berekeningen van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater met behulp van PLEASE voor de stroomgebieden Quarles van Ufford, Drentse Aa, Krimpenerwaard en Schuitenbeek*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1968.3. 90 blz.; 57 fig.; 34 tab.; 28 ref.

Het model PLEASE berekent op basis van eenvoudig te meten perceelskenmerken, zoals grondwaterstand, fosfaattoestand en fosfaatbindend vermogen, de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Voor het gebruik van PLEASE in de praktijk is het belangrijk om informatie te hebben over de validiteit van de berekende fluxen. In deze studie wordt het model PLEASE toegepast op vier stroomgebieden en zijn de door PLEASE berekende fosfaatverliezen vergeleken met de gemeten P-fluxen op het uitstroompunt van de stroomgebieden. Bij de berekening van de P-flux is gebruik gemaakt van de gemeten fosfaattoestand op puntlocaties en vervolgens zijn deze gegevens opgeschaald naar het hele stroomgebied. De berekende waterfluxen worden door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoergegevens, in het Schuitenbeek gebied met 12% overschat. In de andere drie stroomgebieden onderschat PLEASE de waterafvoerfluxen enigszins. De berekende P-afvoerfluxen liggen voor drie stroomgebieden hoger dan de gemeten P-afvoer op de uitstroompunten, in Krimpenerwaard is de berekende P-afvoer aanzienlijk lager dan de gemeten P-vracht op het uitstroompunt. Wanneer rekening wordt gehouden met 50% retentie van P in de waterlopen kan gesteld worden dat PLEASE de P-afvoer vanuit de stroomgebieden onderschat. De oorzaak van deze onderschatting is niet precies aan te geven. In de Krimpenerwaard waar eutrofe veenpakketten voorkomen worden waarschijnlijk te lage achtergrondconcentraties gehanteerd. Andere oorzaken voor de onderschatting kunnen zijn: het verwaarlozen van erfafvoeren en lokale lozingen, onderschatting van de verliezen door oppervlakkige afspoeling, te hoge sorptieconstanten of een onderschatting van het voorkomen van hot-spots. Daarnaast kan ook de onzekerheid in de gemeten afvoercijfers, de inzichten over retentie in het oppervlaktewater leiden tot een mismatch tussen meting en modelresultaten.

Trefwoorden: Drentse Aa, fosfaat, fosfor, GHG, GLG, Krimpenerwaard, landbouw, PLEASE, Pw-getal, Quarles van Ufford, Schuitenbeek, stroomgebied, uitspoeling, vracht.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (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.

© 2013 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 1968.3
Wageningen, februari 2013

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Omschrijving van de stroomgebieden	11
2.1 Quarles van Ufford	11
2.2 Drentse Aa	11
2.3 Krimpenervaard	12
2.4 Schuitenbeek	13
3 Invoergegevens	15
3.1 Locale invoergegevens	15
3.1.1 Selecteren van de bemonsteringslocaties	15
3.1.2 Benadering van de geplaatste locaties	16
3.1.3 Bemonstering	16
3.1.4 Chemische analyses	17
3.1.5 Aanvullende informatie	17
3.2 Literatuurgegevens	18
3.2.1 Achtergrond kwelconcentraties	18
3.2.2 Netto neerslagoverschot	19
3.2.3 Kwelflux	19
3.2.4 Generieke modelparameters	21
3.2.5 Afvoergegevens	22
3.2.6 Interpolatie van de verschillende invoergegevens	23
4 Resultaten	25
4.1 Quarles van Ufford	25
4.1.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied Quarles van Ufford	25
4.1.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied Quarles van Ufford	26
4.2 Drentse Aa	34
4.2.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied Drentse Aa	34
4.2.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied de Drentse Aa	35
4.3 Krimpenervaard	44
4.3.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied de Krimpenervaard	44
4.3.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied de Krimpenervaard	46
4.4 Schuitenbeek	52
4.4.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied van de Schuitenbeek	52
4.4.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied de Schuitenbeek	53
5 Gevoeligheid modeluitkomsten voor de gebruikte invoergegevens	65
5.1 Schematisatie van het bodemprofiel	65
5.2 Onzekerheden in de gebruikte hydrologische invoerparameters	68
5.3 Onzekerheden in enkele chemische parameters	69

6	Discussie en conclusies	73
6.1	Water afvoerfluxen	73
6.2	P-afvoerfluxen	74
6.3	Ruimtelijk beeld van de afvoerfluxen	75
6.4	Onzekerheid rondom de invoergegevens	75
6.5	Schematieren van het bodemprofiel	76
6.6	Invloed van 'hot spots' op de berekende uitspoeling	77
	Literatuur	79
Bijlage 1	Fosfaatprofielen voor de stroomgebieden	83
Bijlage 2	Functies voor schattingen van de soortelijke dichtheid	85
Bijlage 3	Netto neerslagoverschot	87
Bijlage 4	Het geïnterpoleerde Pw-getal van de vier stroomgebieden	89

Samenvatting

In 2008 is een methodiek gepubliceerd voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden (Schoumans et al., 2008). Op deze methodiek is het model PLEASE (**P**hosphorus **L**eaching from **S**oils to the **E**nvironment) gebaseerd. Het model berekent op basis van eenvoudig te meten perceelskenmerken de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. In dit rapport wordt het modelinstrumentarium PLEASE toegepast op vier verschillende stroomgebieden: Quarles van Ufford, Drentse Aa, Krimpenerwaard en Schuitenbeek.

Om een beeld te krijgen van de fosfaattoestand van elk stroomgebied is een bemonsteringsplan opgesteld. Bij het plaatsen van de bemonsteringslocaties zijn algoritmes gebruikt die rekening houden met het landgebruik. Alle bodemonsters zijn aangeboden aan het bodemchemisch laboratorium van Wageningen UR. De mengmonsters zijn hier geanalyseerd op oxalaat-extraheerbaar fosfor (P_{ox}), oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium ($Fe_{ox}+Al_{ox}$) en het Pw-getal. Voor de Schuitenbeek is gebruik gemaakt van gegevens uit het BOVAR-project (Breeuwsma et al., 1989).

Validatie op regionale schaal heeft beperkingen omdat de uitkomst van het model op de schaal van bijvoorbeeld een stroomgebied mede wordt bepaald door de manier van opschaling van de fluxen zoals die berekend zijn voor individuele punten in het stroomgebied. Onderschatting van fluxen op één perceel kan gecompenseerd worden door overschatting op andere percelen. Om het effect hiervan in beeld te brengen zijn verschillende methoden gebruikt om de puntgegevens op te schalen:

- Berekende P-vracht op basis van de puntgegevens. Voor 70 locaties, verspreid in het stroomgebied, heeft PLEASE de P-vracht uitgerekend. Het gemiddelde van deze 70 locaties geeft een schatting van de P-afvoerflux vanuit de percelen voor dat stroomgebied.
- Berekende P-vracht in bodemgeografische deelgebieden. Het stroomgebied wordt verdeeld in bodemgeografische deelgebieden met voor de fosfaatuitspoeling differentiërende kenmerken. Aan de hand van de berekende P-vrachten is de gemiddelde P-vracht voor deze deelgebieden uitgerekend en vervolgens is een oppervlakte gewogen gemiddelde voor het hele stroomgebied bepaald.

Berekende P-vracht met behulp van geïnterpoleerde invoergegevens. In het hele stroomgebied is een ruimtelijke interpolatiemethode gebruikt om op basis van de gemeten fosfaattoestand op meetlocaties de fosfaattoestand voor het hele stroomgebied te bepalen (Walvoort et al., 2009). Hierbij wordt gebruik gemaakt van beschikbare (hulp) informatie zoals digitale bodemkaarten, landgebruikskaarten, grondwaterstandkaarten. Op deze manier kan de beschikbare informatie optimaal worden benut. De zo verkregen gebiedsdekkende informatie over de fosfaattoestand is gebruikt om met PLEASE de fosfaatfluxen te berekenen.

PLEASE berekent op basis van de puntgegevens steeds een hogere waterafvoerflux dan op basis van de geïnterpoleerde gegevens. De waterafvoerfluxen die PLEASE berekent met behulp van de geïnterpoleerde invoergegevens zijn, met uitzondering van de Krimpenerwaard, vrijwel gelijk aan de gemeten waterafvoerfluxen bij het uitstroompunt van het stroomgebied. Wanneer een gebiedsdekkende grondwatertrappenkaart wordt gebruikt voor de invoer van PLEASE kan een betere schatting gemaakt worden van de waterfluxen op regionaal niveau. In de Krimpenerwaard worden de afvoerfluxen echter hoofdzakelijk bepaald door verschillen in de kwel/wegzijgingsfluxen, en geeft een gedetailleerde grondwatertrappenkaart geen verbetering op de modeluitkomsten. PLEASE berekent de P-afvoerflux op basis van de bemonsteringslocaties in alle stroomgebieden hoger dan op basis van de vlakdekkende, geïnterpoleerde, invoergegevens. De berekende P-afvoerfluxen uit de vier stroomgebieden zijn vergeleken met de gemeten P-afvoergegevens van het uitstroompunt. Bij de Drentse Aa, Schuitenbeek en Quarles van Ufford is de berekende P-vracht op basis van de monsterlocaties hoger (resp. 11%, 100 en 61%) dan de gemeten P-afvoerflux en lager (resp. 13%, 43% en 55%) op basis van

de geïnterpoleerde invoergegevens. In de Krimpenervaard is de berekende P-afvoerflux aanzienlijk lager (47-75%) dan de gemeten afvoer van fosfaat op het uitstroompunt. Als rekening gehouden wordt met 50% retentie in het oppervlaktewater, dan zijn op alle locaties, met uitzondering van de Schuitenbeek bij het gebruik van puntdata, de door PLEASE berekende afvoerfluxen voor fosfor te laag. De oorzaak van deze onderschatting is niet precies aan te geven. In de Krimpenervaard waar eutrofe veenpakketten voorkomen worden waarschijnlijk te lage achtergrondconcentraties gehanteerd. Andere oorzaken voor de onderschatting kunnen zijn: het verwaarlozen van erfafvoeren en lokale lozingen, onderschatting van de verliezen door oppervlakkige afspoeling, te hoge sorptieconstanten of een onderschatting van het voorkomen van hotspots. Daarnaast kan ook de onzekerheid in de gemeten afvoercijfers en de inzichten over retentie in het oppervlaktewater leiden tot een discrepantie tussen meting en modelresultaten.

De ruimtelijke verspreiding van de fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater geeft een beeld dat ook redelijkerwijs verwacht mag worden. Een verhoogde fosfaatbelasting van het oppervlaktewater treedt op in gebieden met hoge grondwaterstanden (beekdalen, komgronden, ed.) in combinatie met gronden met een hoge fosfaatverzadigingsgraad (maisakkers). In de Krimpenervaard wordt het ruimtelijk beeld bepaald door de opgelegde kwelfluxen. Op basis van de geïnterpoleerde invoergegevens is er meer variatie in de afvoerfluxen dan op basis van de gestratificeerde aanpak.

De modeluitkomsten zijn getoetst op robuustheid door een aantal voor de handliggende invoergegevens te variëren. Hierdoor kan inzicht worden verkregen in de invloed van onzekerheden in de invoergegevens. De grootte van de waterflux en daarmee samenhangende grootte van de P-vracht is sterk afhankelijk van het opgelegde netto neerslagoverschot en de kwelflux aan de onderrand van het model. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de interpretatie van de uitvoergegevens van PLEASE. Het vereenvoudigen van de schematisatie in het model van vier naar drie lagen leidt niet tot een significante en systematische verandering van de modeluitkomsten.

1 Inleiding

In 2008 is een methodiek gepubliceerd voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden (Schoumans et al., 2008; Schoumans et al., 2012). Deze methodiek is gebaseerd op het simpele model PLEASE (**P**hosphorus **L**eaching from **S**oils to the **E**nvironment). Het model berekent op basis van eenvoudig te meten perceelskenmerken, zoals grondwaterstand, fosfaattoestand (bodemvruchtbaarheid) en fosfaatbindend vermogen van de bodem, de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Het model is gebaseerd op het feit dat 70-90% van het fosfaat in de bodem in anorganische vorm aanwezig is als gevolg van de hoge fosfaatbelasting van de bodem in het verleden. Op basis hiervan is aangenomen dat de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater beschreven kunnen worden aan de hand van de sorptie van fosfaat aan de bodem, een eenvoudige empirische relatie voor het bepalen van organisch opgelost fosfaat in de bodem en een eenvoudig model dat het laterale watertransport beschrijft. De procesformulering voor de binding van anorganisch fosfaat is volledig gebaseerd op de formulering zoals deze ook in het nationale nutriënten-emissiemodel STONE (Wolf et al., 2003) wordt gebruikt. De concentraties van organisch fosfaat worden berekend met een simpele regressievergelijking. Voor het gebruik van PLEASE in de praktijk is het belangrijk om informatie te hebben over de betrouwbaarheid van de berekende fluxen.

Om vertrouwen in de uitkomsten van PLEASE te krijgen zijn een aantal studies uitgevoerd. Allereerst is het effect van de modelvereenvoudiging in beeld gebracht door de uitkomsten van PLEASE te vergelijken met uitkomsten van het (moeder)model STONE (Van der Salm en Schoumans, 2010). Uit deze studie bleek dat op het niveau van bodem-Gt clusters er een goede overeenkomst was tussen de uitkomsten van STONE en PLEASE ($R^2 > 0.83$). Op het niveau van individuele plots was de overeenkomst minder goed (R^2 0.2-0.5), dit werd vooral veroorzaakt door afwijkingen in de berekende waterfluxen door runoff en interflow. Vervolgens is PLEASE getoetst op lokale schaal door de modeluitkomsten te vergelijken met metingen van fosfaatverliezen en fosfaatconcentraties in drainwater op veertien monitoring-locaties in Nederland en zeventien in Denemarken (Dupas and Van der Salm, 2010; Van der Salm et al., 2011). Validatie op lokale schaal toonde aan dat het model op de meeste locaties goed in staat is om de orde van grootte van de gemeten fosfaat-uitspoelingsfluxen en -concentraties te voorspellen. Op zware kleigronden (preferent transport) en op eutrofe veengronden (hoge P concentraties in eutrofe veenlagen) onderschatte PLEASE de gemeten P-fluxen en concentraties.

In deze studie wordt het model PLEASE toegepast op vier stroomgebieden en zijn de door PLEASE berekende fosforverliezen vergeleken met de gemeten fosforuitstroom vanuit de stroomgebieden. Het voornaamste doel van deze toepassing is om naast de validatie op lokale schaal, die relatief beperkt van omvang was, een extra mogelijkheid voor validatie van het model te creëren op stroomgebiedniveau. Validatie op stroomgebiedniveau heeft echter beperkingen omdat de uitkomst van het model op de schaal van een stroomgebied mede wordt bepaald door opschaling van de fluxen berekend voor individuele punten in het stroomgebied. Onderschatting van fluxen op één perceel kan gecompenseerd worden door overschatting op andere percelen. De effecten van de gekozen opschalingsmethode op de onzekerheid in de fosfor verliezen zijn in beeld gebracht. Daarnaast is in deze studie aandacht besteed aan de invloed van het gebruik van een verschillend aantal bodemlagen op de voorspelde fluxen. De keuze van het aantal en dikte van de bodemlagen kan invloed hebben op de resultaten omdat fosfaat sterk in de bovengrond van de bodem is opgehoopt. Daarnaast wordt beperkt ingegaan op de invloed van de onzekerheid in een aantal generieke hydrologische parameters op de voorspelde fluxen.

2 Omschrijving van de stroomgebieden

2.1 Quarles van Ufford

Het stroomgebied van Quarles van Ufford (tabel 2.1) beslaat het westelijk deel van het Land van Maas en Waal. De oppervlakte van het gebied bedraagt ca. 12.000 ha. In een groot deel van het gebied liggen kleigronden van de formatie van Echteld aan het oppervlak. In het oostelijke gedeelte liggen hogere zandgronden, bestaande uit rivierduinen (formatie van Bostel). Het rivierenlandschap bestaat hoofdzakelijk uit oeverafzettingen langs de Waal en de Maas en komafzettingen in het centrum. De oeverafzettingen bestaan uit voornamelijk uit zavelgronden met een zandondergrond, terwijl de komafzettingen bestaan uit zware klei en lokaal komt veen in de ondergrond voor. De rivierduinen bestaan uit matig fijn, leemarm zand. De hydrologie van de gronden kan eenduidig worden beschreven; de rivierduinen zijn hoog gelegen gronden met diepe grondwaterstanden. Ook de gronden op de oeverwallen zijn goed gedraineerd, terwijl op de komgronden regelmatig hoge grondwaterstanden. De komgronden zijn hoofdzakelijk in gebruik als grasland, terwijl op de oeverwallen het grondgebruik varieert van tuinbouw (kassen, boomteelt), fruitteelt, grasland tot akkerbouw. Op de rivierduinen liggen enkele boscomplexen. Kenmerkend voor het komgebied zijn de verspreid liggende eendenkooien.



Figuur 2.1
Het stroomgebied Quarles van Ufford.

2.2 Drentse Aa

Het stroomgebied van de Drentse Aa ligt in het centrum van de provincie Drenthe en omvat ca. 30.000 ha (tabel 2.1). Het gebied maakt deel uit van het Drents keileemplateau, dat door verschillende beekdalen wordt doorsneden. Het keileempakket, behorende bij de formatie van Drenthe, wordt op veel plaatsen afgedekt door een laag zand dat lokaal is verstoven (dekzand en stuifzanden). In deze zanden hebben zich podzolgronden ontwikkeld en zijn door landbewerking (dikke) eerdgronden ontstaan. Het keileemplateau wordt doorsneden door beekdalen, die grotendeels zijn opgevuld met mesotroof of eutroof veen.



Figuur 2.2

Zeegserloopje in het stroomgebied van de Drentse Aa.

2.3 Krimpenerwaard

De Krimpenerwaard (tabel 2.1) is gelegen tussen de rivieren de Lek in het zuiden, de Hollandse IJssel in het noordwesten en de Vlist in het oosten. Het gebied bestaat grotendeels uit veengronden, langs de rivieren liggen smalle oeverwallen en enkele overslaggronden (Formatie van Echteld). Het veenpakket heeft een dikte van 5 - 10 meter en wordt gerekend tot de Formatie van Nieuwkoop. Onder het veenpakket komt een gelaagd kleipakket (formatie van Naaldwijk, laagpakket Workum) voor. Op een diepte van 9 - 13 m –mv. ligt de Pleistocene zandondergrond, bestaande uit rivierafzettingen (Kreftenheije). De afzettingen zijn afgezet in een vlechtend riviersysteem, waarvan de geulen en grindbanken in de ondergrond nog aanwezig zijn. Daarnaast zijn op deze afzettingen enkele rivierduinen ontstaan die lokaal tot boven het huidige maaiveld uitsteken.



Figuur 2.3

Bemesting van een perceel in de Krimpenerwaard.

2.4 Schuitenbeek

Het stroomgebied van de Schuitenbeek ligt tussen Putten, Nijkerk en Voorthuizen. In het noordwesten grenst het stroomgebied aan Het Nuldernauw, een Randmeer langs de Flevopolders. De oppervlakte van het gebied bedraagt ca. 7500 ha (tabel 2.1). Het stroomgebied van de Schuitenbeek bevindt zich in het noordelijk deel van de Geldersevallei en op de flanken van de stuwwal Harderwijk - Garderen. In het gebied komen vrijwel uitsluitend zandgronden voor, maar aan de oevers van het Nuldernauw komen kleigronden voor met veen in de ondergrond. Het zandgebied bestaat uit een spoelzandwaaier die lokaal verstoven is (Formatie van Bortel). In deze afzettingen hebben zich voornamelijk podzolgronden, op de hogere delen, en beekerdgronden, op de lagere delen, ontwikkeld. De ontwatering vindt plaats in langgerekte zuidoost - noordwest lopende beekdalen. Op de tussenliggende hooggelegen gronden zijn oude bouwlanden, enkeerdgronden, te vinden. In het oostelijke gedeelte van het stroomgebied komen grof zandige, gestuwde fluviatiele afzettingen voor die gerekend worden tot de formaties van Urk en Sterksel. Naast (haar) podzolgronden komen hier ook de wat rijkere bruine bosgronden (holtpodzolgronden) voor.



Figuur 2.4
Schuitenbeek.

Tabel 2.1

Overzicht van het karakteristieken van de vier stroomgebieden en het aantal meetpunten van de fosfaattoestand.

Gebied	Oppervlakte ¹ (ha)	Aantal meetpunten	Landgebruik (%)		
			Landbouw	Natuur	Overig
Quarles van Ufford	9500	64	88	5	7
Drentse Aa	23492	69	59	25	14
Krimpenerwaard	11669	70	97	1	2
Schuitenbeek	5872	250	59	41	

¹ Oppervlakte exclusief bebouwing.

3 Invoergegevens

De methode voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden berekent op basis van de lokale fosfaat-toestand (Pw-getal en fosfaatachtergrondconcentratie in het diepere grondwater) en het fosfaatbindend vermogen van de bodem dat bepaald wordt door het amorfe aluminium- en ijzergehalte (Al_{ox} en Fe_{ox}) in deze kalkarme gronden. Op basis van deze eigenschappen kan het fosfaatconcentratieprofiel in de bodem geconstrueerd worden (Schoumans et al., 2008; Schoumans et al., 2012). Op basis van de gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de ontwateringsniveaus van de drainagemiddelen en het netto-neerslagoverschot in combinatie met de mate waarin kwel of wegzijging optreedt, wordt de waterflux naar het oppervlaktewater berekend als functie van de diepte. Deze invoergegevens kunnen allemaal lokaal gemeten of eenvoudig afgeleid worden uit literatuurgegevens. In de stroomgebieden van Quarles van Ufford, Drentse Aa en Krimpenerwaard is de lokale fosfaattoestand en het fosfaatbindend vermogen op ongeveer 70 vooraf vastgestelde locaties geanalyseerd. De GHG en GLG zijn aan de hand van hydromorfe profielkenmerken in het veld geschat. Daarnaast is het niveau van de drainagemiddelen op de bemonsteringslocaties geïnventariseerd en is het landgebruik vastgesteld. Voor de bemonsteringscampagne is een protocol gebruikt dat in paragraaf 2.2.1 wordt beschreven. Aan het einde van de jaren tachtig van de vorige eeuw is in het Schuitenbeekgebied de fosfaattoestand van de bodem in kaart gebracht op basis van een gestratificeerde steekproef (ruim 300 punten; Breeuwsma et al., 1989). Het netto neerslagoverschot wordt bepaald aan de hand van het landgebruik, dat op de locatie kan worden vastgesteld en waarvan gebiedsdekkende bestanden van beschikbaar zijn (LGN4). De mate van kwel of wegzijging wordt afgeleid van gebiedsdekkende bestanden. In de verschillende invoer parameters worden hieronder verder beschreven.

De totale fosfaatafvoer van een stroomgebied is op drie verschillende manieren berekend op basis van de bovengenoemde steekproeven:

1. De fosfaatafvoer is berekend voor alle bemonsterde punten in een stroomgebied en de resultaten zijn gemiddeld (Punt-methode).
2. De fosfaatafvoer is berekend voor alle bemonsterde punten in een stroomgebied, de resultaten zijn gemiddeld per bodem-Gt cluster en deze clusters zijn oppervlakte gewogen gemiddeld (Methode: gestratificeerd).
3. De invoer is geïnterpoleerd naar 25*25 vlakken en voor elk vlak is de fosfaatafvoer berekend. De resultaten van alle vlakken zijn gemiddeld (Methode: geïnterpoleerd).

3.1 Locale invoergegevens

3.1.1 Selecteren van de bemonsteringslocaties

Om een beeld te krijgen in de fosfaattoestand van elk stroomgebied is een bemonsteringsplan opgesteld. In het bemonsteringsplan staat aangegeven welke analyses in het laboratorium moeten worden uitgevoerd en op welke locatie en diepte de bodemonsters moeten worden genomen. Om een zo nauwkeurig mogelijke kaart te krijgen van de fosfaattoestand per stroomgebied is het van belang dat de bemonsteringslocaties gelijkmatig over het gebied zijn verdeeld. Bij het plaatsen van de bemonsteringslocaties zijn algoritmes gebruikt die rekening houden met het landgebruik. De gebruikte methode en algoritme voor het bepalen van de bemonsteringslocaties is nauwkeurig beschreven in Walvoort et al. (2009). Bemonsteringslocaties zijn alleen geplaatst in landbouw- en natuurgebieden, bebouwde gebieden, sportvelden, wegbermen, en dergelijke zijn uitgesloten van bemonstering. Voor de Schuitenbeek is gebruik gemaakt van bodemonsters uit het BOVAR-project (Breeuwsma et al., 1989) die zijn opgeslagen in het Alterra bodemonsterarchief. De locaties van

deze bemonsteringspunten zijn bepaald met een aselechte kanssteekproef in cellen van 2 km bij 2 km (Breeuwsma et al., 1989).

3.1.2 Benadering van de geplaatste locaties

De 70 locaties zijn in het veld opgezocht met een *Handheld Global Navigation Satellite System* (GNSS). Met dit systeem kunnen de locaties met een nauwkeurigheid van +/- 3 m benaderd worden. In een aantal gevallen wordt de locatie ongeschikt beoordeeld voor bemonstering. Het gaat hierbij om de volgende situaties:

- Gelote locatie ligt op een erf.
- Gelote locatie ligt op een sport-/ recreatieterrein.
- Gelote locatie ligt in bebouwd gebied (inclusief parken ed.).
- Het is fysiek niet mogelijk een monster op de gelote locatie te nemen.

Onder voorwaarde dat het punt niet meer dan 100 m verschoven wordt ten opzichte van zijn oorspronkelijke ligging wordt dan uitgeweken naar een geschikte locatie. De nieuwe ligging wordt in het veld vastgelegd met behulp van 'Global Navigation Satellite System' (GNSS). Als er geen geschikte locatie kan worden gevonden, wordt in een later stadium een vervangend punt geplaatst. Voor punten die afvielen zijn nieuwe locaties geloot, waarbij rekening is gehouden met locaties waar de fosfaattoestand al eerder is bepaald. De bemonsteringspunten worden alleen geplaatst in gebiedsdelen waar relatief weinig over de fosfaattoestand bekend is.

3.1.3 Bemonstering

Op de locaties worden met een edelmanboor monsters genomen van de bodem op vier verschillende diepten (tabel 3.1). Omdat verondersteld wordt dat de variatie in de P-toestand in de bovengrond groot kan zijn wordt van de bovenste twee lagen (0-20 en 20- 35 cm –mv.; dat is vaak gelijk aan de bouwvoor) een samengesteld monster, bestaande uit 5-9 steken, genomen. Eén monster werd op het gelote punt gestoken en de resterende steken werden op een denkbeeldige cirkel met een straal van vijf meter rondom het gelote punt genomen. Van de lagen 35-50 en 50-100 cm –mv. is steeds een steekmonster genomen. In het stroomgebied van de Krimpenerwaard is op een iets afwijkende wijze de bemonstering uitgevoerd.

Tabel 3.1

Aantal steken waarmee een mengmonster is samengesteld en de bemonsteringsdiepte in de stroomgebieden Quarles van Ufford, Drentse Aa en Krimpenerwaard. GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand.

Diepte [cm –mv.]	Quarles van Ufford	Drentse Aa	Krimpenerwaard
0-20	5	9	9
20-35	5	9	9
35-50	1	1	1
50-100	1		
50-GLG		1	1
GLG-120			1

De vierde laag is genomen van 50 cm –mv. tot de gereduceerde zone en een vijfde laag is bemonsterd vanaf de gereduceerde zone tot een diepte van 120 cm –mv. Voor het Schuitenbeekgebied zijn voor de berekening van het fosfaatconcentratieprofiel gegevens gebruikt uit het BOVAR project. Tabel 3.1 geeft een overzicht van

het aantal steken waarvan een mengmonster is gemaakt voor de verschillende bemonsterde diepten. Door het nemen van meerdere monsters van de bovengrond wordt voorkomen dat zeer locale variaties in fosfaat-toestand (bijvoorbeeld door de aanwezigheid van mestflaten) het beeld verstoren. De bemonstering is niet gericht op het verkrijgen van een perceelsgemiddelde waarvoor veel meer steken nodig zijn (circa 20: Ehler et al., 2005).

3.1.4 Chemische analyses

De bodemonsters zijn aangeboden aan het bodemchemisch laboratorium van Wageningen UR. De mengmonsters zijn geanalyseerd op: oxalaat-extraheerbaar fosfor, aluminium en ijzer (P_{ox} , Al_{ox} en Fe_{ox}), en het Pw-getal. Op basis van het oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium ($Fe_{ox} + Al_{ox}$) wordt het fosfaatbindend vermogen van de bodem bepaald. Het Pw-getal (Pw) is een maat voor de hoeveelheid fosfaat die makkelijk beschikbaar is voor het gewas. Aan het einde van de jaren tachtig van de vorige eeuw is in Schuitenbeek de fosfaattoestand van de bodem in kaart gebracht op basis van een gestratificeerde steekproef (Breeuwsma et al., 1989). Van deze steekproef liggen 247 punten in de begrenzing van het stroomgebied Schuitenbeek (Schoumans et al., 2008). Van deze bodemonsters zijn echter alleen het oxalaat-extraheerbaar fosfor (P_{ox}), en ijzer en aluminium ($Fe_{ox} + Al_{ox}$) bepaald. Omdat de monsters bewaard zijn in het bodemarchief van Alterra Wageningen UR konden deze alsnog voor analyse op het Pw-getal worden aangeboden aan het laboratorium van Wageningen UR. Van een aantal monsters was echter te weinig materiaal over voor analyse. Uiteindelijk zijn van de 1086 monsters (247 locaties), 750 monsters geanalyseerd. Van de lagen waar geen Pw-getal kon worden bepaald is deze geschat volgens de methodiek die is beschreven door Chardon (1994).

3.1.5 Aanvullende informatie

Naast het bemonsteren van de bodemlagen wordt in het veld op de locaties aanvullende informatie verzameld. Het gaat hierbij om: aanwezigheid van drains, landgebruik, grondwatertrap en bodemtype.

Aanwezigheid van drains

Aan de landgebruiker is gevraagd of het betreffende perceel is gedraineerd en zo ja, op welke diepte. De aanwezigheid van drains kan eventueel ook worden gecontroleerd door in de slootwand te zoeken naar de drains. Tijdens het veldbezoek blijkt echter dat de drains niet gemakkelijk zichtbaar zijn. Bovendien kost het veel tijd om de omliggende sloten van percelen na te lopen. Van een aantal percelen kon niet vastgesteld worden of ze al dan niet voorzien zijn van buisdrainage. Naast de aanwezigheid van drains is ook de diepteligging van de buizen belangrijke informatie. De diepteligging wordt bepaald door de hoogte van de eindbuis in te meten ten opzichte van de insteek van de sloot. Wanneer de eindbuis niet is gevonden is een schatting gemaakt aan de hand van de GHG van het perceel. Hierbij is als vuistregel gebruikt dat de drainage op een diepte ligt van 60 cm onder GHG niveau, met een minimum diepte van 80 cm –mv. en een maximale diepte van 120 cm –mv. In feite zijn de diepten van de ontwateringsystemen regiospecifiek en zouden ze voor landschappelijk eenheden moeten worden vastgesteld. Gebiedsdekkende informatie over ligging van gedraineerde percelen kan ook worden afgeleid aan de hand van de bodemgesteldheid (GHG), slootdichtheid en relatieve hoogteligging (Massop, 2002). Van het stroomgebied de Krimpenerwaard (veelal veengronden) is uitgegaan dat de percelen niet gedraineerd zijn.

