



ALTEERRA

WAGENINGEN UR



Model PLEASE en het nationale nutriënten- emissiemodel STONE

Een vergelijking van berekende fluxen en concentraties

Alterra-rapport 1968.1
ISSN 1566-7197

C. van der Salm en O.F. Schoumans

Model PLEASE en het nationale
nutriënten-emissiemodel STONE

In opdracht van ministerie van LNV, in het kader van BO-05 Mineralen en Milieukwaliteit.
Projectcode [BO-05-04-004]

Model PLEASE en het nationale nutriënten-emissiemodel STONE

Een vergelijking van berekende fluxen en concentraties

C. van der Salm en O.F. Schoumans

Alterra-rapport nummer 1968.1

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2010

Referaat

Van der Salm, C. en O.F. Schoumans, 2009. *Model PLEASE en het nationale nutriënten-emissiemodel STONE: Een vergelijking van berekende fluxen en concentraties*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1968.1. 33 blz.; 12 fig.; 2 tab.; 7 ref.

Het model PLEASE is een eenvoudig model voor het voorspellen van de fosfaatverliezen op lokale schaal. De procesformulering voor de binding van fosfaat is volledig gebaseerd op de formulering zoals deze ook in het nationale nutriënten-emissiemodel STONE wordt gebruikt. Het model kan dan ook gezien worden als een vereenvoudiging van het model STONE. Om de effecten van deze vereenvoudiging in beeld te brengen zijn de door het model berekende uitspoelingsfluxen vergeleken met de uitkomsten van het (moeder)model STONE. De resultaten geven aan dat de uitkomsten van PLEASE, op het niveau van Bodem-Gt clusters, goed overeenkomen maar dat op het niveau van individuele plots de verschillen aanzienlijk zijn. Afwijkingen komen vooral voort uit verschillen in concentratieprofielen en de inschatting van de oppervlakkige afvoer.

Trefwoorden: fosfaat, fosfor, uitspoeling, runoff

ISSN 1566-7197

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

© 2009 Alterra Wageningen UR, Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Telefoon 0317 48 07 00; fax 0317 41 90 00; e-mail info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra Wageningen UR.

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

Alterra-rapport 1968.1

Wageningen, februari 2010

Inhoud

| | |
|--|----|
| Woord vooraf | 7 |
| Samenvatting | 9 |
| 1 Inleiding en methodiek | 11 |
| 1.1 Inleiding | 11 |
| 1.2 Methodiek en beperkingen | 11 |
| 2 Resultaten | 13 |
| 2.1 Fosfaatfluxen | 13 |
| 2.2 Concentraties | 20 |
| 2.3 Verloop van gesimuleerde concentraties en fluxen met de diepte | 21 |
| 2.3.1 Concentratieprofielen | 21 |
| 2.3.2 Profielen van laterale waterafvoer en fosfaatafvoer | 24 |
| 2.4 Effect verticale schematisatie | 26 |
| 3 Conclusies en aanbevelingen | 31 |
| Literatuur | 33 |

Woord vooraf

In dit rapport worden de resultaten van de vergelijking van het model PLEASE met resultaten van het nationale nutriënten emissiemodel STONE beschreven. De uitvoering van deze vergelijking was niet mogelijk geweest zonder hulp van de collega's die nauw bij de ontwikkeling en toepassing van STONE zijn betrokken. Wij willen dan ook L. Renaud, D. Walvoort, J. Kroes en P. Groenendijk bedanken voor hun hulp bij het gebruik van de STONE-resultaten en hun bijdrage aan de discussie over de geconstateerde verschillen tussen beide modellen.

Samenvatting

In 2008 is een methodiek gepubliceerd voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden (Schoumans et al., 2008). 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 en fosfaatbindend vermogen, de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. De procesformulering voor de binding van fosfaat is volledig gebaseerd op de formulering zoals deze ook in het nationale nutriënten emissiemodel STONE wordt gebruikt. PLEASE kan dan ook worden beschouwd als een vereenvoudiging van het model STONE.

Voor het gebruik van PLEASE in de praktijk is het belangrijk om informatie te hebben over de validiteit van de berekende fluxen. Voor validatie van PLEASE is gekozen voor een benadering die bestaat uit drie stappen: vergelijking van PLEASE met het moedermodel STONE, validatie op lokale schaal en validatie op regionale schaal. In dit rapport worden de resultaten van de vergelijking van PLEASE met STONE gepresenteerd.

Voor de vergelijking is het model PLEASE toegepast op alle (6405) locaties (plots) waarvoor het model STONE op landelijke schaal wordt gebruikt. Voor deze plots zijn de door beide modellen berekende concentraties en waterfluxen als functie van de diepte met elkaar vergeleken. De vergelijking is uitgevoerd in twee stappen. In de eerste stap is de profielopbouw gelijk gehouden aan de profielopbouw van STONE om de impact van een andere verticale schematisatie op de gesimuleerde fluxen uit te sluiten. Daarnaast is gerekend voor een systeem met geaggregeerde bodemlagen, waarvoor het model PLEASE ontworpen is. Voor deze toepassing is het bodemprofiel in PLEASE opgedeeld in 3 lagen: 0-20 cm, 20-50 cm en 50 cm tot 1 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Uit de vergelijking blijkt dat er op het niveau van bodem-Gt clusters een redelijk goede overeenkomst bestaat tussen de door PLEASE en STONE berekende fosfaatfluxen. Dit geldt zowel voor het gebruik van de oorspronkelijke STONE- bodemlagen als bij het gebruik van geaggregeerde bodemlagen. De correlatie tussen de PLEASE- en STONE-uitkomsten is in beide gevallen hoog (R^2 van 0.83-0.86 voor drie lagen en 0.91-0.95 voor de STONE-profielopbouw). Op het niveau van individuele plots is de overeenkomst tussen beide modellen een stuk slechter. Bij het gebruik van de oorspronkelijke STONE-bodemlagen blijken de door de modellen berekende concentraties in bovengrond (25-25 cm) en ondergrond (60-75 cm) goed met elkaar overeen te stemmen. Bij het bestuderen van de concentratieprofielen blijkt echter dat op sommige locaties sprake is van sterke oscillaties van de door PLEASE berekende concentraties met de diepte. Deze oscillaties ontstaan door de veronderstelling van een exponentiële afname van het P-gehalte met de diepte in combinatie met het gebruik van de dunne bodemlagen zoals die in STONE worden beschouwd. De uiteindelijke verschillen in de berekende fosfaatfluxen worden echter vooral bepaald door afwijkingen in de gesimuleerde laterale waterfluxen. Het globale verloop en de omvang van de waterfluxen is in beide modellen vrij vergelijkbaar. Er is echter een duidelijk verschil in de berekening van de oppervlakkige afvoer en interflow. PLEASE berekent in vergelijking met STONE een ondiepere ligging van de afvoerpiek (bovenste 5 cm) en een hoger oppervlakkige afvoer in droge gronden en een lagere afvoer in kleigronden.

Bij het gebruik van drie bodemlagen in plaats van de STONE-bodemlagen is op het niveau van bodem-Gt clusters de correlatie tussen de PLEASE- en STONE- uitkomsten iets minder goed. De berekende fluxen zijn iets lager dan bij gebruik van de STONE-bodemlagen en liggen hierdoor iets dichterbij de door STONE berekende fluxen. De door PLEASE berekende concentraties stemmen goed overeen met de STONE-simulaties in de bovengrond (25-35 cm). In de ondergrond (60-75 cm) zijn de door PLEASE berekende concentraties

vaak hoger dan de concentraties in STONE. Blijkbaar past de exponentiële afname niet goed bij het door STONE berekende verloop in de fosfaattoestand en fosfaatconcentraties.

Uit de uitgevoerde vergelijking komen een aantal aandachtspunten voor de verdere ontwikkeling van PLEASE naar voren:

- Inbouwen van de diepte van het kwelvlak.
- Voorkomen van oscillaties in de berekening van de concentraties bij geringe laagdikten door inbouwen van alternatieve aanname over verloop P-gehalte met de diepte.
- Verder valideren en zo nodig verbeteren van de berekening van de waterafvoer door runoff en interflow.
- Toetsen van PLEASE in de praktijk door validatie op gemeten concentraties en fluxen op perceelsschaal.

1 Inleiding en methodiek

1.1 Inleiding

In 2008 is een methodiek gepubliceerd voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden (Schoumans et al., 2008). 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 en fosfaatbindend vermogen, 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. 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 en een eenvoudig model dat het laterale watertransport beschrijft. De procesformulering voor de binding van fosfaat is volledig gebaseerd op de formulering zoals deze ook in het nationale nutriënten-emissiemodel STONE (Wolf et al., 2003) wordt gebruikt. PLEASE kan dan ook worden beschouwd als een vereenvoudiging van het model STONE.

Voor het gebruik van PLEASE in de praktijk is het belangrijk om informatie te hebben over de validiteit van de berekende fluxen. Een eerste toets van het model is uitgevoerd door het model te gebruiken om de fosfaatverliezen in het stroomgebied van de Schuitenbeek te voorspellen. De voorspellingen voor dit zandige stroomgebied in de Gelderse vallei waren vergelijkbaar met de gemeten afvoer van de Schuitenbeek (Schoumans et al., 2008). Deze validatie geeft een eerste indruk van de validiteit van het model. De uitkomst van het model op de schaal van een stroomgebied wordt echter bepaald door opschaling van de fluxen berekend voor individuele punten in het stroomgebied. Onderschatting van fluxen op een perceel kan gecompenseerd worden door overschatting op andere percelen. Om meer informatie over de validiteit van PLEASE te krijgen, zowel op perceelsschaal als voor andere stroomgebieden, is verdere validatie noodzakelijk.

Voor validatie van PLEASE is gekozen voor een benadering die bestaat uit drie stappen:

Het effect van de modelvereenvoudiging wordt in beeld gebracht door de uitkomsten van PLEASE te vergelijken met uitkomsten van het (moeder)model STONE.

Het model PLEASE is gevalideerd op lokale schaal door de uitkomsten te vergelijken met metingen van fosfaatverliezen en fosfaatconcentraties in drainwater op een aantal monitoring-locaties (Dupas and Van der Salm, 2009).

Het model PLEASE is gevalideerd op regionale schaal door de uitkomsten van het model te vergelijken met de fosfaatverliezen op stroomgebiedniveau (Pleijter et al., 2010).

In dit rapport worden de resultaten van de eerste stap (vergelijking met het moedermodel STONE) beschreven.

1.2 Methodiek en beperkingen

Voor de vergelijking is het model PLEASE toegepast op alle (6405) locaties (plots) waar voor het model STONE op landelijke schaal wordt gebruikt. Voor deze plots zijn de door beide modellen berekende concentraties en waterfluxen als functie van de diepte met elkaar vergeleken. Voor de vergelijking is gebruik gemaakt van berekeningen met STONE 2.3 (Groenendijk et al., 2005) voor de periode 1986-2000. Deze STONE-versie is ook gebruikt voor de scenario-berekeningen voor de evaluatie mestwetgeving van 2007.