Landgebruik

Het landgebruik is gebruikt voor het schatten van het netto neerslagoverschot. Voor het landgebruik wordt onderscheid gemaakt in bos, akkerbouw, blijvend grasland en maïs. Met name in het stroomgebied van de Drentse Aa komen veel graslanden voor die extensief worden beweide (natuur). Deze gebieden worden in het veld vaak aangeduid als grasland, omdat het onderscheid tussen intensief en extensief graslandgebruik niet

scherp te maken is. We zijn er in deze studie vanuit gegaan dat het neerslagoverschot van deze extensief gebruikte graslanden vergelijkbaar is met intensief gebruikte graslanden. Het onderscheid tussen maïs en akkerbouw is na de oogst soms moeilijk te maken, toch is aan de hand van gewasresten een redelijk resultaat geboekt. Het landgebruik kan ook vlakdekkend worden afgeleid uit een actueel Landgebruikskaart van Nederland (LGN). Voor deze studie is gebruik gemaakt van LGN5.

Grondwatertrap

De gemiddeld hoogste grondwatertrap (GHG) en gemiddeld laagste grondwatertrap (GLG) worden in het veld bepaald aan de hand van hydromorfe kenmerken. Omdat in o.a. nat ontwikkelde gronden hydromorfe kenmerken niet zondermeer een goede indicatie geven van de huidige hydrologische toestand en de schattingen niet konden worden getoetst aan metingen, zijn de schattingen vergeleken met de weergegeven grondwatertrap op beschikbare detail-bodemkaarten. Voor het stroomgebied Quarles van Ufford is dat de Bodemkaart van het Land van Maas en Waal, schaal 1:25.000 (Scholten et al., 1990, van de Krimpenerwaard de Bodemkaart van de Krimpenerwaard, schaal 1:25.000 (Mulder et al., 1986) en van de Drentse Aa de bodemkaart van Roden-Norg, schaal 1:10.000 (Makken en Rutten, 1985). Deze kaarten beslaan, met uitzondering van de Krimpenerwaard, niet het gehele stroomgebied. Naast de detail-bodemkaarten is daarom ook gebruik gemaakt van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 (De Vries, 2003). De bemonstering is in Quarles van Ufford niet door veldbodemkundigen uitgevoerd, zodat een schatting van de GHG en GLG niet gelijktijdig met de bemonstering heeft kunnen plaatsvinden. De grondwatertrap is later op de gemarkeerde, bemonsteringslocaties door een veldbodemkundige geschat. Er zijn hier echter geen uitgebreide profielbeschrijvingen van de bodem gemaakt. Voor de berekeningen met PLEASE met geïnterpoleerde vlakdekkende informatie is gebruik gemaakt van de grondwatertrappenkaart op basis van karteerbare eenheden (Van der Gaast et al., 2006).

Bodemtype

Van elk bemonsterd bodemprofiel wordt een globale beschrijving gemaakt. Hierbij is gelet op het organische stof-, leem- en lutumgehalte. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om een schatting te doen van de soortelijke dichtheid van de bodemlagen. De schattingen zijn getoetst aan de hand van de kaartvlakinformatie van de beschikbare detail-bodemkaarten. De soortelijke dichtheid van de grond wordt niet bepaald, maar geschat aan de hand van pedotransfer functies (Hoekstra en Poelman, 1982; Van Wallenburg, 1988) die in bijlage 2 staan beschreven. Hiertoe zijn de beschreven profielen vereenvoudigd tot drie lagen (0 - 20 cm –mv.: bovengrond, 20 - 50 cm –mv.: tussenlaag en > 50 cm –mv.: ondergrond). In de tabellen van de bijlage 2 zijn de schattingen per stroomgebied weergegeven, alsmede de waarde zoals die in de Staring Reeks (Wösten et al., 2001) worden weergegeven.

3.2 Literatuurgegevens

3.2.1 Achtergrond kwelconcentraties

De achtergrondconcentratie van fosfaat in het permanente (diepere) grondwater (op één m onder de GLG) zijn afgeleid van landelijke gegevens van kwelconcentraties zoals deze worden aangetroffen in het grondwatermeetnet van TNO. De gegevens zijn beschikbaar voor verschillende geohydrologische situaties in Nederland (Rozemeijer et al., 2005). De mediane waarden van de fosfaatconcentraties in kwelwater voor de verschillende stroomgebieden staan in onderstaande tabel (3.2) weergegeven. Deze cijfers zijn gecorrigeerd voor vastlegging van fosfaat aan aluminium en ijzer bij oxidatie.

Tabel 3.2

Achtergrond/kwelconcentratie van ortho-P [mg P/l] voor de stroomgebieden op basis van Rozemeijer et al., 2005.

Stroomgebied	Regio	Kwelconcentratie
		[mg P/l]
Quarles van Ufford	Rivierengebied	0,036
Drentse Aa	Noordelijk zandgebied	0,010
Krimpenerwaard	Rivierengebied	0,036
Schuitenbeek	Midden	0,023

3.2.2 Netto neerslagoverschot

Langjarige netto neerslagoverschotten kunnen voor verschillende bodem-gewascombinaties redelijk goed geschat worden (Van Bakel et al., 2007). Het netto neerslagoverschot in de stroomgebieden is gebaseerd op de jaarlijkse neerslag van een representatief KNMI- neerslagstation (1978 - 2008) in het betreffende stroomgebied en de landelijk gemiddelde evapotranspiratie voor verschillende gewassen (Van Bakel et al., 2007). In tabel 3.3 is de gemiddelde actuele evapotranspiratie weergegeven voor verschillende vormen van landgebruik, gegroepeerd per Gt-klasse. De jaarlijkse neerslag bedraagt voor Quarles van Ufford 770 mm/jr (Meegen), voor de Drentse Aa 817 mm/jr (Assen) en voor Krimpenerwaard 872 mm/jr (Gouda). In het stroomgebied van de Schuitenbeek varieert de jaarlijkse neerslag van ca. 775 mm/jr in het westelijke gedeelte tot ca. 875 mm/jr in het oostelijke gedeelte. Als schatting van het netto neerslagoverschot is gebruik gemaakt van de gemiddelde jaarlijkse neerslag van drie KNMI stations: Voorthuizen, Nijkerk en Putten en bedraagt 825 mm/jr. In bijlage 3 is per stroomgebied het netto neerslagoverschot voor verschillende bodem-gewascombinaties weergegeven.

Tabel 3.3

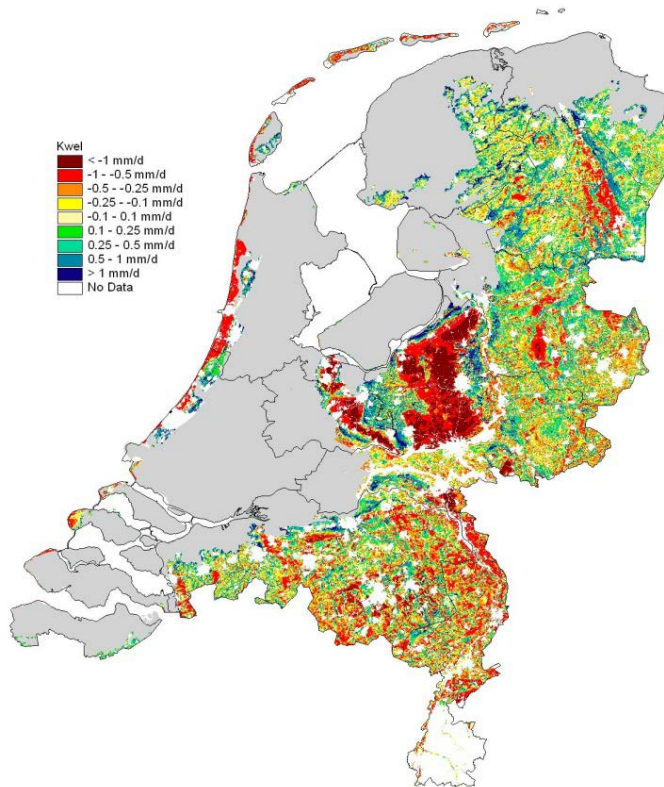
Actuele evapotranspiratie (mm/jaar) voor verschillende vormen van landgebruik en groepen van grondwatertrappen. Naar: Van Bakel et al., 2007.

Gt- groep	Actuele evapotranspiratie [mm/jaar]							Overig landgebruik
	Gewas							
	Blijvend gras	Akkerbouw	Maïs	Natuur		Bos		
				(gras)	(heide)	Loof-	Naald-	
Nat	493	402	367	480	450	493	762	492
Gemiddeld	511	460	424	512	453	573	738	524
Droog	505	462	438	500	462	581	738	497

3.2.3 Kwelflux

Van veel gebieden zijn kwelkaarten (Van der Gaast et al., 2006) beschikbaar waaruit de grondwatertrap en de kwelflux kunnen worden afgeleid. De in het veld geschatte grondwatertrappen blijken echter te kunnen afwijken van de op deze kaarten weergegeven grondwatertrap. Daarnaast kunnen kwelfluxen lokaal sterk verschillen, waardoor het moeilijk is om op basis van de ligging van de locatie de exacte kwelflux uit de kaart af te leiden. Dit probleem is ondervangen door de informatie van de kwelkaart te relateren aan de verschillende Gt-klassen

door voor elke Gt-klasse de mediane kwelklasse te berekenen. Hiermee wordt de lokale informatie over GHG en GLG op een juiste wijze gerelateerd aan de lokale informatie over de kwelflux. Per stroomgebied is per Gt-groepering (nat, middel en droog) een gemiddelde kwelflux berekend. Voor het stroomgebied Quarles van Ufford is nog een vierde groep toegevoegd met stagnerende gronden (grondwatertrap V). In tabel 3.4 staan de kwelfluxen in de verschillende stroomgebieden per Gt-groepering weergegeven. Voor de berekening op een schaal van 25*25 m (geïnterpoleerd) zijn grondwatertrappenkaart en de kwelklassenkaart (figuur 3.2) direct toegepast.



Figuur 3.2

Kwelklassenkaart van Nederland volgens Van der Gaast et al. (2006).

Tabel 3.4

Geschatte kwelfluxen (mm/jr) per Gt-groep van de stroomgebieden Quarles van Ufford, Drentse Aa en Schuitembeek, afgeleid van de grondwatertrappenkaart op basis van karteerbare eenheden (Van der Gaast et al., 2006).

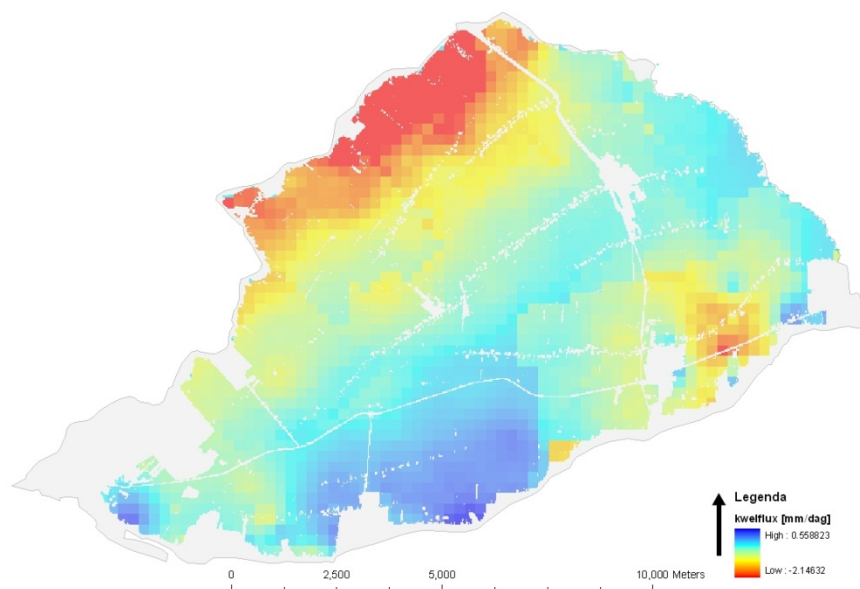
Gt-groepering*	Kwelflux [mm/jr.]		
	Quarles van Ufford	Drentse Aa	Schuitembeek
Nat	274	274	98
Middel	0	64	-5
Droog	-137	-274	-174
Stagnatie	137	137	-

* nat = Gt I t/m III, middel= Gt IV en VI, droog= Gt VII, VIII en stagnatie = Gt V.

Deze kaart geeft echter geen informatie over de kwelfluxen in de Krimpenerwaard. Om een schatting van het voorkomen van kwel en wegzijging in dit gebied te kunnen doen is een aparte studie verricht door Kroes (intern document, 2009) naar kwel/wegzijging in de Krimpenerwaard. Diverse bronnen uit de literatuur leveren verschillende inzichten op met betrekking tot de kwelfluxen in het gebied. Zowel de hoogte als de ruimtelijke variatie van de flux verschilt van studie tot studie. Verbeteringen van de informatie over kwel en wegzijging zijn daarom noodzakelijk, maar waren bij de toepassing van PLEASE op de Krimpenerwaard nog niet beschikbaar. Daarom is besloten om gebruik te maken van informatie afkomstig van regionale studies door Van der Linden (2002). Deze studie geeft een redelijk plausibel resultaat (figuur 3.3), maar lijkt het voorkomen van lokale kwel, bijvoorbeeld langs de Lek bij Bergambacht, te onderschatten (persoonlijke mededeling Kroes). Het is duidelijk dat de onzekerheid in de omvang van totale waterflux naar het oppervlaktewater toeneemt als minder lokale informatie voorhanden is over de mate van kwel en wegzijging die in de regio optreedt.

3.2.4 Generieke modelparameters

Het model maakt gebruik van generieke sorptieparameters om de fosfaatconcentraties in de bodem te berekenen uit de fosfaattoestand en het fosfaatbindend vermogen (Schoumans et al., 2008). Voor het berekenen van de laterale waterfluxen wordt gebruik gemaakt van grondwaterstandsduurlijnen. Deze duurlijnen bevatten een aantal (generieke) parameters waarmee op basis van de GHG en GLG het verloop van de grondwaterstand gedurende het jaar kan worden berekend volgens de methodiek van Van der Sluijs (1990). De fosfaatconcentraties in het bodemprofiel worden berekend met de Langmuir sorptieconstante (K), de Langmuir desorptieconstante (k_d) en de adsorptiefractie (β). Voor deze parameters zijn dezelfde generieke waarden gebruikt als voor het protocol fosfaatverzadigde gronden (van der Zee et al., 1990a en b). De waarde voor $K = 35 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$, $k_d = 0,2 \text{ d}^{-1}$ en $\beta = 0,167$. De Langmuir sorptieconstante (K) is afgeleid op basis van metingen op ruim 100 kalkloze zandgronden. Onlangs zijn door Koopmans en Van der Salm de Langmuir sorptieconstante (K) afgeleid voor zand, klei en veen (Koopmans en Van der Salm, 2011). Deze gegevens zijn gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse op het gebruik van verschillende modelparameters (zie hoofdstuk 5 en Schoumans et al., 2012).



Figuur 3.3

Kwel/wegzijging (mm/d) volgens de West-Laag Nederland studie (Van der Linden, 2002) (rood = wegzijging, blauw = kwel).

3.2.5 Afvoergegevens

In tabel 3.5 en 3.6 zijn de meetgegevens van de waterafvoer en de fosfaatvrachten per stroomgebied weergegeven. Van het stroomgebied Quarles van Ufford zijn het meetgegevens van de periode 2004 – 2007 en van de Krimpenerwaard zijn de meetgegevens afkomstig uit de jaren 2004 en 2006 t/m 2008. In beide stroomgebieden vindt naast afvoer van water ook inlaat van water plaats en in de Krimpenerwaard draagt een RWZI ook bij aan de afvoer van het gebied (zie tabel 3.5). Voor Schuitenbeek zijn de afvoergegevens weergegeven voor het uitstroompunt 25210 en omvat uitsluitend het zuidelijk deel van het stroomgebied. De netto afvoer geeft de afvoer aan vanuit het agrarisch gebied. Om deze te berekenen is gecorrigeerd voor P in inlaatwater en de belasting van het oppervlaktewater vanuit RWZI. Bij de berekening moet rekening worden gehouden met de retentie van P uit het inlaatwater en de RWZI's in de waterlopen. In tabel 3.6 is zowel de netto afvoer zonder retentie als bij een retentie van 50% weergegeven.

Tabel 3.5

Gemeten water aan- en afvoer (mm) in de stroomgebieden.

Stroomgebied ¹	Periode	Inlaat	RWZI	Afvoer	Netto afvoer (inlaat+RWZI – afvoer)
				[mm/jaar]	
Quarles van Ufford	2001 - 2010	243		667	424
Drentse Aa (Schipborg)	2001 - 2009	0		375	375
Krimpenerwaard	2004, 2006 - 2008	105	22	441	314
Schuitenbeek (25210)	2004 - 2009	0		147	147

¹ Gegevens van Drentse Aa bij het meetpunt bij Schipborg en data van de Schuitenbeek hebben betrekking op afvoerpunt 25210 (zuidelijk deel van het stroomgebied).

Tabel 3.6

Gemeten fosfaatvrachten (kg P/ha/jaar) in de uitlaatpunten van de stroomgebieden.

Stroomgebied	Periode	Inlaat	RWZI	Afvoer	Netto afvoer (inlaat+RWZI-afvoer)
				[kg P/ha/jaar]	
Quarles van Ufford	2001 - 2010	0,20	-	1,50	1,30 (1,40)
Drentse Aa (Schipborg)	2001 - 2009	-	-	0,47	0,47
Krimpenerwaard	2004, 2006 - 2008	0,14	0,22	2,72	2,36 (2,54)
Schuitenbeek (25210)	2004 - 2009	-	-	0,51	0,51

Tussen haakjes: rekening houdend dat 50% van P in het effluent van de RWZI en het ingelaten water door retentie in de waterlopen achter blijft.

3.2.6 Interpolatie van de verschillende invoergegevens

In elk stroomgebied zijn op een beperkt aantal locaties metingen beschikbaar. Om op basis van de fosfaattoestand op deze locaties een beeld te krijgen van de fosfaattoestand in het hele stroomgebied is een ruimtelijke interpolatiemethode gebruikt (Walvoort et al., 2009). Hierbij wordt een bodemeigenschap op een locatie berekend door niet alleen gebruik te maken van de waarnemingen op de meetlocaties, maar ook van andere beschikbare (hulp) informatie zoals digitale bodemkaarten, landgebruikskaarten, grondwaterstandskarten, en/of uitkomsten van (proces)modellen. Op deze wijze kan de beschikbare informatie optimaal worden benut. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van informatielagen die relevant zijn voor de fosfaattoestand van de bodem. Hulpinformatie die bij de stroomgebieden is gebruikt betreft de digitale bodemkaart volgens Wösten et al. (1988), het landgebruik geclusterd op basis van LGN5 (Hazeu, 2005) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand volgens van der Gaast et al. (2006). De methode waarmee de puntinformatie is geïnterpoleerd naar gebiedsdekkende informatie is beschreven door Walvoort et al. (2009). De data zijn ook onderzocht op uitbijters (extreme waarden). De conclusie was dat zowel in de Krimpenerwaard als in de Drentse Aa enkele zeer hoge Pw- getallen voorkomen. Uitbijters kunnen duiden op meetfouten, en moeten uit de data worden verwijderd. Een meetwaarde uit de set van de Krimpenerwaard is verwijderd omdat dit zeer waarschijnlijk een meetfout is. De hoge waarden bij de Drentse Aa is behouden omdat niet met zekerheid te zeggen is dat dit meetfouten betreffen. In bijlage 4 zijn de geïnterpoleerde kaarten van het Pw-getal voor de vier stroomgebieden weergegeven.

4 Resultaten

4.1 Quarles van Ufford

4.1.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied Quarles van Ufford

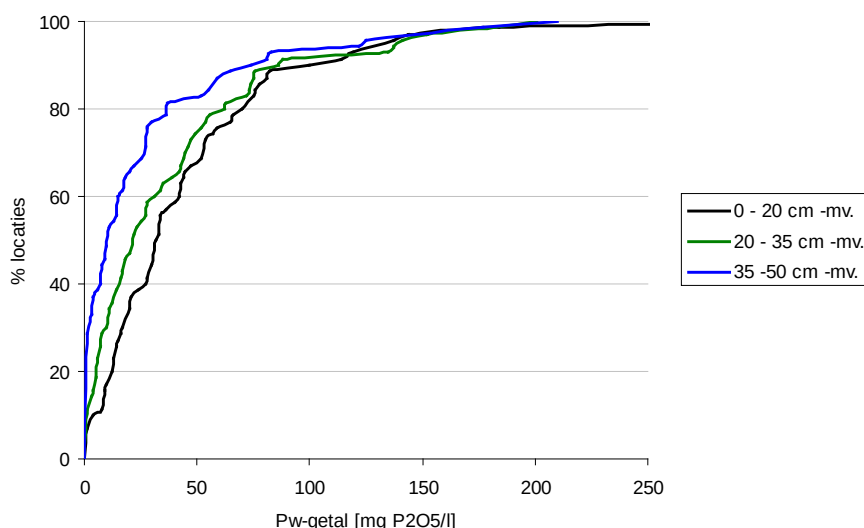
De gemiddeld actuele fosfaattoestand, hier uitgedrukt in het Pw-getal, in Quarles van Ufford bedraagt in de bovenste laag (0 - 20 cm –mv.) 47 mg P_2O_5/l en daalt naar 28 mg P_2O_5/l in de laag onder de bouwvoor (35 - 50 cm –mv.) (tabel 4.1). De mediane waarden liggen onder het rekenkundig gemiddelde. Het 5% percentiel ligt voor alle bodemlagen beneden de detectiegrens (3 mg P_2O_5/l), het 95% ligt in de bouwvoor (lagen 0 - 20 en 20 - 35 cm –mv.) rond 138 mg P_2O_5/l en op 124 mg P_2O_5/l in de laag onder de bouwvoor (35 - 50 cm –mv.). Van de 70 locaties springt één locatie eruit met een extreem hoog Pw-getal van 336 mg P_2O_5/l in de bovengrond (0 - 20 cm –mv.) tot 210 mg P_2O_5/l in de laag onder de bouwvoor (35 - 50 cm –mv.).

Tabel 4.1

Berekende gemiddelde, mediaan, 5 en 95% van de geanalyseerde bodemonsters op Pw-getal [mg P_2O_5/l] op 70 locaties in het stroomgebied Quarles van Ufford.

	Diepte [cm –mv.]			
	0 - 20	20 - 35	35 - 50	50 - 100
Gemiddeld	47	39	28	16
Mediaan	33	22	11	3
5%	1,5	1,5	1,5	1,5
95%	137	139	124	86

Het overgrote deel van de bemonsterde locaties (60%) heeft een Pw-getal variërend tussen 5 en 50 mg P_2O_5/l ; de mediane waarde bedraagt 33 mg P_2O_5/l (figuur 4.1). In de laag 20 - 35 cm mv. is de actuele fosfaattoestand gemiddeld lager dan in de bovenste 20 cm, maar het 95% betrouwbaarheidsinterval is iets hoger dan in de laag daarboven. In de bodemlaag onder de bouwvoor 35 - 50 cm is de fosfaattoestand in het algemeen lager dan in de lagen daarboven, maar bij een hoge fosfaattoestand (Pw-getal > 50 mg P_2O_5/l) in de bovengrond wordt het verschil met de lagen daaronder kleiner.



Figuur 4.1

Frequentieverdeling van de actuele fosfaattoestand (Pw-getal [mg P₂O₅/l]) in Quarles van Ufford van de bodemlagen 0 - 20 cm -mv., 20 - 35 cm -m. en 35 - 50 cm -mv.

4.1.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied Quarles van Ufford

De berekende fosfaatvrachten op basis van het gemiddelde van de meetpunten

De met PLEASE berekende waterflux naar het oppervlakte water is in Quarles van Ufford gemiddeld 381 mm/jr. (tabel 4.2). Het 5- en 95-percentiel van de berekende waterfluxen zijn respectievelijk 190 en 677 mm/jr. Er is een groot verschil tussen de gemiddelde en de mediane waarden van de afvoerflux van totaal-P en de totaal-P-concentratie (beide totaal-P). Ruim 90% van de locaties heeft een lagere P-afvoerflux dan het gemiddelde. Voor deze scheve verdeling is één locatie verantwoordelijk, met een Pw-getal dat verloopt van 336 mg P₂O₅/l in de bovengrond (0 - 20 cm) naar 210 mg P₂O₅/l in de ondergrond (50 - 100 cm -mv.). Lage laterale water fluxen worden op de oeverwallen, langs de rivieren, berekend, hoge laterale water fluxen komen voor in de komgebieden. De laagste fluxen komen voor op de rivierduinen in het oostelijke gedeelte van het gebied (figuur 4.2).

Tabel 4.2

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de laterale water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties op 70 locaties in het stroomgebied Quarles van Ufford.

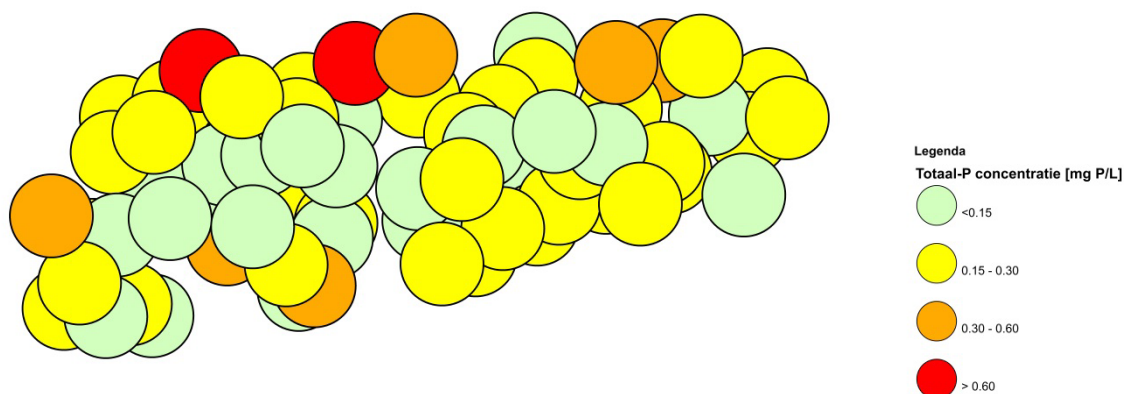
	Waterflux	P-concentratie		P-afvoerflux	
	[mm/jaar]	[mg/l]		[kg P/ha/jr.]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	381	0,32	0,44	1,73	2,25
Mediaan	341	0,07	0,17	0,22	0,68
5%	190	0,03	0,12	0,09	0,29
95%	677	0,37	0,48	1,25	1,60



Figuur 4.2

Berekende waterfluxen [mm/jaar] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Quarles van Ufford (geanonimiseerd).

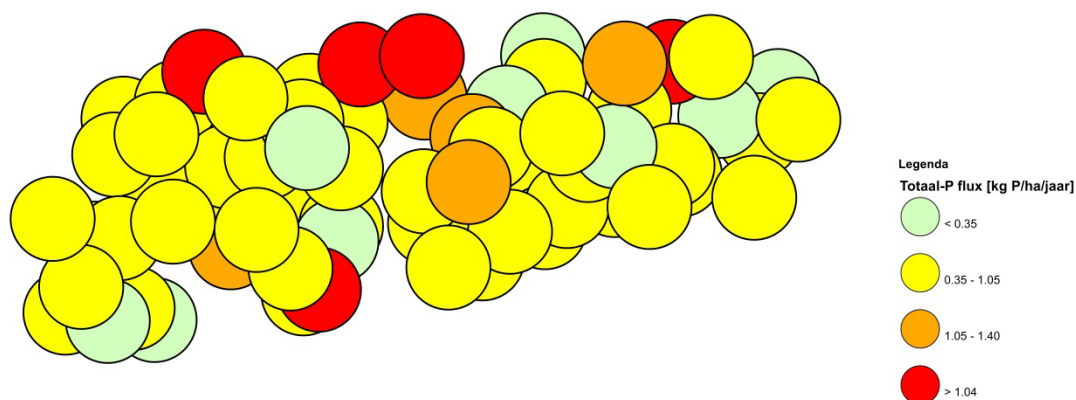
De berekende gemiddelde fosfaatconcentratie (totaal-P) in het water dat uitspoelt naar het oppervlakte water bedraagt 0,44 mg P/l (tabel 4.2). De hoogste concentraties komen voor op de oeverwallen, terwijl de laagste concentraties zich in het komgebied voordoen (figuur 4.3). Zeer hoge concentraties van meer dan 0,60 mg P/l komen voor op de rivierduinen en op de oeverwal langs de Waal. Op meer dan 60% van de locaties ligt de P-concentratie in het afspoelende grondwater boven de in dit stroomgebied gehanteerde waarden voor het goed ecologisch potentieel (GEP) van 0,15 mg P/l (figuur 4.5).



Figuur 4.3

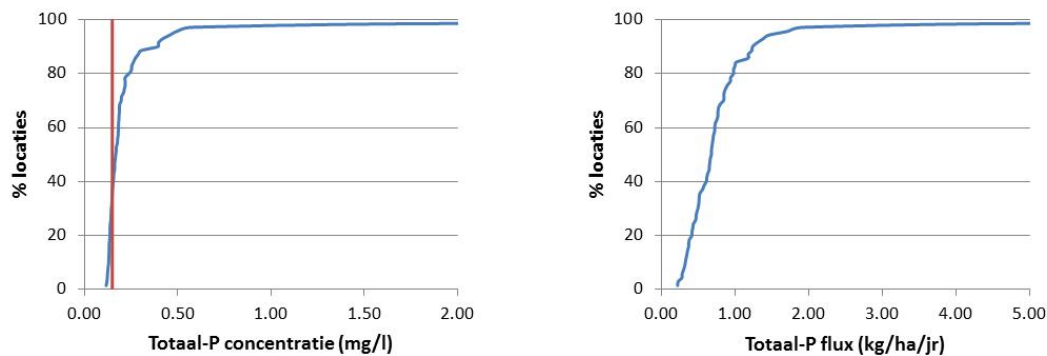
Berekende totaal P-concentraties [mg/l] in het uitspoelende water voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Quarles van Ufford (geanonimiseerd).

Het 95-percentiel van de fosfaatuitspoeling in het stroomgebied Quarles van Ufford, gebaseerd op 70 locaties, bedraagt 1,58 kg P/ha/jr (tabel 4.2) en is daarmee lager dan het gemiddelde (figuur 4.5). Dit wordt veroorzaakt door de hoogste fosfaatuitspoeling van 104 kg P/ha/jr op een van de locaties. De hoge fosfaatuitspoelingen komen veelal overeen met de locaties waar hoge concentraties fosfaat in het uitspoelende water, maar gematigde water fluxen (200 – 500 mm) worden berekend.



Figuur 4.4

Berekende totaal-P-fluxen [kg P/ha/jr] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Quarles van Ufford (geanonimiseerd).

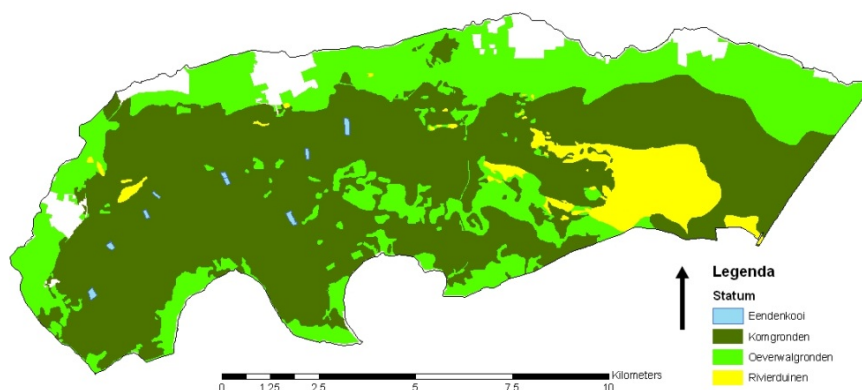


Figuur 4.5

Cumulatieve frequentie verdeling van de P-concentratie (totaal P) in mg/l en de P-flux (totaal P) in kg P/ha/jr. Met de rode lijn wordt de gehanteerde P-concentratie voor het GEP van het oppervlakte water (0,15 mg P/l) weergegeven.