Om de vergelijking zo zuiver mogelijk te maken is de invoer voor PLEASE afgeleid uit invoerwaarden en simulatieresultaten van STONE 2.3. Voor de vergelijking zijn twee stappen gebruikt. In de eerste stap is de profielopbouw gelijk gehouden aan de profielopbouw van STONE om de impact van een andere verticale schematisatie op de gesimuleerde fluxen uit te sluiten. Daarnaast is gerekend voor een systeem met geaggregeerde bodemlagen, waarvoor het model PLEASE ontworpen is (H 2.4). Voor deze toepassing is het bodemprofiel in PLEASE opgedeeld in 3 lagen: 0-20 cm, 20-50 cm en 50 cm tot 1 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Statische parameters zoals de bulkdichtheden van de grond zijn berekend door de invoer van STONE-diepte gewogen te middelen. Voorraden van bijvoorbeeld aluminium en ijzer zijn op volume basis gewogen met de diepte. Voor beide berekeningen zijn de dynamische parameters zoals waterfluxen en fosfaatvoorraden bepaald op basis van gemiddelde waarden over de periode 1986-2000. Het Pw-getal voor elke bodemlaag is niet direct berekend door middeling van de Pw-waarden in STONE, maar indirect door middeling van de gesimuleerde geadsorbeerde hoeveelheden (op volume basis). Deze procedure is gevolgd omdat er een sterk niet-lineaire relatie bestaat tussen Pw en de geadsorbeerde hoeveelheden (Schoumans, 1997). GHG en GLG zijn berekend op basis van de met STONE gesimuleerde grondwaterstanden.

De in dit rapport beschreven resultaten geven aan in hoeverre de in PLEASE doorgevoerde vereenvoudigingen leiden tot andere uitkomsten van de berekende water- en fosfaatfluxen dan in STONE. Omdat het hier een vergelijking van twee modellen betreft mogen afwijkingen tussen beide modellen niet direct vertaald worden naar afwijkingen in de werkelijke uitspoelingsfluxen. Bij de interpretatie van de resultaten dient daarnaast ook rekening te worden gehouden met het feit dat het model STONE dusdanig geparаметeriseerd is dat op regionale/nationale schaal een zo goed mogelijke voorspelling van de uitspoeling kan worden gegeven. Zo is bijvoorbeeld sprake van een zo goed mogelijke beschrijving van de regionale hydrologie. De berekende stroombanen kunnen hierdoor afwijken van de werkelijke stroombanen op lokale schaal.

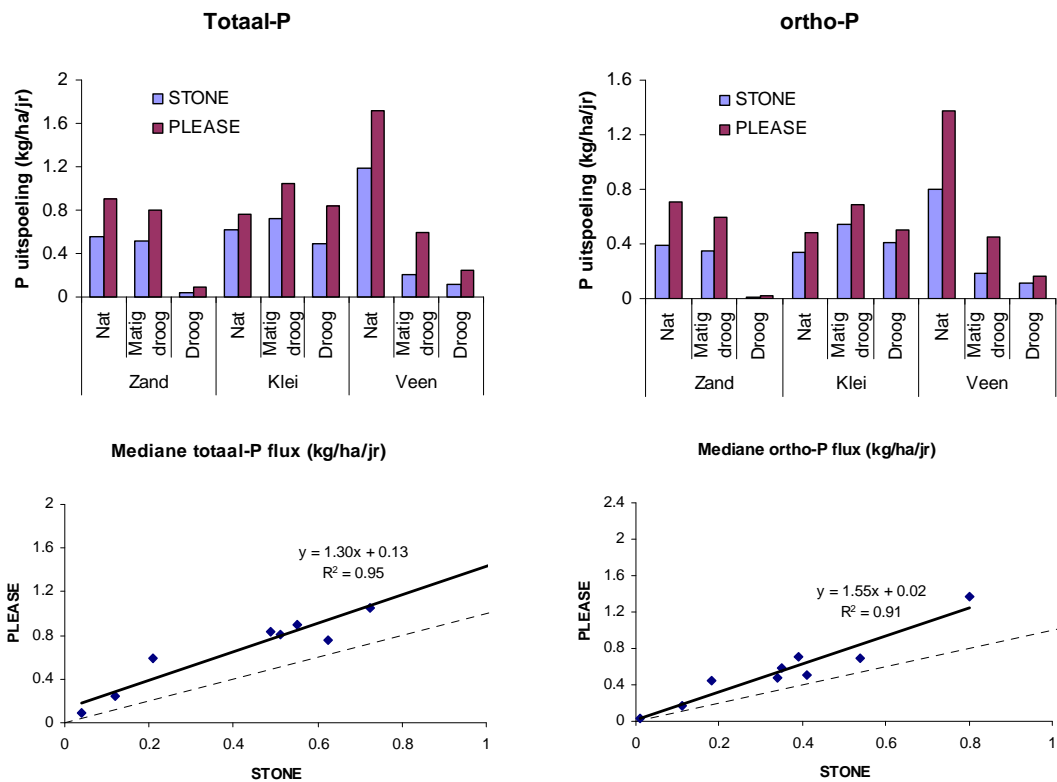
2 Resultaten

2.1 Fosfaatfluxen

De met STONE en PLEASE berekende mediane fosfaatfluxen zijn vergeleken voor de natte (Gt I, II, III, III*, IV, V en V*), matig droge (Gt VI) en droge (Gt VII en VII*) zand-, veen- en kleigronden. Bij alle gronden zijn de door PLEASE berekende mediane uitspoelingsfluxen, bij gebruik van dezelfde laagindeling, hoger dan de met STONE berekende fluxen (figuur 1). Bij de kleigronden zijn de verschillen het kleinst. Bij de natte en matig droge veen- en zandgronden simuleert PLEASE duidelijk hogere uitspoelingsverliezen dan STONE (figuur 1). Ondanks het niveauverschil is de correlatie tussen de door PLEASE en STONE berekende fluxen vrij hoog (0.95 voor totaal-P en 0.91 voor ortho-P; figuur 1).

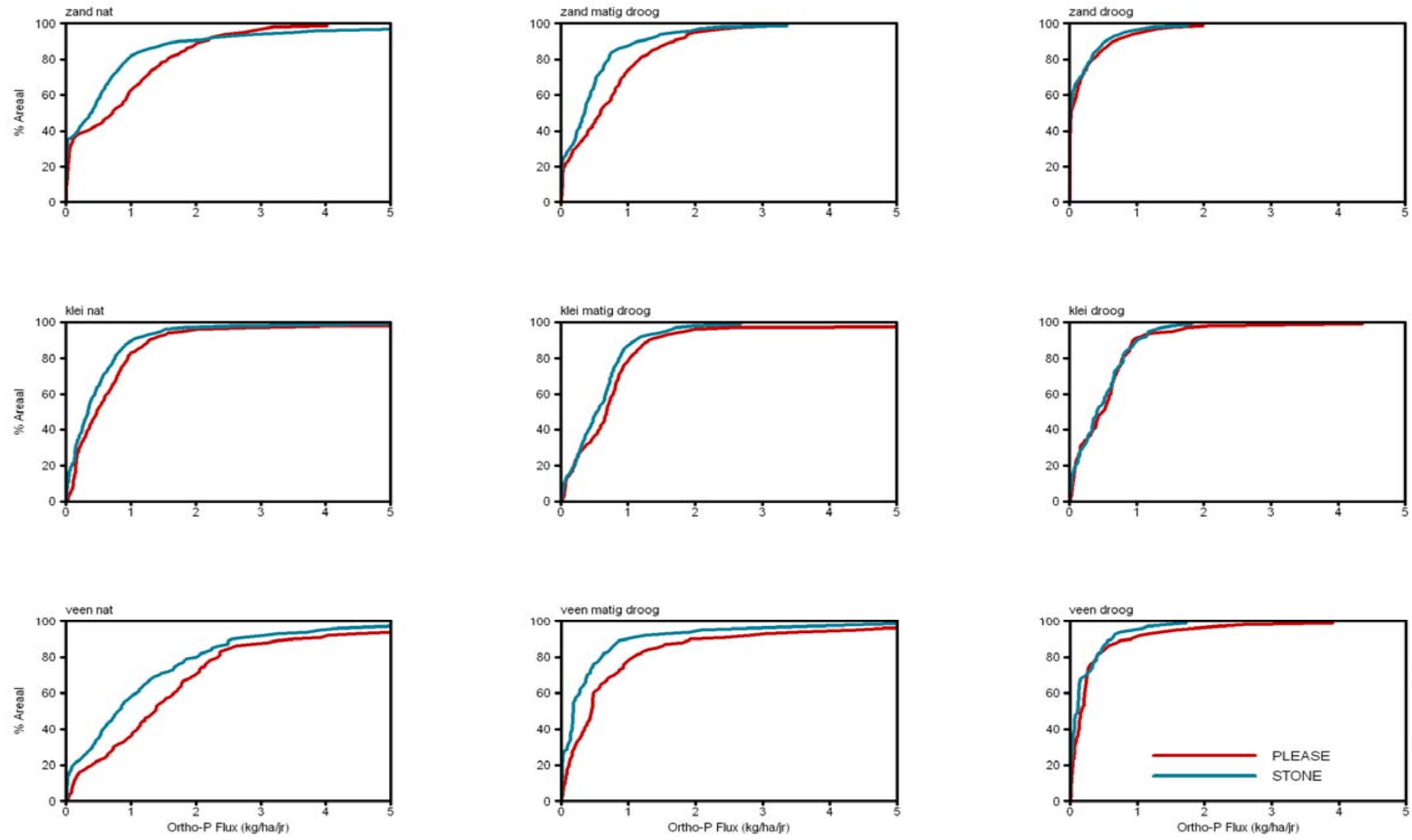
Figuur 1

Mediane met STONE en PLEASE gesimuleerde P-uitspoelingsfluxen naar het oppervlaktewater voor natte (Gt I, II, III, III*, IV, V, V*), matig droge (Gt VI) en droge (Gt VII en VII*) zand-, veen- en kleigronden