Berekende fosfaatvrachten op basis van strata

Van een deel van het stroomgebied Quarles van Ufford is een gedetailleerde bodemkaart, schaal 1:25.000 beschikbaar (Scholten et al., 1990). In vergelijking met deze bodemkaart doen de hoogste P-concentraties zich op de stroomruggen en rivierduinen voor, terwijl in de komgebieden de P-concentraties relatief laag zijn. De bodemkaart van Scholten et al. (1990) is gebruikt om de monsterlocaties per bodemgeografische eenheid in te delen in groepen (figuur 4.6). Voor het oostelijke gedeelte van het stroomgebied was geen gedetailleerde bodemkaart beschikbaar en is de bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000 gebruikt.



Figuur 4.6

Indeling van het stroomgebied Quarles van Ufford in bodemgeografische eenheden.

Per bodemgeografische eenheid is de gemiddelde waterafvoerflux en fosforflux berekend (tabel 4.3). De gemiddelde jaarlijkse afvoerflux van het totale stroomgebied wordt berekend op 383 mm/jaar en de gemiddelde berekende jaarlijkse fosforflux bedraagt 20.748 kg/jr. Vanuit de eendenkooien zijn de fosfaatvrachten naar het oppervlaktewater het laagst, terwijl vanaf de oeverwallen de grootste vrachten fosfaat in het oppervlaktewater terecht komen. De grootte van de berekende vrachten is sterk afhankelijk van de fosfaattoestand. Door het niet meenemen van één locatie met een extreem hoge actuele fosfaattoestand is de berekende fosfaatvracht uit het stroomgebied maar liefst 62% lager dan wanneer dit punt wel wordt meegenomen. Locaties met een extreem hoge fosfaattoestand komen voor, maar het is niet bekend in welke mate.

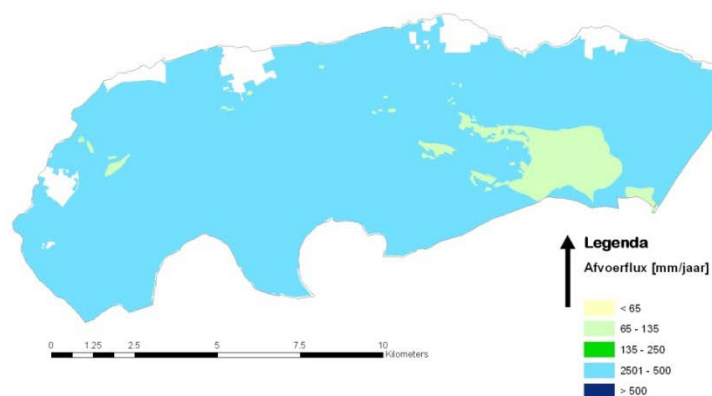
Tabel 4.3

Berekende gemiddelde, oppervlakte gewogen, water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties per bodemgeografische eenheid in het stroomgebied Quarles van Ufford, afgeleid van de detail bodemkaart (Scholten et al., 1990) en de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000 (De Vries, 2001). Gemiddelden voor het gehele gebied (totaal) zijn exclusief areaal bebouwd.

Eenheid	Opp.	Afvoerflux	P –conc.	P –flux	
	[ha]	gem. [mm/jr.]	gem. [mg/l]	gem. [kg/ha/jr.]	Totaal [kg/jr.]
Eendenkooi (n=5)	27	500	0,14	0,71	19
Kom (n = 33)	7020	435	0,17	0,72	5031
oeverwal (n = 27)	3464	320 (304)	0,83 (0,38)	4,46 (0,92)	15442 (3198)
Rivierduinen (n = 5)	715	183	0,20	0,36	256
Bebouwd (n=0)	639				
Totaal	11866	383 (382)	0,37 (0,31)	1,85 (0,74)	20748 (8333)

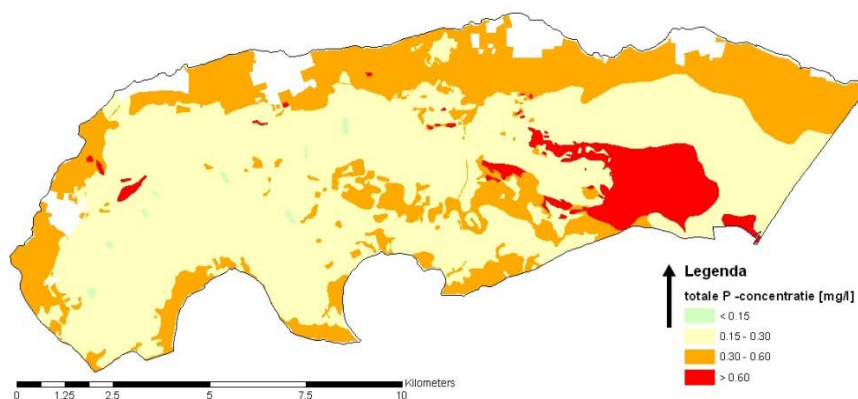
Tussen haakjes: locatie 32 is uit de berekening gelaten.

De laterale waterfluxen zijn sterk afhankelijk van de grondwatertrap; op de rivierduinen is de laterale waterflux duidelijk lager dan in de andere bodemgeografische eenheden, de eendekooien hebben de hoogste laterale waterflux. De P-concentratie van het water heeft een omgekeerde relatie met de grondwatertrap; hoe droger de bodem, hoe hoger de P-concentratie in het water is. Met ander woorden de P-concentratie van het water is op goed ontwaterde gronden hoger dan op de slecht ontwaterde gronden. Daarbij is de P-concentratie van de rivierduinen nog weer duidelijk hoger dan van de oeverwalgronden. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de extreem hoge P-concentratie van locatie 32 een grote invloed heeft op de totale P-flux vanuit de oeverwalgronden. De lage P-concentratie van het water in de eendekooien is niet verrassend, omdat het vaak natuurgebieden zijn. De totale P-afvoerflux van de slecht ontwaterde gronden (eendekooi, kom) is lager dan van de goed ontwaterde gronden (oeverwalgronden). Dit beeld wordt echter sterk bepaald door locatie 32 met een extreem hoge actuele fosfaattoestand. In de figuren (4.7 t/m 4.9) hieronder zijn de stratum gemiddelde water afvoerflux, P concentraties in het afstromende grondwater en de P-vrachten weergegeven. Door het middelen van de uitkomsten per stratum wordt de variatie sterk beperkt. De waterfluxen van de komgronden zijn significant hoger dan van de oeverwalgronden ($P < 0,05$) en de eendekooien hebben een significant hogere waterflux dan de rivierduinen ($P < 0,01$). De verschillen in waterflux tussen de overige strata zijn niet significant. Wat betreft de P-vrachten onderscheiden zich alleen de oeverwalgronden door een hoge P-vracht. Dit hoog gemiddelde wordt echter sterk bepaald door één locatie (32), wanneer deze wordt weggelaten vallen alle strata in de klasse 0,35 - 1,05 kg P/ha/jr. De verschillen in P-vracht tussen de strata zijn niet significant ($P > 0.05$).



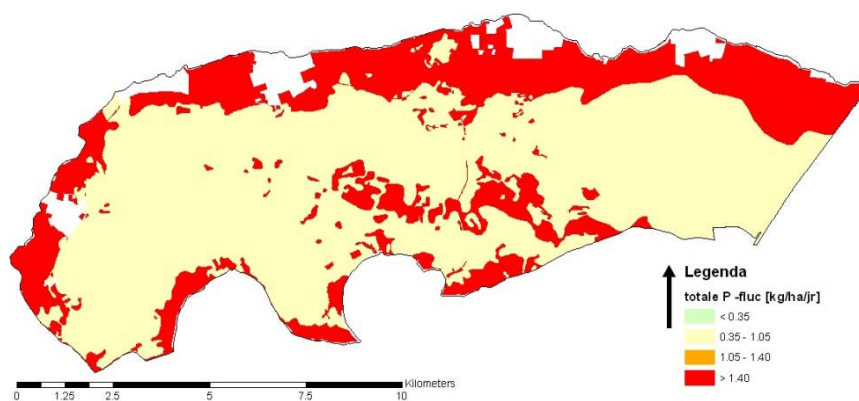
Figuur 4.7

Stratum gemiddelden van de afvoerflux [mm/jaar] in het stroomgebied Quarles van Ufford op basis van 70 locaties.



Figuur 4.8

Stratum gemiddelden van de totaal P-concentraties in het stroomgebied Quarles van Ufford op basis van 70 locaties.



Figuur 4.9

Stratum gemiddelden van de totaal P-afvoerflux [kg/ha/jr.] in het stroomgebied Quarles van Ufford op basis van 70 locaties.

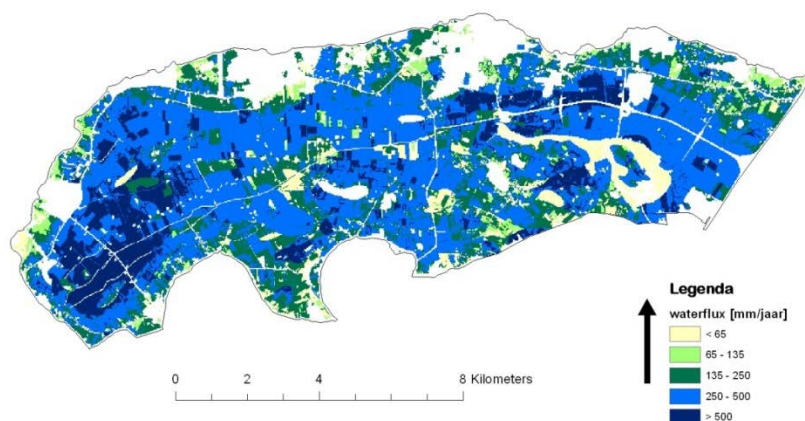
Berekende fosfaatvrachten op basis van interpolatie

Als invoer van PLEASE zijn geïnterpoleerde invoergegevens gebruikt met een resolutie van 25 bij 25 meter. In totaal resulteert dit voor het stroomgebied Quarles van Ufford in 151 549 data punten (9471 ha). De resultaten staan in de figuren 4.10 t/m 4.12 en tabel 4.4 weergegeven. De berekende waterfluxen bedragen 365 mm/jaar en de gemiddelde fosfaatconcentratie bedraagt 0,20 mg P/liter. De totale fosfaatbelasting op het oppervlakte water is 0,72 kg P/ha/jaar. In de figuren 3.10 t/m 3.12 staan de ruimtelijke patronen van de afvoerflux, fosfaatconcentratie in het afgevoerde water en de fosfaatvracht weergegeven, zoals PLEASE deze berekent op basis van gebiedsdekkende invoerdata met een resolutie van 25*25 meter.

Tabel 4.4

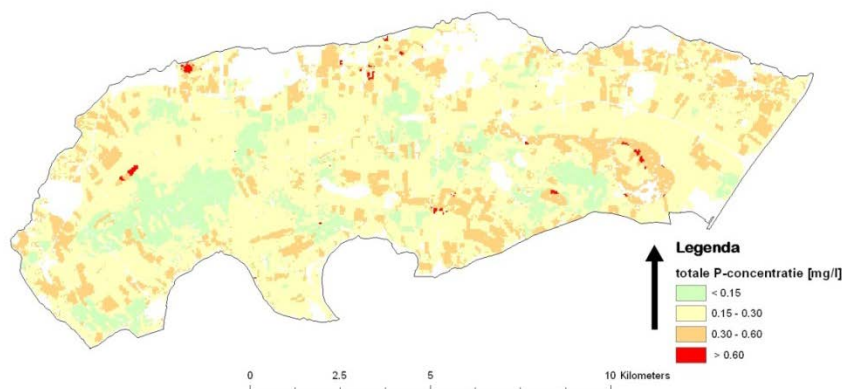
Berekende gemiddelde, mediaan, 5 en 95% van de laterale water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties op 151.549 grids in het stroomgebied Quarles van Ufford.

	Waterflux		Concentratie		Fosfaatafvoerflux	
	[mm/jr.]	[mg/l]	Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	366	0,10	0,20		0,35	0,72
Mediaan	311	0,06	0,16		0,25	0,73
5%	171	0,04	0,14		0,16	0,30
95%	642	0,31	0,41		0,94	1,40



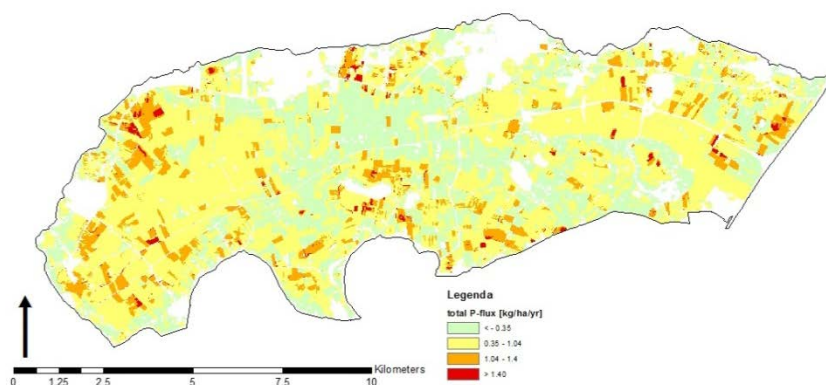
Figuur 4.10

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende water afvoerflux [mm/dag] in het stroomgebied Quarles van Ufford.



Figuur 4.11

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l] in het stroomgebied Quarles van Ufford.



Figuur 4.12

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende P-vracht [kg/ha/jaar] naar het oppervlakte water in het stroomgebied Quarles van Ufford.

Vergelijking van de resultaten

In tabel 4.5 zijn de door PLEASE met de verschillende interpolatiemethoden berekende en de gemeten gemiddelde waterafvoerflux en weergegeven. De berekende waterafvoerflux is op basis van het gemiddelde van de 70 locaties (381 mm) niet significant hoger dan op basis van de geïnterpoleerde invoer (366 mm). De gemeten netto waterafvoer uit het stroomgebied (afvoer min de inlaat) bedraagt 424 mm (tabel 3.5). De modelberekeningen onderschatten de waterafvoer met 10 à 14% afhankelijk van de gebruikte opschalingsmethode. De onderschatting van de waterafvoer wordt veroorzaakt door een onderschatting van het neerslagoverschot of de kwel. In vergelijking met de gemiddelde afvoerflux op stratumniveau geeft PLEASE met geïnterpoleerde invoerparameters een variabelere beeld, waarin tot op perceelsniveau verschillen in de waterafvoer herkend kunnen worden. De afvoerfluxen in het midden van het gebied, waar de kommen liggen, zijn hoger dan aan de randen van het gebied, waar de stroomruggen liggen. Verder is een sikkelvorm zichtbaar in het oostelijke gedeelte, op de plaats waar de rivierduinen voorkomen. Met de geïnterpoleerde invoerparameters zijn de bodemgeografische eenheden duidelijker in de uitvoer zichtbaar, dan bij het stratum gemiddelde. Overigens lijken de stroomruggen met geïnterpoleerde invoer minder groot te zijn en komen binnen de komgebieden ook locaties voor met een relatief lage water afvoerflux (vergelijk figuur 4.7 met figuur 4.10).

Tabel 4.5

Door PLEASE berekende en gemeten gemiddelde water afvoerflux [mm/jaar] vanuit het stroomgebied Quarles van Ufford. Deze getallen zijn exclusief waterinlaat en het effluent van de RWZI.

	Waterflux [mm]
Punten	381
Gestratificeerd	383
Geïnterpoleerd	366
Gemeten	424

In tabel 4.6 zijn de door PLEASE berekende gemiddelde P-vrachten en P –concentraties weergegeven, alsmede de gemeten P –concentraties, rekening houdend met de inlaat van water. Wanneer bij de analyse van de resultaten uit PLEASE ook rekening wordt gehouden met 50% retentie van fosfaat in de waterlopen onderschat PLEASE in alle gevallen de fosfaatvracht bij het uitstroompunt.

Tabel 4.6

Door PLEASE berekende, en gemeten gemiddelde P-afvoerflux [kg/ha/jaar] P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l] in Quarles van Ufford, en de P-afvoerflux [kg/ha/jaar] en P-concentratie, rekening houdend met 50% retentie van P in de waterlopen (Siderius et al., 2008).

	P-concentratie		P-afvoerflux	
	[mg P/l]		[kg/ha/jaar]	
	Berekend	Minus retentie	Berekend	Minus retentie
Punten	0,44	0,22	2,25	1,13
Gestratificeerd	0,38	0,19	1,85	0,97
Geïnterpoleerd	0,20	0,10	0,72	0,36
Gemeten*		0,33		1,40

* De gemeten P-afvoerflux is berekend aan de hand van de gemeten P-vracht bij het uitlaat punt minus 50% (i.v.m. retentie) van de gemeten P-vracht bij het inlaatpunt.

Op basis van de berekening op punten is deze onderschatting het kleinst en met de geïnterpoleerde methode het grootst. Het verschil in de berekende P-afvoerflux op basis van de puntgegevens tegenover de berekende P-afvoerflux met behulp van de geïnterpoleerde data is significant ($P < 0,05$). Dit wordt veroorzaakt door de extreem hoge fosfaattoestand op een van de locaties, waardoor het gemiddelde sterk wordt beïnvloed. Bij de geïnterpoleerde invoergegevens is deze extreem hoge waarde uitgemiddeld en weegt deze bovendien minder zwaar omdat er met meer datapunten is gerekend.

De kaart met de door PLEASE berekende P-concentraties (figuur 4.3) vertoont een vergelijkbaar beeld met de kaart van de P-concentraties op basis van stratum gemiddelden (figuur 4.8). Bij geïnterpoleerde invoer zijn de uitkomsten, net als bij de waterfluxen, echter meer gedifferentieerd dan bij de strata. De totale P-flux is afhankelijk van de water afvoerflux en de P-concentratie en vertoont een opvallend verschil met P-flux die berekend wordt uit het stratum gemiddelde. De hoogste P-fluxen worden niet direct langs de Waal gemeten, maar meer op de overgang van de oeverwal naar het komgebied. En verder zijn de P-fluxen in het westelijke gedeelte van het stroomgebied relatief hoog, maar op de oeverwallen langs de Maas relatief laag (vergelijk figuren 4.9 en 4.12). Het beeld van de P-vrachten wordt sterk bepaald door de water afvoerflux in het gebied. De fosfaatconcentraties zijn echter op puntniveau en op basis van de geïnterpoleerde data het hoogst op de stroomruggen en rivierduinen; op basis van de strata komen alleen de rivierduinen naar voren.

4.2 Drentse Aa

4.2.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied Drentse Aa

Het gemiddeld Pw-getal in de Drentse Aa bedraagt in de bovenste laag (0 - 20 cm –mv.) 34 mg P_2O_5/l en loopt terug naar 5 mg P_2O_5/l in de laag onder de bouwvoor (35 - 50 cm –mv.) (tabel 4.7). De mediane waarde voor de bovenste laag (0 - 20 cm –mv.) komt overeen met het rekenkundig gemiddelde, terwijl de mediane waarde voor de lagen 20 - 35 en 35 - 50 cm –mv. duidelijk lager zijn. Het 5-percentiel ligt voor alle bodemlagen beneden de detectiegrens (3 mg P_2O_5/l), het 95-percentiel bedraagt in de bovenste laag (lagen 0 - 20 cm –mv.) 84 mg P_2O_5/l loopt af naar 5 mg P_2O_5/l in de laag 50 - 100 cm –mv.

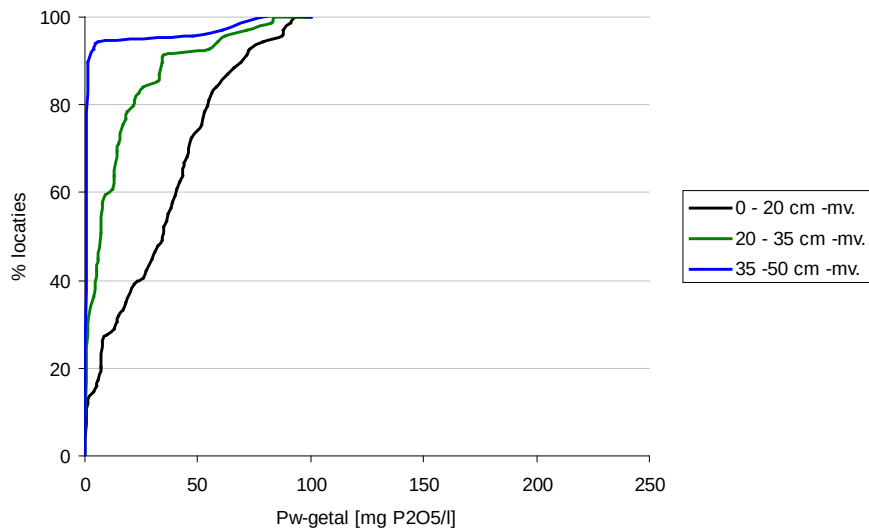
Tabel 4.7

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de geanalyseerde bodemonsters op Pw-getal [mg P_2O_5/l] op 70 locaties in het stroomgebied Drentse Aa.

	Diepte [cm –mv.]			
	0 - 20	20 - 35	35 - 50	50 - 100
Gemiddeld	34	15	5	2
Mediaan	35	8	1,5	1,5
5%	1,5	1,5	1,5	1,5
95%	84	61	35	5

In de laag onder de bouwvoor (35 - 50 cm –mv.) komen nauwelijks hoge Pw waarden voor, 90% van de locaties heeft onder de bouwvoor een Pw-getal die onder de detectiegrens van 3 mg P_2O_5/l ligt (figuur 4.13). In de laag van 20 - 35 cm –mv. neemt het gemiddelde en mediane Pw-getal al sterk af met de diepte, maar het verschil in het 95- percentiel van de laag 0 - 20 en 20 - 35 cm –mv. is beperkt. Bij een hoge fosfaattoestand van de bovenste laag, is kennelijk ook de laag daaronder ook meer belast met fosfaat. Op vier locaties is het

Pw-getal van de bovenste laag minder hoog dan van de lagen daaronder. Het is onbekend waardoor deze oplopende fosfaattoestand wordt veroorzaakt, maar het kan zijn dat deze gronden vroeger intensief agrarisch gebruikt werden en nu bijvoorbeeld extensief begraasd worden.



Figuur 4.13

Frequentieverdeling van de actuele fosfaattoestand (Pw-getal mg P2O5/l) in Drentse Aa van de bodemlagen 0 - 20 cm -mv., 20 - 35 cm -mv., en 35 - 50 cm -mv.

4.2.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied de Drentse Aa

Berekende fosfaatvrachten op basis van meetpunten

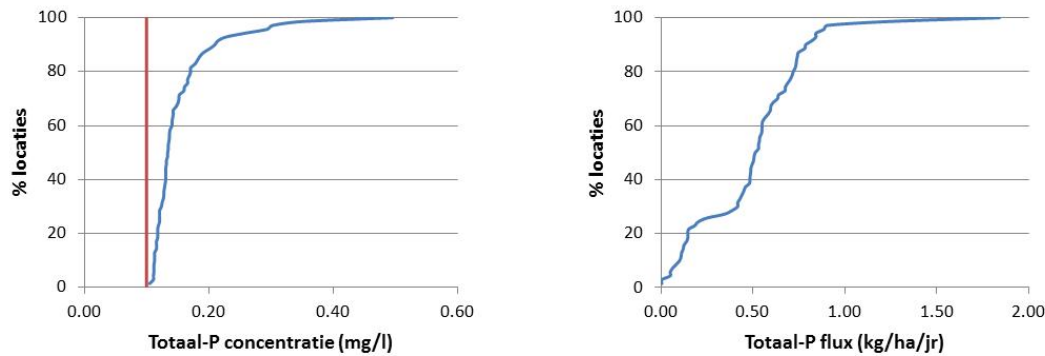
De laterale waterflux naar het oppervlakte water zoals door PLEASE wordt berekend op 69 locaties (één locatie is vervallen) in de Drentse Aa is gemiddeld 343 mm/jr (tabel 4.8). Het 5- en 95-percentiel van de berekende laterale waterfluxen zijn respectievelijk 41 en 610 mm/jr.

Tabel 4.8

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties in het stroomgebied Drentse Aa.

	Waterflux [mm/jr.]	P-Concentratie [mg/l]		P-afvoerflux [kg P/ha/jr.]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	343	0,06	0,16	0,16	0,51
Mediaan	370	0,04	0,14	0,12	0,53
5%	40	0,01	0,11	0,01	0,05
95%	610	0,18	0,28	0,42	0,87

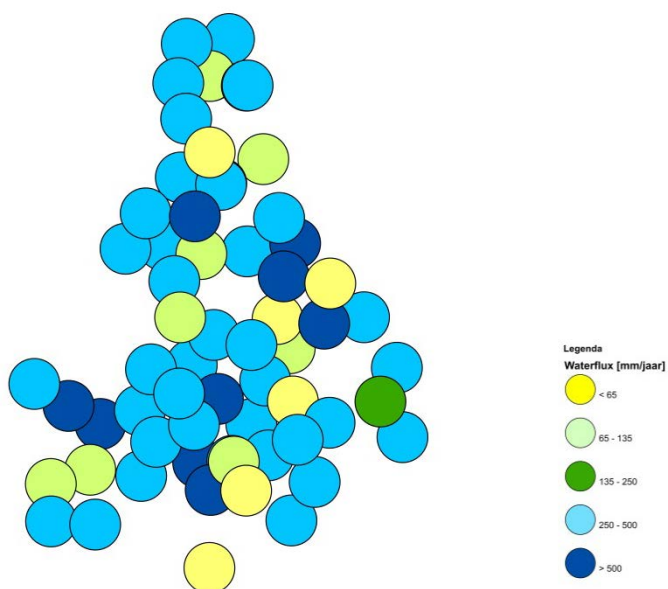
De berekende gemiddelde fosfaatconcentratie (totaal-P) in grondwater dat uitspoelt naar het oppervlakte water bedraagt 0,16 mg P/l. Voor het stroomgebied van de Drentse Aa wordt een GEP waarde gehanteerd van 0.1 mg P L⁻¹. Op alle locaties ligt de P-concentratie in het afspoelende grondwater boven het GEP (figuur 4.14). De gemiddelde fosfaatuitspoeling in het stroomgebied Drentse Aa wordt door PLEASE berekend op 0,50 kg P/ha/jr. Op bijna 50% van de locaties bedraagt de fosfaatuitspoeling minder dan het gemiddelde, terwijl de hoogste fosfaatuitspoeling van de locaties 1,84 kg P/ha/jr. bedraagt.



Figuur 4.14

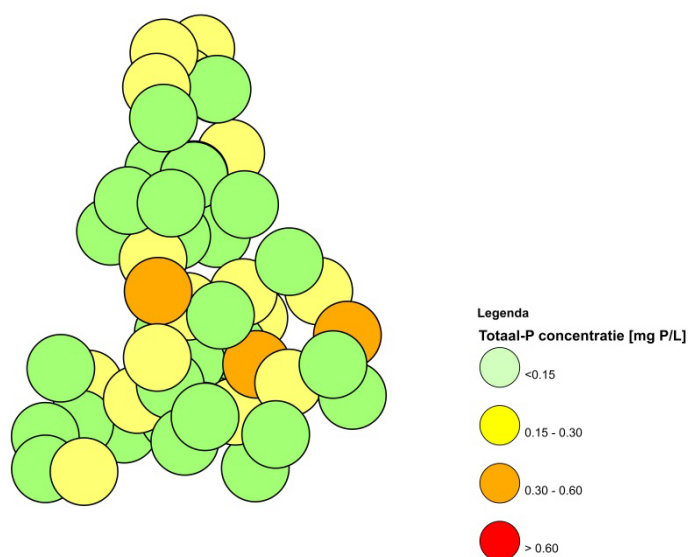
Cumulatieve frequentie verdeling van de P-concentratie (totaal P) in mg/l. en de P-flux (totaal P) in kg P/ha/jr. Met de rode lijn wordt het GEP voor oppervlaktewater (0,10 mg P/l) weergegeven voor het stroomgebied van de Drentse Aa.

In de figuren 4.15 t/m 4.17 wordt de ruimtelijke variatie in de berekende waterfluxen, fosfaatconcentratie en de fosfaatbelasting op het oppervlaktewater in het stroomgebied van de Drentse Aa weergegeven. Een analyse van de ruimtelijke verschillen van de puntlocaties geeft aan dat er geen duidelijk ruimtelijke patroon is waar te nemen.



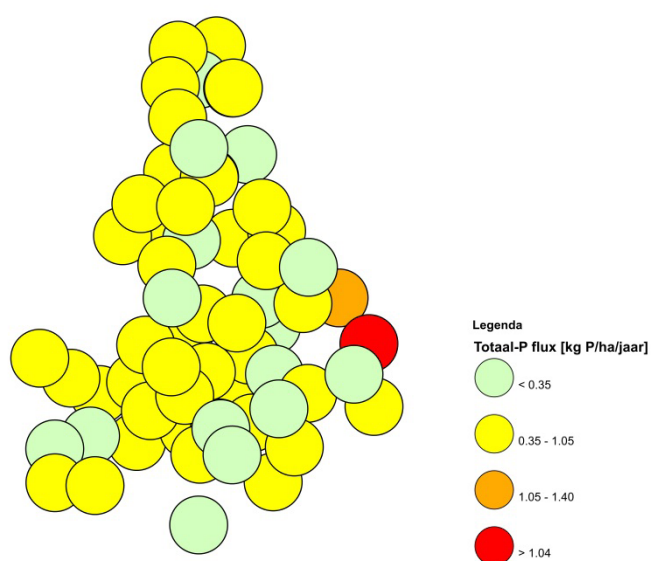
Figuur 4.15

Berekende waterfluxen [mm/jr.] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Drentse Aa (geanonimiseerd).



Figuur 4.16

Berekende totaal P-concentraties [mg/l] in het uitspoelende water voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Drentse Aa (geanonimiseerd).



Figuur 4.17

Berekende totaal P-fluxen [kg P/ha/jr.] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Drentse Aa (geanonimiseerd).

Berekende fosfaatvrachten op basis van strata

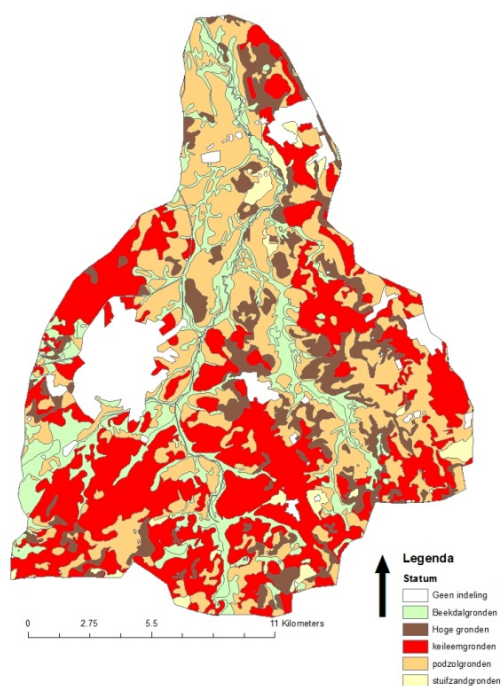
In figuur 4.18 is een indeling gemaakt van het stroomgebied van de Drentse Aa in kenmerkende bodem-geografische eenheden. Kenmerkend voor het stroomgebied van de Drentse Aa is het voorkomen van keileem in de ondergrond. Deze gronden zijn relatief hooggelegen, maar hebben door de stagnerende werking van het keileem vaak een nat karakter. Dit komt tot uiting in een lage GLG en een hoge GHG. Keileemgronden zijn

onderscheiden op het voorkomen van keileem binnen 120 cm –mv. zoals wordt weergegeven op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. In de beekdalen komen veel moerige en veengronden voor, deze gronden zijn in het concept apart onderscheiden van de minerale gronden die in de beekdalen voorkomen. De hoge zandgronden zijn gronden met een hoge ligging en bevatten vaak een (matig)dik antropogeen dek en vormen de oude bouwlanden in het gebied. Podzolgronden zijn de heide ontginningen die sinds de 19^e en 20^e eeuw in productie zijn gekomen. Verder komen in het gebied grote stuifzandcomplexen voor, die een heel eigen dynamiek kennen. De veenkoloniale ontginningen ten westen van Assen zijn niet apart onderscheiden. Het aantal bemonsteringslocaties loopt per bodemgeografische eenheid uiteen van nul in de stuifzandgronden tot 30 in de podzolgronden. Deze scheve verdeling in het aantal punten maakt het moeilijk om goede schatting te doen van de gemiddelde fluxen in de strata. Om toch tot een schatting te kunnen komen zijn de lage zandgronden samenvoegt met de venige gronden tot de groep beekdalgronden (n=12) en worden de stuifzandgronden buiten beschouwing gelaten. In tabel 4.9 staan de gemiddelde afvoerflux, P-concentratie en P-flux per bodemgeografische eenheid weergegeven. Uit deze tabel komen de keileemgronden met een gemiddelde afvoerflux van 390 mm/jr eruit als de natste gronden, maar ook de podzolgronden hebben een hoge gemiddelde afvoer (355 mm/jr.) naar het oppervlakte water. De P-concentraties in het afgevoerde water variëren weinig (resp. 0,15 en 0,17 mg P/l). De totale belasting van het oppervlakte water uit zich in de fosfaatvrucht die per jaar in het oppervlaktewater terecht komt en hierin dragen de podzolgronden het meeste bij (0,57 kg/ha/jr.). De ongunstige hydrologische kenmerken van keileemgronden en het grote areaal waarin deze gronden voorkomen, draagt bij dat deze gronden verantwoordelijk zijn voor de grootste totale belasting van fosfaat naar het oppervlakte water (zie ook figuren 4.18 t/m 4.21).

Tabel 4.9

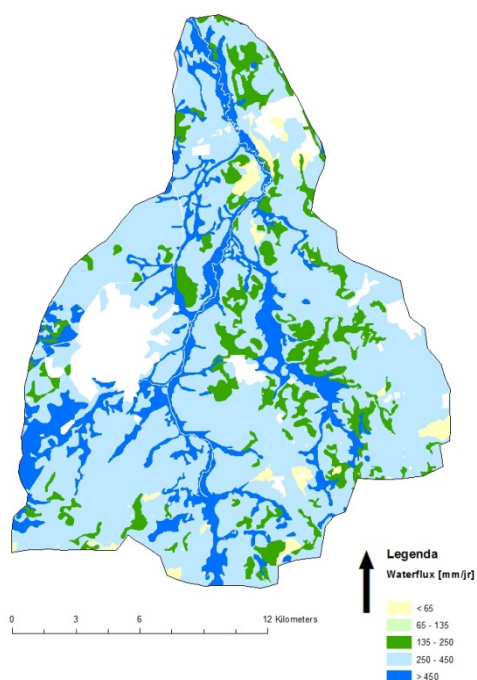
Berekende gemiddelde water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties per bodemgeografische eenheid in het stroomgebied van de Drentse Aa, afgeleid de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000. Het bebouwde gebied is buiten de berekening gelaten.

Eenheid	Opp.	Afvoerflux	P-conc.	P-flux	
	[ha]	gem. [mm/jr.]	gem. [mg/l]	gem. [kg/ha/jr.]	totaal [kg/jr.]
Hoge zandgronden (n=7)	3684	244	0,17	0,37	1376
Podzolgronden (n=28)	9629	355	0,16	0,53	5090
Beekdalgronden (n=13)	5079	304	0,15	0,44	2257
Keileemgronden (n=19)	10819	390	0,15	0,57	6219
Stuifzandgronden (n=0)	712	(0)	-	-	-
Bebouwd (n=1)	2752	-	-	-	-
Totaal	29211	345	0,16	0,51	14942



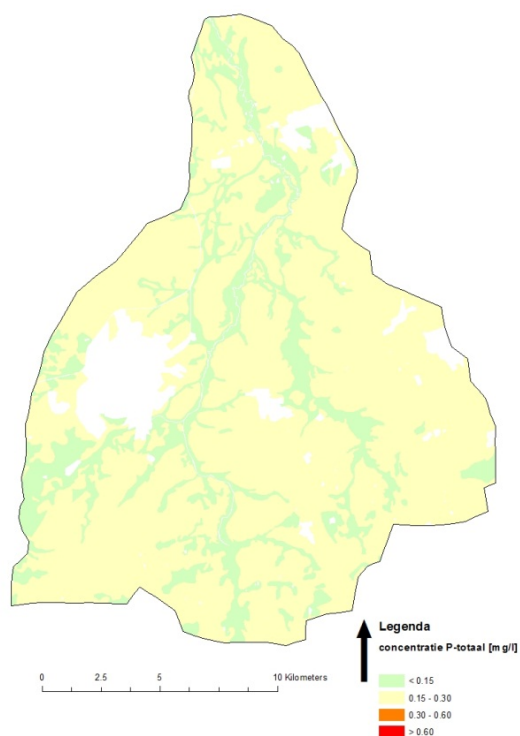
Figuur 4.18

Indeling van het stroomgebied van de Drentse Aa in bodemgeografische eenheden.



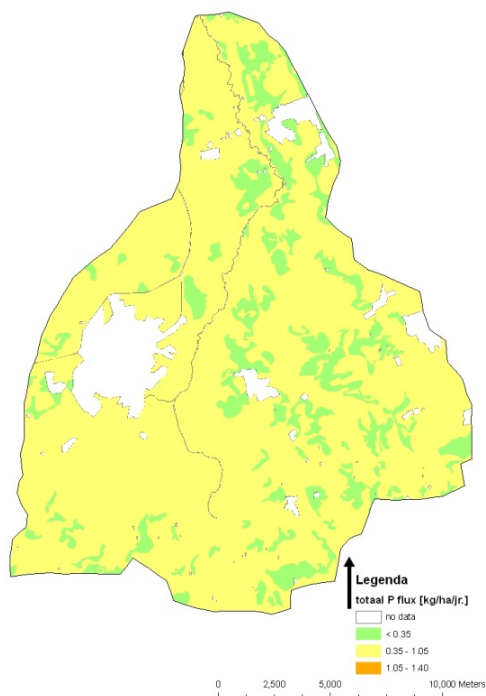
Figuur 4.19

Stratum gemiddelden van de afvoerflux [mm/jaar] in het stroomgebied van de Drentse Aa op basis van 69 locaties. De stuifzandgebieden staan hierop aangegeven met een waterflux van 0 mm/jr.



Figuur 4.20

Stratum gemiddelden van de totaal P-concentraties [mg/l] in het stroomgebied van de Drentse op basis van 69 locaties.



Figuur 4.21

Stratum gemiddelden van de totaal P flux [kg/ha/jaar] in het stroomgebied van de Drentse Aa op basis van 69 locaties.

Berekende fosfaatvrachten op basis van interpolatie

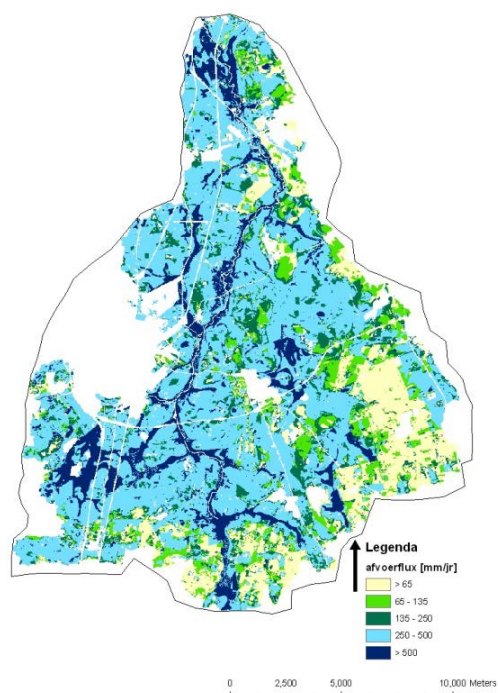
De door PLEASE berekende fosfaatvrachten op basis van geïnterpoleerde invoergegevens staan in tabel 4.10. Voor het stroomgebied Drentse Aa is gebruikgemaakt van 379.508 data punten (23.719 ha). De berekende gemiddelde waterflux bedragen 326 mm/jaar en de gemiddelde fosfaatconcentratie is 0,14 mg P/liter. De gemiddelde fosfaatbelasting van het oppervlakte water is 0,43 kg P/ha/jaar.

Tabel 4.10

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de laterale water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties op basis van geïnterpoleerde invoergegevens voor het stroomgebied Drentse Aa

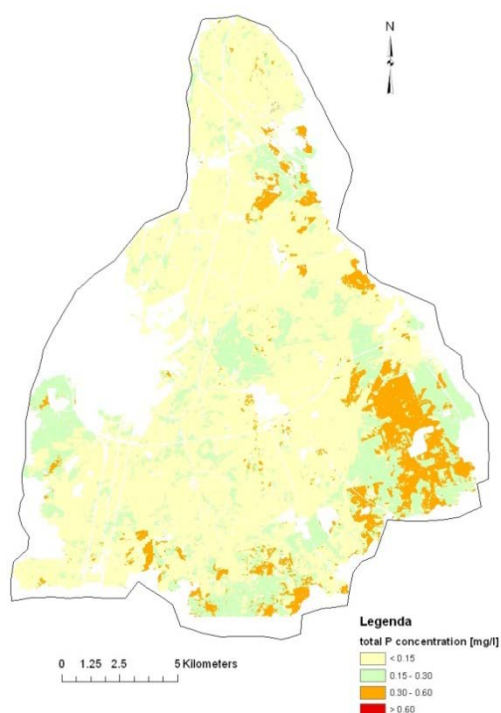
	Waterflux	P-Concentratie		P-afvoerflux	
	[mm/jr.]	[mg/l]		[kg P/ha/jr.]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	326	0,04	0,14	0,11	0,43
Mediaan	371	0,03	0,13	0,10	0,49
5%	0	0,02	0,12	0,004	0,005
95%	641	0,09	0,19	0,25	0,85

In de figuren 4.22 t/m 4.24 staan de ruimtelijke patronen van de afvoerflux, fosfaatconcentratie in het afgevoerde water en de fosfaatvracht weergegeven, zoals PLEASE deze berekent op basis van gebiedsdekkende invoerdata met een resolutie van 25*25 meter. Het meeste water wordt afgevoerd op de gronden in de beekdalen, terwijl de laagste afvoeren voorkomen in het bosgebied in het zuidoosten van het stroomgebied. Dit gebied is gelegen op de relatief hoog gelegen Hondsrug waar de grondwaterstanden zich diep onder het maaiveld bevinden. Opvallend is echter dat het patroon van beekdalen en het keileem plateau niet terug te vinden is op de kaart met de P-concentraties. In het zuidoostelijke deel komt een groot aaneengesloten gebied voor met relatief hoge P-concentraties, terwijl dit niet op de kaart van P-concentraties op basis van bodem-geografische eenheden voorkomt. De kaart met P-concentraties lijkt meer op een vlekkenkaart die vooral een relatie heeft met de berekende fosfaatconcentraties op de puntlocaties (vergelijk figuur 4.16). Echter wanneer deze kaart met een niet geclassificeerde legenda wordt weergegeven (stretched) komen de beekdalpatronen wel naar voren (niet weergegeven).



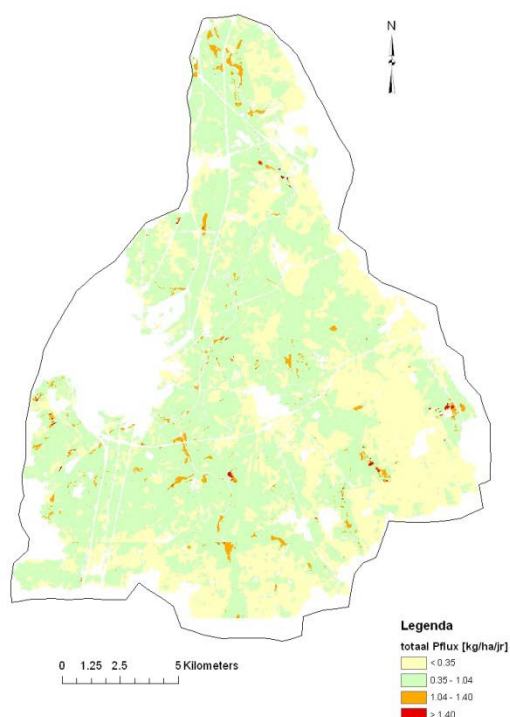
Figuur 4.22

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer-parameters, berekende waterafvoerflux [mm/jaar] naar het oppervlakte water in het stroomgebied Drentse Aa.



Figuur 4.23

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende P-concentratie [mg/l] in het afgevoerde water in het stroomgebied Drentse Aa.



Figuur 4.24

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende P-vracht [kg/ha/jaar] naar het oppervlakte water in het stroomgebied Drentse Aa.

Vergelijking van de resultaten

In tabel 4.11 is de door PLEASE berekende en gemeten gemiddelde waterafvoerflux weergegeven. De gemeten afvoer voor meetpunt Schipborg (2001 – 2009) bedraagt 375 mm/jaar. Afhankelijk van de methode onderschat PLEASE de waterafvoer met 9-13%. De verschillen in de door PLEASE berekende afvoer zijn niet significant ($P > 0,2$). De berekende waterafvoerflux is op basis van de gestratificeerde invoer het hoogst (345 mm) en ligt het dichtst bij de meetwaarde.

Tabel 4.11

Door PLEASE berekende en gemeten gemiddelde water afvoerflux [mm/jaar] vanuit het stroomgebied Drentse Aa. Deze getallen zijn exclusief de waterinlaat en het effluent van de RWZI.

	Waterflux [mm]
Punten	343
Gestratificeerd	345
Geïnterpoleerd	326
Gemeten (Schipborg)	375

In tabel 4.12 zijn de door PLEASE berekende gemiddelde de P-vrachten en P-concentraties weergegeven, evenals de gemeten P-afvoerflux. De P-afvoerflux wordt door het model op basis van de geïnterpoleerde data significant lager ($P < 0,01$) geschat dan op basis van de gegevens op de bemonsterde locaties. De P-afvoerflux

volgens PLEASE op basis van de punten en gestratificeerde data komt redelijk overeen met de gemeten P-afvoerflux voordat de correctie op retentie heeft plaatsgevonden. Wanneer rekening wordt gehouden met 50% retentie is de berekende P-afvoerflux te laag.

Tabel 4.12

Gemeten en door PLEASE berekende gemiddelde P-afvoerflux [kg/ha/jaar] P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l] in Drentse Aa, en de P-afvoerflux [kg/ha/jaar] en P-concentratie rekening houdend met 50 % retentie van P in de waterlopen.

	P-concentratie [mg/l]		P-afvoerflux [kg/ha/jaar]	
	Berekend	Minus retentie	Berekend	Minus retentie
Punten	0,16	0,08	0,50	0,25
Gestratificeerd	0,16	0,08	0,51	0,26
Geïnterpoleerd	0,14	0,07	0,43	0,21
Gemeten		0,13		0,47

* Berekend uit de balansposten sedimentatie organisch en mineraal materiaal.

In vergelijking met de stratum gemiddelde afvoerflux geeft PLEASE met geïnterpoleerde invoer parameters een variabelere beeld, waarin tot op perceelsniveau verschillen in de waterafvoer herkend kunnen worden. Dit komt doordat in de invoer een grotere variatie zit in landgebruik (LGN4) waardoor het netto neerslagoverschot sterker varieert. In de gestratificeerde aanpak wordt in feite het landgebruik per bodem-Gt. groep gemiddeld. De ruimtelijke spreiding die door PLEASE wordt berekend op basis van de geïnterpoleerde invoer heeft geen zichtbare relatie met de indeling op basis van de bodemgeografische eenheden.

In het stroomgebied van de Drentse Aa is het aandeel ortho-P ($0.10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) in de gemeten afvoer relatief laag (21%). PLEASE voorspelt eveneens dat het aandeel ortho-P in de afvoer laag is. Het berekende aandeel ortho-P varieert tussen de 12 en 31% van de totale P afvoer, afhankelijk van de gekozen opschalingsmethode.

4.3 Krimpenerwaard

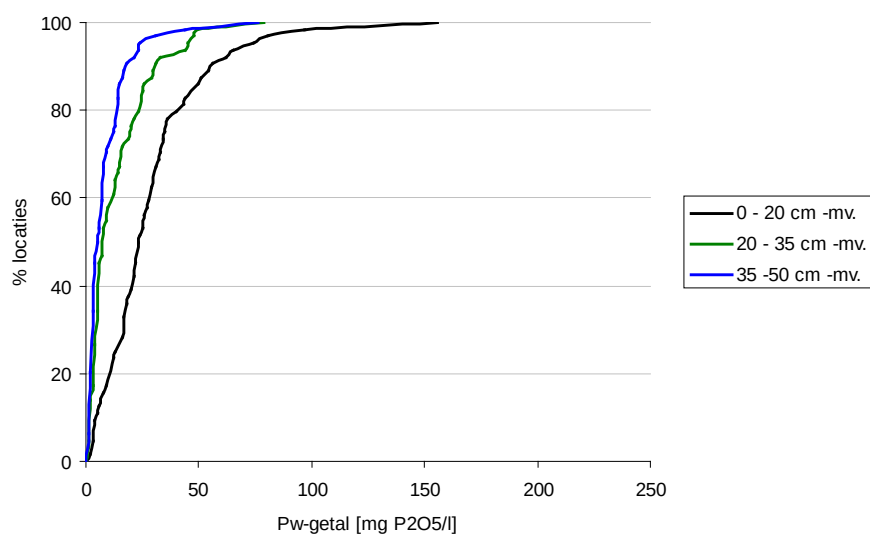
4.3.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied de Krimpenerwaard

Het gemiddeld Pw-getal in de Krimpenerwaard bedraagt in de bovenste laag (0 - 20 cm –mv.) $30 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$ en loopt terug naar $5 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$ in de laag onder de bouwvoor (35 - 50 cm –mv.), terwijl het Pw-getal onder het GLG-niveau niet verder meer daalt (tabel 4.13). De mediane waarde is voor alle lagen lager dan het rekenkundig gemiddelde, dit duidt er op dat in alle lagen uitschieters naar boven voorkomen. Het hoogste waargenomen getal van de bovengrond bedraagt $156 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$ en het laagste $2 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ (figuur 4.25). Het 5-percentiel ligt voor de bovengrond op $4 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$ en voor alle bodemlagen hieronder ligt het 5-percentiel beneden de detectiegrens ($3 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$). Het 95-percentiel in de bovenste laag (lagen 0 - 20 cm –mv.) $73 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$ loopt af naar 13 - $16 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$ in de lagen dieper van 50 cm –mv.

Tabel 4.13

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de geanalyseerde bodemonsters op Pw-getal [mg P₂O₅/l] op 70 locaties in de Krimpenerwaard.

	Diepte [cm -mv.]				
	0 - 20	20 - 35	35 - 50	50 - glg	glg-120
Gemiddeld	30	14	9	5	6
Mediaan	24	8	6	4	4
5%	4	2	1	1	2
95%	73	45	24	13	16

**Figuur 4.25**

Frequentieverdeling van de actuele fosfaattoestand (Pw-getal mg P₂O₅/l) in de Krimpenerwaard van de bodemlagen 0 - 20 cm -mv., 20 - 35 cm -m. en 35 - 50 cm -mv.

Op zes locaties is het Pw-getal van de bovenste laag minder hoog dan van de lagen daaronder. Het is onbekend waardoor deze oplopende fosfaattoestand wordt veroorzaakt, maar in een aantal gevallen zijn het gronden die omgezet zijn van agrarisch gebruik in natuur. Het gehalte aan aluminium en ijzer, bepaald met eenoxalaat extractie, is aan de randen van het stroomgebied, waar veel kleigronden en veengronden met een kleibovengrond voorkomen, gemiddeld lager dan in het centrum van het gebied (respectievelijk 323 en 419 mmol/kg), waar overwegend veengronden voorkomen. Het verschil is significant voor $P < 0,001$. In (veen)kern van het stroomgebied zijn de gehalten ijzer en vooral aluminium in de oxalaat extracten het hoogst (niet weergegeven).

4.3.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied de Krimpenerwaard

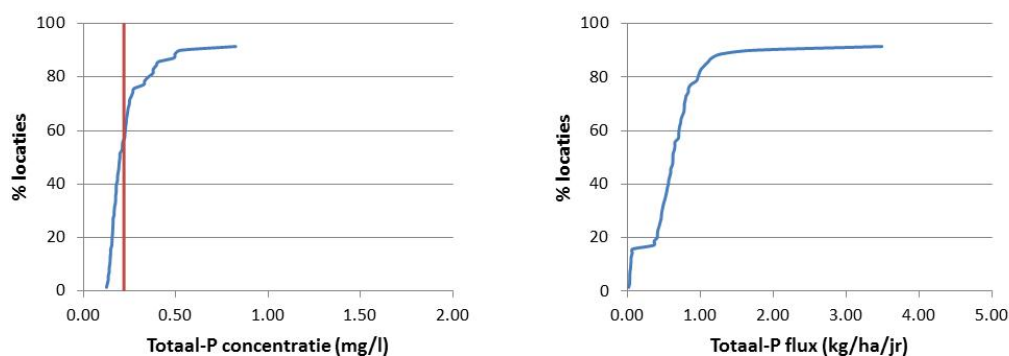
Berekende fosfaatvrachten op basis van meetpunten

Voor de input van PLEASE is gebruikgemaakt van 64 data punten, die verspreid in het gebied liggen. De laterale waterflux naar het oppervlakte water zoals door PLEASE wordt berekend bedraagt in de Krimpenerwaard gemiddeld 300 mm/jr. (tabel 4.14). Het 5- en 95- percentiel van de berekende laterale waterfluxen zijn respectievelijk 14 en 531 mm/jr. De P-concentratie in het naar het oppervlaktewater afstromende water bedraagt in de Krimpenerwaard op ruim 38% van de locaties meer dan 0,22 mg/l. De gemiddelde P-concentratie bedraagt 0,23 mg/l en de mediaan bedraagt 0,19 mg/l. Deze waarden liggen dicht bij het GEP voor de Krimpenerwaard (0.22 mg/l). De relatief hoge P-concentraties in het water veroorzaken een gemiddelde P-vracht van 0,63 kg/ha/jr. naar het oppervlakte water. De verdeling van de P-fluxen is, in vergelijking met het stroomgebied Quarles van Ufford, niet erg scheef; ca. 59% van de locaties heeft een P-flux die hoger is dan het gemiddelde (figuur 4.26).

Tabel 4.14

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties in het stroomgebied Krimpenerwaard.

	Waterflux	P-concentratie		P-afvoerflux	
	[mm/jr.]	[mg/l]		[kg P/ha/jr.]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	300	0,13	0,23	0,33	0,63
Mediaan	335	0,09	0,19	0,26	0,61
5%	14	0,04	0,14	0,02	0,04
95%	531	0,37	0,48	0,75	1,15

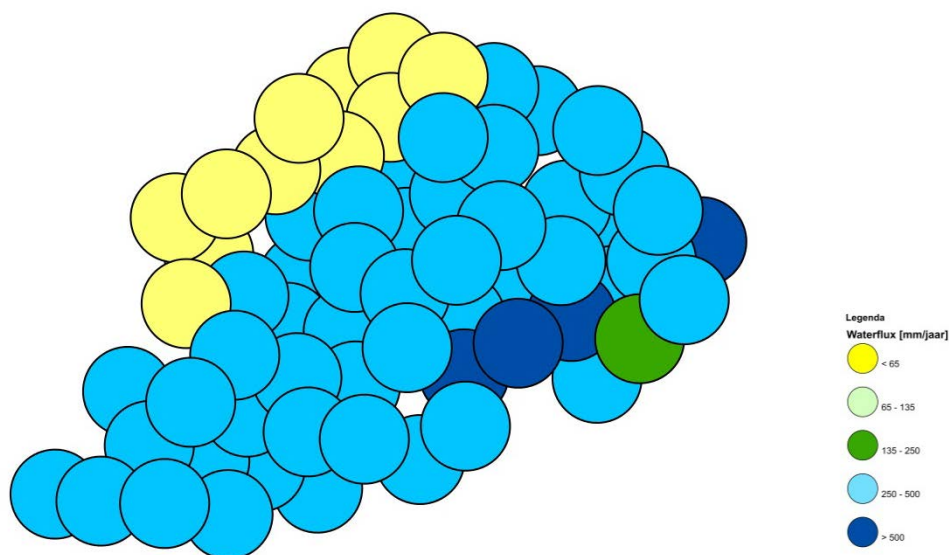


Figuur 4.26

Cumulatieve frequentie verdeling van de P-concentratie (totaal P) in mg/l. en de P-flux (totaal P) in kg P/ha/jr. Met de rode lijn wordt het GEP voor oppervlakte water (0,22 mg P/l) weergegeven voor de Krimpenerwaard.

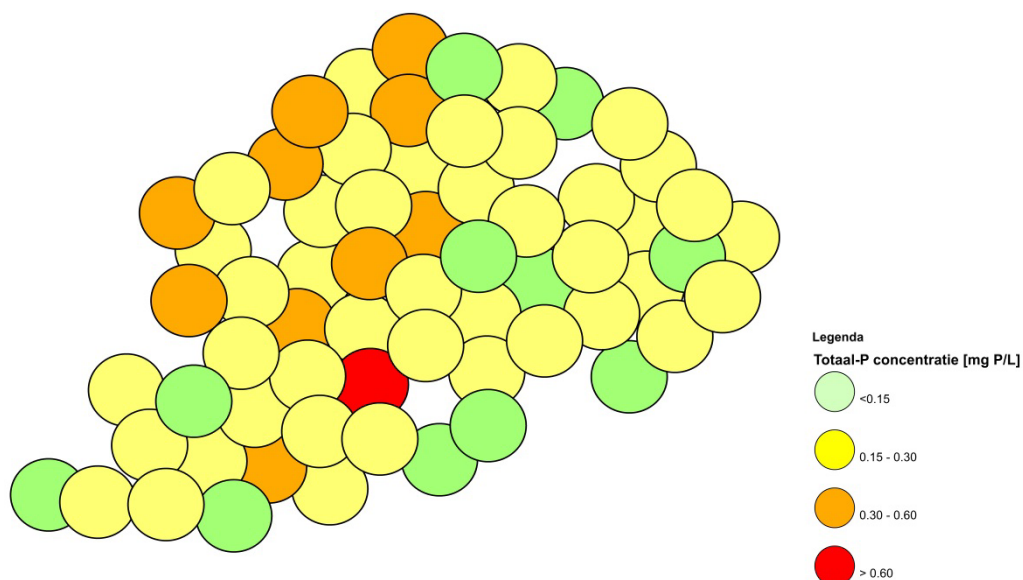
De hoeveelheid water dat jaarlijks in de Krimpenerwaard naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd is sterk afhankelijk van de opgelegde kwelflux aan de onderrand van het model. In figuur 4.27 is goed te zien dat de patronen in de waterflux overeenkomen met de gebruikte kwel/wegzijging van de laag-west Nederland studie (vergelijk figuur 2.2). De grootte van de P-flux wordt in grote mate bepaald door de waterflux, aangezien de

P-concentraties tamelijk homogeen over het gebied verdeeld zijn (figuur 4.28). De hoogste concentraties fosfaat in het afstromende grondwater komen in het centrum en noorden van het gebied voor, terwijl de laagste waarden langs de randen en met name langs de Lek, in het zuiden, voorkomen. De vrachten fosfaat die naar het oppervlakte water worden afgevoerd zijn langs de Hollandse IJssel duidelijk lager dan in de rest van het gebied (figuur 4.29), als gevolg van de lagere waterfluxen. Deze ruimtelijke verdeling heeft een geringe relatie met de waargenomen Pw- getallen op deze locaties, maar juist een sterke relatie met de waterflux aan de onderrand van het model.



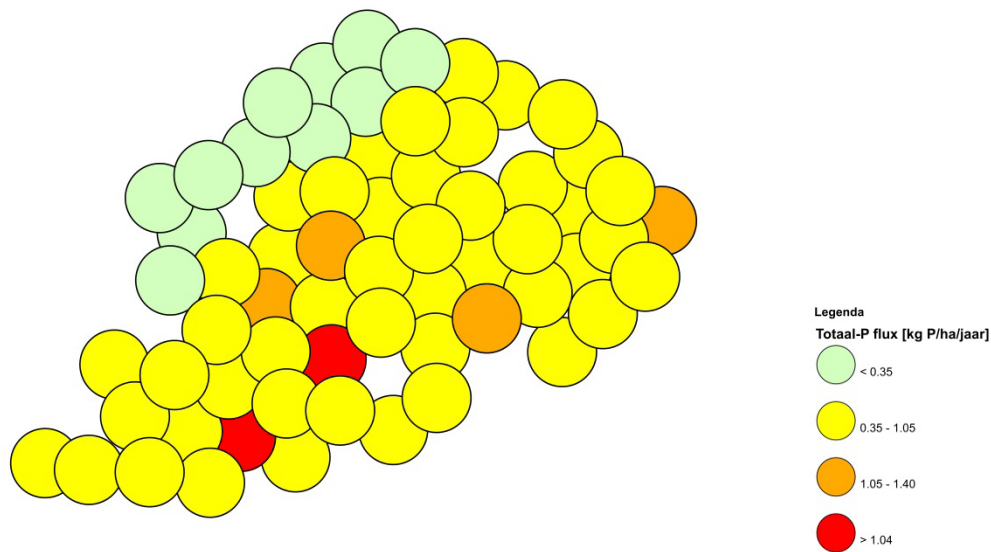
Figuur 4.27

Berekende waterfluxen [mm/jaar] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in de Krimpenerwaard (geanonimiseerd).



Figuur 4.28

Berekende totaal P-concentraties [mg/l] in het uitspoelende water voor de onderzochte locaties in de Krimpenerwaard (geanonimiseerd).

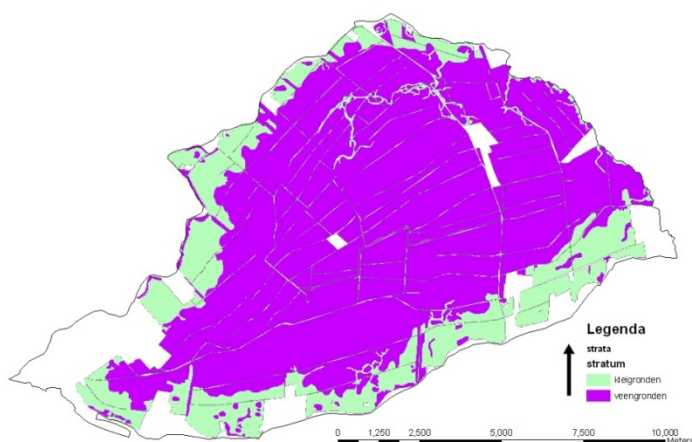


Figuur 4.29

Berekende totaal P-fluxen [kg/ha/jr.] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in de Krimpenerwaard.

Berekende fosfaatvrachten op basis van strata.

De bodemgesteldheid in de Krimpenerwaard is redelijk homogeen. Naast veengronden komen in het gebied kleigronden voor op de smalle oeverwallen langs de Lek en Hollandse IJssel en in kleine systemen in het veengebied. De veengronden zijn in het algemeen slecht ontwaterd, waarbij de GHG vaak aan het maaiveld ligt en de GLG tussen 60 en 70 cm –mv. De kleigronden zijn iets minder slecht ontwaterd, dat komt vooral tot uiting in een lagere GLG (tot 120 cm –mv.). In figuur 4.30 is de ligging van de kleigronden en veengronden op basis van de bodemkaart van de Krimpenerwaard, schaal 1:25.000 (Mulder et al., 1985) weergegeven. Bij de kleigronden kan veen in de ondergrond voorkomen en de veengronden kunnen een kleidek van maximaal 15 cm dikte bevatten.



Figuur 4.30

Indeling van het stroomgebied de Krimpenerwaard in bodemgeografische eenheden.