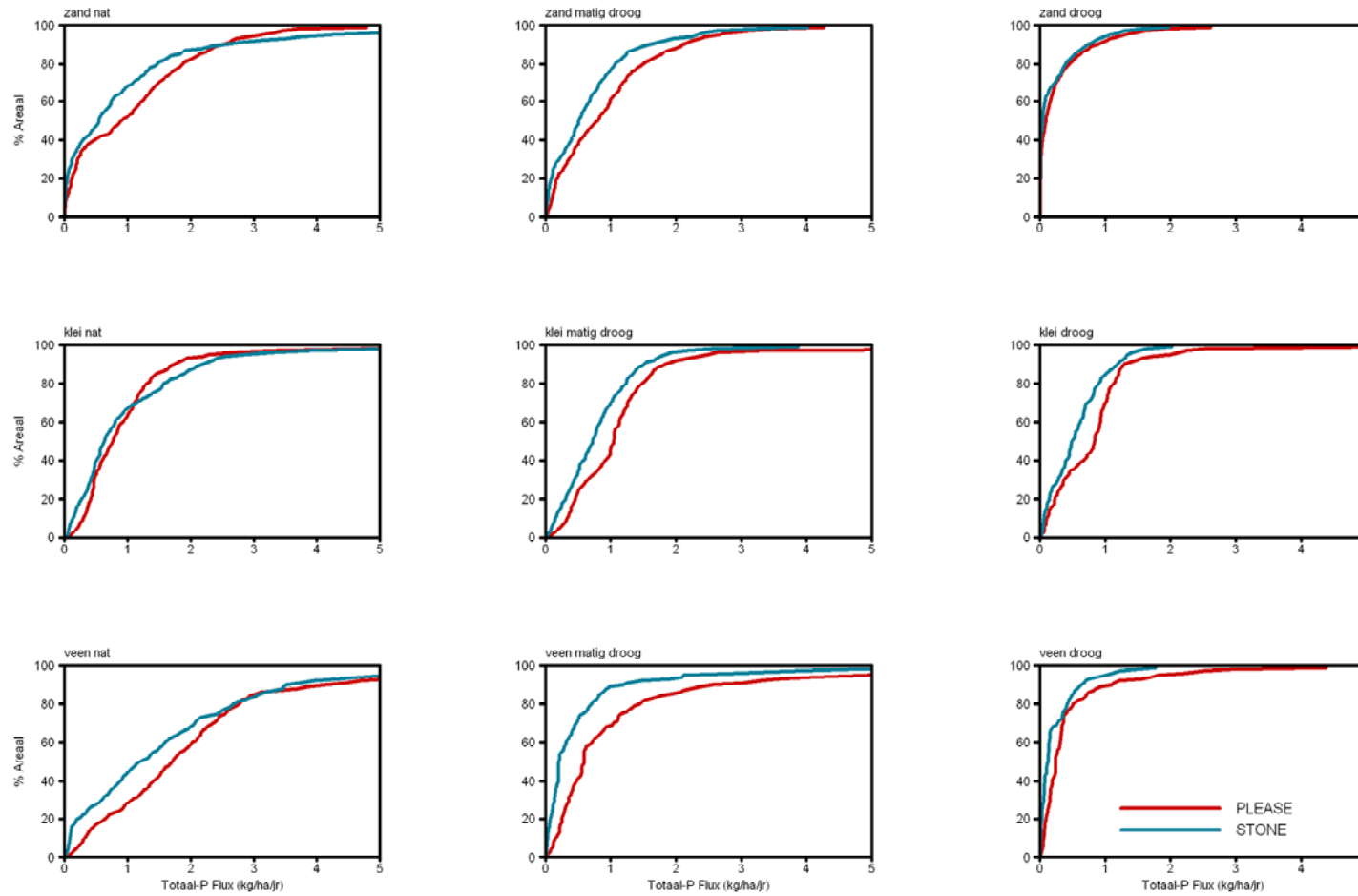
Figuur 2

Cumulative frequentieverdeling van door STONE en PLEASE berekende ortho-P fluxen naar het oppervlaktewater voor natte (Gt I, II, III en III'), matig droge (Gt IV, V, V', VI) en droge (Gt VII en VII') zand-veen- en kleigronden



Figuur 3

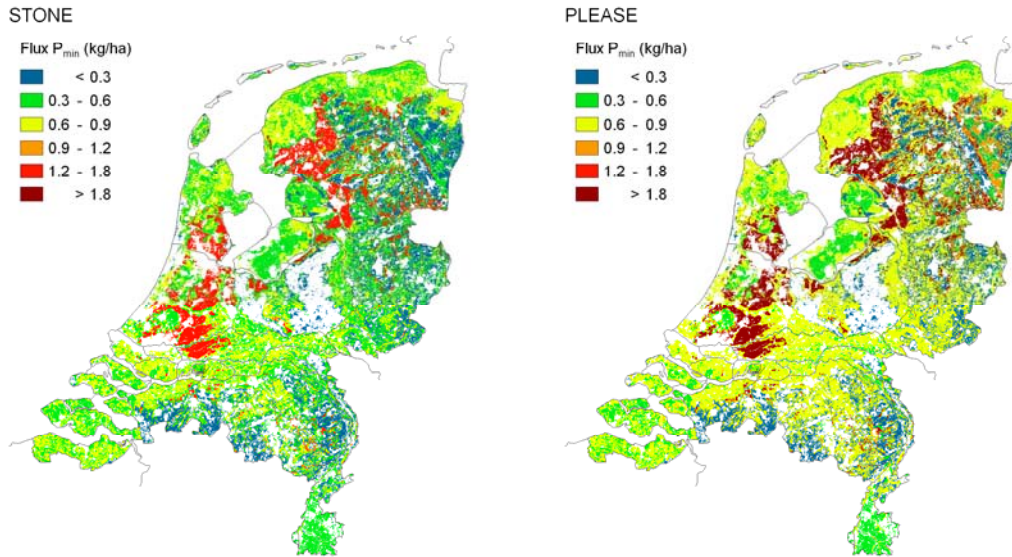
Cumulatieve frequentieverdeling van door STONE en PLEASE berekende totaal-P fluxen naar het oppervlaktewater voor natte (Gt I, II, III, III', IV, V, V'), matig droge (Gt VI) en droge (Gt VII en VII') zand-veen- en kleigronden



De cumulatieve frequentieverdelingen van de uitspoelingsfluxen van ortho-P (figuur 2) geven aan dat de verschillen in frequentieverdeling het grootst zijn voor de veengronden en het kleinst voor de kleigronden. De frequentieverdelingen van de uitspoelingsflux van totaal-P geeft een vrij vergelijkbaar beeld (figuur 3).

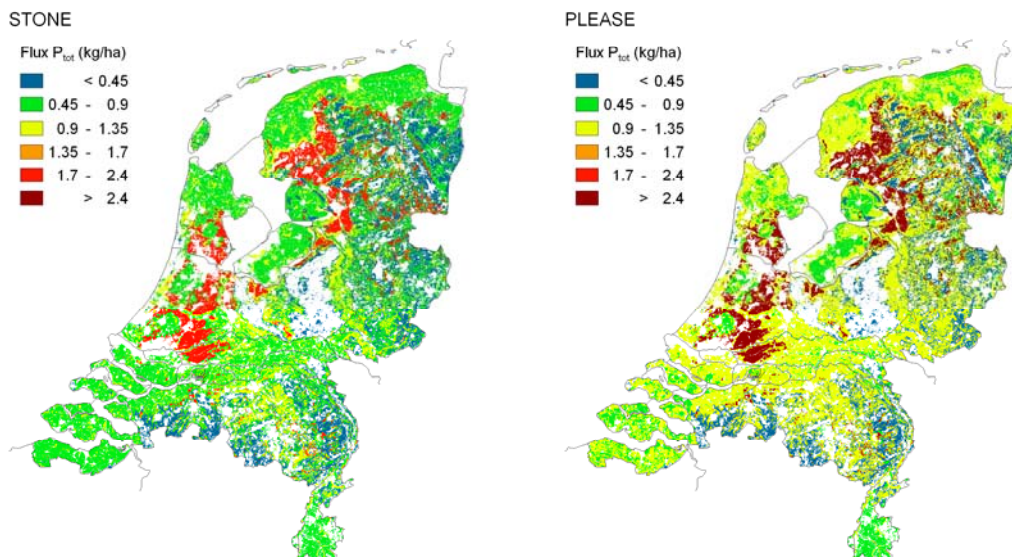
Figuur 4

Uitspoelingsflux van ortho-P (P_{min}) geaggregeerd naar Bodem-Gt clusters



Figuur 5

Uitspoelingsflux van Totaal P (P_{tot}) geaggregeerd naar Bodem-Gt clusters



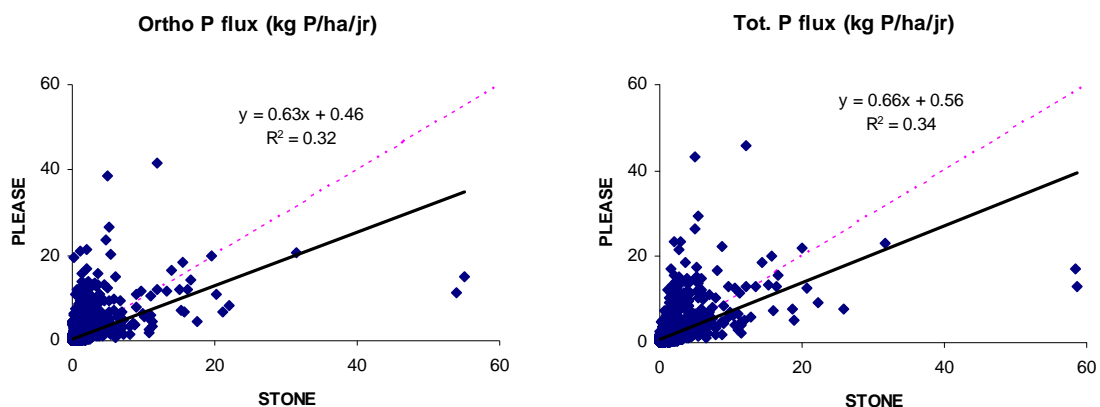
Kaartjes van de ortho-P en totaal-P uitspoelingsfluxen, geaggregeerd naar de bovengenoemde bodem-Gt groepen bevestigen dit beeld (figuur 4 en 5). In het algemeen lijkt PLEASE een wat hogere uitspoelingsflux te voorspellen dan STONE (zie ook figuur 1).

Uit de bovenstaande cijfers blijkt dat er op het niveau van Bodem-Gt clusters sprake is van hogere uitspoeling in PLEASE dan in STONE (gemiddeld een factor 1.3 voor totaal-P fluxen en 1.5 voor ortho-P fluxen, figuur 1) maar dat het patroon goed overeenstemt met dan van STONE.

Voor de individuele plots zijn de verschillen tussen de door PLEASE en STONE berekende fluxen een stuk groter en de correlatie tussen PLEASE en STONE is laag (figuur 6). Op 60% van de plots berekent PLEASE een ortho-P uitspoeling die meer dan 20% hoger is dan in STONE terwijl op 21% van de plots de berekende uitspoeling meer dan 20% lager is dan in STONE (Tabel 1). Op 50-60% van de locaties is de absolute afwijking in gesimuleerde fosfaatfluxen echter kleiner dan resp. 0.15 kg ortho-P ha⁻¹ jr⁻¹ en 0.22 kg totaal-P ha⁻¹ jr⁻¹. Deze afwijking is gelijk aan 50% van de gemiddelde uitspoelingsflux van fosfaat bij een neerslagoverschot van 300 mm en een normconcentratie van 0.10 mg/l ortho-P en 0.15 mg/l totaal-P.

Figuur 6

Door PLEASE berekende laterale P uitspoeling in vergelijking met de door STONE berekende P uitspoeling. De getrokken lijn geeft de relatie tussen STONE en PLEASE weer en de gestreepte lijn is de 1:1 lijn



Ondanks het grote aantal plots waarop PLEASE een hogere uitspoeling berekent dan STONE is de hellingshoek van de regressielijn lager dan 1. Dit wordt vooral veroorzaakt door het voorkomen van extreme waarden. Indien twee STONE plots met extreem hoge verliezen buiten beschouwing worden gelaten stijgt de correlatiecoëfficiënt naar circa 0.4 en neemt de hellingshoek van de regressielijn toe tot 0.86 voor de ortho-P flux en 0.90 voor de flux van totaal-P. De twee STONE plots met de zeer hoge fosfaatverliezen betreffen zeer natte maispercelen met een GHG van 8 cm. De STONE resultaten geven aan dat in deze profielen zeer hoge jaargemiddelde fosfaatconcentraties worden aangetroffen in de bodemlagen tussen 20 en 35 cm. Deze hoge waarden komen waarschijnlijk voort uit het onderwerken van mest in het vroege voorjaar, een situatie die in de praktijk waarschijnlijk niet voorkomt.