In tabel 4.15 staat de berekende gemiddelde afvoerfluxen, P-concentratie en P-flux van de klei- en veengronden, zoals deze door PLEASE wordt berekend. De gemiddelde P-concentratie van het afgevoerde water is in de veengronden hoger dan in de kleigronden, en ook de afvoerflux naar het oppervlakte water is vanuit de veengronden duidelijk groter dan vanuit de kleigronden. De totale vracht fosfor dat in het oppervlaktewater terecht komt is daardoor vanuit de veengronden groter dan vanuit de kleigronden. Omdat de ruimtelijke variatie van de waterflux, en P-concentraties in de Krimpenerwaard klein is worden de stratum gemiddelden niet in kaart weergegeven.

Tabel 4.15

Berekende gemiddelde GHG, GLG, water- en totaal fosfaatflux naar het oppervlakte water en de totaal fosfaatconcentraties per bodemgeografische eenheid in het stroomgebied de Krimpenerwaard, afgeleid de Bodemkaart van de Krimpenerwaard, schaal 1: 25.000.

Eenheid	Opp.	Afvoerflux	P-conc. (P-totaal)	P-flux (P-totaal)	
	[ha]	gem. [mm/jr.]	gem. [mg/l]	gem. [kg/ha/jr.]	totaal [kg/jr.]
Kleigronden (n=12)	2654	265	0,22	0,41	1088
Veengronden (n=52)	9273	309	0,23	0,69	6398
Bebouwd (n=0)	1048	-	-	-	-
Totaal	12975	300	0,23	0,63	7486

Berekende fosfaatvrachten op basis van interpolatie

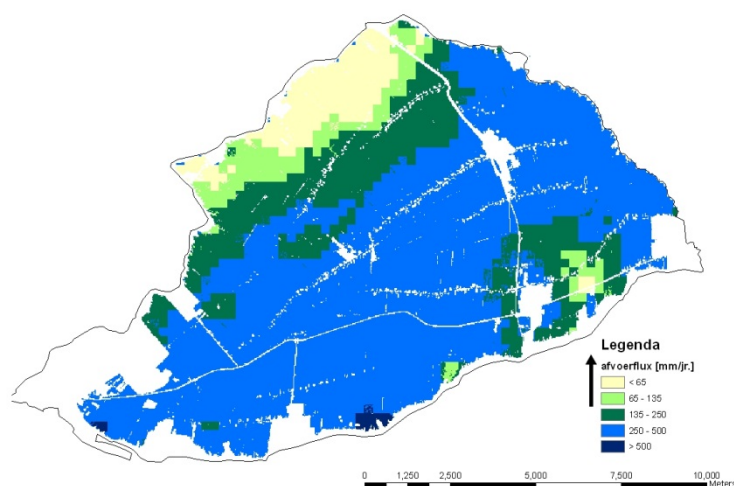
Als invoer van PLEASE zijn geïnterpoleerde invoergegevens gebruikt met een resolutie van 25 bij 25 meter. In totaal resulteert dit voor het stroomgebied Krimpenerwaard in 186.697 data punten (11.688 ha). De resultaten staan in figuur 4.32 en tabel 4.16 weergegeven. De gemiddelde afvoerflux bedraagt 280 mm/jaar en de concentratie fosfaat in het afgevoerde water wordt door PLEASE berekend op 0,63 mg P/l. Het rekenkundig gemiddelde en de mediane waarden liggen in alle gevallen dicht bij elkaar.

Tabel 4.16

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties in het stroomgebied Krimpenerwaard.

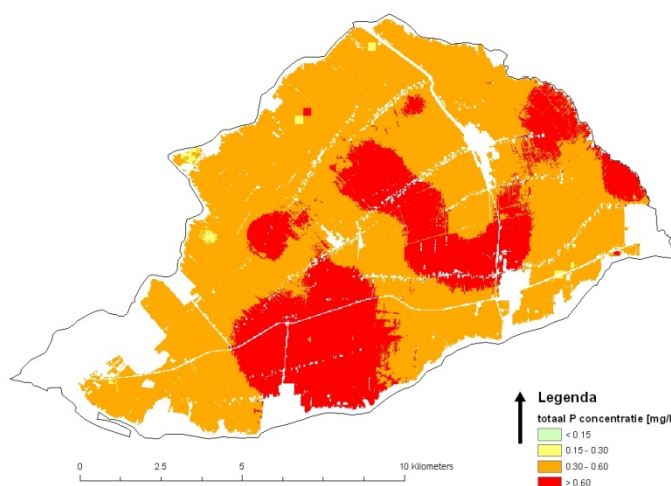
	Waterflux	P-concentratie		P-afvoerflux	
	[mm/jaar]	[mg/l]		[kg P/ha/jaar]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	280	0,50	0,63	1,28	1,59
Mediaan	305	0,43	0,54	1,26	1,59
5%	21	0,24	0,34	0,05	0,07
95%	452	0,65	0,77	2,68	3,19

De kaart met kwelfluxen laat een typisch patroon zien met een gradiënt van fluxen dat loopt van zuid naar noord. Deze gradiënt wordt veroorzaakt door wegzijging in het noorden van het stroomgebied en kwel langs de Lek in het zuiden van het stroomgebied. De kleinere kwelfluxen rondom Bergambacht worden veroorzaakt door een pompstation. Het ruimtelijk beeld van de afvoerflux (figuur 4.31) wordt kennelijk in grote mate bepaald door het in het model opgelegde kwelflux. Er is weinig ruimtelijke variatie in de berekende fosfaatconcentraties (figuur 4.32). De variaties die voorkomen worden grotendeels veroorzaakt door plaatselijke variaties in de actuele fosfaattoestand van de bodem. Deze variaties zijn perceelsafhankelijk en worden veroorzaakt door aard van het huidige en historische gebruik. Het patroon in de door PLEASE berekende fosfaatafvoerfluxen komt grotendeels overeen met de berekende waterafvoerfluxen.



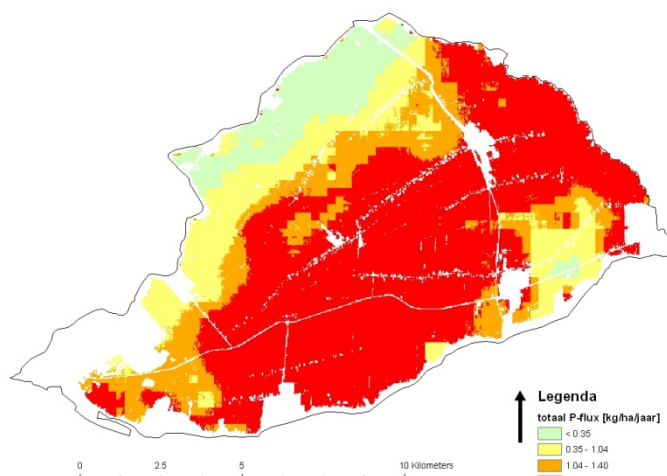
Figuur 4.31

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende water afvoerflux [mm/dag] in het stroomgebied de Krimpenerwaard.



Figuur 4.32

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l] in het stroomgebied de Krimpenerwaard.



Figuur 4.33

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende de P-vracht naar het oppervlakte water [kg/ha/jaar] in het stroomgebied de Krimpenerwaard.

Vergelijking van de resultaten

In tabel 4.17 is de door PLEASE berekende en gemeten gemiddelde waterafvoerflux weergegeven. De gemeten netto afvoer (afvoer min de inlaat en effluent van de RWZI) bedraagt voor de Krimpenerwaard in de periode 2004 - 2009 314 mm. De berekende waterafvoerflux is op basis van de 70 locaties (300 mm) precies even hoog als bij stratificatie van de gegevens. Op basis van geïnterpoleerde input berekent PLEASE een significante ($P < 0,005$) lagere water afvoerflux (280 mm) dan van op basis van de andere invoergegevens. PLEASE berekent in alle gevallen een lagere (4-11%) waterafvoerflux dan uit de metingen (314 mm) blijkt. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de onzekerheid in de grootte en omvang van de kwelfluxen in het stroomgebied die kennelijk onderschat worden.

Tabel 4.17

Door PLEASE berekende en gemeten gemiddelde waterafvoerflux [mm/jaar] vanuit het stroomgebied de Krimpenerwaard. Deze getallen zijn exclusief de waterinlaat en het effluent van de RWZI.

	Waterflux [mm]
Punten	300
Gestratificeerd	300
Geïnterpoleerd	280
Gemeten* (2004 - 2009)	314

* Gemeten afvoer berekend met Uitlaat - Inlaat - effluent RWZI.

In tabel 4.18 zijn de door PLEASE berekende en de gemeten gemiddelde P-concentraties en P-vrachten weergegeven. De berekende totaal P-concentratie is op basis van de geïnterpoleerde input gegevens (0,63 mg P/l) hoger dan op basis van de meetpunten of de gestratificeerde methode (beide 0,23 mg P/l). De fosfaatvracht is bij de meetpunten (0,63 kg P/ha/jaar) duidelijk lager dan bij de geïnterpoleerde methode

(1,59 kg P/ha/jaar). De gestratificeerde methode wijkt weinig af van de methode op basis van de punten. De bij het uitstroompunt gemeten gemiddelde fosfaatvracht bedraagt 2,54 kg P/ha/jaar. Dat is aanzienlijk hoger dan de door PLEASE berekende fosfaatvrachten. Wanneer bovendien rekening wordt gehouden met 50% retentie van fosfaat in de waterlopen onderschat PLEASE de fosfaatvrachten met een factor 3-8. Het onderschatten van de totale P-vrachten in Krimpenerwaard wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het onderschatten van de P-concentraties in het kwelwater en het gebruik van Langmuir sorptieparameters die gebaseerd zijn op zand.

Tabel 4.18

Door PLEASE berekende, en gemeten gemiddelde totaal P-afvoerflux [kg/ha/jaar] en totaal P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l] in de Krimpenerwaard, en de P-afvoerflux [kg/ha/jaar] en P-concentratie rekening houdend met 50% retentie van P in de waterlopen.

	P-concentratie [mg/l]		P –afvoerflux [kg/ha/jaar]	
	Berekend	Na retentie	Berekend	Na retentie
Punten	0,23	0,12	0,63	0,32
Gestratificeerd	0,23	0,12	0,63	0,31
Geïnterpoleerd	0,63	0,32	1,59	0,80
Gemeten*		0,81		2,54

* De gemeten P-afvoerflux is berekend op basis van de gemeten P-afvoer bij het uitvoerpunt, vermindert met 50% van de aanvoer door inlaat en RWZI.

4.4 Schuitenbeek

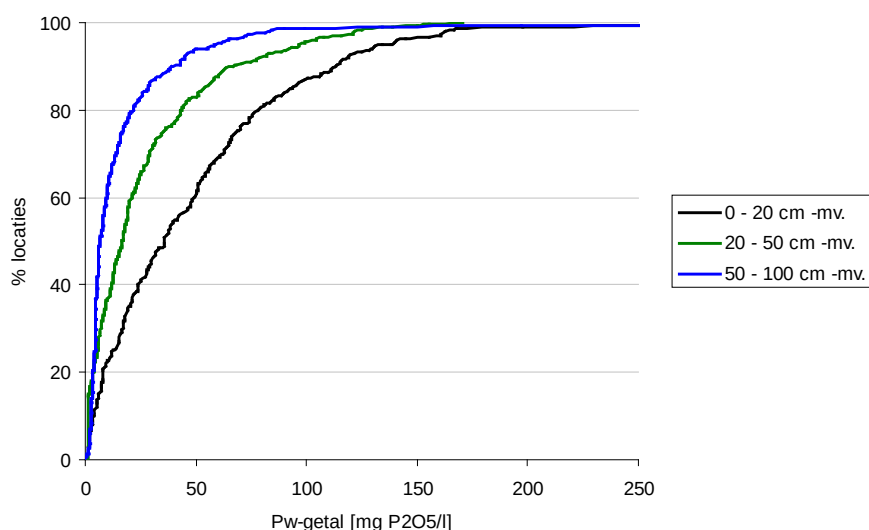
4.4.1 Actuele fosfaattoestand (Pw-getal) in het stroomgebied van de Schuitenbeek

In het Schuitenbeekgebied is op 247 punten het Pw-getal en het oxalaat extraheerbaar Al+Fe gehalte gemeten en van 62 locaties is het Pw-getal berekend aan de hand van het gehalte oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en P-oxalaat. Het gemiddelde Pw-getal in Schuitenbeek bedraagt in de bovenste laag (0 - 20 cm –mv.) 49 mg P_2O_5/l en loopt terug naar 27 mg P_2O_5/l in de laag 20 - 50 cm –mv. (tabel 4.19). Er is een groot verschil tussen de gemiddelde en de mediane waarden voor het Pw-getal, waarbij de mediaan duidelijk onder het rekenkundig gemiddelde ligt. Het 5-percentiel ligt voor alle lagen beneden de detectiegrens van 3 mg P_2O_5/l . In het Schuitenbeekgebied komen gronden voor met extreem hoge Pw-getallen, gezien het 95% dat in de lagen 0-20 ruim boven de 100 mg P_2O_5/l ligt en van de laag 20 - 50 cm –mv. op 96 (figuur 4.34). Het hoogste Pw-getal op een locatie bedraagt in de laag 0-20 cm –mv 507 mg P_2O_5/l en 108 P_2O_5/l in de laag 20 - 50 cm –mv. In bijlage 4 is een kaart opgenomen waarop het Pw-getal voor de lagen 0 – 20 cm –mv. en 20 - 50 cm –mv in de vier stroomgebieden is weergegeven.

Tabel 4.19

Berekende gemiddelde, mediaan, 5- en 95% van de geanalyseerde bodemonsters op Pw-getal [mg P₂O₅/l] op 309 locaties in het stroomgebied Schuitenbeek.

	Diepte [cm -mv.]	
	0 – 20	20 - 50
Gemiddeld	68	27
Mediaan	36	17
5%	2	2
95%	136	96

**Figuur 4.34**

Frequentieverdeling van de gemeten actuele fosfaattoestand (Pw-getal mg P₂O₅/l) in Schuitenbeek van de bodemlagen 0 - 20 cm -mv., 20 - 50 cm -m. en de geschatte fosfaattoestand voor de laag 50 - 100 cm -mv.

4.4.2 Berekende fosfaatvrachten in het stroomgebied de Schuitenbeek

Berekende fosfaatvrachten op basis van meetpunten

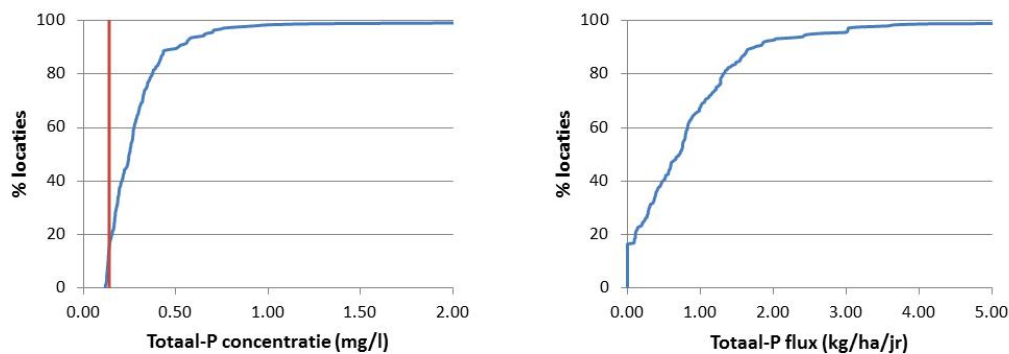
De laterale waterflux naar het oppervlakte water zoals door PLEASE wordt berekend op de puntlocaties in de Schuitenbeek is gemiddeld 251 mm/jr. (tabel 4.20). Het 5- en 95- percentiel van de berekende laterale waterfluxen zijn respectievelijk 0 en 431 mm/jr. De berekende gemiddelde fosfaatconcentratie (totaal-P) in grondwater dat uitspoelt naar het oppervlakte water bedraagt 0,47 mg P/l (tabel 4.20). Op circa 85% van de locaties ligt de P-concentratie in het afspoelende grondwater boven het GEP van P in oppervlakte water in dit gebied van 0,14 mg P/l (figuur 4.35). De hoogste concentraties doen zich voor in de beekdalen, terwijl de laagste concentraties voorkomen op de hoge gronden (figuur 4.37). Op zestien locaties berekent PLEASE een zeer hoge totaal P-concentratie van meer dan 0,60 mg P/l en op vijf locaties (2%) hoger dan 1 mg P/l. De fosfaatsuitleiding bedraagt gemiddeld 1,13 kg P/ha/jr. (tabel 4.20). Op ongeveer 25% van de locaties bedraagt de fosfaatsuitleiding meer dan het gemiddelde, met een maximum van 60 kg P/ha/jr. De locaties met een hoge berekende P-uitleiding naar het oppervlaktewater hebben een hoog fosfaatgehalte in het

bodemprofiel en is het fosfaat tot grotere diepte (>50 cm –mv.) in de bodem aanwezig. Hierdoor kunnen ook op drogere gronden, ondanks de kleine waterfluxen, hoge fosfaatfluxen plaatsvinden.

Tabel 4.20

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties in het stroomgebied Schuitenbeek.

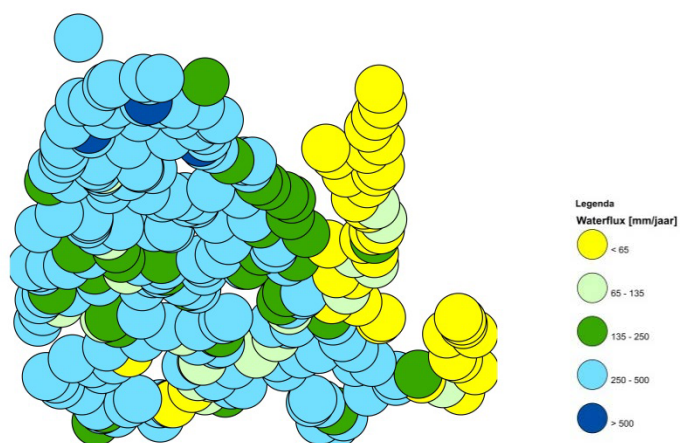
	Waterflux	P-Concentratie		P-afvoerflux	
	[mm/jaar]	[mg/l]		[kg P/ha/jaar]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	251	0,35	0,47	0,83	1,13
Mediaan	309	0,15	0,25	0,40	0,74
5%	0	0,02	0,13	0,00	0,00
95%	431	0,53	0,66	2,06	2,58



Figuur 4.35

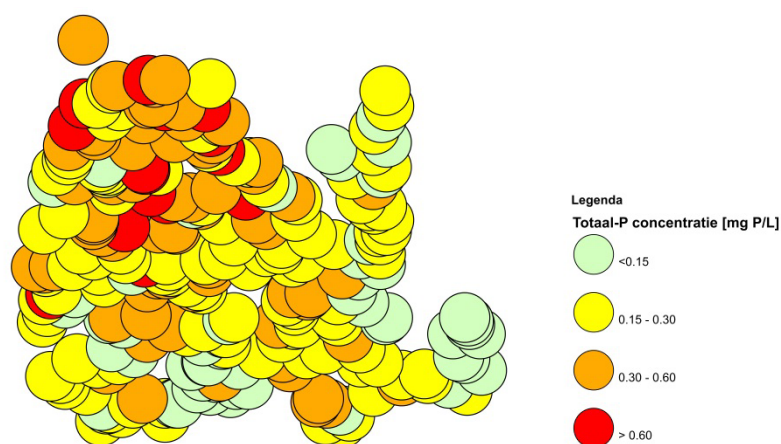
Cumulatieve frequentie verdeling van de P-concentratie (totaal P) in mg/l. en de P-flux (totaal P) in kg P/ha/jaar. Met de rode lijn wordt het GEP voor oppervlakte water (0,14 mg P/l) weergegeven voor het stroomgebied van de Schuitenbeek.

De grootste afvoer vindt plaats in de beekdalen, maar deze kleinschalige variatie is moeilijk te onderscheiden in onderstaande figuur. Hoge fosfaatconcentraties doen zich voornamelijk in het centrum van het stroomgebied voor (figuur 4.37) op locaties met een hoge actuele fosfaattoestand. De fosfaatvruchten (figuur 4.38) zijn hoog in het noordwestelijke gedeelte van het gebied, daar waar de waterfluxen het hoogst zijn en bovendien de actuele fosfaattoestand aanzienlijk is.



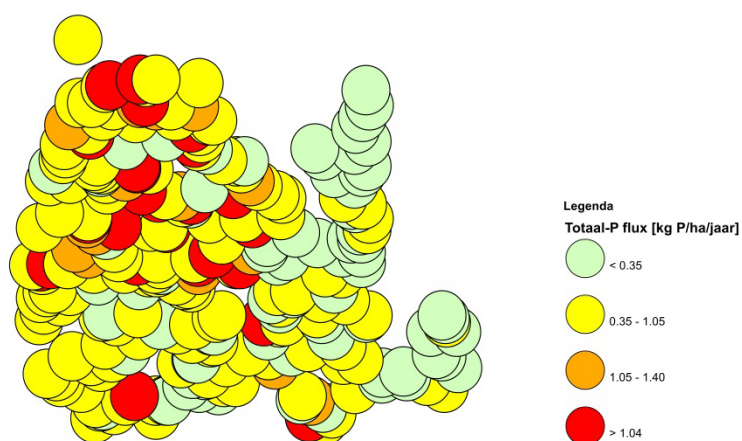
Figuur 4.36

Berekende waterfluxen [mm/jaar] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Schuitembeek (geanonimiseerd).



Figuur 4.37

Berekende totaal P-concentraties [mg/l] in het uitspoelende water voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Schuitembeek (geanonimiseerd).



Figuur 4.38

Berekende totaal P-fluxen [kg P/ha/jaar] naar het oppervlaktewater voor de onderzochte locaties in het stroomgebied Drentse Aa (geanonimiseerd).

Berekende fosfaatvrachten op basis van strata

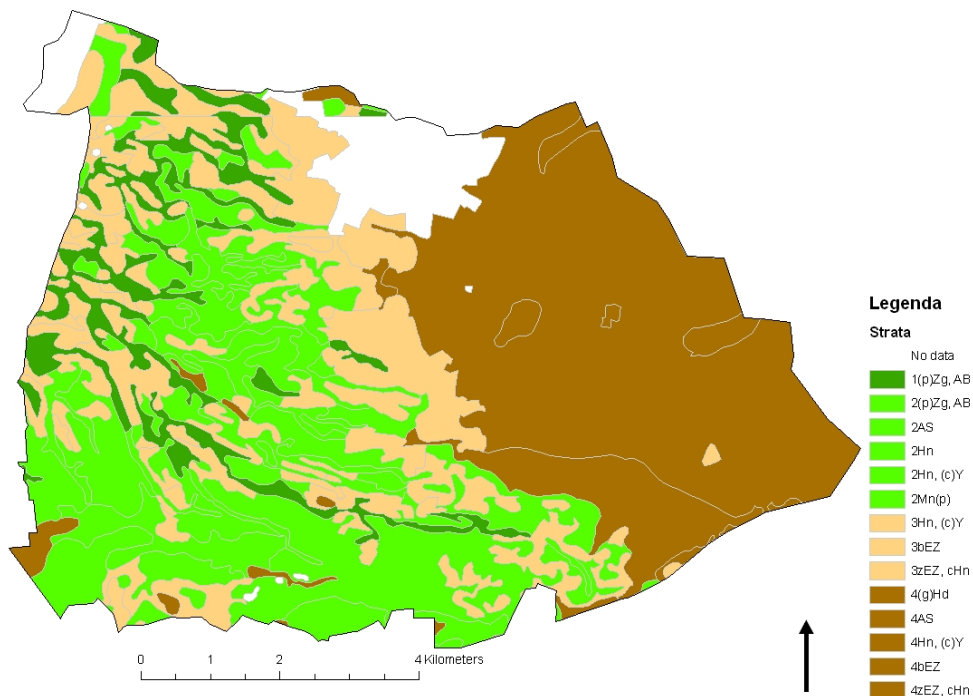
Als strata voor de in de jaren tachtig uitgevoerde steekproef (Breeuwsma et al., 1989) dienden clusters van bodem en Gt die op basis van de bodemkaart 1:50.000 zijn onderscheiden (tabel 4.21 en figuur 4.39).

Tabel 4.21

*Onderscheidde Bodem*Gt clusters in het stroomgebied van de Schuitenbeek.*

Gt groep	Bodem	Bodem / Gt. groep
Nat	Beekeerdgronden, beekvaaggronden en venige beekdalgronden	1(p)Zg, AB
Matig nat	Beekeerdgronden, beekvaaggronden en venige beekdalgronden	2(p)Zg, AB
	Stuifzand	2AS
	Veldpodzol	2Hn
Nat/Droog	Bruine bekeerd	3EZ
	Veldpodzol en looppodzol	3Hn, (c)Y
	Zwarte bekeerd en Laarpodzol	3zEZ, cHn
Droog	Haarpodzol	4(g)Hd
	Stuifzand	4AS
	Veldpodzol en looppodzol	4Hn,(c)Y

¹ Gt-groep nat: II, III, IIIb, V, Vb, III/V; matig nat: VI, III/IV, III/VI, V/VI; nat/droog: Associaties van V met VI, VII en/of VIII en droog: VI/VII, VII, VIII, VI/VIII.



Figuur 4.39

Indeling van het stroomgebied van Schuitenbeek in bodemgeografische eenheden.

In tabel 4.22 staan de gemiddelde afvoerflux, P-concentratie en P-flux per bodemgeografische eenheid weergegeven. Er is een grote variatie in de totaal P-concentraties in het afgevoerde water. In het algemeen is de concentratie fosfaat in het afgevoerde water van droge gronden lager dan van natte gronden. Uitzondering geldt voor de matig droge oude bouwlanden die de hoogste fosfaatconcentratie (1,15 mg P/l) produceren. Dit wordt veroorzaakt door bodemprofielen met een zeer hoog P-gehalte op deze gronden die intensief door de landbouw worden gebruikt. De fosfaatbelasting van de hoge gronden is kleiner dan van de natte(re) gronden. De hoge gronden hebben veel minder afvoer van water, waardoor de fosfaatvrucht van deze gronden klein zijn. De totale, naar oppervlakte gewogen, berekende afvoerflux (206 mm/jaar) wijkt af van de berekende afvoerflux door Schoumans et al. (2008). Dit verschil wordt veroorzaakt doordat nu voor het bepalen van het netto neerslagoverschot gebruik is gemaakt van lokale neerslaggegevens (825 mm tegenover 750 mm).

Tabel 4.22

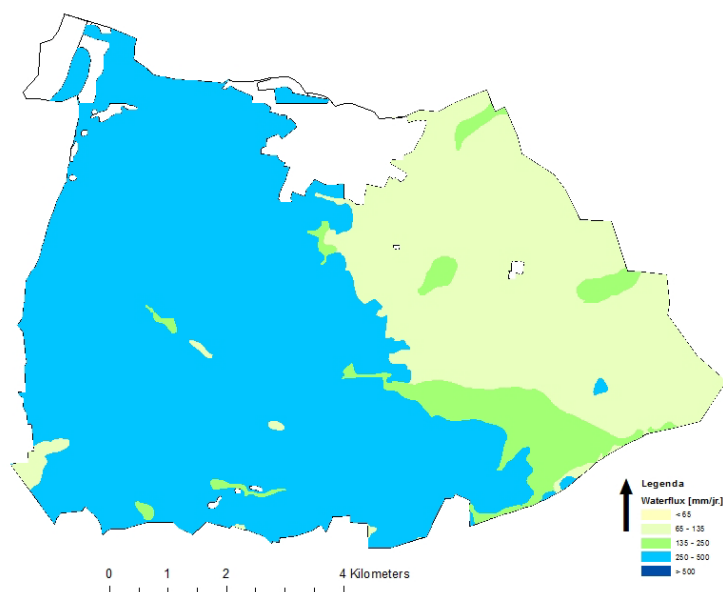
Berekende gemiddelde GHG, GLG, water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties per bodemgeografische eenheid in Schuivenbeek, afgeleid de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 (De Vries, 2001).

Eenheid	Opp.	Afvoerflux	P-conc.	P –flux	
	[ha]	Gem. [mm/jr.]	Gem. [mg/l]	Gem. [kg/ha/jr.]	Totaal [kg/jr.]
1(p)Zg, AB	533	387	0,34	1,32	704
2(p)Zg, AB	354	393	0,66	2,68	467
2AS	229	321	0,24	0,77	302
2Hn	1653	290	0,26	0,84	2182
3bEZ	133	308	0,33	1,03	176
3Hn, (c)Y	602	299	0,28	0,94	795
3zEZ, cHn	897	245	1,15	1,97	1184
4(g)Hd	422	24	0,15	0,04	557
4AS	28	134	0,17	0,27	37
4Hn,(c)Y	2067	35	0,22	0,08	2728
Totaal	6918	206	0,39	0,85	5878

In figuur 4.40 is de ruimtelijke verdeling van de waterfluxen weergegeven. In deze figuur is er een duidelijk onderscheid in het droge oostelijk gedeelte (2.488 ha) van het gebied en het nattere westen. In het westelijke gedeelte van het gebied is er echter weinig variatie in de afvoerfluxen. Er kan aangenomen worden dat de droge gebieden geen bijdrage leveren aan de waterfluxen en fosfaatvruchten.

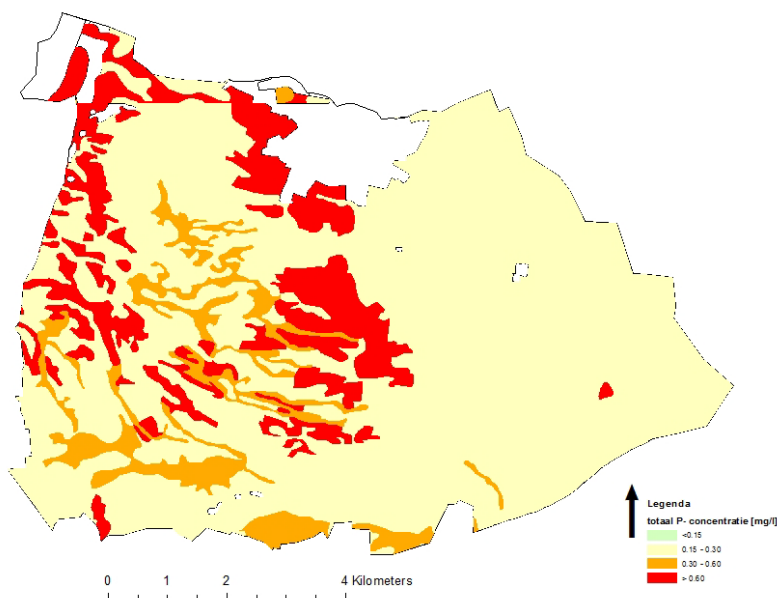
Op de kaart met de berekende P-afvoerconcentraties (figuur 4.41) is de ligging van de beekdalen en de hogere gronden duidelijker zichtbaar. Uit tabel 4.22 blijkt echter dat ook op de drogere oude bouwlandgronden (3zEZ, cHn) hoge P-concentraties in het uitspoelende water voorkomen. Wat hier waarschijnlijk speelt is dat deze dieper ontwaterde gronden een veel dieper P-profiel hebben, zodat ook dit fosfaat in aanraking kan komen met het grondwater. Ter illustratie is in figuur 4.43 het gemiddelde fosfaatprofiel weergegeven van het stratum 1pZg, AB (een nat beekdal) en 3zEZ, cHn (matig droog oud bouwland). Duidelijk is te zien dat op het oude bouwland de actuele fosfaattoestand in alle lagen hoger is dan van het beekdal. Ondanks de lagere grondwaterstanden op het oude bouwland vindt hier 1,97 kg P/ha afspoeling naar het oppervlakte water plaats en 1,32 kg P/ha in het beekdal (en 2,68 kg/ha in een droger deel van het beekdal, 2pZg, AB). Een tweede reden is dat door de hoge jaarlijks gemiddelde neerslag (825 mm) ook op de droge gronden een neerslagoverschot optreedt dat groter is dan de neergaande kwel flux (inzijsing).

Op de kaart met verspreiding van de P-vrachten (figuur 4.42) is te zien dat de vrachten in het oosten laag zijn, maar in de beekdalen en op de oude bouwlandgronden hoog zijn. De strata met droge gronden liggen in het Schuitenbeek gebied veelal in bosgebieden. Hierdoor is de actuele fosfaattoestand in deze gronden lager dan op de matig droge gronden (niet weergegeven). In combinatie met de lage waterafvoerfluxen is de fosfaatbelasting van deze gronden op het oppervlaktewater het geringst van alle strata (tabel 4.22).



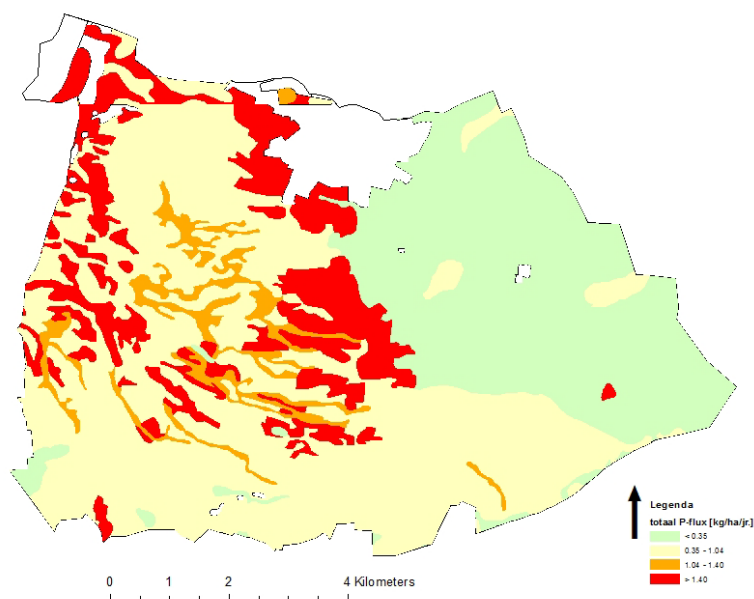
Figuur 4.40

Stratum gemiddelden van de afvoerflux [mm/jaar] in Schuitenbeek.



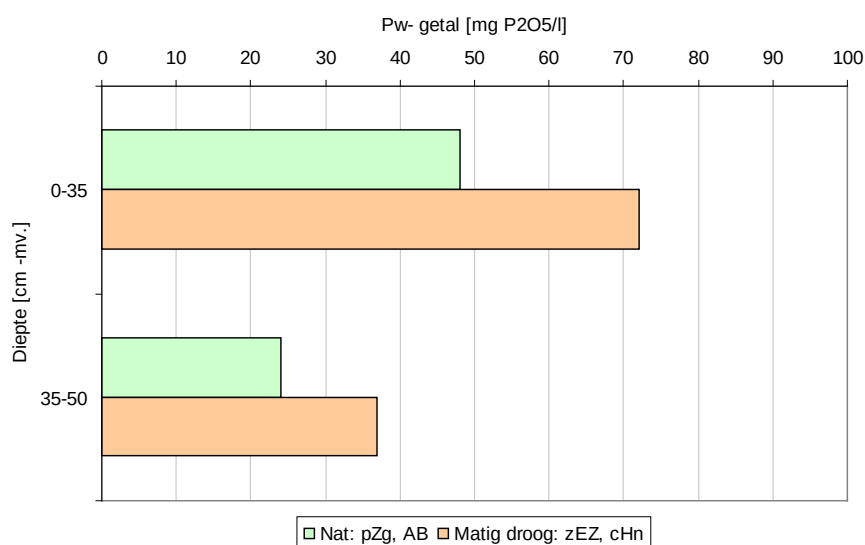
Figuur 4.41

Stratum gemiddelden van de totaal P-concentratie in Schuitenbeek.



Figuur 4.42

Stratum gemiddelde totaal P flux [kg/ha/jaar] in Schuitembeek.



Figuur 4.43

Verloop van het Pw-getal op een locatie met GHG en GLG > 250 cm -mv.

Berekende fosfaatvrachten op basis van interpolatie

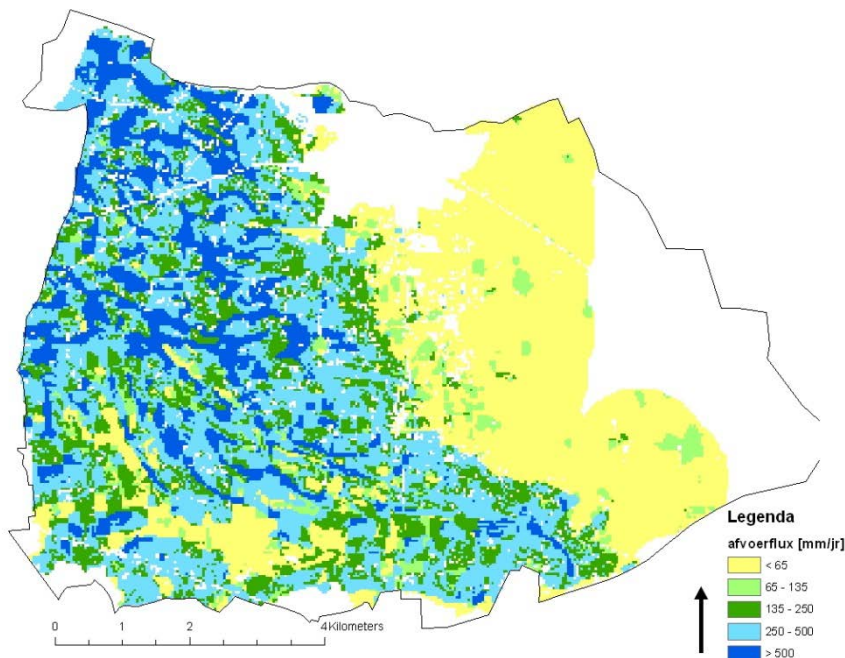
PLEASE berekent voor Schuitembeek op basis van de geïnterpoleerde input parameters een gemiddelde water afvoerflux van 221 mm/jaar en een totaal fosfaatflux van 0,41 kg P ha⁻¹ jr⁻¹ (tabel 4.23). Het aantal invoerpunten (grid cellen) bedraagt 93.955 en dat komt overeen met 5.872 ha. Hiervan heeft 1.540 ha (26%) geen afvoer, zodat uiteindelijk 4.332 ha bijdraagt aan de totale fosfaatvracht van Schuitembeek. Als de gebieden zonder waterafvoerflux buiten de analyse worden gehouden, bedraagt de gemiddelde afvoer 191 mm/jaar en de totaal fosfaatvracht 0,62 kg/ha/jaar.

Tabel 4.23

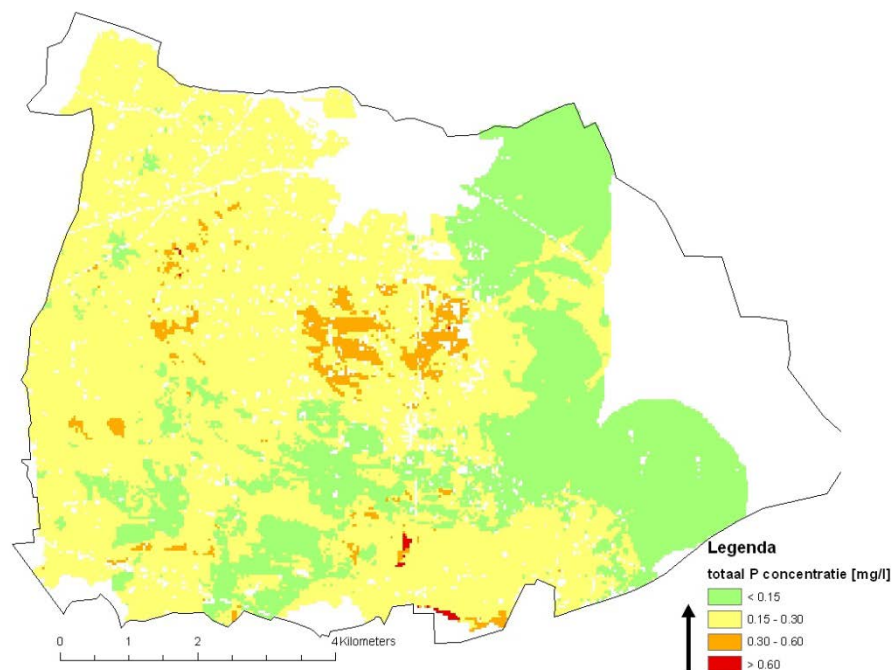
Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de water- en fosfaatflux naar het oppervlakte water en de fosfaatconcentraties in het stroomgebied Schuitenbeek.

	Waterflux	Concentratie		Fosfaatafvoerflux	
	[mm/jaar]	[mg/l]		[kg P/ha/jaar]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	221	0,07	0,17	0,19	0,41
Mediaan	247	0,06	0,16	0,15	0,43
5%	0	0,03	0,13	0,00	0,00
95%	430	0,15	0,26	0,52	0,93

De ruimtelijke variatie van de modeluitkomsten zijn groter dan op basis van invoer op 264 locaties. De beekdalen komen er sterk uit met een hoge afvoerflux (figuur 4.44), terwijl in het oostelijke gedeelte van het gebied de afvoer gering is. Het ruimtelijk patroon van de fosfaatconcentraties in het afgevoerde water zijn echter minder duidelijk (figuur 4.45). De patronen worden hier voornamelijk veroorzaakt door de patronen in de geïnterpoleerde kaarten van het Pw-getal (bijlage 4). Deze patronen tonen een ruimtelijk beeld dat niet gerelateerd is aan bodemgeografische kenmerken, maar dat sterk beïnvloed wordt door lokaal aanwezige hoge fosfaattoestand van de bodem. Op de kaarten met de P-vracht (figuur 4.46) naar het oppervlakte water komen de bodemgeografische eenheden weer meer in beeld, omdat deze sterk aanwezig zijn in de waterafvoerfluxen.

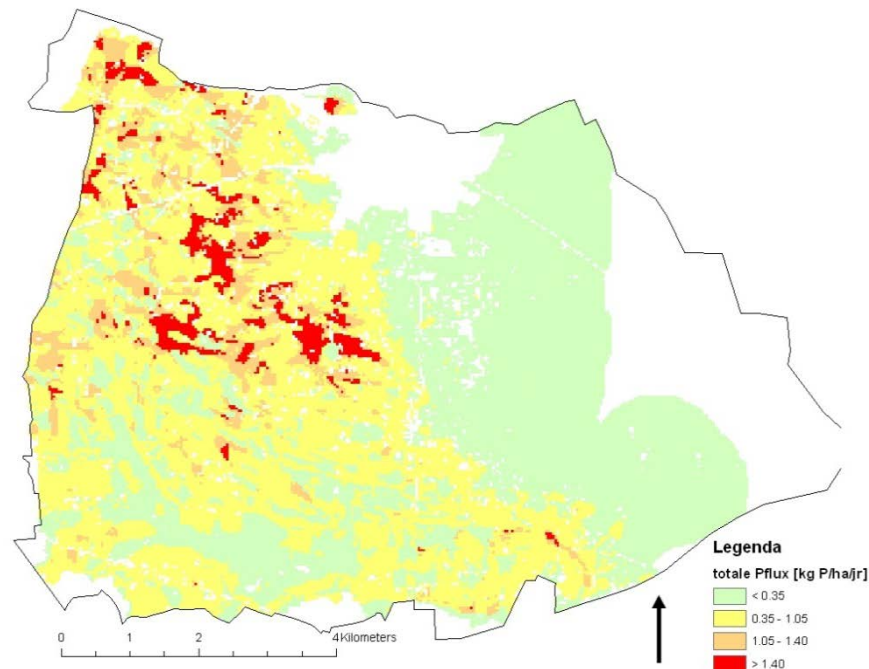
**Figuur 4.44**

Door PLEUSE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende water afvoerflux [mm/dag] in Schuitenbeek.



Figuur 4.45

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l] in Schuitembeek.



Figuur 4.46

Door PLEASE, op basis van geïnterpoleerde invoer parameters, berekende de P-vracht naar het oppervlakte water [kg/ha/jaar] in Schuitembeek.

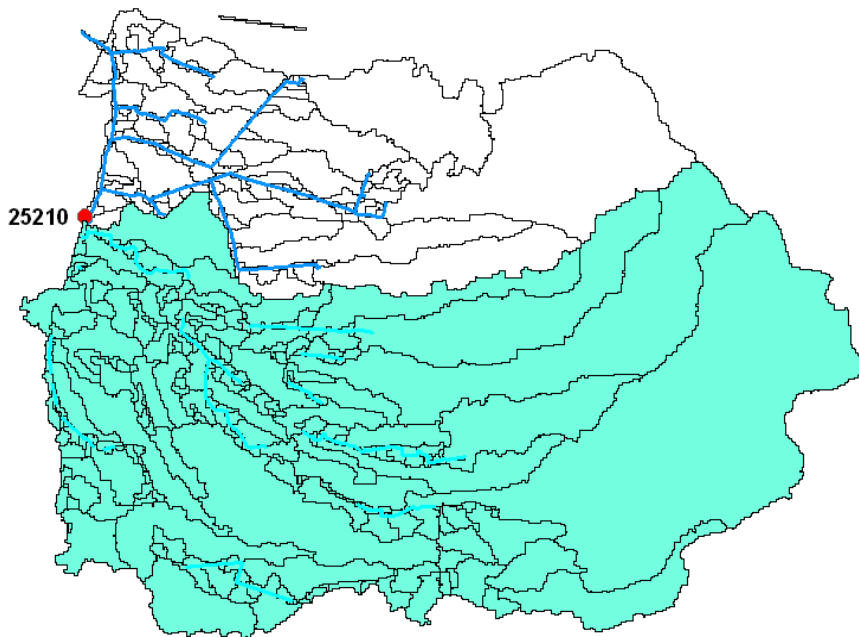
Vergelijking van de resultaten

Het debiet en de fosfaatafvoer zijn continue gemeten bij het uitstroompunt 25210 gelegen langs de zuidelijke tak van de Schuitenbeek (figuur 4.47). Om de totale fosfaatbelasting te kunnen toetsen aan gemeten waarden zijn de uitkomsten van de berekeningen met PLEASE uitgevoerd voor het gedeelte van Schuitenbeek dat via dit meetpunt afstroomt. De totale oppervlakte van dit gebied bedraagt 5366 ha. In tabel 4.24 staan de berekende en gemeten waterafvoer van het uitstroompunt 25210 weergegeven.

Tabel 4.24

Door PLEASE berekende en gemeten gemiddelde waterafvoerflux [mm/jaar] vanuit het stroomgebied Schuitenbeek bij meetpunt 25210.

	Waterflux [mm]
Punten	233
Gestratificeerd	185
Geïnterpoleerd	165
Gemeten (2004 - 2009)	147



Figuur 4.47

Het deel van Schuitenbeek dat afvoert via meetpunt 25210.

Op het uitstroompunt 25210 wordt in de periode 2001 - 2010 een gemiddelde afvoer gemeten van 147 mm. PLEASE berekent de gemiddelde afvoer van het deelstroomgebied veel te hoog in. Op basis van invoer op geïnterpoleerde methode wordt de afvoer het minst overschat (165 mm). In een groot deel van de Schuitenbeek komen gronden voor die niet of nauwelijks een bijdrage leveren aan de waterflux. Bij de loting van de meetlocaties is het meest oostelijke gedeelte van het gebied, dat uit droge bosgronden bestaat, niet meegenomen, omdat hij de P-belasting nihil zal zijn. Hierdoor wordt echter de gemiddelde laterale waterafvoer voor het hele gebied overschat.

Tabel 4.25

Gemeten en door PLEASE berekende gemiddelde P-afvoerflux [kg/ha/jaar], P-concentratie in het afgevoerde water [mg/l], en de P-afvoerflux [kg/ha/jaar] en P-concentratie in Schuitenbeek bij uitstroompunt 25210, rekening houdend met 50% retentie van P in de waterlopen.

	P-concentratie [mg/l]		P –afvoerflux [kg/ha/jaar]	
	Berekend	Na retentie	Berekend	Na retentie
Punten	0,50	0,25	1,04	0,52
Gestratificeerd	0,37	0,17	0,72	0,40
Geïnterpoleerd	0,16	0,09	0,29	0,14
Gemeten		0,34		0,51

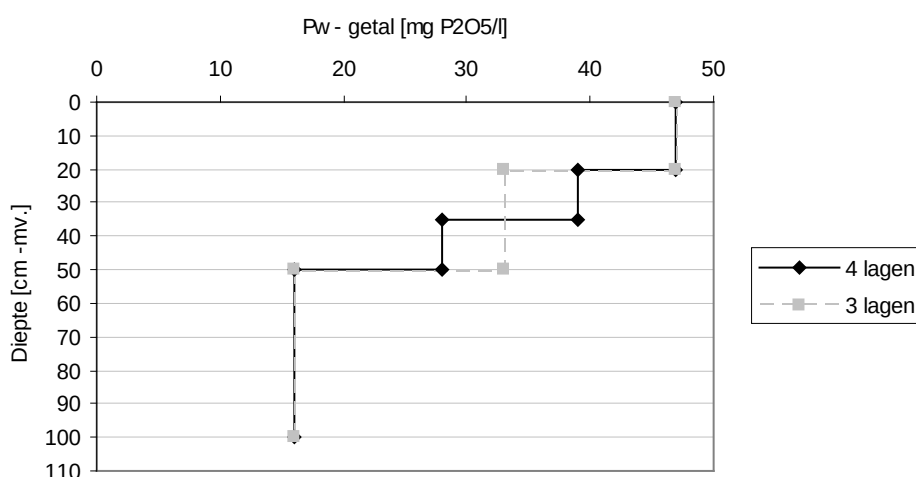
Op het uitstroompunt (25210) bedroeg de gemiddelde gemeten fluxgewogen concentratie totaal-fosfor 0,34 mg/l. De door PLEASE berekende totaal P-concentraties in het afgevoerde waarden bedragen respectievelijk 0,50 mg/l en 0,37 mg/l op basis van de punten en de gestratificeerde gegevens (tabel 4.25). De geïnterpoleerde aanpak levert een belangrijke lagere schatting van de P-concentratie op van 0,16 mg P/l. De berekende fosforconcentraties gelden voor het water dat vanuit het landsysteem afwatert op het oppervlakte-watersysteem. De processen in het oppervlaktewater (retentie) zijn hierin dus niet meegenomen. Rekening houdend met een mogelijke retentie van 50% retentie moet geconcludeerd worden dat PLEASE de concentratie totaal fosfaat in het afgevoerde water onderschat. Op basis van de geïnterpoleerde invoer is deze onderschatting het grootst (significant groter voor $P < 0,01$). De afwijkingen tussen de PLEASE-berekeningen en de gemeten concentraties kunnen veroorzaakt worden door onzekerheid in de grootte van de retentie, of door bijdrage van andere bronnen (erfafvoeren, rioolozingen, RWZI's), die niet in PLEASE zijn meegenomen. Het bebouwde gebied (het dorp Putten en de wegen en bebouwing in het landelijk gebied) en open water zijn bij de berekeningen met PLEASE buiten beschouwing gelaten. Het bebouwd gebied zal haar water via de riolering afvoeren naar RWZI's. In het stroomgebied van de Schuitenbeek komen geen RWZI's voor, zodat al dit water uiteindelijk buiten het stroomgebied wordt geloosd. Een deel van het water uit onverhard bebouwd gebied zal echter ook binnen het stroomgebied tot afvoer kunnen komen. Het gaat vooral om de afvoer afkomstig van groenstroken, parken en tuinen. Onderschatting door PLEASE van de belasting van het oppervlakte water kan verder veroorzaakt worden door onzekerheden in de model-invoer. Een kleine verandering in de ingevoerde onderrandvoorwaarden (kwelfluxen en -concentraties), landgebruik of schattingen van de gemiddelde neerslag) kunnen grote gevolgen hebben in de berekende waterafvoeren en de vrachten fosfaat die het stroomgebied verlaten. Bij de berekening van de P-afvoerflux zijn ook de droge gronden in het oostelijk deel van het stroomgebied betrokken. Wanneer deze gronden niet worden meegeteld wordt een aanzienlijk hogere P-afvoerflux berekend over het resterende deel van het stroomgebied. De hogere P-afvoerflux komt hiermee dicht bij de gemeten waarden (tabel 4.25), maar de waterafvoerfluxen die hiermee samenhangen zijn dan te hoog (tabel 4.24).

5 Gevoeligheid modeluitkomsten voor de gebruikte invoergegevens

Hoewel een belangrijk deel van de invoerparameters gebaseerd zijn op lokaal gemeten data, bestaat er onzekerheid over enkele invoergegevens. In dit hoofdstuk wordt de gevoeligheid van de modeluitkomsten bepaald door het variëren van de invoergegevens. Er is uitsluitend gekeken naar de invloed van de schematisatie van het bodemprofiel, de hydrologische parameters en enkele chemische parameters (fosfaatconcentratie onderrand en de sorptieconstanten) op de fosfaatafvoer.

5.1 Schematisatie van het bodemprofiel

De standaardwaarde voor het aantal bodemlagen waarmee PLEASE rekt is ingesteld op 3. In het veld zijn echter gegevens verzameld voor vier verschillende bodemlagen (tabel 5.1). Om optimaal van de analyses gebruik te maken is, met uitzondering van Schuitenbeek, in PLEASE met vier bodemlagen gerekend. In Schuitenbeek is gebruik gemaakt van bodemanalyses uit het BOVAR-project. Deze monsters waren op wisselende diepte genomen en de analyses zijn geaggregeerd naar drie bodemlagen. Om enig inzicht te krijgen is het effect van de schematisatie op de modeluitkomsten is voor de stroomgebieden Quarles van Ufford, Krimpenerwaard en Drentse Aa ook met drie lagen gerekend, waarbij de lagen 20 - 35 en 35 - 50 cm –mv. zijn samengevoegd tot een laag 20 - 50 cm –mv. Van deze laag is het Pw-getal berekend door het gemiddelde te nemen van de twee oorspronkelijk bemonsterde lagen uit het 4-lagen model (figuur 5.1).



Figuur 5.1

Verloop van de in PLEASE opgelegde fosfaattoestand in mg P2O5/l van respectievelijk drie en vier bodemlagen (Quarles van Ufford).

De berekende fosfaat-afvoerflux zoals deze door PLEASE met 3-lagen wordt berekend zijn in Drentse Aa en Krimpenerwaard 4% - 8% lager dan door PLEASE met het 4-lagen wordt berekend. Voor Quarles van Ufford berekent PLEASE geen significant verschil in de P-flux bij invoer van drie lagen of vier lagen (zie tabel 5.1).

Tabel 5.1

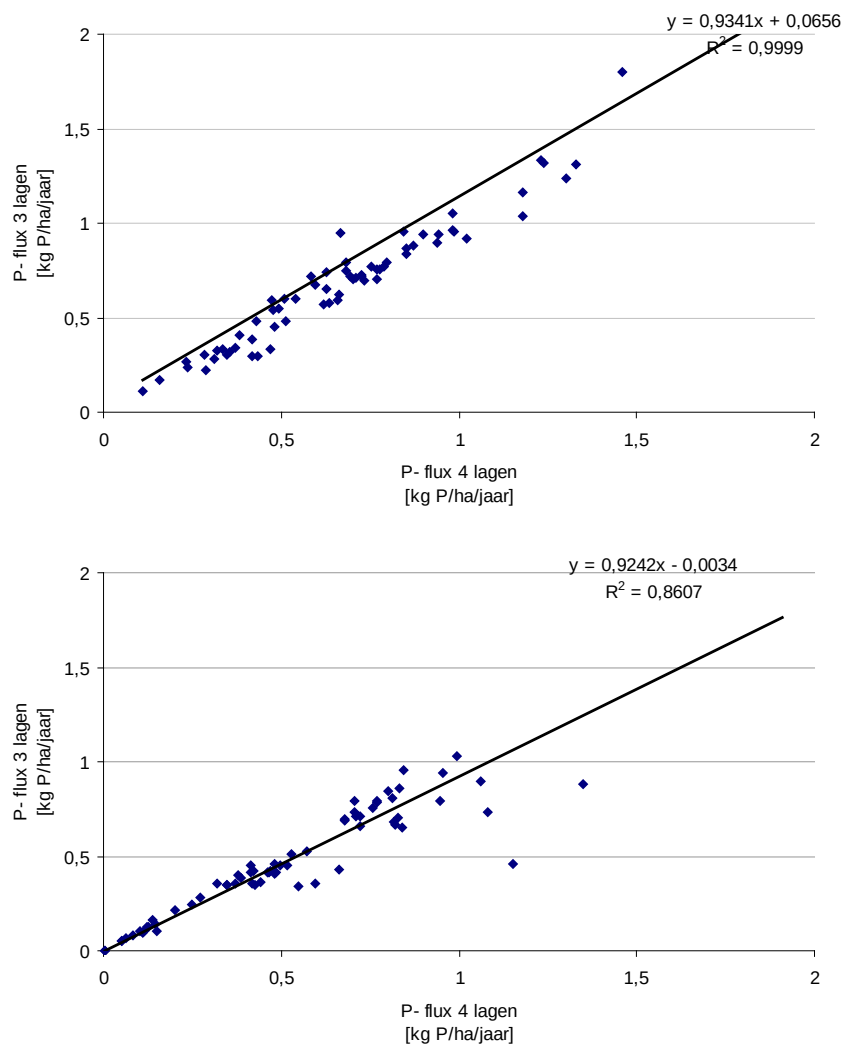
Door PLEASE berekende totale P-flux (kg/ha/jaar) voor de stroomgebieden Quarles van Ufford, Drentse Aa en Krimpenerwaard met schematisatie van drie en vier lagen.

Stroomgebied	Totaal Pflux [kg/ha/jr.]	
	Vier lagen	Drie lagen
Quarles van Ufford	2,25	2,17
Drentse Aa	0,51	0,48 ¹
Krimpenerwaard	0,63	0,60 ²

¹ Significant verschil voor $P < 0,001$ ² Significant verschil voor $P < 0,05$.

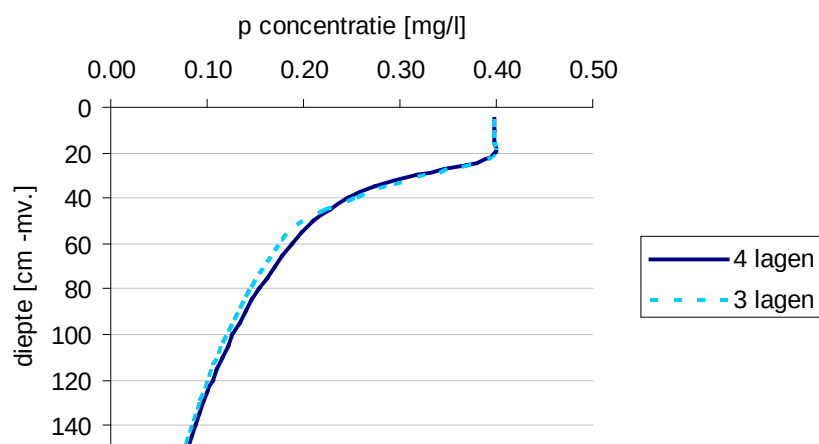
In figuur 5.2 is voor Quarles van Ufford en de Drentse Aa de berekende P-flux op basis van de schematisatie op vier lagen uitgezet tegen de uitkomsten van een drie lagen invoer. In deze figuur is een locatie met een extreem hoge fosfaattoestand in Quarles van Ufford niet weergegeven, maar de trendlijn wordt sterk door dit punt beïnvloed ('uitbijter'). Zonder dit punt zou de helling van de regressielijn net als in Drentse Aa juist iets kleiner dan 1 zijn. In Drentse Aa zijn de verschillen tussen beide runs groter dan in Quarles van Ufford (R^2 respectievelijk 0,86 en 0,99). In beide stroomgebieden zijn de verschillen bij een lage P-flux het geringst, maar lopen de verschillen op wanneer de berekende P-flux toeneemt. Het gebruik van een drie lagen model in vergelijking met een vier lagen model leidt in dit voorbeeld niet tot systematische verschillen.

In figuur 5.3 is het gemiddelde fosfaatconcentratie-profiel weergegeven zoals PLEASE dat heeft uitgerekend op basis van 3- en 4-lagen in het stroomgebied van Quarles van Ufford. In het 3-lagen model berekent PLEASE voor het onderste deel van de laag van 20-50 cm lagere P-concentratie dan met invoer van 4 lagen, maar in het bovenste deel van de samengevoegde bodemlaag is de P-concentratie juist een beetje hoger. In de ondergrond leidt het gebruik van drie lagen ook tot gemiddeld iets lagere concentraties door de lagere berekende concentratie op 50 cm diepte. Afhankelijk van het heersende grondwaterregime levert dit verschil in concentratieprofiel een hogere dan wel een lagere fosfaatafvoerflux op. Het aantal bodemlagen dat gebruikt wordt bij de invoer van PLEASE heeft hierdoor invloed op de berekende fosfaatvrachten. Hoe beter (hogere resolutie) het verloop van de fosfaattoestand in de bodem wordt beschreven, des te beter de schattingen door PLEASE van de fosfaatvrachten naar het oppervlaktewater. Vooral bij de nattere gronden leidt een generalisatie van de fosfaattoestand in de bovenste bodemlagen tot een onderschatting van de totale fosfaatvracht. Bij droge gronden is het effect van het aantal onderscheiden bodemlagen in de bovengrond niet zo groot, omdat bij deze gronden de waterafvoer in de diepere bodemlagen zich afspeelt. De andere stroomgebieden (niet weergegeven) laten hetzelfde beeld zien.



Figuur 5.2

Door PLEASE berekende P-flux (kg P/ha/jaar) van het 4-lagen model uitgezet tegen de berekende P-flux in kg P/ha/jaar van het 3-lagen model in (boven) Quarles van Ufford en (onder) Drentse Aa.



Figuur 5.3

Door PLEASE berekende P-concentratieprofiel in Quarles van Ufford van het 4-lagen model en het 3-lagen model.

5.2 Onzekerheden in de gebruikte hydrologische invoerparameters

Naast veldmetingen en laboratoriumanalyses is voor de invoer van PLEASE ook gebruik gemaakt van schattingen en zijn gegevens afgeleid uit andere bronnen zoals bodemkaarten (bodem- en grondwatertrappen), landgebruikskaarten (LGN) en gegevens over de neerslag. Om enig zicht te krijgen in de gevoeligheid van PLEASE op onzekerheid in deze invoerparameters zijn voor het stroomgebied Quarles van Ufford een aantal runs gedraaid waarin gemanipuleerd is met de invoerparameters. Het gaat om de parameters netto neerslagoverschot en de waterflux aan de onderrand.

Schatting van het netto neerslagoverschot

Het netto neerslagoverschot wordt bepaald door de jaarlijkse neerslag minus de gewasverdamping. De gewasverdamping wordt geschat aan de hand van het heersende landgebruik (LGN5) en de evapotranspiratie volgens Van Bakel et al. (2007). Om de gevoeligheid van het model op het netto neerslagoverschot te toetsen is allereerst voor alle locaties in het stroomgebied Quarles van Ufford de gewasverdamping van gras gebruikt in plaats van het landgebruik volgens LGN5. Hoewel al een groot gedeelte van dit stroomgebied volgens LGN5 uit grasland bestaat heeft de verandering in landgebruik toch een significant effect op de laterale waterafvoer van het gebied ($P < 0,05$), terwijl de P-concentratie en de P-afvoerflux niet significant verschillen (tabel 5.2).

Tabel 5.2

Gemiddelde waterafvoer flux (mm/jaar), totaal P-concentratie (mg/l) en totaal-fosfaat afvoerflux (kg P/ha/jr.) van 70 locaties in Quarles van Ufford. Vergelijking model uitkomsten op de standaardinstellingen en landgebruik voor het hele stroomgebied is gras.

	Default	Gras
Waterflux [mm/jr.]	381	365 ²
Fosfaat concentratie [mg P/l]	0,44	0,47
Fosfaat afvoerflux [kg P/ha/jr.]	2,25	2,10

² Significant voor $P < 0,05$.