Tabel 1

Percentage van de plots waarop de fluxen berekend met PLEASE substantieel hoger of lager zijn dan de door STONE berekende fluxen

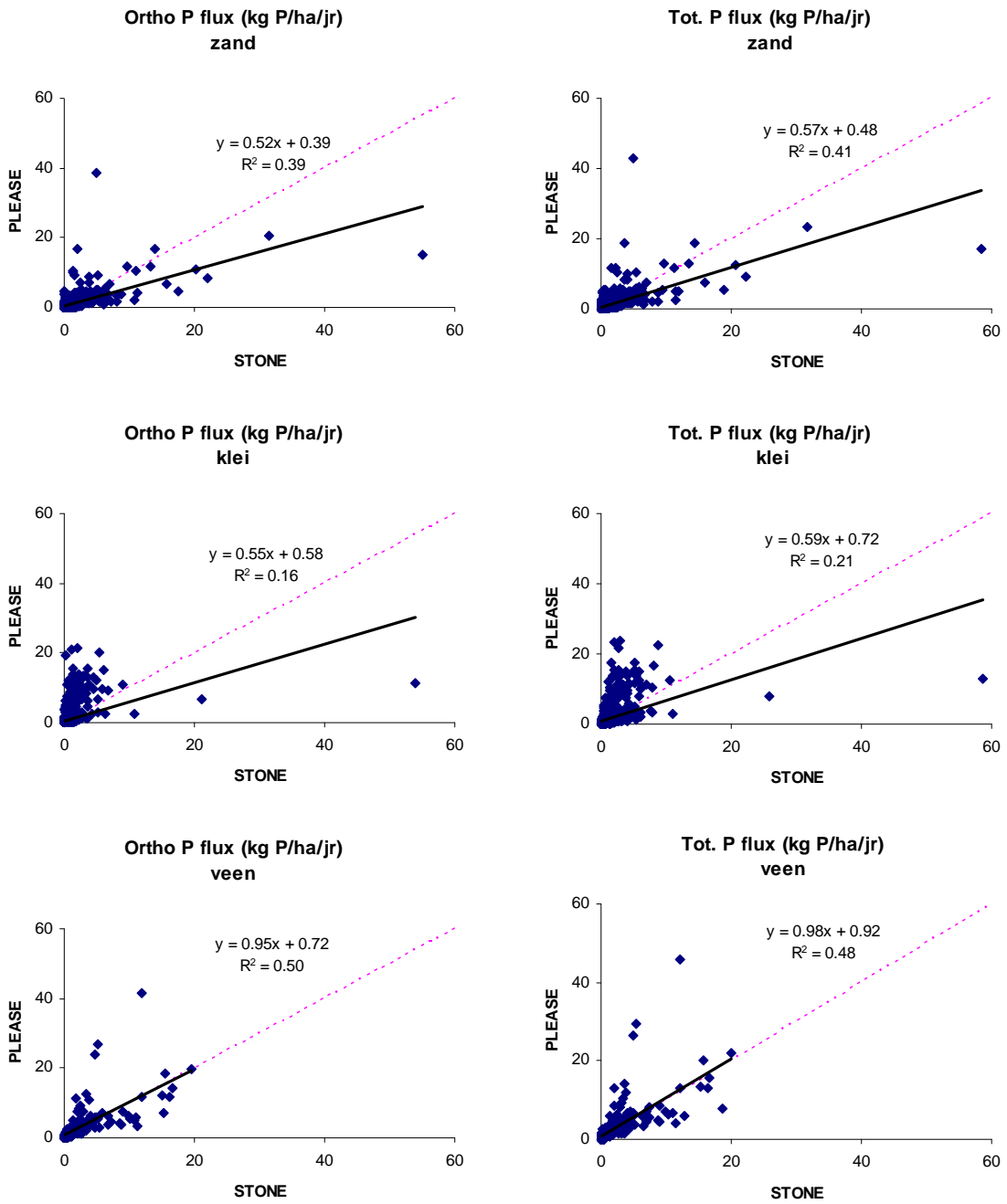
| Grondsoort | Relatieve afwijking (%) | | | | Absolute afwijking (kg P h a ⁻¹ yr ⁻¹) | | | |
|------------|-------------------------|-------|----------|-------|---|--------|----------|--------|
| | Ortho-P | | Totaal-P | | Ortho-P | | Totaal-P | |
| | < -20% | > 20% | < -20% | > 20% | <-0.15 | > 0.15 | <-0.22 | > 0.22 |
| Alle plots | 21% | 60% | 21% | 64% | 12% | 36% | 14% | 40% |
| Zand | 23% | 63% | 20% | 67% | 12% | 36% | 11% | 34% |
| Veen | 12% | 75% | 10% | 80% | 12% | 68% | 11% | 71% |
| Klei | 18% | 51% | 24% | 58% | 12% | 32% | 20% | 43% |

De correlatie tussen de door STONE en door PLEASE berekende P fluxen is het slechts voor de kleigronden en het minst slecht voor de veengronden (figuur 7). Voor de zandgronden is de correlatie tussen PLEASE en STONE iets beter dan voor alle STONE plots. Indien de natte maïs plot, met een door STONE berekende P uitspoeling van meer dan 50 kg P/ha/jr., buiten beschouwing wordt gelaten stijgt de correlatiecoëfficiënt voor de zandgronden naar 0.42 en neemt de hellingshoek van de regressielijn toe tot 0.7. Het percentage plots met hoge relatieve en absolute afwijkingen is het grootst voor de veengronden en het kleinst voor de kleigronden. Bij de veengronden is de door PLEASE voorspelde uitkomst meestal (70-80% van de plots) hoger dan de STONE berekening aangeven (tabel 1). Bij de kleigronden is het aantal plots waar de PLEASE berekeningen substantieel hoger zijn dan de STONE berekeningen het kleinst en varieert dit percentage tussen de 51 en 58% voor de relatieve afwijking en tussen de 32 en 43% voor plots met hoge absolute afwijkingen.

De verschillen in berekende uitspoelingsverliezen tussen PLEASE en STONE komen ook duidelijk tot uitdrukking in de kaart (Figuur 8). Opvallend zijn de hogere uitspoelingsverliezen in PLEASE ten opzichte van STONE op de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden en de Wieringermeer en de hogere verliezen in Brabant en de veenkoloniën.

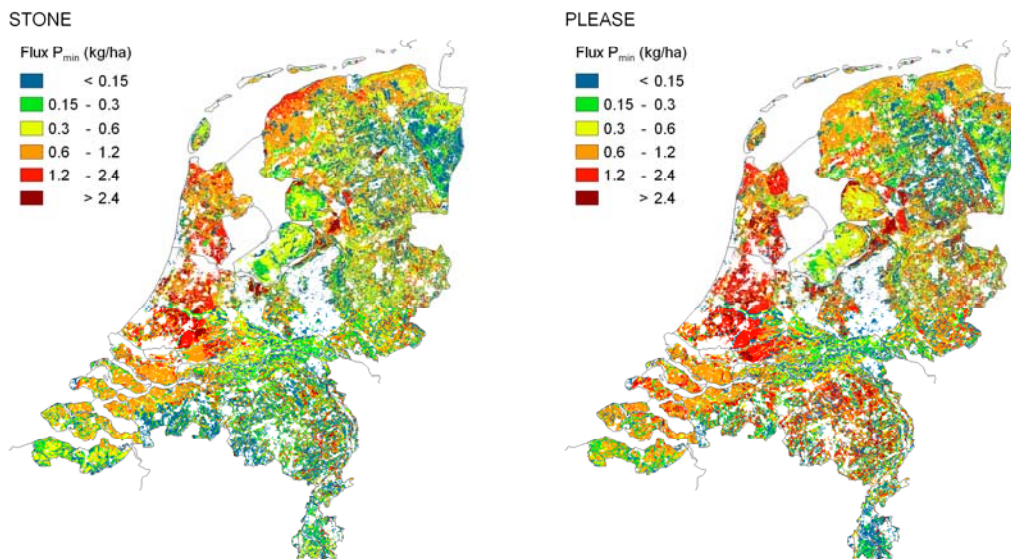
Figuur 7

Door PLEASE berekende laterale P uitspoeling in vergelijking met de door STONE berekende P uitspoeling voor zand, klei- en veengronden



Figuur 8

Uitspoelingsflux van ortho-P (P_{min}) gesimuleerd met STONE en PLEASE voor de verschillende STONE plots

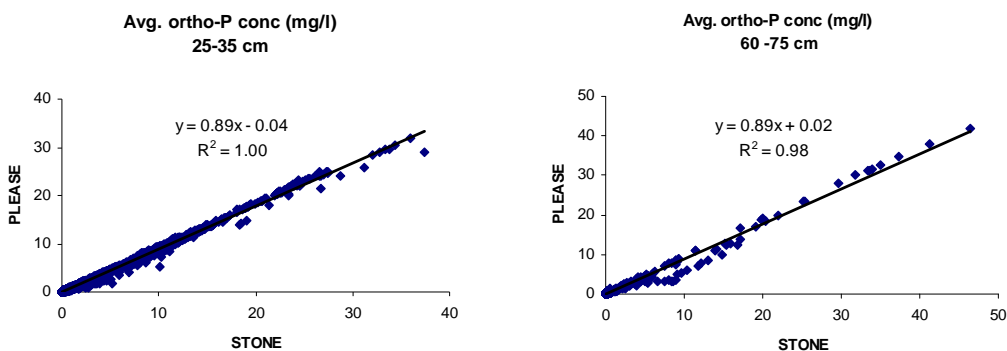


2.2 Concentraties

Om inzicht te krijgen in de oorzaak van verschillen tussen PLEASE en STONE zijn de door beide modellen berekende concentraties voor twee diepten in de boven- en ondergrond (20-35 cm en 60-75 cm) met elkaar vergeleken.

Figuur 9

Door STONE en PLEASE gesimuleerde ortho-P concentraties op een diepte van 25-35 cm en op een diepte van 60-75 cm



De met PLEASE gesimuleerde ortho-P concentraties blijken zowel in de bovengrond als in de ondiepe ondergrond zeer goed gecorreleerd te zijn met de door STONE berekende concentraties (figuur 9). De correlatiecoëfficiënten bedragen respectievelijk 1.00 voor de bovengrond en 0.98 voor de ondergrond. De grootste verschillen tussen de door PLEASE en STONE gesimuleerde concentraties treden op voor de matig natte veengronden. De door PLEASE berekende concentraties zijn wat lager (hellingshoek 0.89) dan de door STONE berekende concentraties. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat PLEASE de concentraties berekend op basis van gemiddelde waarden van het Pw-getal (geadsorbeerde hoeveelheden) over de periode 1985-2000. In deze periode is bij de meeste profielen sprake geweest van een accumulatie

van P, waardoor de geadsorbeerde hoeveelheden en concentraties zijn toegenomen. Omdat het sorptie proces sterk niet lineair is (Langmuir isotherm) zal bij een stijging van de geadsorbeerde hoeveelheid P over deze tijdsperiode, de gemiddelde concentratie hoger zijn dan de concentratie die berekend wordt uit de gemiddelde geadsorbeerde hoeveelheid.

2.3 Verloop van gesimuleerde concentraties en fluxen met de diepte

De door PLEASE berekende fluxen en fluxgewogen concentraties worden sterk bepaald door het verloop van berekende concentraties en laterale waterfluxen in het bodemprofiel. Om de geconstateerde verschillen in uitkomsten tussen PLEASE en STONE te doorgronden zijn de door beide modellen berekende verticale profielen van concentraties en fluxen met elkaar vergeleken. Omdat het vrijwel onmogelijk is om deze verschillen te analyseren aan de hand van alle afzonderlijke profielen zijn zij geclusterd naar bodem-Gt klassen. Binnen deze klassen is nog onderscheid gemaakt naar profielen met wegzijging en met kwel. Bij de vergelijking zijn in totaal 6345 STONE profielen met de bijbehorende PLEASE profielen vergeleken. Profielen in lössgronden zijn buiten beschouwing gelaten en een aantal profielen vielen af omdat hiervoor geen PLEASE berekening kon worden gemaakt (zeer droge gronden). Het aantal profielen per bodem-Gt klasse staat in Tabel 2.

2.3.1 Concentratieprofielen

De concentratieprofielen van ortho-P, voor de bodem-Gt combinaties die meer dan 1% van Nederland beslaan (Tabel 2), staan weergegeven in figuur 10 tot en met 12. Er zijn geen profielen voor totaal P geconstrueerd omdat de totaal-P concentraties worden bepaald op een basis van een ratio tussen ortho-P en totaal-P en dus in grote lijnen vergelijkbaar zijn. Doordat het concentratieverloop bepaald is door middeling van meerdere profielen kan het concentratieverloop soms grillig zijn, zeker in gevallen waar het aantal profielen gering is.

In de meeste situaties komen de met PLEASE berekende profielen in grote lijnen overeen met de door STONE berekende profielen (figuur 10 t/m 12). Er zijn echter ook een aantal opvallende verschillen:

- PLEASE berekent in vele gevallen wat lagere concentraties in de aller-bovenste bodemlagen
- De door PLEASE gesimuleerde concentraties oscilleren sterk in de ondergrond
- In de diepere bodemlagen (dieper dan 1.5 m -maaiveld) zijn de door PLEASE berekende concentraties vaak hoger dan in STONE. Uitzondering hierop vormen een aantal kwelprofielen waarin de concentraties in PLEASE juist te laag zijn in het bovenste deel van de ondergrond.

De lagere door PLEASE berekende concentraties in de bovenste lagen van de bovengrond worden waarschijnlijk vooral veroorzaakt door bemesting. In deze lagen zal ook de sterkste accumulatie van P hebben plaats gevonden over de periode 1985-2000. Beide effecten kunnen leiden tot een wat hogere concentratie ten opzichte van de concentraties die in PLEASE berekend wordt op basis van de gemiddelde geadsorbeerde hoeveelheden.

Tabel 2

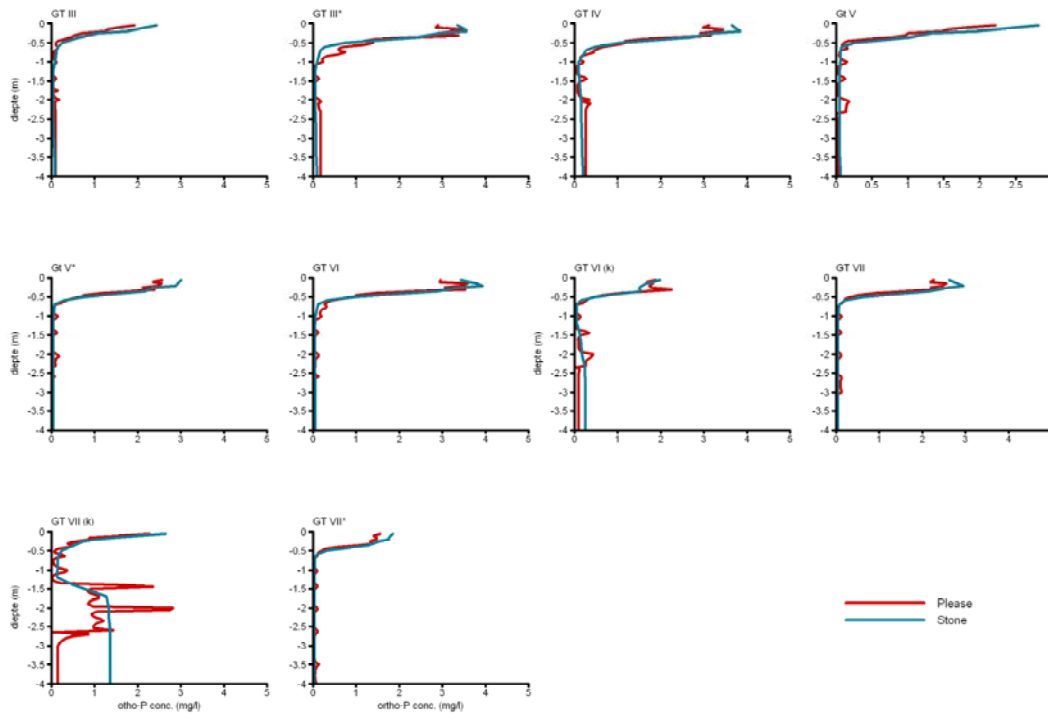
Aantal STONE/PLEASE profielen en het bijbehorende areaal (1000 ha) per Bodem-Gt klasse en verdeeld over profielen met kwel resp. wegzijging. De combinaties die meer dan 1% van het oppervlak van Nederland omvatten zijn in vette cijfers aangegeven.

| Gt klasse | Hydrologie | Klei | | Veen | | Zand | |
|-----------|------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | | aantal plots | areaal | aantal plots | areaal | aantal plots | areaal |
| I | kwel | 2 | 0.7 | 28 | 32.2 | 1 | 0.3 |
| | wegzijging | 3 | 1.3 | 42 | 21.8 | 6 | 2.1 |
| II | kwel | 39 | 12.5 | 66 | 44.4 | 10 | 3.0 |
| | wegzijging | 19 | 10.1 | 177 | 93.0 | 49 | 16.8 |
| II* | kwel | 3 | 1.5 | | | 10 | 2.4 |
| | wegzijging | 15 | 5.7 | 13 | 4.0 | 34 | 10.9 |
| III | kwel | 35 | 14.7 | 3 | 1.6 | 6 | 1.3 |
| | wegzijging | 91 | 43.7 | 105 | 39.2 | 141 | 60.0 |
| III* | kwel | 12 | 2.9 | 1 | 0.4 | 8 | 2.4 |
| | wegzijging | 47 | 16.9 | 29 | 11.1 | 176 | 56.9 |
| IV | kwel | 37 | 11.0 | 1 | 0.2 | 60 | 0.2 |
| | wegzijging | 92 | 39.6 | 40 | 13.1 | 205 | 74.9 |
| V | kwel | 20 | 7.2 | | | 1 | 0.2 |
| | wegzijging | 148 | 59.0 | 14 | 4.4 | 44 | 15.5 |
| V* | kwel | 3 | 1.0 | | | 3 | 0.5 |
| | wegzijging | 135 | 37.9 | 23 | 6.4 | 266 | 93.0 |
| VI | kwel | 168 | 81.2 | 1 | 0.2 | 19 | 6.5 |
| | wegzijging | 681 | 352.2 | 54 | 16.4 | 965 | 358.0 |
| VII | kwel | 98 | 39.1 | | | 12 | 3.5 |
| | wegzijging | 478 | 250.2 | 23 | 0.1 | 750 | 318.7 |
| VII* | kwel | | | | | 1 | 0.8 |
| | wegzijging | 79 | 21.5 | 16 | 4.2 | 737 | 388.9 |

De verschillen tussen PLEASE en STONE in de ondergrond komen voort uit twee belangrijke aannamen in PLEASE. In PLEASE wordt aangenomen dat de fosfaattoestand exponentieel daalt met de diepte. Op basis van de geadsorbeerde hoeveelheid aan de bovenzijde van een bodemlaag en de gemiddelde Pw van deze bodemlaag wordt de waarde van deze exponent bepaald. Deze benadering werkt goed voor het beschrijven van het globale P verloop van een gemiddeld profiel (P additie aan het maaiveld en uitspoeling van P naar diepere bodemlagen). Bij dunne lagen en grote variaties in Pw kan deze benadering echter leiden tot zeer hoge/lage waarden van de exponent, waar door oscillatie van de concentraties optreedt. Door keuze voor een andere aanname (bv. lineair in plaats van exponentieel) in combinatie met een beveiliging tegen oscillatie kan dit probleem voorkomen worden. Verder is in PLEASE aangenomen dat op een diepte van 1 meter onder de GLG een concentratie heerst die gelijk is aan de kwelconcentratie in het betreffende gebied. Bij wegzijgingsprofielen zal de concentratie op 1 meter minus GLG vaak lager zijn dan de kwelconcentratie terwijl in profielen met kwel de kweldruk soms zo hoog is dat kwel al ondieper in het profiel de concentraties bepaalt.

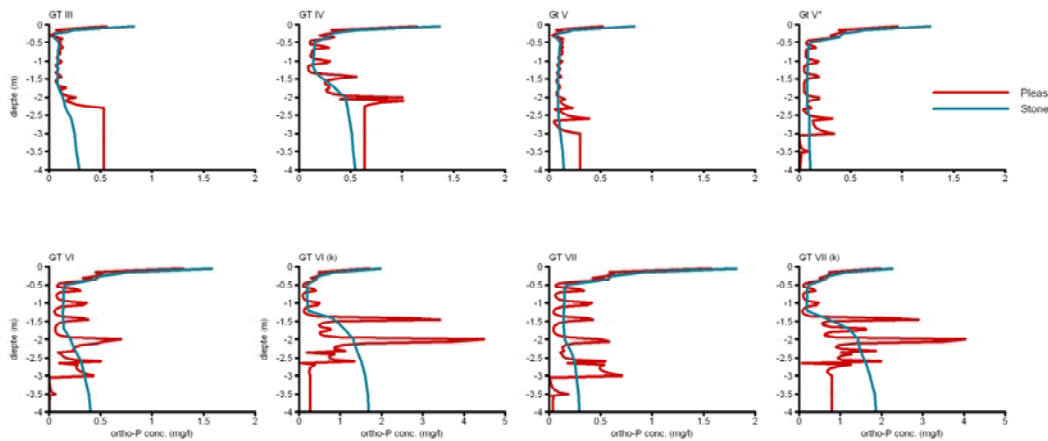
Figuur 10

Verloop van de gemiddelde gesimuleerde concentraties met STONE en PLEASE voor zandgronden met wegzijging en kwel (k)



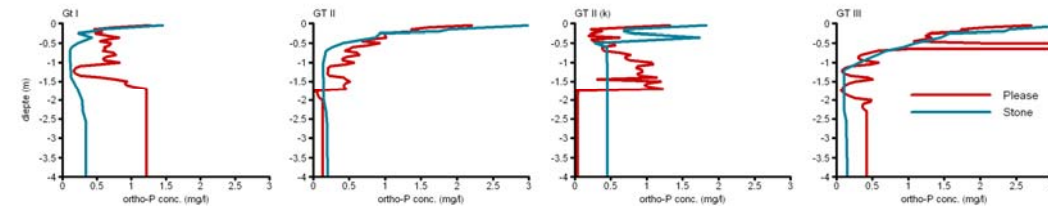
Figuur 11

Verloop van de gemiddelde gesimuleerde concentraties met STONE en PLEASE voor kleigronden met wegzijging en kwel (k)



Figuur 12

Verloop van de gemiddelde gesimuleerde concentraties met STONE en PLEASE voor veengronden met wegzijging en kwel (k)



2.3.2 Profielen van laterale waterafvoer en fosfaatafvoer

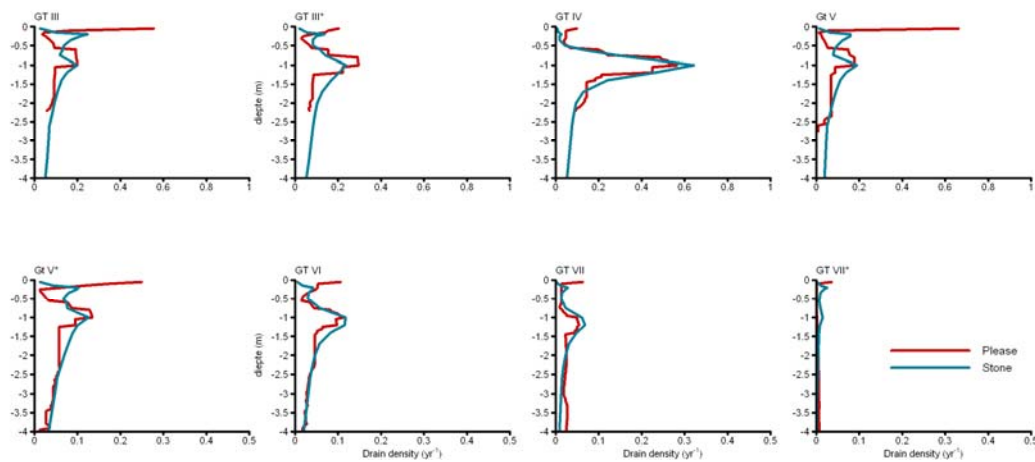
De afvoer van fosfaat wordt bepaald door de combinatie van concentraties en waterfluxen. Omdat de fosfaatconcentraties over het algemeen sterk afnemen met de diepte is een juiste inschatting van de verticale verdeling van de waterfluxen essentieel voor een juiste schatting van de uitspoelingsverliezen.

Profielen van de laterale waterafvoer

De profielen van de laterale waterafvoer (drainage) staan weergegeven in figuur 13 tot en met 15. Bij de drainageprofielen is geen onderscheid gemaakt in profielen met kwel en wegzijging omdat de verschillen in drainageprofielen gering waren.

Figuur 13

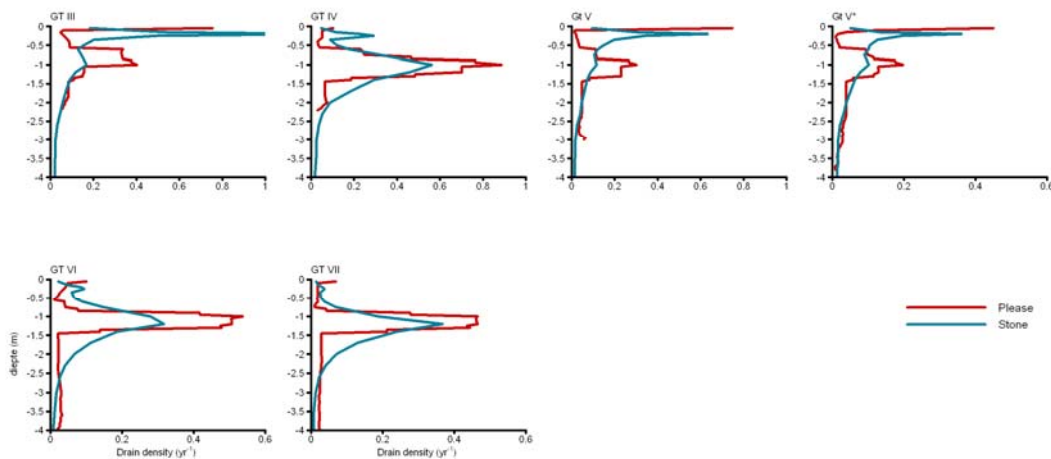
Profiel van de met STONE en PLEASE gesimuleerde drainagedichtheid (yr^{-1}) voor zandgronden



Voor de zand- en kleigronden vertoont de met PLEASE gesimuleerde omvang en het verloop van de laterale drainagefluxen met de diepte veel overeenkomsten met de resultaten van STONE (figuur 13 en 14). Bij beide modellen wordt de afvoer gekarakteriseerd door een (1^e) afvoerpiek in/door de bouwvoor en door een tweede (vaak hogere) piek in de laag tussen GHG en GLG. Bij de nattere gronden (Gt III* en natter) berekent PLEASE vaak een wat ondiepere ligging van deze tweede piek. De afvoerpiek in de bouwvoor ligt volgens de STONE berekeningen duidelijk dieper dan volgens PLEASE en is vooral bij de kleigronden een stuk hoger.

Figuur 14

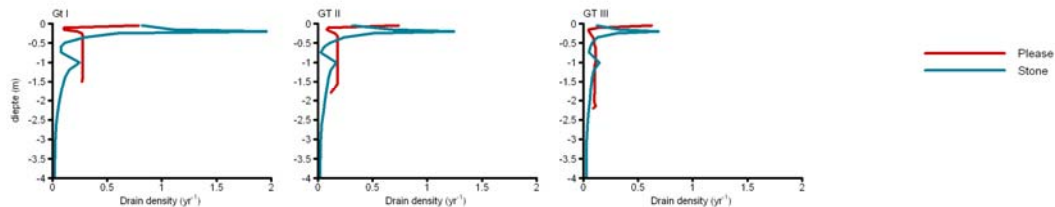
Profiel van de met STONE en PLEASE gesimuleerde drainagedichtheid (yr^{-1}) voor kleigronden



Bij de veengronden zijn de verschillen tussen de resultaten van STONE en PLEASE wat groter. Ook hier zien wij bij STONE een geprononceerde afvoerpiek in het bovenste deel van de bodem. Deze piek is groter en ligt wat dieper in de bouwvoor dan door PLEASE wordt berekend. De afvoerpiek in de ondergrond is bij STONE duidelijk scherper dan door PLEASE wordt berekend. PLEASE berekend voor de veengronden een meer geleidelijk verloop van de laterale afvoer met de diepte.

Figuur 15

Profiel van de met STONE en PLEASE gesimuleerde drainagedichtheid (yr^{-1}) voor veengronden



De grote verschillen in berekende afvoer in de bovengrond door runoff en/of interflow geven aan dat aanpassing van PLEASE op dit punt mogelijk gewenst is. De uitkomsten van STONE zijn echter op dit punt ook onzeker omdat voldoende meetgegevens om de omvang van processen als runoff en interflow te valideren ontbreken. In de DOVE projecten werden gedurende enkele jaren de afvoerfluxen van perceel naar oppervlaktewater in de melkveehouderij gekwantificeerd door metingen op drie locaties. Uit deze studies kwam naar voren dat de verliezen van fosfaat via runoff en interflow veel hoger kunnen zijn dan tot nu toe werd verwacht (van de Weerd and Torenbeek, 2007). De onzekerheid in de omvang van deze fluxen is echter nog zeer groot door dat deze processen slecht te meten zijn en met name het runoff proces zeer heterogeen verloopt (Van Beek et al., 2009).

Profielen van de laterale P fluxen

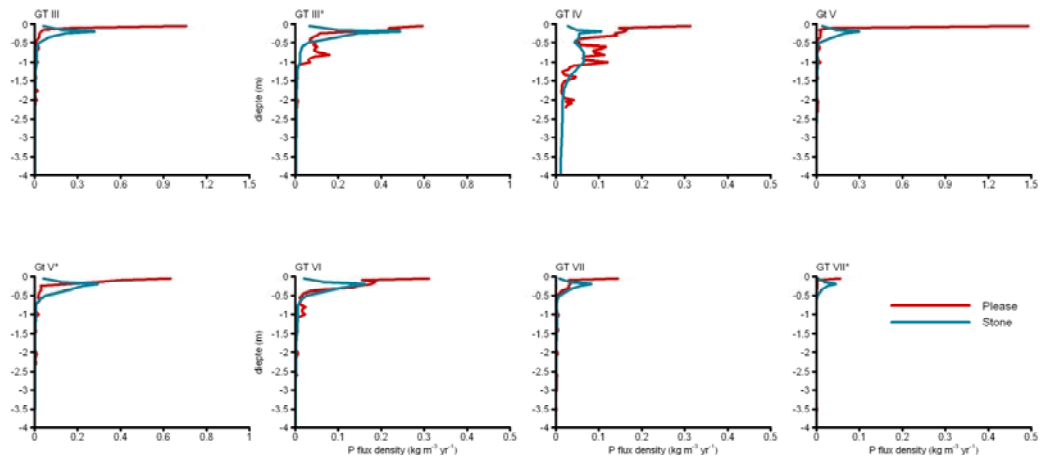
De afwijkingen tussen PLEASE en STONE in het gesimuleerde verloop in concentraties en laterale fluxen met de diepte kunnen zeer verschillende uitwerken op de omvang van de laterale fosfaatfluxen. Afwijkingen kunnen verdwijnen of juist versterkt worden afhankelijk van het feit of zij een zelfde of tegengestelde richting hebben. Een overzicht van de uitspoelingsfluxen van ortho-P als functie van de diepte staat in figuren 16 t/m 18.

De belangrijkste verschillen tussen STONE en PLEASE komen voort uit verschillen in modellering van de P afvoerfluxen in de bovengrond. Volgens STONE wordt de meeste P afgevoerd door de laag aan de onderzijde van de bouwvoor terwijl volgens PLEASE de grootste afvoer wordt gevonden op of vlak onder het maaiveld. Bij verscheidene bodem-Gt combinaties is de schatting van de totale omvang van deze 'oppervlakkige' component echter vrij vergelijkbaar. Uitzondering vormen de matig droge en drogere Gt's op de zand- en veengronden (figuur 16 en 18) waar PLEASE een hogere oppervlakkige afvoer berekend en de natte Gt's op de kleigronden (figuur 17) waar juist STONE een veel hogere oppervlakkige afvoer voorspelt.

Een tweede aanzienlijk verschil treedt soms op bij de afvoer uit de diepere bodemlagen (> 50 cm). Bij een aantal bodem-Gt combinaties wordt door PLEASE een veel hogere uitspoeling berekend dan door STONE. De oorzaak hiervan is vooral gelegen in de veel hogere (kwel)concentraties in deze lagen. Dit kan komen doordat geen rekening gehouden wordt met ligging van de diepte van het kwelvlak (zie concentratieprofielen) in PLEASE of door het voorkomen van profielen waarbij het fosfaatgehalte niet afneemt met de diepte. In dat laatste geval treden er oscillaties op in de door PLEASE berekende concentraties, waardoor in sommige lagen irreëel lage of hoge uitspoelingsfluxen worden berekend. Door keuze voor een andere aanname voor interpolatie (bv. lineair in plaats van exponentieel) in combinatie met een beveiliging tegen oscillatie kan dit probleem voorkomen worden.

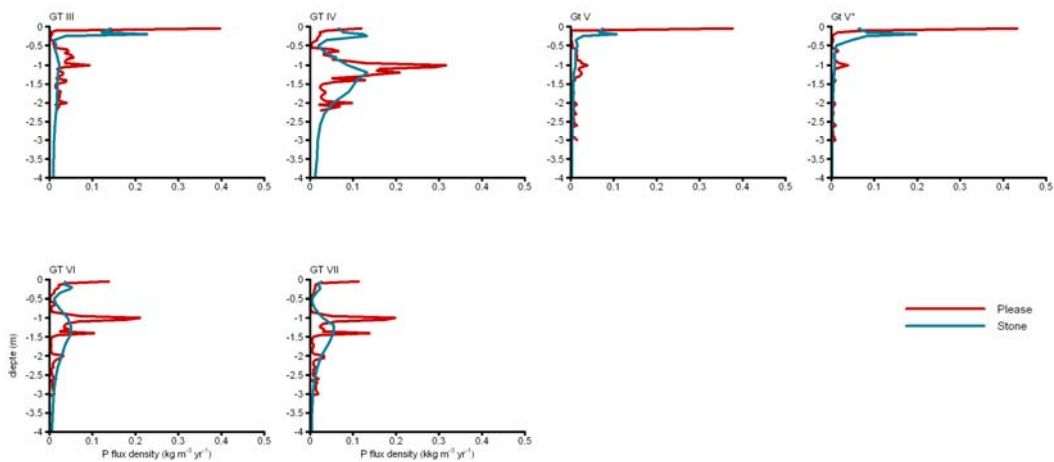
Figuur 16

Profiel van de met STONE en PLEASE gesimuleerde fluxen van ortho-P ($\text{kg m}^{-3} \text{jr}^{-1}$) naar het oppervlaktewater op zandgronden



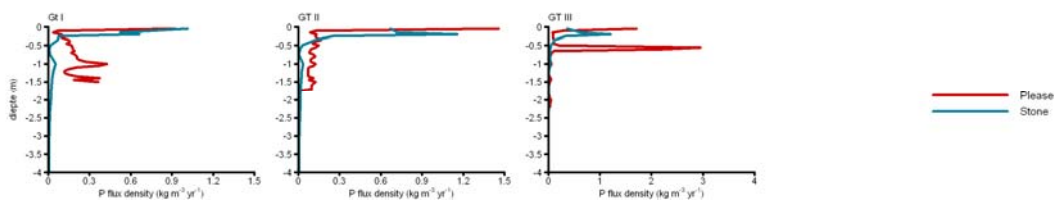
Figuur 17

Profiel van de met STONE en PLEASE gesimuleerde fluxen van ortho-P ($\text{kg m}^{-3} \text{jr}^{-1}$) naar het oppervlaktewater op kleigronden



Figuur 18

Profiel van de met STONE en PLEASE gesimuleerde fluxen van ortho-P ($\text{kg m}^{-3} \text{jr}^{-1}$) naar het oppervlaktewater op kleigronden



2.4 Effect verticale schematisatie

Voor de hierboven gepresenteerde vergelijking is uitgegaan van de laagindeling zoals die door STONE wordt gehanteerd. PLEASE is echter ontworpen om met minimale bodemkundige informatie de uitspoeling van

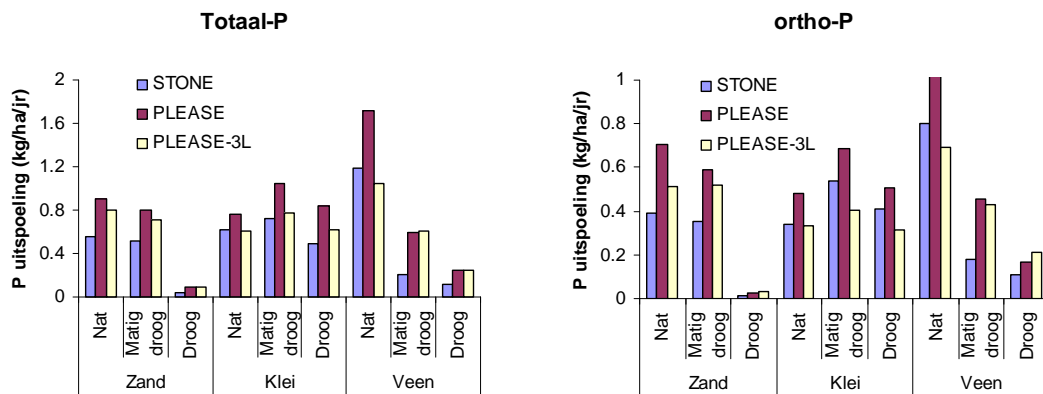
fosfaat te voorspellen. In de modelbeschrijving van PLEASURE (Schoumans et al., 2008) wordt voorgesteld om drie lagen te gebruiken namelijk de bouwvoor (0-20 cm), transitie laag (20-50 cm) en de ondergrond (> 50 cm).

Gesimuleerde fluxen

Het gebruik van drie modellen leidt (met uitzondering van de droge zand- en veengronden) tot lagere mediane uitspoelingsfluxen dan het gebruik van de laagindeling van STONE (figuur 19). De mediane uitspoelingsfluxen liggen hierdoor dicht bij de door STONE berekende uitspoelingsfluxen. Ondanks deze verbetering zijn de kaarten van de (mediane) uitspoelingsfluxen per bodem-Gt cluster niet veel beter dan bij het gebruik van de laagindeling van STONE (figuur 20, voorbeeld voor ortho-P). Op de nattere gronden (zie bv. veengronden en rivierkleigronden) zijn de met PLEASURE gesimuleerde fluxen duidelijk lager en liggen zij dicht bij de door STONE gesimuleerde fluxen. In het zuidelijk en oostelijk zandgebieden zien we echter nauwelijks een verbetering. De correlatie tussen de STONE en de PLEASURE kaarten is iets lager (0.83 voor ortho-P en 0.86 voor totaal-P) dan wanneer de STONE indeling in bodemlagen wordt gebruikt (0.96 resp. 0.93).

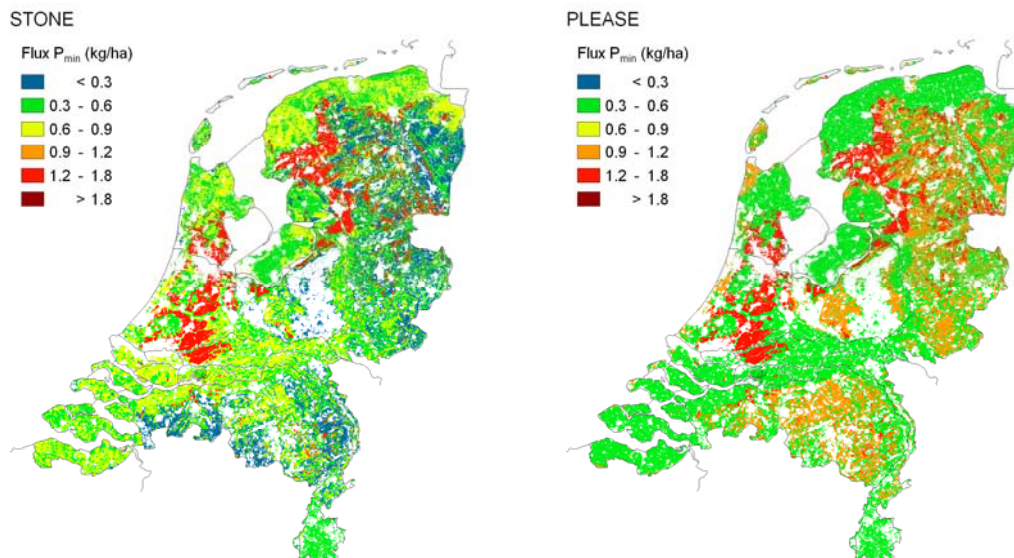
Figuur 19

Mediane met STONE, PLEASURE en met de 3 laag versie van PLEASURE (PLEASURE-3L) gesimuleerde P uitspoelingsfluxen naar het oppervlaktewater voor natte (Gt I, II, III, III', IV, V, V'), matig droge (Gt VI) en droge (Gt VII en VII') zand-veen- en kleigronden



Figuur 20

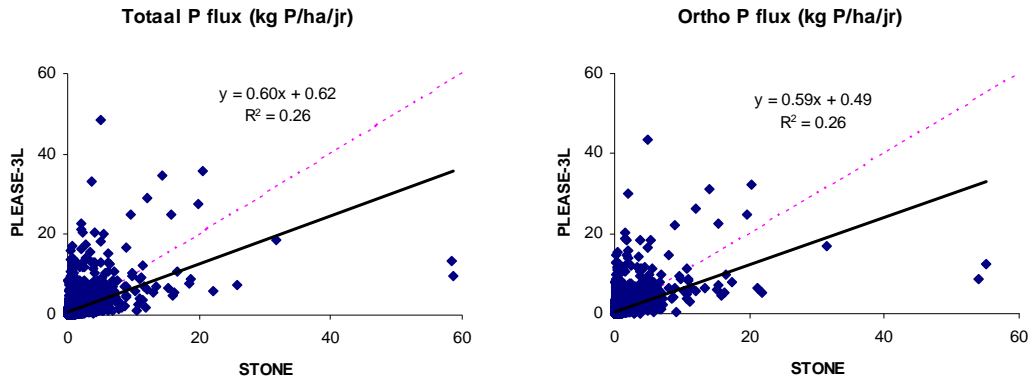
Uitspoelingsfluxen van ortho-P (P_{min}) gesimuleerd met STONE en PLEASURE (3 lagen) voor de verschillende bodem-Gt combinaties.



De wat slechtere overeenkomst tussen PLEASE en STONE blijkt ook uit de vergelijking van de fosfaatfluxen op plot niveau (figuur 21). De R^2 van de relatie tussen STONE en PLEASE is 0.26 en de hellingshoek van de STONE-PLEASE relatie is 0.6. Zowel de R^2 als de hellingshoek zijn iets lager dan bij gebruik van de originele STONE schematisatie (zie figuur 6).

Figuur 20

Door PLEASE (3 lagen) berekende laterale uitspoelingsflux in vergelijking met de door STONE berekende P uitspoeling. De getrokken lijn geeft de relatie tussen STONE en PLEASE weer en de gestreepte lijn is de 1:1 lijn

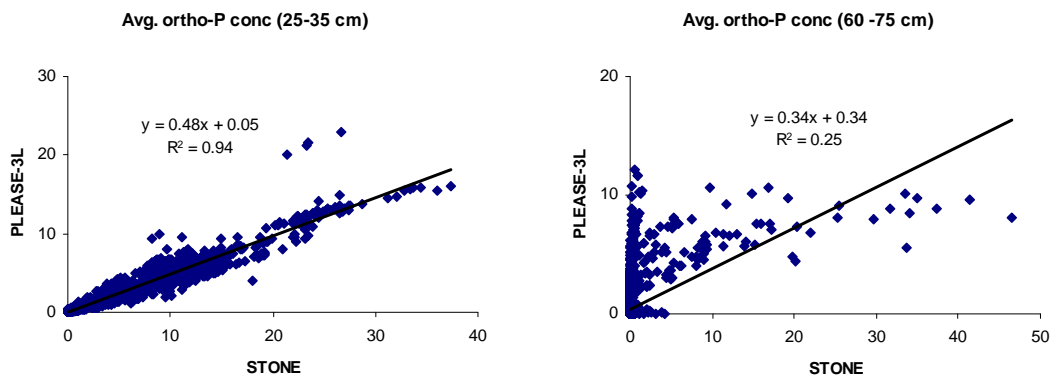


Gesimuleerde concentraties

De lagere gesimuleerde fosfaatfluxen en de wat minder goede correlatie van de drielaags versie van PLEASE met STONE wordt veroorzaakt door afwijkingen in de met de drielaags versie gesimuleerde concentraties. De hydrologische fluxen voor beide schematisatie zijn identiek, omdat PLEASE geen gebruik maakt van hydrologische informatie van de STONE lagen. Bij gebruik van de STONE schematisatie kwamen de met PLEASE gesimuleerde ortho-P concentraties in boven- en ondergrond zeer goed overeen met de door STONE gesimuleerde waarden. Bij de drielaags versie is de correlatie tussen de PLEASE en STONE concentraties nog steeds hoog maar is er sprake van systematisch lagere concentraties dan in STONE (figuur 22). Blijkbaar geeft de aangenomen exponentiële afname aanleiding tot lagere concentraties dan in de STONE profielen voorkomen. In de ondergrond (60-75 cm) is de correlatie tussen de drielaags versie van PLEASE en STONE zeer matig. Lage STONE concentraties (< 2 mg/l) worden vaak overschat, terwijl hoge STONE concentraties worden onderschat.

Figuur 21

Door STONE en PLEASE (3 lagen) gesimuleerde ortho-P concentraties op een diepte van 25-35 cm en op een diepte van 60-75 cm

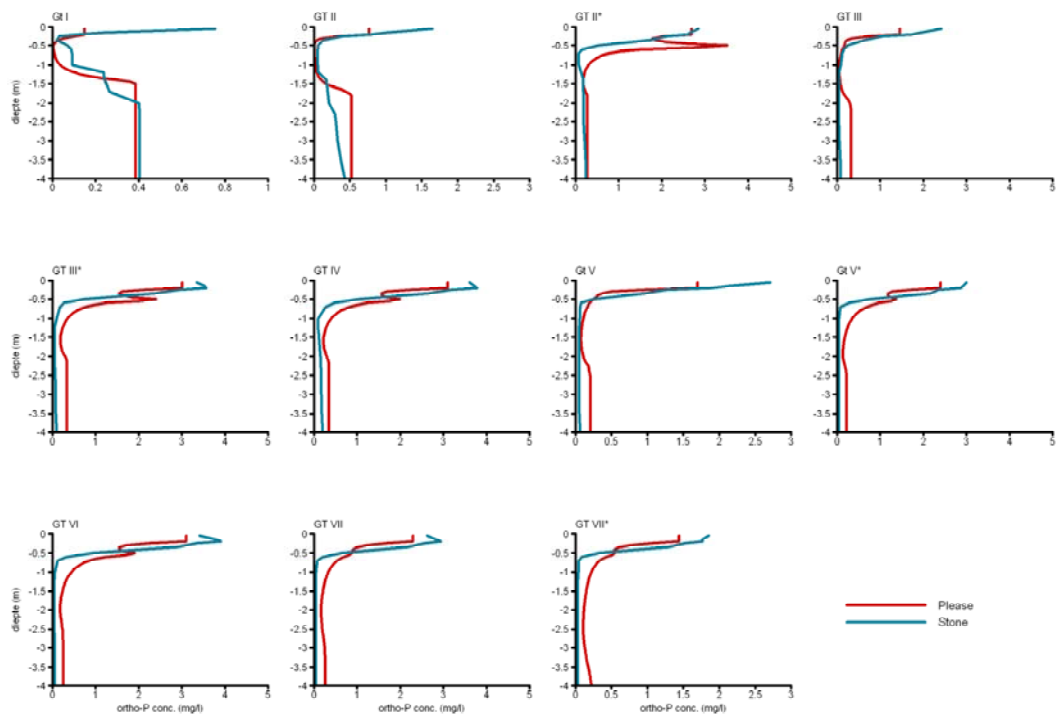


Ondanks de matige correlatie die gevonden wordt voor de individuele plots lijken de gesimuleerde gemiddelde concentratieprofielen voor de verschillende Gt klassen vrij sterk op die van STONE. Als voorbeeld zijn

hieronder de diagrammen voor zandgronden met wegzijging weergegeven (figuur 23). Het aantal plots dat voor deze vergelijking is gebruikt wijkt iets af van de versie die gebruik maakt van de STONE schematisatie omdat een aantal profielen met de STONE schematisatie niet gedraaid konden worden wegens te sterke fluctuaties in P gehalten in de ondergrond. Doordat iets meer plots zijn gebruikt zijn de gemiddelden concentraties van de STONE lijnen iets anders dan bij de meer lagen versie. Als we de diagrammen vergelijken met de diagrammen voor de PLEASE versie die gebruik maakt van de STONE schematisatie (figuur 10) dan valt op dat in de bovengrond de met PLEASE gesimuleerde concentraties iets minder goed de STONE lijn volgen dan bij gebruik van de versie met meer lagen. In de ondiepe ondergrond (0.5- 1 m) zijn bij de drielaags versie de gemiddelde PLEASE concentraties vaak wat hoger dan in STONE. De sterke oscillaties in de P concentraties die voorkwamen bij de PLEASE versie die gebruik maakt van de STONE schematisatie blijven echter uit.

Figuur 22

Verloop van de gemiddelde gesimuleerde concentraties met STONE en PLEASE (3 lagen) voor zandgronden met wegzijging



3 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Op het niveau van bodem-Gt clusters is er een redelijke overeenkomst tussen de door STONE en PLEASE voorspelde fosfaatfluxen naar het oppervlaktewater (R2 van 0.95 voor totaal-P en 0.91 voor ortho-P). Bij het gebruik van een grovere verticale schematisatie (3 lagen) wordt de overeenkomst iets slechter (R2 van 0.83 voor ortho-P en 0.86 voor totaal-P). Op het niveau van individuele plots is de overeenkomst een stuk slechter. De belangrijkste oorzaken van de verschillen op plot niveau liggen in de berekening van het concentratieprofiel en de inschatting van de oppervlakkige waterafvoer. Afwijkingen in het concentratieprofiel ontstaan vooral door:

- het niet meenemen van de diepteligging van het kwelvlak in PLEASE waardoor bij kwelprofielen de concentraties tussen GHG en GLG lager zijn dan in STONE en bij wegzijgingsprofielen hoger zijn dan in STONE
- de aanname van een exponentieel verloop van de concentraties in de diepere lagen kan tot oscillaties in de gesimuleerde concentraties leiden. Dit verschijnsel treedt het sterkst op bij het gebruik van veel lagen. Bij het gebruik van drie lagen treden vooral bij een atypisch fosfaatprofiel (meer fosfaat in de tweede dan in de eerste bodemlaag) pieken op in het concentratieverloop aan de onderzijde van de tweede laag.
- Het exponentiële verloop van de concentraties leidt bij gebruik van drie bodemlagen tot een te sterkere afname van P in de lagen net onder de bouwvoor (25-35 cm) in vergelijking met het door STONE gesimuleerde verloop in P concentraties.

Daarnaast zijn de door PLEASE berekende concentraties in de bouwvoor over het algemeen lager dan in STONE. Deze afwijking komt echter voort uit de wijze van vergelijking, waarbij de gemiddelde P_w -getallen/geadsorbeerde hoeveelheden gebruikt worden om gemiddelde P fluxen te voorspellen. In de vergelijkingsperiode (1985-2000) was sprake van een oplading van de bodem met fosfaat. Door de niet lineaire relatie tussen concentraties en geadsorbeerde hoeveelheden zal bij het gebruik van gemiddelde geadsorbeerde hoeveelheden de concentratie worden onderschat. Bij het gebruik van PLEASE in de praktijk speelt dit probleem een ondergeschikte rol omdat uitgegaan wordt van de gemeten actuele fosfaattoestand.

Het belangrijkste verschil in de berekende laterale waterfluxen wordt veroorzaakt door afwijking in de berekening van de oppervlakkige afvoer/interflow. PLEASE berekent in vergelijking met STONE een ondiepere ligging van de afvoerpiek (bovenste 5 cm), en een hoger oppervlakkige afvoer in droge gronden en een lager afvoer in kleigronden. Meetgegevens over de omvang en de diepte waarop de oppervlakkige afvoer/interflow plaats vindt zijn echter zeer schaars en er kan dan ook eigenlijk geen conclusie worden getrokken over de juistheid/onjuistheid van een van beide concepten.

Bij gebruik van dezelfde bodemkundige schematisatie als in STONE is deze afwijking in de verdeling van de waterfluxen een van de belangrijkste oorzaken voor de verschillen in berekende P uitspoelingsfluxen. De gesimuleerde concentraties komen namelijk redelijk goed overeen.

Aanbevelingen

Om het model PLEASE te verbeteren voor toepassing op lokale schaal zijn de volgende acties gewenst:

- Inbouwen van de diepte van het kwelvlak
- Voorkomen van oscillaties in de berekening van de concentraties bij geringe laagdikten door inbouwen van alternatieve aanname over verloop P gehalte met de diepte
- Verder valideren en zo nodig verbeteren van de berekening van de waterafvoer door runoff en interflow
- Toetsen van PLEASE in de praktijk door validatie op gemeten concentraties en fluxen op perceelsschaal

Literatuur

Beek, C.L. van, C. van der Salm, A.C.C. Plette, and H. van de Weerd. 2009. Nutrient loss pathways from grazed grasslands; experimental results for three soil types. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems* 83: 99-110.

Dupas, R. and C. van der Salm, 2009. Validation of the model PLEASE on site scale. Alterra report xxx, Alterra, Wageningen.

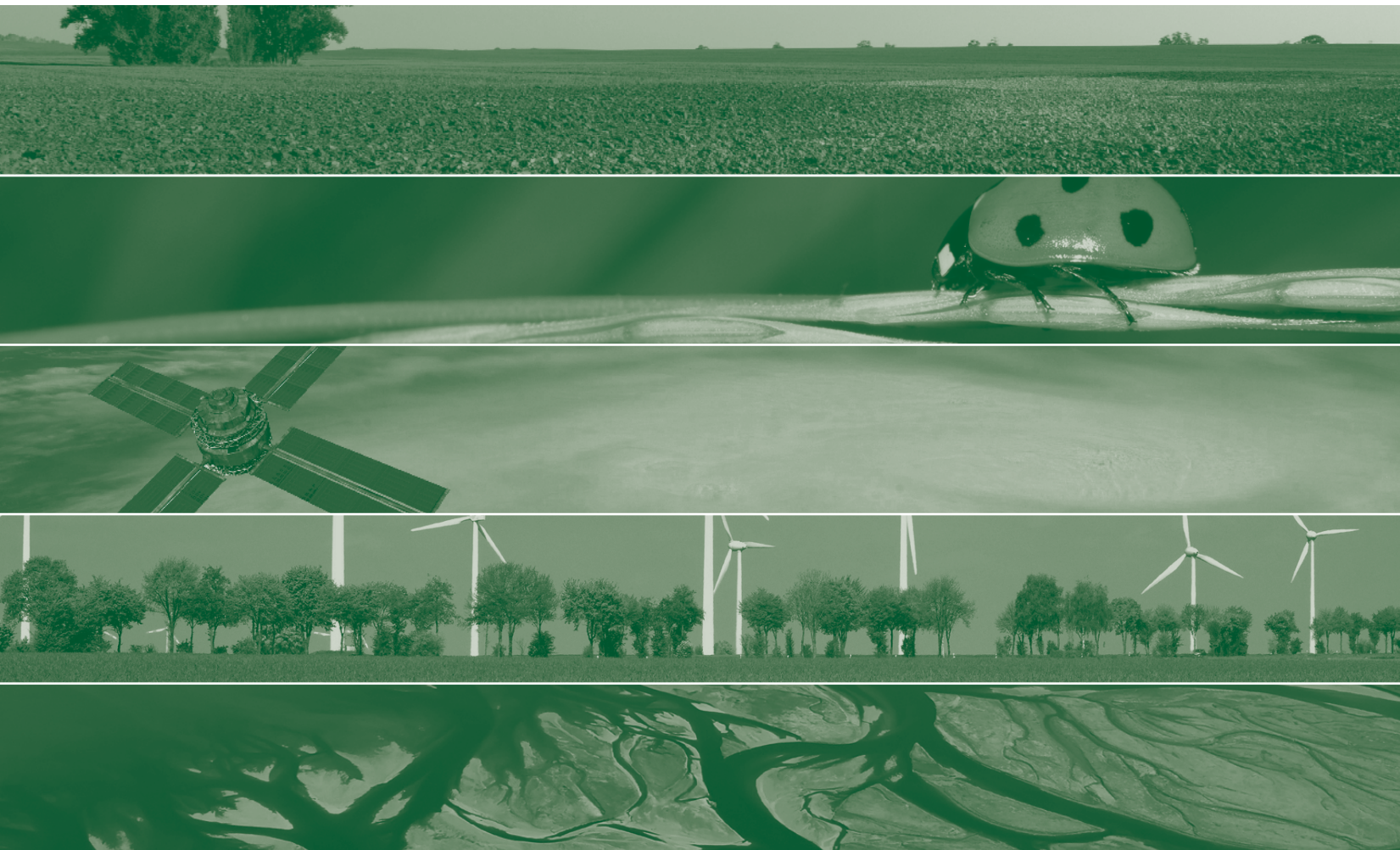
Groenendijk, P., L.V. Renaud & J. Roelsma; 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the animo4.0 model, Alterra report 983, Alterra, Wageningen.

Pleijter, M. en C. van der Salm, 2010. Validatie van het model PLEASE op regionale schaal. Alterra rapport xxx, Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F. 1997. Relation between phosphate accumulation, soil P levels and P leaching in agricultural land. DLO Winand Staring Centre Report 146:47.

Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm, and M. Pleijter. 2008. Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden. Beschrijving van het instrumentarium PLEASE. Alterra rapport 1724, Alterra, Wageningen.

Weerd, H. van de, and R. Torenbeek. 2007. Uitspoeling van meststoffen uit grasland – Emissieroutes onder de loep. Stowa rapport 2007-14.



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 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.alterra.wur.nl