Het geschatte netto neerslagoverschot is ook afhankelijk van de aangenomen jaarlijkse neerslagsom. Voor de berekeningen met PLEASE zijn gebiedsgemiddelde neerslaghoeveelheden gebruikt, die zijn afgeleid van de neerslagsommen op de (zoveel mogelijk) in het stroomgebied liggende KNMI-neerslagstations. Er is geen rekening gehouden met de ruimtelijke variatie in de gemiddelde neerslaghoeveelheid. Schoumans et al. (2008) maakt bijvoorbeeld in de berekening van fosfaatvrucht in het stroomgebied van de Schuitenbeek gebruik van de gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid in De Bilt. In dit rapport is echter gebruik gemaakt van de jaarlijkse gemiddelde neerslaghoeveelheden op drie verschillende KNMI-neerslagstations die in het stroomgebied liggen. De berekende water afvoerflux, berekend door Schoumans et al. (2008), bedraagt op basis van De Bilt 206 mm.

De onderrand van het model

Een andere (grote) onzekerheid in de modelinvoer is de grootte en richting van de waterflux aan de onderrand van het profiel. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van het model op deze invoer is de waterflux aan de onderrand gesteld op 0 mm/jr. (geen kwel, geen inzijging). De waterflux van het stroomgebied Quarles van Ufford neemt hierdoor significant ($P < 0,001$) af, terwijl de P-concentratie in het water niet significant toeneemt. In de Drentse Aa neemt de waterafvoerflux eveneens af en verschillen de P-concentraties niet significant. De totale P-afvoer van Quarles van Ufford wordt met bijna 20% onderschat ten opzicht van de uitvoer bij de oorspronkelijk gebruikte invoerparameters (tabel 5.3). In het stroomgebied van de Drentse Aa leidt de hogere waterafvoer tot een vergelijkbare fosfaatvrucht. Kennis van de onderrandvoorwaarden is dus van belang voor

het doen van een gedegen schatting van de fosfaatafvoer uit een stroomgebied. Deze gevoeligheid komt ook tot uiting in de modeluitkomsten voor het stroomgebied Krimpenerwaard. Het gebruik van een andere bron voor de kwelfluxen leidt tot een totaal ander patroon in de waterafvoer fluxen en schatting van de totaal fosfaatvrachten.

Tabel 5.3

Gemiddelde waterafvoer flux (mm/jaar), P-concentratie (mg/l) en fosfaat afvoerflux (kg P/ha/jr.) van 70 locaties in Quarles van Ufford. Vergelijking model uitkomsten op de standaardinstellingen en het instellen van de onderrand flux op 0 mm/jaar.

	Quarles van Ufford		Drentse Aa	
	Default	Kwel	Default	Kwel
Waterflux [mm/jr.]	381	285 ¹	343	318 ¹
Concentratie [mg/l]	0,44	0,54	0,16	0,15
Fosfaat afvoerflux [kg P/ha/jr.]	2,25	1,91	0,51	0,49

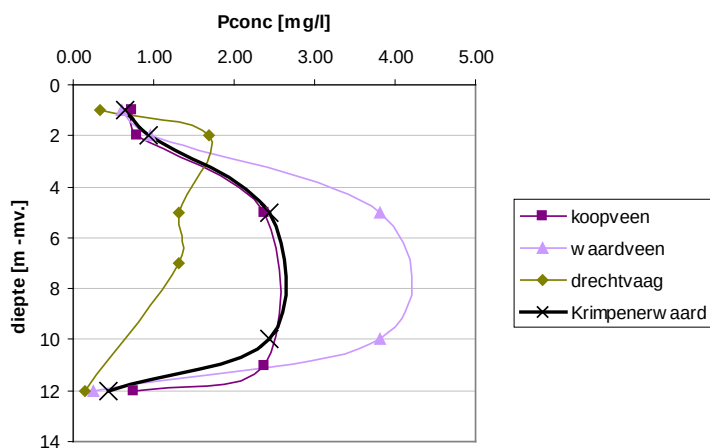
¹ Verschilt significant voor $P < 0,001$.

5.3 Onzekerheden in enkele chemische parameters

Fosfaatconcentratie van het grondwater in de Krimpenerwaard

Naast de kwelflux is ook de concentratie fosfaat in het grondwater van belang voor de berekening van de fosfaatvrachten uit een stroomgebied. Tot nu toe zijn er fosfaatconcentraties gebruikt uit landelijke studies (Rozemeijer et al., 2005). Bij de validatie van PLEASER op lokale schaal (Dupas en Van der Salm, 2010) kwam naar voren dat het model de concentraties en fluxen op eutrofe veengronden sterk onderschat. De oorzaak hiervan is dat in eutrofe veengronden hoge P-concentraties voorkomen in het veenpakket in diepere bodemlagen (1-3 m diepte). Deze hoge (achtergrond)concentraties komen niet naar voren in de gebruikte dataset voor de achtergrondconcentraties (Rozemeijer et al., 2005) die gebaseerd is op diepere metingen in het grondwater voor de Krimpenerwaard. Uit analyses van het grondwatermonsters die in de Krimpenerwaard zijn genomen in 2009 - 2010 blijkt echter dat de concentratie ortho-P van het grondwater op één meter -mv. 0,65 mg P/l bedragen en op twee meter -mv. 0,94 mg P/l. Op ca. vijf meter diepte is de concentratie ortho-P net boven het laagpakket van Workum opgelopen tot 2,41 mg P/l, terwijl in de Pleistocene ondergrond de P-concentratie 0,12 mg P/l bedraagt. In figuur 5.4 is het gemiddeld concentratieverloop met de diepte weergegeven per bodemtype. De ortho fosfaatconcentratie op 5 m -mv. zijn in drechtvaaggronden duidelijk lager dan in waardveengronden. Omdat deze concentraties op slechts twee locaties zijn gebaseerd wordt voor de hele Krimpenerwaard een achtergrond kwelconcentratie gebruikt die berekend is uit het gemiddelde van alle locaties op twee meter diepte.

In tabel 5.4 zijn de resultaten van de berekening van PLEASER weergegeven wanneer in het model een achtergrond kwelconcentratie van 0,94 mg P/l. De berekende P-afvoerflux is aanzienlijk (significant) hoger wanneer de gemeten kwel fosfaatconcentraties worden gebruikt, en dat is niet verrassend aangezien in gemeten kwelconcentraties 25 maal groter zijn dan de gebruikte kwelconcentraties uit de literatuur (tabel 5.5). De berekende fosfaat- afvoerflux is vergelijkbaar met de berekende fosfaatvrachten op basis van de geïnterpoleerde invoergegevens, maar nog wel lager dan de gemeten afvoerflux van 2,54 kg P/ha/jaar.



Figuur 5.4

Gemiddeld verloop van de ortho fosfaatconcentratie [mg/l] in de Krimpenerwaard. De gemiddelde concentratie ortho fosfaat onderin het veenpakket (10 m -mv.) is gelijkgesteld op de concentratie op 5 m -mv.

Tabel 5.4

Berekende gemiddelde, mediaan, 5% en 95% van de water- en fosfaatflux naar het oppervlaktewater en de fosfaatconcentraties in het stroomgebied Krimpenerwaard met invoer van een gemeten gemiddelde concentratie fosfaat in het grondwater aan de onderrand van het model van 0,939 mg P/l.

	Waterflux	P-concentratie		P-afvoerflux	
	[mm/jr.]	[mg/l]		[kg P/ha/jr.]	
		Ortho-P	Totaal- P	Ortho-P	Totaal- P
Gemiddeld	300	0,37	0,48	1,23	1,57
Mediaan	335	0,34	0,44	1,09	1,49
5%	14	0,15	0,25	0,02	0,04
95%	531	0,69	0,82	3,27	3,90

Tabel 5.5

Gemiddelde waterafvoer flux (mm/jaar), P-concentratie (mg/l) en fosfaat afvoerflux (kg P/ha/jr.) van 70 locaties in de Krimpenerwaard. Vergelijking model uitkomsten op invoer kwelconcentratie van 0,036 mg P/l (default) en 0,94 mg P/l (gemeten).

	Default	Gemeten kwel concentratie
Waterflux [mm/jr.]	300	300
Concentratie [mg/l]	0,23	0,48 ¹
Fosfaat afvoerflux [kg P/ha/jr.]	0,63	1,57 ¹

¹ Verschilt significant voor P<0,001.

De Langmuir sorptie-constante (K)

De fosfaatconcentraties in het bodemprofiel worden berekend met de Langmuir-sorptieconstante (K), de Langmuir desorptieconstante (k_d) en de adsorptiefractie (β). De Langmuir sorptieconstante (K) is afgeleid op basis van metingen op ruim 100 kalkloze zandgronden (§ 3.2). In de stroomgebieden van de Schuitenbeek en Drentse Aa zal het grootste oppervlakte ingenomen worden door zandgronden. De Krimpenerwaard bestaat echter grotendeels uit veengronden en Quarles van Ufford is een (rivier-)kleigebied. In 2011 hebben Koopmans en Van der Salm uit diverse literatuur gegevens gevonden van K-waarden op kalkloze zandgronden, kalkrijke zandgronden, kleigronden en veengronden. In tabel 5.5 zijn de gevonden K-waarden weergegeven.

Tabel 5.6

Gemiddelde Langmuir sorptieparameters (K [$m^3 \text{ mol}^{-1}$], $\beta[d^{-1}]$, $k_d [l]$) uit literatuurgegevens (Koopmans en Van der Salm, 2011).

	K [$m^3 \text{ mol}^{-1}$]	$\beta[d^{-1}]$	Kd [l]
Standaard waarde	35	0,20	0,167
Zand	14,03	0,13	0,12
Klei	10,8	0,15	0,10
Veen	4,1	0,08	0,11

Uit tabel 5.6 valt op dat de Langmuir sorptieconstante uit de literatuurgegevens van Koopmans en Van der Salm voor alle grondsoorten lager is dan de gebruikte parameters van Van der Zee. Voor veen zijn de K-waarden volgens verwachting (Schoumans, 2004) lager dan de standaard gebruikte K-waarde, maar ook voor klei- en zandgronden wordt een gemiddeld veel lagere K-waarde berekend. De in tabel 5.7 weergegeven parameters zijn in PLEASE toegepast op de vier stroomgebieden op basis van de puntlocaties. Voor het stroomgebied Drentse Aa en Schuitenbeek zijn de waarden voor zand gebruikt, voor Krimpenerwaard voor veen en Quarles van Ufford klei. In tabel 5.6 zijn de uitkomsten van deze nieuwe run weergegeven. ²

Voor het Schuitenbeekgebied kon ook gebruik gemaakt worden van lokale sorptieparameters gebaseerd op 151 metingen van de concentratie in oplossing en de geadsorbeerde hoeveelheid in het gebied (Schoumans et al., 2011). De verkregen waarde voor K was $36.3 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ en voor β 0.085. Voor k_d is een default waarde van 0.2 d^{-1} gehanteerd. Met deze waarden zijn voor de Schuitenbeek nogmaals de fluxen berekend.

Tabel 5.7

Door PLEASE berekende fosfaatflux [kg P/ha/jaar] en -concentraties [mg P/l] voor totaal-P en ortho-P bij gebruik van specifieke Langmuir-sorptieparameters voor verschillende typen grond (zand, veen klei) naar Koopmans en Van der Salm (2011).

Stroomgebied	Fluxen [kg/ha/jaar]				Concentraties [mg/l]			
	tP		oP		tP		oP	
	Spec,	Std,	Spec.	Std.	Spec.	Std.	Spec.	Std.
Quarles van Ufford	2,27	2,25	1,76	1,73	0,52	0,44	0,40	0,32
Drentse Aa	0,85 ¹	0,51	0,48 ¹	0,16	0,28 ¹	0,16	0,18 ¹	0,06
Krimpenerwaard	2,36 ¹	0,63	1,95 ¹	0,33	0,94 ¹	0,23	0,80 ¹	0,13
Schuitenbeek	1,71 ¹	1,13	1,35 ¹	0,83	0,54 ¹	0,47	0,41 ¹	0,35

Met ¹ weergegeven verschillen significant voor $P < 0,001$ en ² voor $P < 0,05$.

De met de nieuwe Langmuir sorptieparameters berekende fosfaatfluxen wijken (sterk) af van de berekende fluxen op basis van de standaard gebruikte parameters (tabel 5.7). De totale fosfaatflux is in alle stroomgebieden (met uitzondering van Quarles van Ufford) significant hoger geworden ten opzichte van de vorige berekeningen. In de Krimpenerwaard is de totaal P-flux ruim een factor 3 hoger geworden. Hiermee komt de berekende waarde dicht bij de gemeten totaal P-flux bij het uitstroompunt (2,54 kg P/ha/jaar) zonder dat rekening wordt gehouden met 50% retentie van fosfaat in de waterlopen. Het verschil in de berekende fosfaatflux van Quarles van Ufford verschilt niet significant door de grote standaardafwijking van deze dataset. Als de locatie met de extreem hoge gemeten actuele fosfaattoestand buiten beschouwing wordt gelaten, is de berekende fosfaatflux met de aangepast K-waarden wel significant hoger dan met de standaard waarde voor K van 35 l/mol.

Tabel 5.8

Door PLEASE berekende fosfaatflux [kg P/ha/jaar] en -concentraties [mg P/l] voor totaal-P en ortho-P bij gebruik van specifieke Langmuir sorptieparameters voor verschillende typen grond (zand, veen klei) naar Koopmans en Van der Salm (2011).

Stroomgebied	Fluxen [kg/ha/jaar]		Concentraties [mg/l]	
	tP	oP	tP	oP
Standaard parameters	1,13	0,83	0,47	0,35
Zand parameters	1,71 ¹	1,35 ¹	0,54 ¹	0,41 ¹
Locale parameters	2,31 ¹	1,92 ¹	0,93 ¹	0,77 ¹

Met ¹ weergegeven verschillen significant voor P<0,001 en ² voor P<0,05.

Voor het Schuitenbeekgebied blijkt dat het gebruik van generieke zandparameters leidt tot ruim 1.5 maal hoger uitspoelingsfluxen (tabel 5.8). Het gebruik van locale data leidt tot ruim twee maal zo hoge fosfaatfluxen. De berekende fosfaatafvoerfluxen op het meetpunt 25210 in de Schuitenbeek komen hiermee te liggen 1.92, 1.31 en 0.51 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij respectievelijk middeling van de punten, stratificatie en interpolatie. Als rekening gehouden wordt met retentie in het oppervlaktewater ligt de P-afvoer berekend met stratificatie wat hoger dan de gemeten P afvoer (0.51 kg ha⁻¹ jr⁻¹). Bij interpolatie van de invoergegevens is de berekende P-afvoer gelijk aan de metingen. Rekening houdend met enige retentie is de berekende afvoer met deze methode aan de lage kant.

6 Discussie en conclusies

Het model PLEASE (**P**hosphorus **LE**Aching from **S**oils to the **E**nvironment) berekent de fosfaatvrucht naar het oppervlaktewater op basis van het fosfaatconcentratieprofiel in de bodem (punt/perceel) en de verdeling van de laterale waterafvoer als functie van de diepte. De ontwikkelde methode is volledig gebaseerd op de beschrijving van fosfaat-reactiemechanismen in de bodem die ook ten grondslag liggen aan de definitie van een fosfaatverzadigd perceel en in het nationale nutriëntenemissie-model voor landbouwgronden (STONE) is geïmplementeerd. In deze studie is het model PLEASE toegepast op vier stroomgebieden en zijn de door PLEASE berekende fosfaatverliezen vergeleken met de gemeten uitstroom van de stroomgebieden. PLEASE is in dit rapport op drie verschillende manieren toegepast:

- a) Met invoergegevens van bemonsterde locaties. Hierbij zijn de gemiddelde afvoergegevens van deze locatie gebruikt als schatter voor de afvoer van het gebied.
- b) Indeling van het stroomgebied in bodemgeografische deelgebieden waarvan op basis van a) de afvoergegevens zijn geschat. Voor het hele stroomgebied is vervolgens een oppervlakte-gewogen gemiddelde afvoer berekend.
- c) Met gebruik van een interpolatie techniek zijn de gegevens op de monsterlocaties gebiedsdekkend gemaakt.

6.1 Water afvoerfluxen

De waterafvoerfluxen die PLEASE berekent met behulp van de geïnterpoleerde invoergegevens zijn in de meeste stroomgebieden lager dan de gemeten waterafvoerfluxen bij het uitstroompunt. Dit varieert van 34 mm (11%) in de Krimpenerwaard tot 58 mm (14%) in Quarles van Ufford. In de Schuitenbeek wordt de afvoer overschat bij het gebruik van geïnterpoleerde data (18 mm, 12 %). PLEASE berekent op basis van het gemiddelde van de puntgegevens en bij stratificatie van de puntgegevens over het algemeen een hogere waterafvoerflux dan op basis van geïnterpoleerde gegevens. Maar ook op basis van middeling of stratificatie van de puntgegevens wordt de afvoer meestal iets onderschat (4-10%). Een uitzondering wordt wederom gevormd door de Schuitenbeek waar de afvoer sterk (ca. 60%) overschat wordt bij middeling of stratificatie van puntmetingen. De overschatting van de fluxen voor de Schuitenbeek hangt mogelijk samen met het voorkomen van veel matig droge gronden waarvoor wel een afvoerflux wordt berekend maar die niet nabij oppervlaktewater zijn gelegen.

Afwijkingen tussen de gemeten en berekende waterafvoer kunnen eveneens veroorzaakt worden door een verkeerde inschatting van het netto neerslagoverschot (neerslag- verdamping) en de aan- en afvoer via kwel- en wegzijging. In het Schuitenbeek-gebied verschilt de neerslag binnen het gebied sterk waardoor de inschatting van het netto neerslagoverschot in dit gebied vrij onzeker is. In eerdere berekeningen (Schoumans et al., 2008) is gebruik gemaakt van de langjarige gemiddelde neerslag van de Bilt (750 mm) en werd de afvoer uit het gebied met 12% onderschat. In deze studie is gebruik gemaakt van locale weerstations (Putten, Nijkerk en Voorthuizen) die 120 mm hoger is dan het langjarig gemiddelde van de Bilt.

6.2 P-afvoerfluxen

Gebruik puntgegevens vs. geïnterpoleerde invoergegevens

PLEASE berekent in twee van de vier stroomgebieden een hogere P-afvoerflux op basis van puntgegevens dan op basis van de geïnterpoleerde, invoergegevens. Het verschil varieert van 14% in de Drentse Aa tot 72% in de Schuitenbeek. Deze verschillen worden deels veroorzaakt door de hogere waterafvoer bij het gebruik van puntgegevens, maar vooral ook door het voorkomen van locaties met een extreme fosfaattoestanden, die in een kleine populatie (monsterlocaties) zwaarder weegt dan in een grote populatie (geïnterpoleerde invoergegevens). In de Krimperwaard berekent PLEASE op basis van de puntlocaties een ruim twee maal lagere fosfaatafvoerflux dan met de interpolatie methode, terwijl de berekende waterfluxen met de puntmethode hoger zijn. Dit wordt vooral veroorzaakt door het samenvallen van een aantal grids met relatief hoge P toestanden en hoge waterafvoerfluxen

Berekende P-afvoerfluxen vs. gemeten P-afvoerfluxen

De berekende P-afvoerfluxen uit de vier stroomgebieden zijn vergeleken met de gemeten P-afvoergegevens van het uitstroompunt. Met de methode van interpolatie van invoergegevens onderschat PLEASE de P-afvoerflux in alle stroomgebieden met respectievelijk 9-49%, terwijl op basis van de puntlocaties PLEASE de P-vracht in drie van de vier stroomgebieden overschat wordt met 6-200%. In de Krimpenervaard onderschat PLEASE de afvoer met 37 tot 75% afhankelijk van de gebruikte methode. PLEASE berekent de belasting van fosfor op het oppervlakte water vanuit de percelen. Tijdens de afvoer naar het uitstroompunt vindt er in de waterlopen retentie van fosfor op. In de systeemanalyses van de vier stroomgebieden werd de retentie berekend als sluitposten van de fosfaatbalans (Siderius et al., 2008; Kroes et al., 2008; Roelsma et al., 2008 en Jansen et al., 2009) en worden waarden genoemd variërend tussen 75% in de Krimpenervaard en 25% in de Drentse Aa. Als in de vergelijking van de berekende P-afvoer met de gemeten P-afvoerfluxen rekening wordt gehouden met 50% retentie voor alle stroomgebieden zijn de door PLEASE berekende afvoerfluxen te laag.

Een belangrijke rede voor de onderschatting kan liggen in het gebruik van generieke sorptieparameters, voor zandgronden, voor alle vier de gebieden. Lagere sorptieconstanten zullen leiden tot een hogere fosfaatafvoer, zoals de door Koopmans en Van der Salm (2011) afgeleide waarden voor zand, veen en klei kunnen leiden tot aanzienlijk hogere P-fluxen waardoor in een aantal gevallen de onderschatting door PLEASE verdwijnt. Voor het stroomgebied van de Schuitenbeek werd bij gebruik van lokale sorptiekaracteristieken een P-afvoer berekend die dicht ligt bij de gemeten waarden. Bij stratificatie van de rekenpunten op basis van bodemkaracteristieken was de berekende P-afvoer wat te hoog (2.5 maal de gemeten afvoer). Eerdere berekeningen met iets lagere neerslagcijfers (Schoumans et al., 2013) gaven een berekende afvoer die 1.5 maal hogere was dan de metingen en rekening houdend met retentie dus redelijk overeenkwam met de metingen. Bij interpolatie van de invoergegevens is de berekende P-afvoer gelijk aan de metingen. Rekening houdend met enige retentie is de berekende afvoer met deze methode aan de lage kant. Deze cijfers geven aan dat gezien de onzekerheden die voortkomen uit de opschalingsmethode, neerslagcijfers ed. de voorspelling voor de Schuitenbeek redelijk overeen komen met de gemeten waarden. Een goede schatting van de sorptiekaracteristieken van de bodems in een stroomgebied is dus van wezenlijk belang indien het model ingezet wordt voor het vaststellen van de absolute verliezen uit het gebied.

Uit de analyse blijkt verder dat hot-spots een grote invloed kunnen hebben op de totale P-verliezen uit de stroomgebieden. Vooral in gebieden met een sterke variatie in P-toestand (Quarles van Ufford, Schuitenbeek) kan de berekende P-afvoer onder of overschat worden doordat hot-spots wel of niet zijn bemonsterd. In Quarles van Ufford waar maar 70 punten zijn bemonsterd heeft dit duidelijk effect op de resultaten. In het Schuitenbeek gebied zijn de berekeningen op meer (250) locaties gebaseerd, zodat het effect van extreme waarden hier minder groot is.

De onderschatting in de Krimpenerwaard is waarschijnlijk gerelateerd aan het voorkomen van hoge P concentraties in diepere veenlagen. Uit locale validatie (Dupas en Van der Salm, 2010) bleek dat PLEASE de verliezen op dit soort eutrofe veengronden sterk onderschat. Voor de andere stroomgebieden is minder goed aan te geven waarom de fosforafvoer wordt onderschat. Een deel van de discrepanties zou veroorzaakt kunnen zijn door onzekerheid in de metingen en de correcties voor locale bronnen zoals inlaat en lozingen van RWZI's. De tendens tot onderschatting van de afvoeren door PLEASE op drie van de vier stroomgebieden geeft aan dat er sprake is van een systematische fout. Mogelijk leveren andere fosfaatbronnen (erfafvoeren en ongerioleerde lozingen) een aanzienlijke bijdrage aan de P-afvoer uit het gebied. Dit soort bronnen worden niet door PLEASE in beeld gebracht. Daarnaast worden de verliezen via runoff in PLEASE op een vrij eenvoudige manier berekend. Dit zou ook kunnen leiden tot fouten in de berekende verliezen, hoewel dit niet duidelijk naar voren kwam bij de validatie op locale schaal. Een dergelijke fout zou vooral op kunnen treden in gebieden met slecht doorlatende gronden (profielen met keileem in Drenthe of gronden met een zwaardere textuur in Quarles van Ufford).

6.3 Ruimtelijk beeld van de afvoerfluxen

De ruimtelijke verspreiding van de fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater geeft een beeld dat ook redelijkerwijs verwacht mag worden. Een verhoogde fosfaatbelasting van het oppervlaktewater treedt op in gebieden met hoge grondwaterstanden (beekdalen, komgronden ed.) in combinatie met gronden met een hoge fosfaatverzadigingsgraad (maisakkers). Op basis van de geïnterpoleerde invoergegevens is er meer variatie in de afvoerfluxen dan op basis van de gestratificeerde aanpak. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat verschillen in landgebruik verdwijnen als de data geaggregeerd worden naar bodemgeografische eenheden. In de Krimpenerwaard wordt de ruimtelijke verdeling van de waterafvoerfluxen grotendeels bepaald door de opgelegde kwelflux. Dit komt doordat de variatie in de bodemgesteldheid en landgebruik gering is. Het ruimtelijk beeld van de fosfaatafvoerflux is in veel gevallen minder uitgesproken dan die van de waterflux. Dit hangt samen met het feit dat de P-afvoerfluxen niet alleen afhankelijk zijn van de waterflux, maar ook van de actuele fosfaattoestand. De beter ontwaterde gronden zijn in veel gevallen intensiever gebruikt, waardoor de fosfaattoestand op deze gronden hoger is. Hiermee neemt ook de belasting van fosfaat op het oppervlaktewater toe. De grootste belasting van fosfaat op het oppervlakte water vindt dan ook plaats op die gronden die juist droog genoeg zijn voor intensief agrarisch gebruik maar toch zo nat zijn dat ze relatief veel water afvoeren naar de waterlopen in de omgeving. Dit effect is vooral zichtbaar in het stroomgebied van de Schuitembeek waar drogere gronden soms een net zo hoge afvoer hebben als de natte beekdalgronden. In het kleigebied van Quarles van Ufford zijn het toch vooral de droge gronden met een zeer hoge P toestand die een hoge P-afvoerflux hebben. In de Drentse Aa is de variatie in P-afvoerfluxen gering doordat de natte gronden een relatief wat lagere P-toestand hebben.

6.4 Onzekerheid rondom de invoergegevens

De perceelskenmerken die vastgesteld dienen te worden om de P-uitspoeling te kwantificeren, zijn:

- Pw-getal van de lagen 0-20 en 20-50 cm (of 20 -35 en 35 - 50 cm)
- Oxalaat extraheerbaar Al en Fe van dezelfde lagen
- GHG en GLG
- Diepte van de drainagemiddelen (sloten en/of greppels)
- Perceelsafstand tot de sloot en/of aanwezigheid van buisdrainage

Het Pw-getal en het oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium worden in het laboratorium bepaald. De GHG en GLG kunnen op basis van hydromorfe kenmerken worden geschat door een ervaren veldbodemkundige. Wanneer de locaties niet door een veldbodemkundige worden bezocht is men voor de hydrologie afhankelijk

van beschikbare grondwatertrappenkaarten. Hierbij is gebruik gemaakt van de gedetailleerde bodem- en grondwatertrappenkaart schaal 1:10 000. De aanwezigheid van buisdrainage is in veel gevallen moeilijk vast te stellen. Er bestaan geen gebiedsdekkende gegevens over de ruimtelijke verspreiding en de diepte ligging van drainage buizen. Daarnaast is in het veld soms moeilijk vast te stellen of een perceel al dan niet gedraineerd is. De aanwezigheid van drainagemiddelen heeft in principe effect op omvang van invoegen tussen op en waterfluxen. In de hier gepresenteerde modelberekeningen is echter gebruik gemaakt van gemiddelde waterfluxen voor bepaalde grondwatertrap-gewas combinaties. De aanwezigheid van drainagebuizen in het model heeft hierdoor uitsluitend invloed op de verdeling van de waterafvoerflux met de diepte maar niet op de totale afvoerflux.

Voor de verschillende landschappelijke regio's in Nederland moet in het model aanvullend de volgende informatie beschikbaar te zijn:

- Jaarlijkse netto neerslagoverschot (bodem - gewascombinaties)
- Jaarlijkse kwelaanvoer van water (voor groepen van grondwatertrappen)
- Fosfaatachtergrondconcentratie in de diepere ondergrond (één m onder GLG-niveau)

Bij het bepalen van het netto neerslagoverschot is een goede schatting van de jaarlijkse neerslag nodig. In deze studie is gebruik gemaakt van gemiddelde neerslaggegevens in een stroomgebied die zijn afgeleid van KNMI-neerslagstations die in of nabij het stroomgebied liggen. Regionale verschillen zijn hierin niet meegenomen, terwijl deze best groot kunnen zijn. Zo is het verschil in de gemiddelde jaarneerslag tussen Putten en Nijkerk ca 100 mm (Bron: Klimaat-atlas KNMI). Dit is niet in de berekeningen van PLEASE opgenomen. Voor het Schuitembeekgebied berekende Schoumans et al. (2008, 2012) een waterafvoerflux van 175 mm op basis van neerslaggegevens van De Bilt, in dit rapport is op basis van drie lokale neerslagstations een waterafvoer van 231 mm berekend. Daarnaast wordt gebruikgemaakt van standaard evapotranspiratie opgesplitst naar vrij grove groepen (mais, gras, aardappelen, natuur en bos) landgebruik. Dit zijn standaardgetallen uit de literatuur (Van Bakel et al., 2007). Door gebruik te maken van deze groepering wordt het onderscheid dat het LGN5 maakt in meerdere typen landgebruik genivelleerd. Bij het interpreteren van de berekende waterfluxen moet rekening worden gehouden met regionale verschillen in het netto neerslagoverschot.

In veel gebieden is de fosfaatconcentratie in het grondwater (achtergrondconcentratie) laag en zal de onzekerheid in deze waarden niet veel invloed hebben op de resultaten. In het veengebied zijn de concentratie in het ondiepe grondwater (2-10 m onder maaiveld) soms veel hoger. In de Krimpenerwaard bleek uit lokale metingen dat de gemiddelde concentratie op 2 meter –mv 0.94 mg/l bedroeg en op vijf meter diepte werd een gemiddelde waarde vastgesteld van 2.4 mg/l. Indien gerekend wordt met de lokale achtergrondwaarde van 0.94 mg/l nam de P-afvoerflux met bijna een factor drie toe en lagen de berekende waarden veel dichter bij de meetwaarden.

6.5 Schematieren van het bodemprofiel

Bij de schematisatie van het bodemprofiel is standaard gebruik gemaakt van een opdeling van het profiel in vier lagen, waarbij de fosfaattoestand van de bovenste drie lagen is bepaald aan de hand van de gemeten fosfaattoestand. PLEASE rekent met behulp van deze ingevoerde fosfaatgegevens en de P-concentratie in de diepe ondergrond een P-concentratieprofiel uit dat exponentieel afneemt met de diepte (Van der Salm et al., 2009). Het aggregeren van twee bodemlagen (20-35 cm en 35-50 cm diepte) heeft uiteenlopende effecten op de berekende P-afvoerflux, die afhankelijk is van de grondwaterstand en de actuele fosfaattoestand. De verschillen in de berekende P-afvoerflux op basis van vier of drie lagen zijn echter niet systematisch en significant.

6.6 Invloed van 'hot spots' op de berekende uitspoeling

Voor schattingen van de fosfaattoestand in de stroomgebieden is gebruik gemaakt van analyse-resultaten van bodemmonsters die op verschillende diepten zijn genomen verspreid over de stroomgebieden. Op een enkele plek zijn bodemprofielen aangetroffen met een extreem hoog fosfaatgehalte. In het stroomgebied van Quarles van Ufford is op één locatie een fosfaatprofiel aangetroffen met een Pw-getal in de laag 0 - 20 cm van 36 mg P_2O_5 /l en in de laag 35 - 50 cm van 210 mg P_2O_5 /l. PLEASE berekent op deze locatie een P-afvoerflux van 104 kg/ha/jaar en dat is ruim 65% van de totale P-afvoerflux van het hele stroomgebied. In de Schuitenbeek wordt door PLEASE op één locatie een P-vracht van 59,7 kg/ha/jaar (18% van de totale fosfaatafvoer flux) berekend. In de stroomgebieden Krimpenerwaard en Drentse Aa zijn geen sterk afwijkende P-profielen waargenomen, terwijl deze in theorie wel kunnen voorkomen. Het is niet bekend in welke mate het aantreffen van extreem hoge actuele fosfaattoestanden toeval is en op welke schaal dergelijke hoge fosfaattoestanden voorkomen. Uit de cijfers van Quarles van Ufford en Schuitenbeek blijkt dat de invloed van hot-spots op de totale afvoer zeer verschillend kan zijn afhankelijk van de fosfaattoestand van het gebied. In Quarles van Ufford waar de fosfaattoestand vrij gematigd is heeft de aangetroffen hot-spot een grote invloed op de P-uitspoeling van het gebied. In het Schuitenbeekgebied waar de P-toestand overal op een hoger niveau ligt hebben hot-spots relatief weinig impact op de belasting van het hele gebied. Hierbij speel ook mee dat in Schuitenbeek de berekeningen zijn gebaseerd op meer locaties, zodat een enkele uitschieter minder zwaar meetelt. Door de berekende waarden op de locaties uit te middelen per stratum wegen extremen minder zwaar mee in de totale uitvoer van een stroomgebied. De berekende afvoerfluxen voor Schuitenbeek en Quarles van Ufford zijn hierom bij de gestratificeerde methode lager dan bij de berekening op basis van puntlocaties. Dit effect wordt nog meer versterkt wanneer de invoer plaatsvindt op basis van de geïnterpoleerde meetgegevens. Alleen in Krimpenerwaard levert dit een hogere fosfaatvracht naar het oppervlaktewater op.

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors and T. Kroon, 2007. Actualisatie Hydrologie voor Stone 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wageningen, Wettelijk Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, WOT-rapport 57

Breeuwsmā, A., J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus en H. van het Loo, 1989. Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Rapport 10. Staring Centrum, Wageningen.

Cate, J. A. M. ten. A. F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater. Technisch document 19B. DLO-Staring centrum, Wageningen.

Chardon, W.J., 1994. Relationship between phosphorus availability and phosphorus saturation index. Rapport 19, AB-DLO, Haren.

Chardon, W.J, G. Mol, C. van der Salm en F. Sival., 2007. De sorptie van ortho-PO₄ in veengronden en kalkrijke zandgronden en het belang van organisch gebonden P. Alterra rapport 1480, Alterra, Wageningen.

Dupas, R. and C. van der Salm, 2010. Validation of the model PLEASe at site scale. Alterra rapport 1968-2, 52 pp., Alterra, Wageningen

Ehlert, P.A.I., Schoumans, O.F., Brus, D.J., Groot, W.J.M., Visschers en R. en Pleijter. 2005 Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm. Alterra-rapport 1201. Alterra, Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon en I.G. Staritsky. 2006. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Alterra-rapport 1339. Alterra, Wageningen.

Hazeu, G.W. 2005. Landelijk Grondgebruikbestand 2005 (LGN 5); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Alterra-rapport 1213. Alterra, Wageningen.

Hoekstra, C. en J.N.B. Poelman. 1982. Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. Rapport 1582. Stichting voor bodemkartering, Wageningen.

Jansen, H.C., R.J. Löschner-Wolleswinkel, M.E. Sicco Smit, F.J.E. van der Bolt, J. Roelsma, O.F. Schoumans, C. Siderius en T.P. van Tol-Leenders, 2009. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Schuitenbeek Fase 3. Alterra-rapport1968-final14122010_mp.doc. Alterra, Wageningen.

Koopmans, G.F. en C. van der Salm. 2011, Binding van ortho-fosfaat aan de bodem: Het parameteriseren van de snelle reversibele bindingsreactie van ortho-fosfaat. Interne notitie, Alterra, Wageningen.

Kroes, J.G., J.D. Schaap, F.J.E. van der Bolt, R.J. Löschner-Wolleswinkel, J. Roelsma, O.F. Schoumans, C. Siderius en T.P. van Tol-Leenders, 2008. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Krimpenerwaard Fase 3. Alterra-rapport 1766. Alterra, Wageningen.

- Linden W. van der, 2002b. Landsdekkende karakterisering topsysteem 1: 250.000. Eindrapport. NITG 02-176-B. Delft
- Makken, H. en G. Rutten, 1985. De bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van het landinrichtingsgebied Roden - Norg. Rapport 1733. Stichting voor Bodemkartering (Stiboka), Wageningen.
- Massop, H.Th.L, 2002. Landelijke karakterisering buisdrainage. Alterra, Wageningen.
- Mulder J.R., W.J.M. de Groot en A.G. Beekman, 1986. [Een bodemkartering van het landinrichtingsgebied Krimpenerwaard : een veldbodemkundig onderzoek naar de ontstaanswijze van het landschap, de bodemgesteldheid en de bodemgeschiktheid voor weidebouw.](#) Rapport no. 1736 Stichting voor Bodemkartering (Stiboka), 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. Alterra-rapport 1764 Alterra, Wageningen.
- Rozemeijer, J., J. Griffioen en H. Passier, 2005. *De concentratie van fosfaat in regionaal kwelwater in Nederland*. TNO rapport 005.105B0710, TNO, Utrecht.
- Salm, C. van der, O.F. Schoumans, 2010. Model PLEASE en het nationale nutriënten- en emissiemodel STONE. Een vergelijking van berekende fluxen en concentraties. Alterra-rapport 1968.1. Alterra. Wageningen.
- Salm, C. van der, R. Dupas, R. Grant, G. Heckrath, B. W. Iversen, B. Kronvang, C. Levi, G. H. Rubaek and O. F. Schoumans, 2011. Predicting phosphorus losses with the model PLEASE on a local scale in Denmark and the Netherlands. J. Environ. Qual. in press
- Scholten A., F. Brouwer, M. Kotters en H.R.J. Vroon, 1990. De bodemgesteldheid van het landinrichtingsgebied Land van Maas en Waal. Rapport 35. Staring Centrum, Wageningen.
- Schoumans, O.F., 2004. Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Rapport 730.4. Alterra, Wageningen.
- Schoumans, O.F., C. van der Salm en P. Groenendijk, 2012. PLEASE: A simple model to determine P losses by leaching. Soil Use & Management, in press.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm en M. Pleijter. 2008. Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden. Beschrijving van het instrumentarium PLEASE. Alterra-rapport 1724. Alterra. Wageningen.
- Siderius, C., R.J. Löschner-Wolleswinkel, F.J.E. van der Bolt, J. Roelsma, O.F. Schoumans, T.P. van Tol-Leenders en H. de Ruiter, 2008. Systeemanalyse voor het bemalingsgebied Quarles van Ufford Fase 3. Alterra-rapport 1767. Reeks Monitoring Stroomgebieden X-X, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.
- Sluijs, P. van der, 1990. Grondwatertrappen. In: W.P. Locher en H. de Bakker (red.), Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch".
- Vries, F. de; W.J.M. de Groot, T. Hoogland en J. Denneboom, 2003. De Bodemkaart van Nederland digitaal; toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionel informatie. Alterra-rapport 811. Alterra, Wageningen.

Wallenburg, C. 1988. De bodemdichtheid van koopveen- weideveen- en waardveengronden in relatie met bodemkenmerken. Rapport 2040. Stichting voor bodemkartering. Wageningen.

Walvoort, D.J.J., D.J. Brus, C. van der Salm, M. Pleijter, T.P. van Tol-Leenders, 2009. Kwanti_cering van fosfaattoestand in de bodem van vier stroomgebieden. Alterra-Rapport 1958. Alterra, Wageningen.

Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon , R.Rötter en H. van Zeijts, 2005. The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modeling and Software 18, 597-617.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte. Jaartal Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staring Reeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra. Wageningen. Alterra-rapport 153.

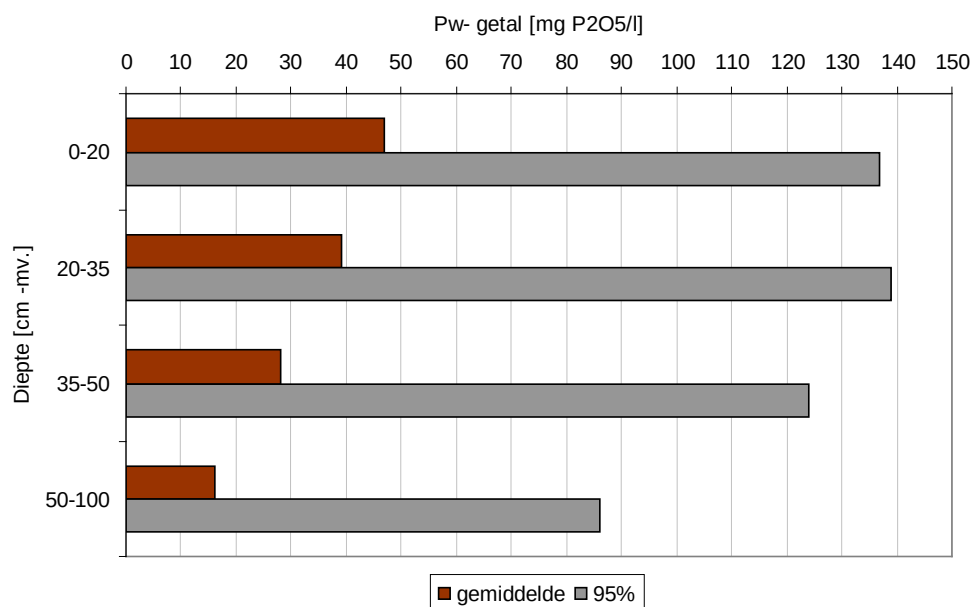
Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de Pawnstudie. Stiboka, Wageningen. Rapport 2055.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990a. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting*. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. Landbouwniversiteit Wageningen.

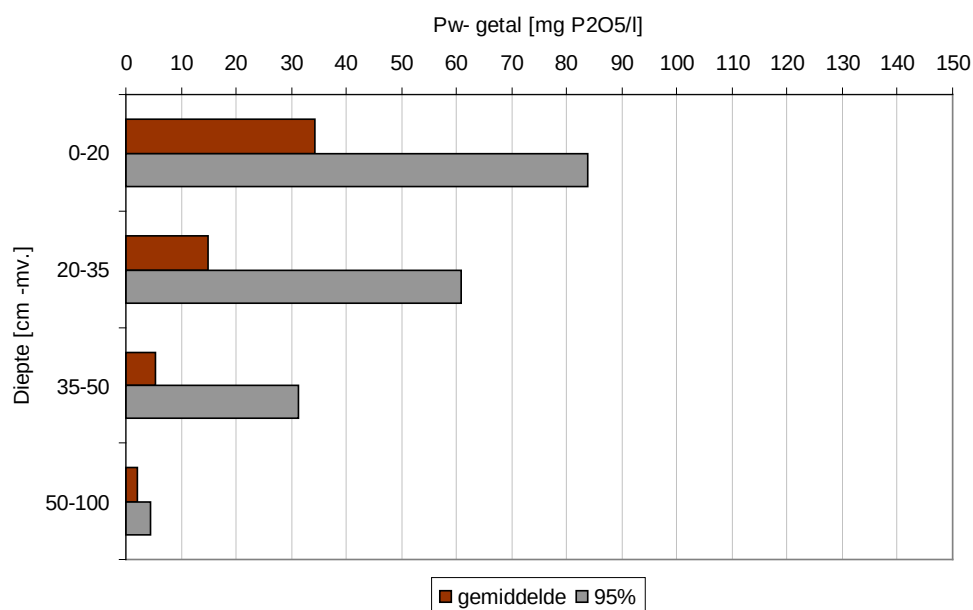
Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990b. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische Uitwerking*. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. Landbouwniversiteit Wageningen.

Bijlage 1

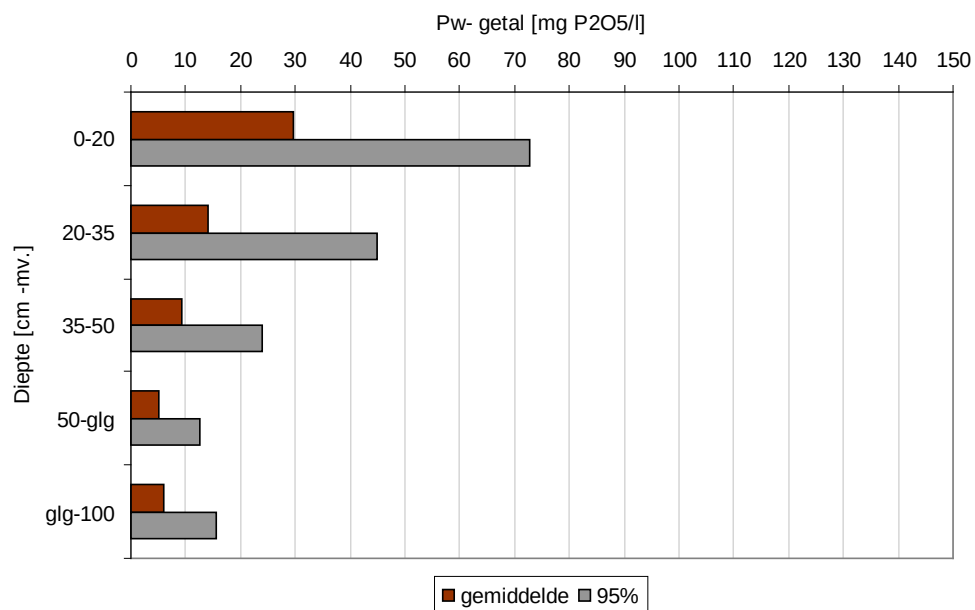
Fosfaatprofielen voor de stroomgebieden



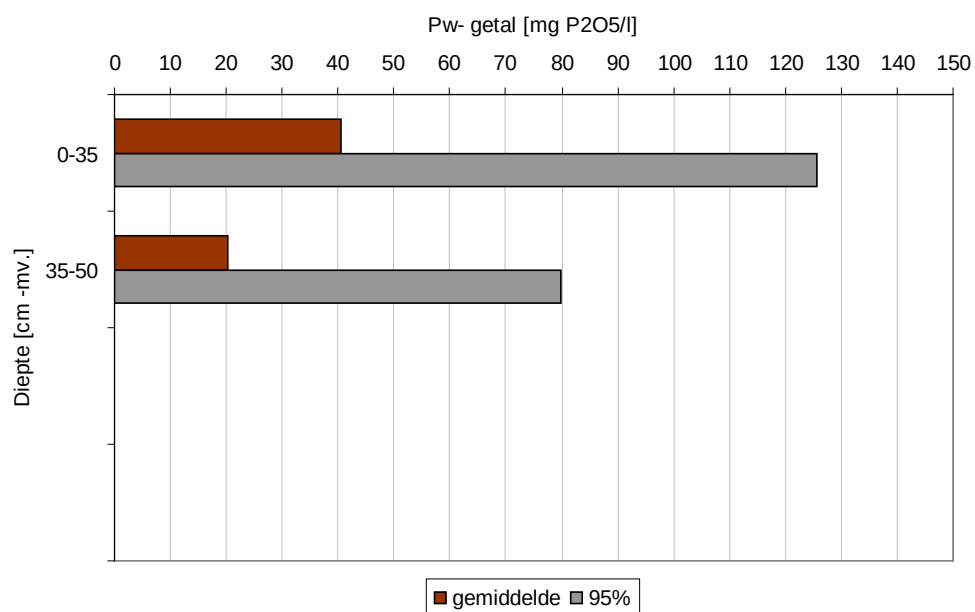
Gemiddeld fosfaatprofiel in het stroomgebied van Quarles van Ufford. Uitgezet: het gemiddelde Pw-getal (mg P2O5/l) en het 95% van het Pw-getal op de dieptes: 0-20 cm -mv. 20-35 cm -mv. 35-50 cm -mv. en 50-100cm -mv.



Gemiddeld fosfaatprofiel in het stroomgebied van de Drentse Aa. Uitgezet: het gemiddelde Pw-getal (mg P2O5/l) en het 95% van het Pw-getal op de dieptes: 0-20 cm-mv. 20-35 cm-mv 35-50 cm -mv. en 50 - 100 cm -mv.



Gemiddeld fosfaatprofiel in de Krimpenerwaard. Uitgezet: het gemiddelde Pw-getal (mg P2O5/l) en het 95% van het Pw-getal op de dieptes: 0-20 cm-mv. 20-35 cm-mv 35-50 cm -mv. en 50 cm -mv.- GLG en GLG – 120 cm -mv.



Gemiddeld fosfaatprofiel in Schuitenbeek. Uitgezet: het gemiddelde Pw-getal (mg P2O5/l) en het 95% van het Pw-getal op de dieptes: 0-35cm -mv. en -3-50 cm-mv .

Bijlage 2

Functies voor schattingen van de soortelijke dichtheid

Tabel 1

Gebruikte functies voor de schatting van de soortelijke dichtheid [kg grond/m³] van verschillende bodemlagen. Voor zand is voor de boven en ondergrond een verschillende functie gebruikt.

Grondsoort	Soortelijke dichtheid [kg/m ³]
Zand	
Bovengrond	$1/(-1.984+0.01841*[org.stof\%]+0.032*1+0.00003576*[leem\%]*[leem\%]+2.6))*1000$
Ondergrond	$1/(-1.984+0.01841*[org.stof\%]+0.00003576*[leem\%]*[leem\%]+2.6))*1000$
Klei	$1/(0.603+0.003975*[lutum\%]+0.01781*LN(0.1))$
Veen	
Bovengrond	$1726-693*\log[org.stof\%]$ (Van Wallenburg, 1988)
Ondergrond	$1251-564*\log(org.stf\%)$ (Van Wallenburg, 1988)

Tabel 2

Geschatte soortelijke dichtheid [kg grond/m³] per bodemlaag in Quarles van Ufford. Weergegeven het gemiddelde, het maximum en minimum, alsmede het gemiddelde uit de bouwstenen van de Staring Reeks (2001). De voorkomende profielen binnen Quarles van Ufford zijn: lichte klei, klei op een zware klei ondergrond en klei op zand.

Grondsoort	Gemiddelde	Maximum	Minimum	Staring Reeks
Zand				
Bovengrond	1515	1515	1515	1200 - 1600
Ondergrond	1678	1719	1637	1400 - 1800
Lichte klei				
Bovengrond	1427	1427	1427	1200 - 1600
Ondergrond	1511	1551	1420	1300 - 1700
Klei				
Bovengrond	1292	1317	1271	1100 - 1600
Ondergrond	1303	1537	1187	1000 - 1500

Tabel 3

Geschatte soortelijke dichtheid [kg grond/m³] per bodemlaag in de Drenste Aa. Weergegeven het gemiddelde, het maximum en minimum, alsmede het gemiddelde uit de bouwstenen van de Staring Reeks (2001).

Grondsoort	Gemiddelde	Maximum	Minimum	Staring Reeks
Zand				
<i>Bovengrond</i>	1333	1522	1114	1200 - 1600
<i>Ondergrond</i>	1567	1623	1188	1400 - 1800
Keileem (klei)				
<i>Bovengrond</i>	1559	1559	1559	1100 - 1600
<i>Ondergrond</i>	1554	1662	1315	1100 - 1600
Veen				
<i>Bovengrond</i>	645	984	417	400 - 1300
<i>Ondergrond</i>	655	946	440	100 - 1400

Tabel 4

Geschatte soortelijke dichtheid [kg grond/m³] per bodemlaag in de Krimpenerwaard. Weergegeven het gemiddelde, het maximum en minimum, alsmede het gemiddelde uit de bouwstenen van de Staring Reeks (2001).

Grondsoort	Gemiddelde	Maximum	Minimum	Staring Reeks
Klei				
<i>Bovengrond</i>	999	1170	834	400 - 1300
<i>Ondergrond</i>	770	888	637	1100 - 1600
Veen				
<i>Bovengrond</i>	585	704	416	400 - 1300
<i>Ondergrond</i>	270	517	136	100 - 1400

Tabel 5

Geschatte soortelijke dichtheid [kg grond/m³] per bodemlaag in Schuitenbeek. Weergegeven het gemiddelde, het maximum en minimum, alsmede het gemiddelde uit de bouwstenen van de Staring Reeks (2001).

Grondsoort	Gemiddelde	Maximum	Minimum	Staring Reeks
Zand				
<i>Bovengrond</i>	1377	1543	833	1200 - 1600
<i>Ondergrond</i>	1573	1620	1195	1400 - 1800

Bijlage 3

Netto neerslagoverschot

Tabel 1

Netto neerslagoverschot (mm/jaar) voor verschillende vormen van landgebruik en groepen van grondwatertrappen in Quarles v an Ufford.

Gt-groepering	Netto neerslagoverschot [mm/jaar]				
	Gewas				
	Blijvend gras	Akkerbouw	Mais	Natuur	Loofbos
Nat	277	368	403	290	277
Gemiddeld	259	311	346	258	197
Droog	266	309	332	270	190

Tabel 2

Netto neerslagoverschot (mm/jaar) voor verschillende vormen van landgebruik en groepen van grondwatertrappen in de Drentse Aa.

Gt-groepering	Netto neerslagoverschot [mm/jaar]				
	Gewas				
	Blijvend gras	Akkerbouw	Mais	Natuur	Loofbos
Nat	324	415	450	337	324
Gemiddeld	306	358	393	305	244
Droog	313	356	372	317	237

Tabel 3

Netto neerslagoverschot (mm/jaar) voor verschillende vormen van landgebruik en groepen van grondwatertrappen in Krimpenerwaard.

Gt-groepering	Netto neerslagoverschot [mm/jaar]				
	Gewas				
	Blijvend gras	Akkerbouw	Mais	Natuur	Loofbos
Nat	379	-	505	392	379
Gemiddeld	361	-	448	299	299
Droog	-	-	-	-	-

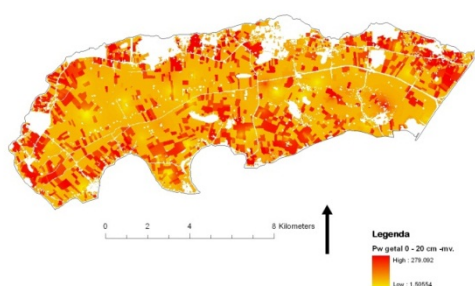
Tabel 4

Netto neerslagoverschot (mm/jaar) voor verschillende vormen van landgebruik en groepen van grondwatertrappen in Schuitembeek.

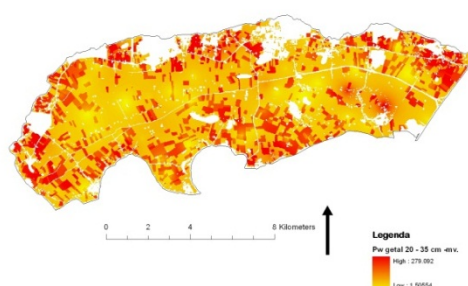
Gt-groepering	Netto neerslagoverschot [mm/jaar]				
	Gewas				
	Blijvend gras	Akkerbouw	Mais	Natuur	Loofbos
Nat	332	423	485	345	332
Gemiddeld	314	366	401	313	252
Droog	321	364	387	325	245

Bijlage 4

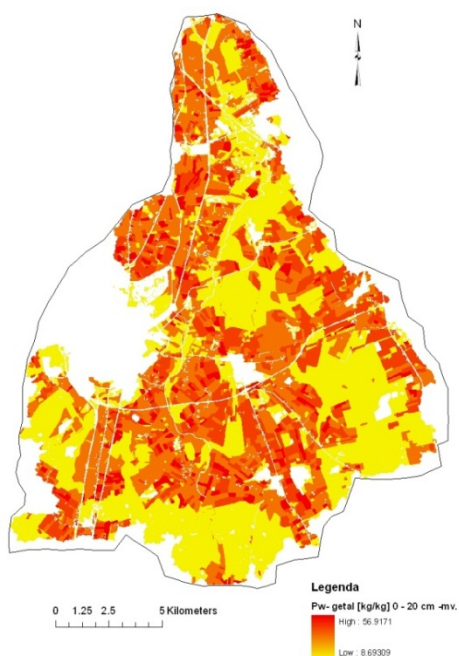
Het geïnterpoleerde Pw-getal van de vier stroomgebieden



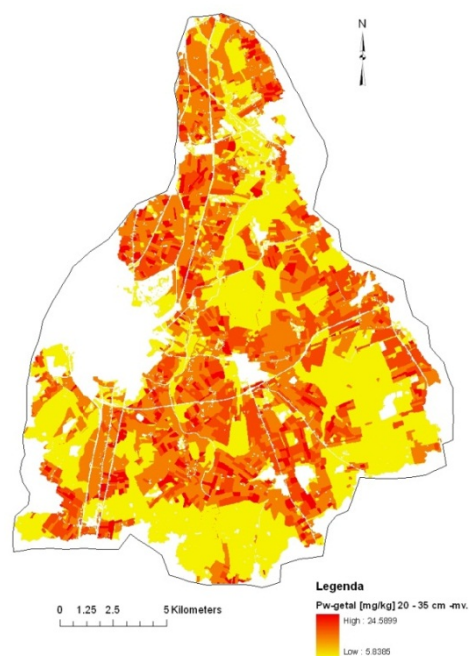
Figuur 1
Pw-getal [mg/kg] van de laag 0 - 20 cm -mv. in het stroomgebied Quarles van Ufford.



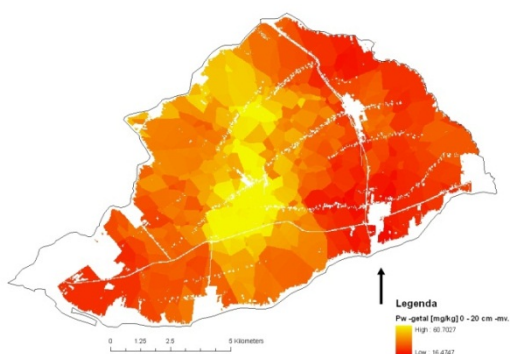
Figuur 2
Pw-getal [mg/kg] van de laag 20 - 35 cm -mv. in het stroomgebied Quarles van Ufford.



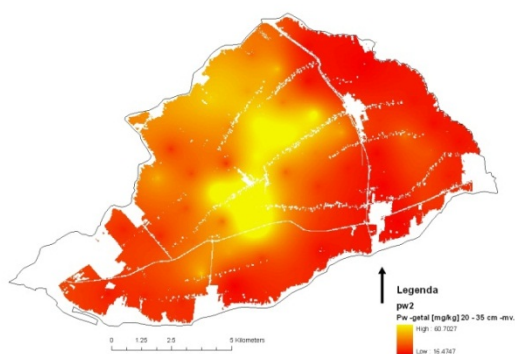
Figuur 3
Pw-getal [mg/kg] van de laag 0 - 20 cm -mv. in het stroomgebied van de Drentse Aa



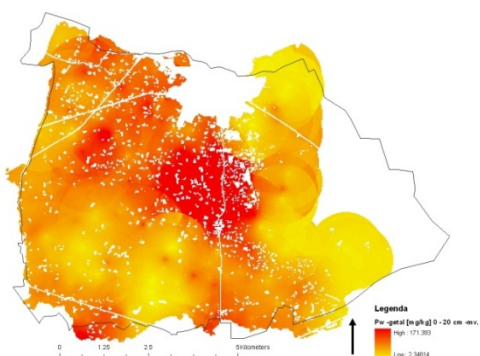
Figuur 4
Pw-getal [mg/kg] van de laag 20 - 35 cm -mv. in het stroomgebied van de Drentse Aa



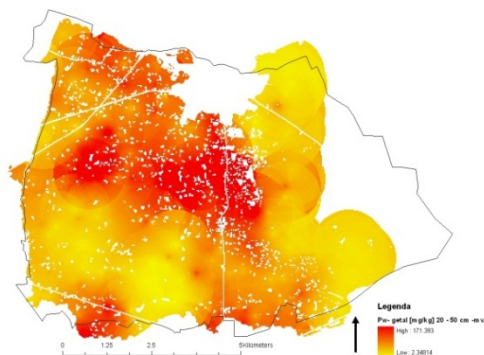
Figuur 5
Pw-getal [mg/kg] van de laag 0 - 20 cm -mv. in de Krimpenerwaard.



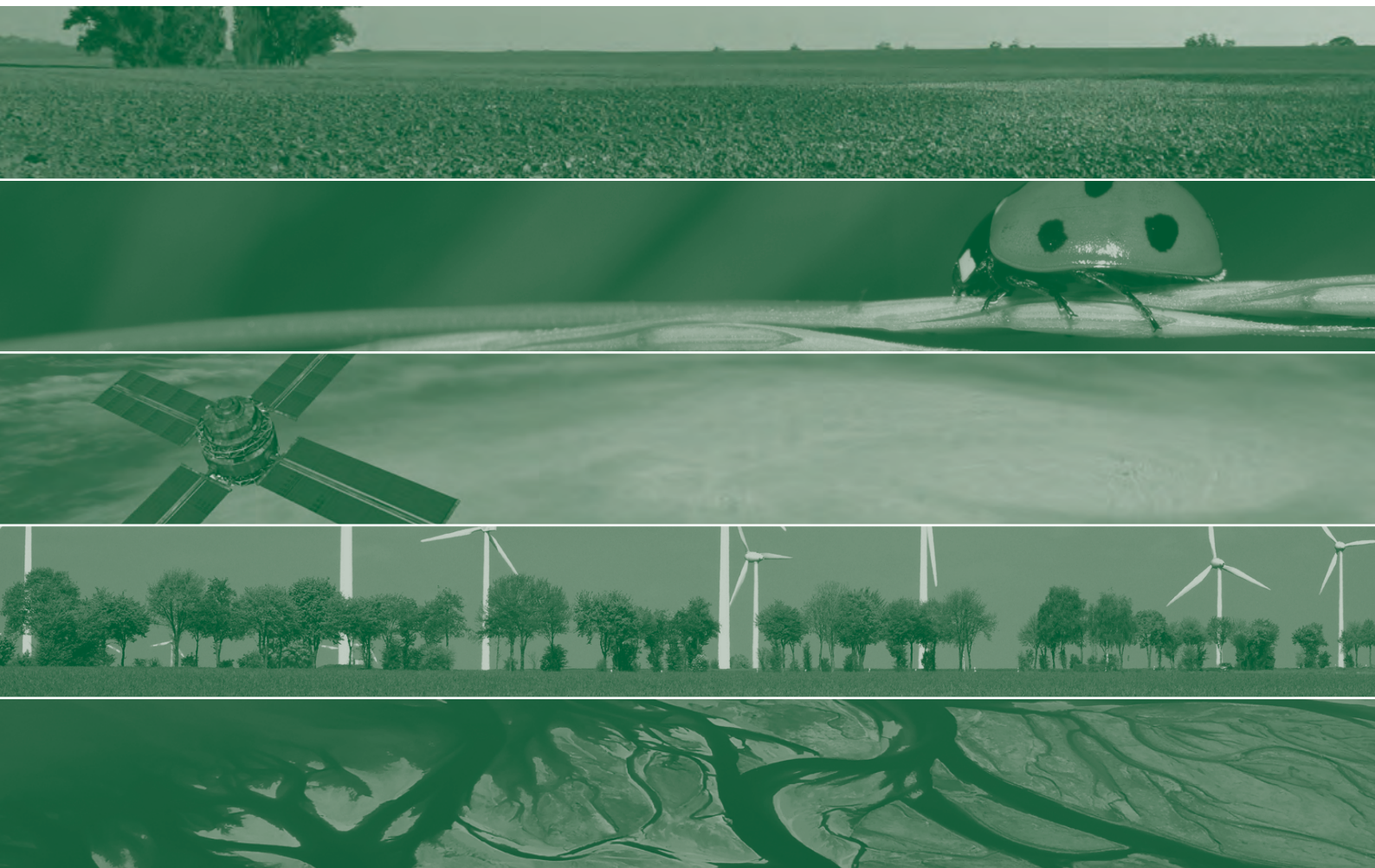
Figuur 6
Pw-getal [mg/kg] van de laag 20 - 35 cm -mv. in de Krimpenerwaard.



Figuur 7
Pw-getal [mg/kg] van de laag 0 - 20 cm -mv. in Schuitembeek



Figuur 8
Pw-getal [mg/kg] van de laag 20 - 50 cm -mv. in Schuitembeek



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra