



Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater

Caroline van der Salm, Piet Groenendijk, Rob Hendriks, Harry Massop en Leo Renaud

Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater

Caroline van der Salm, Piet Groenendijk, Rob Hendriks, Harry Massop en Leo Renaud

Alterra Wageningen UR
Wageningen, mei 2015

Alterra-rapport 2588
ISSN 1566-7197

Erratum bij Alterra rapport 2588

September 2016

H 3.2 Drainage - Fout in formule 3.4c

Om het effect van het omzetten van drainage op de P uitspoeling te berekenen is een transferfunctie afgeleid uit de resultaten van 12 STONE-plots. Als verklarende variabele is de zgn. R-waarde gebruikt. Deze R-waarde is berekend voor de STONE-plots en is ook berekend voor de grids in het PLEASE-model, volgens:

$$R_{\text{oorspr}} = \frac{P_{50 \text{ cm, oorspr}}}{P_{\text{diepte bodem profiel} > 50 \text{ cm, oorspr}}}$$

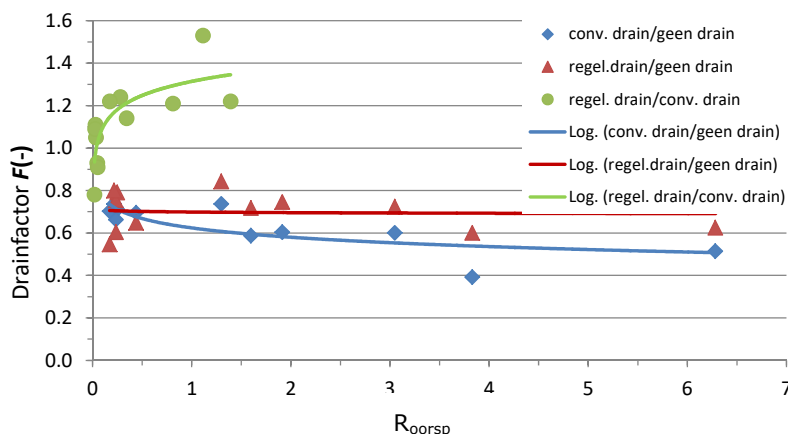
Waarbij P de P flux (in kg/ha/yr) is in de oorspronkelijke situatie (ongedraineerd of conventioneel gedraineerd) uit resp. de bovenste 50 cm van de bodem en de laag dieper dan 50 cm (zie H 3.2).

Bij het afleiden van de formules (3.3c en 3.4c) die de relatie geven tussen de relatieve verandering in P uitspoeling (de factor F_{drain}) en de R waarde, als conventionele naar peilgestuurde drainage wordt omgezet, is een fout gemaakt: er is gebruik gemaakt van R_{oorspr} waarden voor de *ongedraineerde* situatie ipv. R_{oorspr} waarden voor *conventionele* drainage.

Voor zandgronden (formule 3.3c) werd geen relatie gevonden tussen de R waarde en verandering in de P uitspoeling als peilgestuurde drainage wordt toegepast (F_{drain} is een constante voor zandgronden). Het gebruik van de andere R waarden (die voor conventionele drainage ipv ongedraineerde gronden) heeft dan ook geen effect op fomule 3.3c; deze blijft ongewijzigd. Voor klei- en zavelgronden is de correcte formule (3.4c):

$$F_{\text{drain}} = 0,0957 \ln(R_{\text{oorspr}}) + 1.314 \quad (3.4c)$$

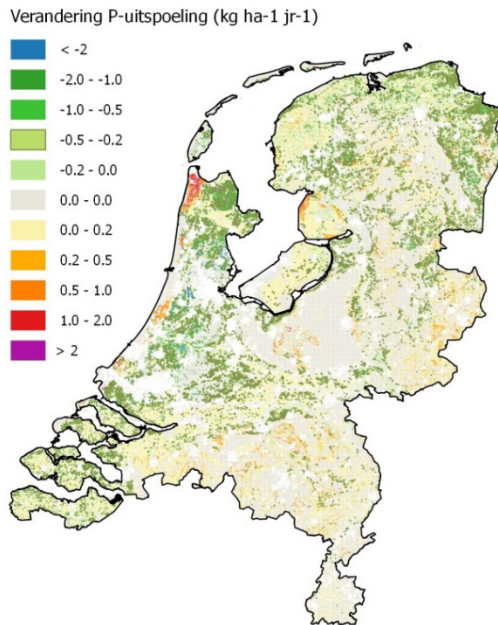
De R^2 van de formule blijft 0.61. Bij gebruik van de correcte R_{oorspr} waardes ziet Figuur 3.3 (voor zavel- en kleigronden) er als volgt uit:



Figuur 3.3 Resultaten van het fitten van de drie drainfactoren F als functie van de ratio R van de P-uit- en -afspoeling uit de top 50 cm en uit de rest van het profiel, voor de zavel/kleigronden. Drainfactoren zijn de verhoudingen tussen de P-uitspoeling van de drie drainagetoestanden: geen drains, nieuw aangelegde conventionele drains (conv.drain) en diepe, regelbare drainage (regel.drain).

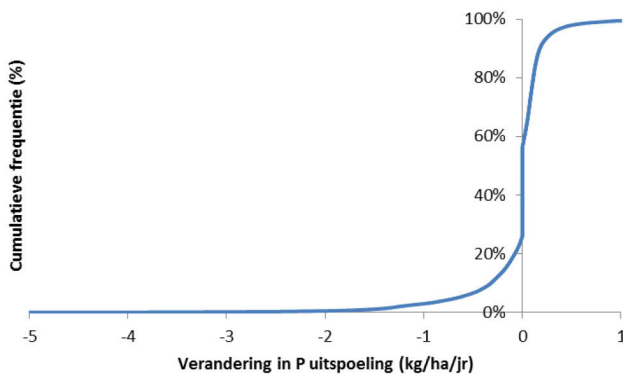
H 4.3 Drainage – Effecten aanpassing formule 3.4 c

Door de aanpassing van formule 3.4c verandert het effect van peilgestuurde drainage op de P uitspoeling voor de klei- en zavelgronden. Figuur 4.4 is nu als volgt:



Figuur 4.4 Verandering van de P uitspoeling door het aanleggen van peilgestuurde drainage op drainage behoeftige gronden en het omzetten van conventionele drainage in peilgestuurde drainage op gedraineerde gronden.

Door het gebruik van de correcte relatie tussen P uitspoeling en de toepassing van peilgestuurde drainage is de verlaging van de P uitspoeling op de klei- en zavelgronden duidelijk minder groot dan in rapport 2588 vermeld. Op een deel van de zavel- en rivierkleigronden, met name in het westen en noorden, treedt nog steeds een verlaging op van de P uitspoeling. Op een aanzienlijk deel van de zavel- en rivierkleigronden is echter, net als bij de zandgronden, sprake van een geringe toename van de P-uitspoeling. Deze toename wordt veroorzaakt door het feit dat er bij de peilgestuurde drainage minder water door de diepe ondergrond wordt afgevoerd dan in een ongedraineerde situatie of bij conventionele drainage.



Figuur 4.5 Cumulatieve frequentieverdeling van de verandering van de P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) door het verbeteren van de drainage.

Het effect van het aanleggen of verbeteren van drainage heeft op 57% van het landbouwareaal nauwelijks effect op de P verliezen (< 0.05 kg/ha/jr.). Op 19% van het landbouwareaal wordt een verbetering van meer dan 0.1 kg/ha/jr. verwacht, op 7% is de verbetering hoger dan 0.5 kg/ha/jr. (Figuur 4.5). Op 35% van het landbouwareaal wordt een negatief effect verwacht op de P uitspoeling. Dit betreft vooral locaties waar door het aanleggen van peilgestuurde drainage meer water door de bovengrond en minder water door de diepere ondergrond wordt afgevoerd waardoor de P uitspoeling toeneemt.

H 4.8 De meest effectieve maatregel - Effecten aanpassing formule 3.4 c

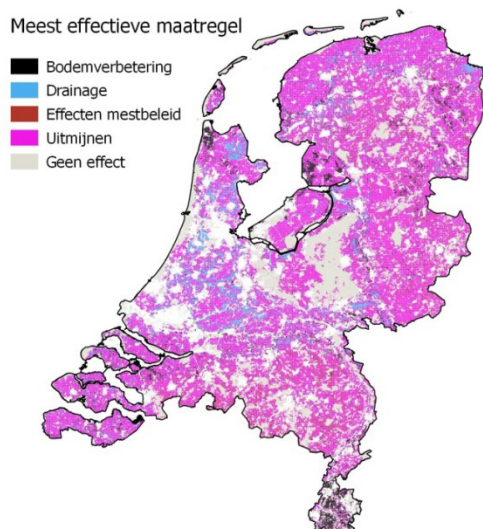
Door het geringere effect van peilgestuurde drainage op de P uitspoeling op de zavel- en kleigronden wordt Tabel 6 uit het rapport als volgt:

Tabel 6

Verandering in P uitspoeling in 2027 bij implementatie van de maatregel en % areaal van de Nederlandse landbouwgronden waar de reductie in fosfaatbelasting door deze maatregel hoger is dan 0.1 kg P/ha/jr.

Maatregel	Verandering P verlies (kg/ha/jr.)			% Areaal reductie > 0.1 kg P/ha/jr.
	5%	95%	mediaan	
Mestbeleid	0.0	-0.4	0	10%
Fosfaattoestand 'voldoende'	0.0	-4.1	-0.3	65%
Drainage	0.3	-0.7	0	19%
Uitmijnen	0.0	-1.0	-0.2	79%
Landbouw naar Natuur	0.9	-0.7	-0.1	47%
Bodemverbetering	-0.1	0.7	0	6%

De geringere effectiviteit van drainage maatregelen komt sterk tot uiting in de kaart met de meest effectieve maatregel. In een groot deel van Nederland wordt nu voorspeld dat uitmijnen het meeste effect heeft op de verlaging van de P uitspoeling. In delen van het rivierengebied en delen van west-en noord Nederland hebben ingrepen in de drainage nog steeds meer effect dan de andere maatregelen.

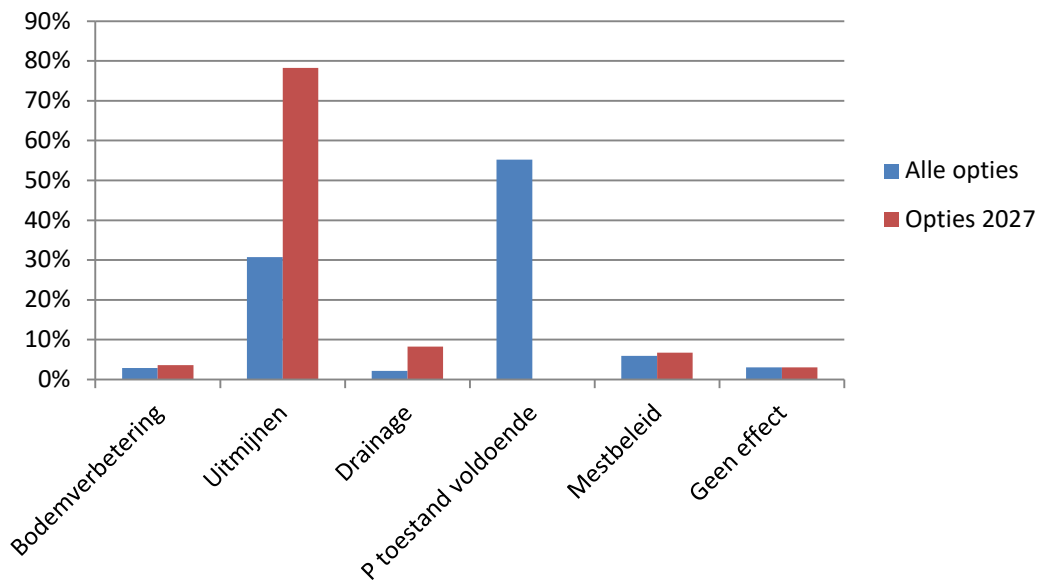


Figuur 4.15 Maatregel die leidt tot de hoogste afname van de P-uitspoeling in 2027 per gridcel (met uitzondering van de maatregel 'fosfaattoestand voldoende').

Het verbeteren van de drainage heeft in ruim 8% van Nederland het hoogste effect op het reduceren van de P-belasting van het oppervlaktewater (Figuur 4.16) in 2027. Uitmijnen is in 78% van Nederland het meest effectief. Het omzetten van Landbouw naar Natuur (niet weergegeven in de kaart) is nergens de meest effectieve optie. Bodemverbetering en het huidige mestbeleid leiden slechts in 4 resp. 7% van Nederland tot de grootste afname van de fosfaatverliezen. In 3% van Nederland heeft geen van de maatregelen effect.

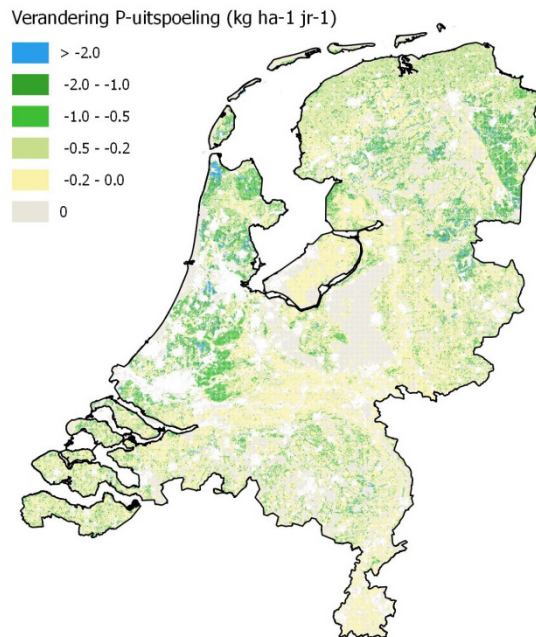
Naast de bovengenoemde opties die in 2027 kunnen zijn gerealiseerd is ook nog gekeken naar het effect op lange termijn van het realiseren van een fosfaattoestand voldoende. Indien deze maatregel wordt meegenomen is dit in meer dan de helft van Nederland de maatregel met het hoogste effect. De maatregel drainage is in deze situatie vrijwel nergens de meest effectieve maatregel.

Areaal meest effectieve maatregel



Figuur 4.16 Percentage van landbouwareaal van Nederland waarbij de betreffende maatregel leidt tot de hoogste afname van de P-uitspoeling in 2027 of op lange termijn (alle opties).

De mediane reductie van de fosfaatspoeling door de bestudeerde landbouwmaatregelen bedraagt in 2027 $0.23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en het gemiddelde is $0.44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De hoogste reducties worden bereikt in het westen en noorden van Nederland waar ook de hoogste emissies worden gevonden (Figuur 4.17).



Figuur 4.17 Reductie van de P uitspoeling in 2027 ten opzichte van de huidige situatie door invoering van de meest effectieve landbouw maatregel.

Conclusie

De hoofdboodschap van rapport 2588 verandert in die zin dat de effecten van het invoeren van peilgestuurde drainage aanzienlijk minder groot zijn dan eerst verwacht, en dat uitmijnen in het grootste deel van Nederland de meest effectieve maatregel is. De tweede en derde alinea van de conclusies moeten dan ook als volgt luiden:

De effecten van de zes maatregelen tonen grote verschillen in omvang en regionale spreiding. Fosfaattoestand 'voldoende' leidt tot de hoogste reductie van de fosfaatbelasting. Deze maatregel gaat ervan uit dat overal in Nederland de P toestand van de bouwvoor niet hoger is dan minimaal noodzakelijk is voor een optimale gewasproductie. Deze P toestand is in veel gevallen lager dan met uitmijnen bereikt kan worden in 2027. Deze maatregel geeft dus meer een beeld wat maximaal mogelijk is bij een langdurig (tot 2050) zeer terughoudend gebruik van fosfaatmeststoffen. Van de overige vijf maatregelen heeft uitmijnen veruit het meeste effect. In delen van het rivierengebied en in delen van west- en noord Nederland (8% van het landbouwareaal) is peilgestuurde drainage de effectiefste maatregel. Het huidige mestbeleid (5^e AP) heeft op de meeste plaatsen nauwelijks effect op het terugdringen van de P belasting van het oppervlaktewater.

Voor bijna alle maatregelen geldt dat de ruimtelijke verschillen in effecten groot zijn en dat er ook gebieden zijn waar de maatregelen geen of een negatief effect heeft. In een groot deel van Nederland heeft uitmijnen het grootste effect. In delen van het westen en noorden van Nederland (deel van de zavel- en kleigronden) leidt het aanleggen van drainage of het omzetten van conventionele in peilgestuurde drainage tot de grootste verlaging van de P belasting van het oppervlaktewater. De effecten zijn echter sterk afhankelijk van de lokale condities, en ingrepen in de drainage kunnen ook leiden tot een verhoging van de uitspoeling, namelijk indien hierdoor meer water ondiep wordt afgevoerd.

Onderdelen die vervallen

De hieronder aangegeven figuren, tabellen en tekst uit het rapport zijn vervallen en moeten worden vervangen door de figuren, tabellen en tekst van het erratum.

Dit is in de tekst gemarkeerd door een rood kruis:

Pagina 24, vergelijking 3.4 c

Pagina 25, figuur 3.3 bovenste van de twee figuren

Pagina 45 figuur 4.4

Pagina 46 figuur 4.5

Pagina 53, tabel 6

Pagina 54 figuur 4.15 en figuur 4.16

Pagina 55 figuur 4.17

Pagina 65 (conclusies) tweede en derde alinea

In het referaat en de samenvatting zijn hierdoor ook enkele wijzigingen aangebracht.

Van der Salm, C., P. Groenendijk, R. Hendriks, H.T.L. Massop en L. Renaud, 2015. *Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2588; blz. 112, fig. 43; tab. 7; ref. 24

In deze studie is een quickscan uitgevoerd naar het effect van zes maatregelen (huidige mestbeleid, fosfaattoestand 'voldoende', drainage, uitmijnen, omzetten landbouw in natuur en structuurverbetering) op de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater in 2027. De resultaten zijn gebaseerd op een combinatie van een kaart van de huidige fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater en eenvoudige rekenregels. De effecten van de maatregelen verschillen in omvang en vertonen grote regionale verschillen. Het verbeteren van de drainagesystemen leidt vooral in sommige delen van west en noord Nederland tot een reductie in de fosfaatbelasting. Op de zandgronden heeft uitmijnen (geen fosfaatgift) de grootste effecten. Het huidige mestbeleid heeft slechts een klein effect op de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Belasting van het oppervlaktewater vindt vooral plaats vanuit een smalle zone langs waterlopen. In een groot deel van Nederland is deze zone smaller dan 5 meter. Maatregelen zouden dus deels tot deze zones beperkt kunnen worden.

A quick scan has been carried out to assess the effects of six types of measures (manure policy, good agricultural practice, drainage, mining, converting agriculture to nature and improvement of the soil structure) on the phosphate losses to surface waters in 2027. Results are obtained by a combination of a map with the actual phosphate losses and simple rules to calculate the decline in P losses due to the implementation of measures. The effects of the measures show strong regional differences. Improving the drainage system is the most promising measure in some parts of the western and northern part of the Netherlands (part of the loamy and clayey soils). In the sandy parts of the country mining (no P application) has the largest impact on P losses. The effects of the current manure policy are minimal. Phosphate losses to surface waters mainly occur in a narrow zone across watercourses. In large parts of the Netherlands this zone is less than 5 m. wide. Measures might thus be partly restricted to these zones.

Trefwoorden: fosfaat, maatregelen, uitspoeling, KRW

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.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- 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 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Drentsche Aa nabij het Anloerdiepje (Jan Roelsma)

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	9
2	Methodiek	10
2.1	Basiskaart fosfaatuitspoeling Nederland	10
2.2	Maatregelen	11
2.2.1	Effecten huidige mestbeleid	11
2.2.2	Drainage	11
2.2.3	Uitmijnen	15
2.2.4	Fosfaattoestand 'voldoende'	15
2.2.5	Omzetten van landbouw in natuur	16
2.2.6	Bodemverbetering	16
2.3	Areaal dat bijdraagt aan belasting oppervlaktewater	17
2.4	Risicogebieden voor oppervlakkige afspoeling	17
3	Rekenregels voor het implementeren van de maatregelen	18
3.1	Effecten huidige mestbeleid	18
3.2	Drainage	20
3.2.1	Zandgronden	21
3.2.2	Zavel-/kleigronden	24
3.2.3	Implementatie	27
3.3	Uitmijnen	28
3.4	Fosfaattoestand 'voldoende'	30
3.5	Omzetten landbouw in natuur	30
3.6	Bodemverbetering	30
3.6.1	Implementatie	32
3.7	Areaal dat bijdraagt aan belasting oppervlaktewater	35
3.8	Risicogebieden voor oppervlakkige afspoeling	39
3.8.1	Risico bij scheurvorming	40
3.8.2	Risico bij Bodemverdichting	41
4	Effecten van implementatie van maatregelen	42
4.1	Basiskaart P-uitspoeling	42
4.2	Huidige mestbeleid	42
4.3	Drainage	44
4.4	Uitmijnen	46
4.5	Fosfaattoestand 'voldoende'	48
4.6	Omzetten van Landbouw in Natuur	49
4.7	Bodemverbetering	51
4.8	De effectiefste maatregel	53
4.9	Areaal dat bijdraagt aan belasting oppervlaktewater	56
4.10	Risico's voor oppervlakkige afstroming	60
5	Conclusies	65

Literatuur		67
Bijlage 1	Met STONE berekende P-uitspoeling in 2027 als functie van GHG, Pw, Poverschot, kwel en waterafvoer	69
Bijlage 2	Resultaten van de niet-lineaire regressie van de met STONE berekende P-uitspoeling	71
Bijlage 3	Frequentieverdelingen van de GHG- en Pw-getallen in STONE	79
Bijlage 4	Aantal STONE-plots en oppervlakten voor de berekening van de afname van de P-uitspoeling	87
Bijlage 5	Nadere beschrijving van methoden en modelresultaten van afleiden van rekenregels voor effecten van drainage en bodemverbetering op de P-uitspoeling	91

Samenvatting

In deze studie is een quickscan uitgevoerd om te bepalen hoe effectief een aantal maatregelen zijn om in de verschillende delen van Nederland de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in 2027 terug te hebben gedrongen. De effectiviteit van een maatregel hangt af van de lokale omstandigheden zoals de hydrologische situatie en de mate van fosfaatophoping. Recent zijn de huidige fosfaatemissies naar het oppervlaktewater zo goed mogelijk in kaart gebracht (Van der Salm et al., 2014) op basis van metingen van de fosfaattoestand van de bodem. De effecten van zes belangrijke maatregelen zijn vervolgens met behulp van rekenregels gekwantificeerd. Deze rekenregels zijn gebaseerd op het nationale nutriëntenemissiemodel STONE. Combinatie van de kaarten van de huidige fosfaatbelasting en de rekenregels geeft een beeld van de afname van de fosfaatuitspoeling tussen nu en 2027 indien de betreffende maatregel wordt uitgevoerd.

Voor deze studie zijn de effecten van de volgende maatregelen in beeld gebracht voor 2027:

1. Het huidige beleid volgens het vijfde actieprogramma.
2. Verbeteren drainage.
3. Uitmijnen.
4. Realisatie van een fosfaat toestand 'voldoende'.
5. Omzetten van landbouw naar natuur.
6. Structuurverbetering.

Het effect van het huidige mestbeleid is gebaseerd op STONE-berekeningen voor het 5de Nitraat Actieprogramma (Groenendijk et al., 2015). De afname van de P-uitspoeling tussen 2012 en 2027 is geaggregeerd in een Tabel met verschillende klassen van GHG en Pw-getal in 2012. Het blijkt dat een klasse-indeling voor de GHG met intervallen van 20 cm en voor de Pw met intervallen van 20 eenheden (mg P₂O₅/L grond) voldoende onderscheid oplevert voor de toepassing op PLEASE-rekeneenheden.

Het verbeteren van de drainage omvat het aanleggen van regelbare drainage op drainage gevoelige gronden en het ombouwen van conventionele drainage naar peilgestuurde drainage. De resultaten zijn gebaseerd op berekeningen met 24 geselecteerde STONE-plots op zand en op zavel- en kleigronden. Op basis van deze berekeningen zijn regressies afgeleid tussen de drainfactor (mate waarin de fosfaatuitspoeling verandert bij aanpassen van de drainage) en het aandeel van de bovenste 50 cm van de bodem aan de totale fosfaatuitspoeling.

Uitmijnen is een methode waarbij de fosfaattoestand van de bodem sterk wordt verlaagd door geen P aan te voeren (niet te bemesten of te beweiden) en zo veel mogelijk P af te voeren. Het effect van uitmijnen is in beeld gebracht op basis van berekeningen met STONE voor een periode van 20 jaar (2009-2029). De afname van de P-uit- en -afspoeling, na invoering van deze maatregel, is berekend. Hiervoor zijn de gemiddelde waarden genomen van 2005-2008 en 2026-2029. Deze beide perioden van 4 jaar zijn doorgerekend met dezelfde hydrologische omstandigheden. Te weten de jaren 1990-1993. Ten slotte zijn regressievergelijkingen opgesteld waarbij de uitspoeling na invoering van de maatregel gerelateerd is aan de oorspronkelijke maatregel. Hiervoor zijn de resultaten geclusterd naar landgebruik en bodemtype.

Voor de optie fosfaattoestand 'voldoende' is uitgerekend wat de fosfaatverliezen zouden zijn als op alle Nederlandse landbouwgronden een P-toestand is bereikt waarbij geen opbrengstreducties mogen worden verwacht conform de bemestingsadviezen. Voor grasland wordt geen opbrengstderiving verwacht bij een P-Al getal van 20 mg P₂O₅ 100g⁻¹ bij een fosfaatgebruiksnorm van 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ (Ehlert et al., 2005). Voor een 1:4 akkerbouwrotatie wordt geen opbrengstderiving verwacht bij een Pw-getal van 30 mg P₂O₅ l⁻¹ indien bij een gebruiksnorm van 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ het fosfaat uitsluitend wordt gebruikt voor de bemesting van de fosfaatbehoefte gewassen in de rotatie (aardappel, suikerbiet). Het effect van deze maatregel wordt in beeld gebracht door in de invoer van het model

PLEASE de huidige fosfaattoestand van de bouwvoor te vervangen door de bovengenoemde grenswaarden. De fosfaattoestand van de ondergrond wordt niet veranderd, tenzij deze hoger is dan de hierboven genoemde waarden. In dat geval is de P-toestand van de ondergrond gelijk gesteld aan die van de bovengrond.

Bij het omzetten van landbouw in natuur worden drainagesystemen afgesloten en wordt niet meer bemest. Voor het in beeld brengen van dit effect wordt, vanwege de eenvoud, ervan uitgegaan dat de bodem eerst uitgemijnd wordt (maatregel 3) en vervolgens het drainagesysteem wordt afgekoppeld. Dit effect zal gunstiger zijn dan wanneer de locatie direct in natuur wordt omgezet omdat het uitmijnen langzamer zal verlopen als de grond slecht gedraineerd is en er geen stikstofbemesting wordt gegeven. De effecten van uitmijnen zijn gebaseerd op de resultaten van maatregel 3. Voor de effecten van het opheffen van drainage zijn berekeningen uitgevoerd met uitgemijnde plots waar de drainage is verwijderd.

De maatregel 'bodembetering' is in deze studie uitgewerkt als het effect van het verbeteren van een verdichte bodem op de P-uit- en -afspoeling. Voor het afleiden van rekenregels om het effect van bodemverdichting te beschrijven door PLEASE, is de 'omgekeerde weg' gevolgd. De bestaande situatie in PLEASE in deze studie is een niet-verdichte bodem. De afgeleide rekenregels berekenen het effect van de conversie van een niet-verdichte toestand naar een verdichte toestand. Vergelijking van de P-uit- en -afspoeling van beide bodemtoestanden geeft het effect van het verbeteren van verdichte bodems. Voor het afleiden van de rekenregels voor bodembetering zijn de basisberekeningen van de 24 STONE-plots die ook voor drainage gebruikt zijn vergeleken met berekeningen voor een verdichte situatie. Bij de laatste berekeningen is in de modelbodemkolom een verdichte laag aangebracht en is het hydrologische model SWAP uitgebreid met het proces van lateraal uitstromen van schijngrondwater boven een verdichte bodemlaag naar open drains. De effecten zijn vervolgens doorgerekend voor de bodems die op de bodemverdichtingsrisicokaart van Van den Akker *et al.* (2013) als gevoelig voor verdichting zijn aangemerkt met de risicoklassen 'groot' en 'zeer groot'.

De effecten van de zes maatregelen tonen grote verschillen in omvang en regionale spreiding. Fosfaattoestand 'voldoende' leidt tot de hoogste reductie van de fosfaatbelasting. Deze maatregel gaat ervan uit dat overall in Nederland de P-toestand van de bouwvoor niet hoger is dan minimaal noodzakelijk is voor een optimale gewasproductie. Deze P-toestand is in veel gevallen lager dan met uitmijnen bereikt kan worden in 2027. Deze maatregel geeft dus meer een beeld wat maximaal mogelijk is bij een langdurig (2050) zeer terughoudend gebruik van fosfaatmeststoffen. Van de vijf andere maatregelen hebben verbeteren van de drainage en uitmijnen het meeste effect. Het huidige mestbeleid heeft op de meeste plaatsen nauwelijks effect op het terugdringen van de P-belasting van het oppervlaktewater.

Voor bijna alle maatregelen geldt dat de ruimtelijke verschillen in effecten groot zijn en dat er ook gebieden zijn waar de maatregelen geen of een negatief effect heeft. In een groot deel van Nederland heeft uitmijnen het grootste effect. In delen van het westen en noorden van Nederland (deel van de zavel- en kleigronden) leidt het aanleggen van drainage of het omzetten van conventionele in peilgestuurde drainage tot de grootste verlaging van de P belasting van het oppervlaktewater. De effecten zijn echter sterk afhankelijk van de lokale condities, en ingrepen in de drainage kunnen ook leiden tot een verhoging van de uitspoeling, namelijk indien hierdoor meer water ondiep wordt afgevoerd.

De belasting van het oppervlaktewater met fosfaat vanuit landbouwgronden is veelal beperkt tot de zone die grenst aan oppervlaktewater. Op basis van de indringingsdiepte van het fosfaatfront is de breedte van deze zone berekend. In een groot deel van Nederland is deze zone smaller dan 5 m. Dit betekent dat maatregelen mogelijk niet voor het hele perceel, maar slechts voor een deel van het perceel hoeven te worden genomen. Dit geldt echter niet voor gedraineerde percelen waar het gehele perceel in directe verbinding staat met het oppervlaktewater en maatregelen dus voor het hele perceel moeten worden genomen. De berekening van de breedte is echter vrij onzeker, omdat exacte gegevens over de indringingsdiepte van het fosfaatfront vrij schaars zijn.

In de uitgevoerde studie wordt maar beperkt rekening gehouden met de risico's van preferent transport en oppervlakkige afvoer. Een kwalitatieve analyse laat zien dat er in een groot deel van Nederland risico's zijn op oppervlakkige afstroming. Deze risico's worden verder vergroot door scheurvorming (preferent transport) en door verdichting. Verliezen door oppervlakkige afvoer en preferent transport kunnen aanzienlijk zijn en maatregelen om deze risico's terug te dringen (zoals timing bemesting, verbeteren bodemstructuur, water vasthouden, lagere bodemvruchtbaarheid van de toplaag) kunnen dus in een groot deel van Nederland bijdragen aan een verlaging van de belasting van het oppervlaktewater.

De huidige studie laat zien dat door het combineren van gegevens van de huidige fosfaatbelasting met rekenregels op een snelle en eenvoudige manier een beeld geschapen kan worden van de effecten van verschillende maatregelen. De effecten tonen sterke lokale en regionale verschillen. Door rekening te houden met deze verschillen bij de implementatie van maatregelen, kan met dezelfde inspanning een grotere reductie van fosfaatbelasting van het oppervlaktewater gerealiseerd worden.

1 Inleiding

Bodem en ondergrond wordt steeds meer gebruikt. In de diepe ondergrond gaat het bijvoorbeeld om de winning van grondstoffen en de opslag van CO₂. In de ondiepe ondergrond gaat het om de drinkwatervoorziening, warmte- en koudeopslag en ondergrondse infrastructuur. Ook bovengrondse activiteiten, zoals landbouw en wonen, leggen beslag op de ondergrond. Om tot een efficiënt ruimtegebruik te komen, moeten al deze activiteiten op elkaar afgestemd worden. Het Rijk wil dit regelen in de Structuurvisie voor de Ondergrond (STRONG). Deze structuurvisie zal naar verwachting in 2015 verschijnen.

Een betere benutting van de bodem is noodzakelijk om belangrijke maatschappelijke vraagstukken op te lossen. Een van de uitdagingen waar Nederland voor staat is om de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater te verbeteren. Daartoe wil het Rijk uiterlijk in 2027 de doelen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) halen. De bodem, en in bijzonder de interactie tussen bodem en water, is een belangrijke drijvende factor in het realiseren van de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water.

Het PBL heeft in een eerdere studie (PBL, 2012) aangegeven dat doelbereik dichterbij kan komen indien duidelijke ruimtelijke keuzes worden gemaakt. De Technische commissie Bodem (TCB) heeft tegelijkertijd aangegeven dat bij dergelijke ruimtelijke afwegingen de geschiktheid van de bodem voor een bepaald gebruik moet worden meegenomen. In gebieden waar de bodemgesteldheid zodanig is dat bij de huidige landbouwpraktijk geen goede waterkwaliteit mogelijk is, moeten aanvullende maatregelen genomen worden. Anderzijds kan in gebieden waar de bodemkwaliteit minder invloed heeft op de waterkwaliteit de landbouw meer ruimte krijgen. Deze extra ruimte mag echter niet ten koste gaan van andere gebruiksfuncties van de bodem, zoals de drinkwaterwinning.

In grote delen van Nederland is de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater een belemmering voor het realiseren van de waterkwaliteitsdoelen. Het ingezette mestbeleid heeft maar beperkt effect op de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater doordat de jarenlange bemesting heeft geleid tot de accumulatie van grote hoeveelheden fosfaat in de bodem. Om op korte termijn een verbetering van de waterkwaliteit te realiseren, zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. De keuze van de effectiefste maatregel hangt af van de lokale omstandigheden, zoals de hydrologische situatie en de mate van fosfaatophoping. Kernvraag van deze studie is dan ook hoe effectief zijn verschillende maatregelen in de verschillende delen van Nederland.

In deze studie wordt het effect van een aantal concrete maatregelen op de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater geschetst. Recent zijn de huidige fosfaatemissies naar het oppervlaktewater zo goed mogelijk in kaart gebracht (Van der Salm et al., 2014). In deze studie zijn, met behulp van rekenregels, de effecten van zes belangrijke maatregelen (huidige mestbeleid, fosfaattoestand 'voldoende', drainage, uitmijnen, omzetten landbouw in natuur en structuurverbetering) in beeld gebracht. Dit resulteert in een aantal kaarten waarin de afname van de fosfaatspoeling tussen nu en 2027 wordt geschetst indien de betreffende maatregel wordt uitgevoerd. De kaarten kunnen worden gebruikt bij ruimtelijke afwegingen tussen verschillende gebruiksfuncties van de bodem, zoals natuur, landbouw, drinkwatervoorziening en schoon oppervlaktewater.

2 Methodiek

Recent is op basis van beschikbare gegevens een vrij gedetailleerde landelijke kaart gemaakt van de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater (Van der Salm et al., 2014). Deze kaart is gemaakt met het model PLEASE (Schoumans et al., 2008, 2013). Met dit model kan eenvoudig en snel een ruimtelijk beeld van de fosfaatsuipoeling vanuit de bodem worden gecreëerd. Het model berekent op basis van goed beschikbare gegevens van de bodemtoestand (fosfaatbindend vermogen, fosfaattoestand) en eenvoudige hydrologische kenmerken (grondwaterstand, jaarlijks neerslagoverschot en kwel) de actuele fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater. Deze kaart biedt meer ruimtelijk detail dan de kaart die met het nationale emissiemodel STONE wordt berekend. Het model STONE onderscheidt namelijk slechts 6405 rekeneenheden (STONE-plots) voor heel Nederland.

Landbouwkundige maatregelen of veranderingen in landgebruik kunnen leiden tot veranderingen van de fosfaattoestand van de bodem en/of de hydrologische condities waardoor de emissies van fosfaat naar het oppervlaktewater veranderen. Het model PLEASE is een statisch model en is zelf niet in staat om de effecten van emissie reducerende maatregelen of verandering in landgebruik in beeld te brengen. Om deze effecten te kwantificeren, dienen kennisregels ingebracht te worden. Deze kennisregels kunnen gebaseerd worden op de door het nationale nutriëntenemissie model STONE berekende verandering in fosfaatemissies bij implementatie van een bepaalde maatregel. Voor sommige maatregelen kan het effect direct in beeld gebracht worden door de invoer van het model PLEASE aan te passen op basis van expert knowledge.

Voor deze studie zullen de effecten van de volgende maatregelen in beeld worden gebracht voor 2027:

1. Het huidige beleid volgens het vijfde actieprogramma.
2. (Peilgestuurde) drainage.
3. Uitmijnen.
4. Realisatie van een fosfaattoestand 'voldoende'.
5. Omzetten van landbouw naar natuur.
6. Structuurverbetering/verminderen van de oppervlakkige afstroming.

Fosfaatemissies naar het oppervlaktewater, ten gevolge van de ophoping van fosfaat in de bodem ten gevolge van bemesting, treden uitsluitend op indien er direct transport van water vanuit het perceel naar het oppervlaktewater plaatsvindt. Indien water via diepe stroombanen in het oppervlaktewater terecht komt is er namelijk voldoende mogelijkheid om het fosfaat in de diepere ondergrond te binden en zal de emissie bepaald worden door de natuurlijke achtergrondconcentraties. Maatregelen zullen dus vooral effect hebben in die gebieden waar een directe afvoer vanuit de bodemlagen met een hoge fosfaattoestand plaatsvindt. Om goed in beeld te brengen waar maatregelen effect kunnen hebben, wordt per gridcel het areaal bepaald van waaruit P-belasting plaatsvindt.

2.1 Basiskaart fosfaatsuipoeling Nederland

Als basis en referentie voor de in deze studie gekwantificeerde effecten van maatregelen is gebruikgemaakt van de kaart die met het model PLEASE is gemaakt op basis van waarnemingen uit het Bodemkundig Informatie Systeem (Van der Salm et al., 2014). Het model PLEASE is ontwikkeld om de belasting van P van een perceel naar het aangrenzende oppervlaktewater te voorspellen en houdt daarom geen rekening met eventuele afvoer van fosfaat via de diepere ondergrond (> GLG – 1 meter) naar het oppervlaktewater. STONE berekent dat deze diepe route gemiddeld 30% bijdraagt aan de totale fosfaatafvoer.

De effecten van de maatregelen zijn berekend op basis van het gehele STONE-bodemprofiel (dikte van 13 m). Voor de implementatie moet de PLEASE-kaart dus uitgebreid worden met de fosfaatflux uit de diepere bodemlagen. Deze correctie is per gridcel als volgt uitgevoerd:

$$\text{Totaal P flux}_{(TP-LP)} = (\text{Waterflux STONE}_{TP} - \text{Waterflux PLEASE}) \frac{\text{Totaal P flux STONE}_{(TP-LP)}}{\text{Waterflux STONE}_{(TP-LP)}}$$

waarbij:

TP = gehele bodemprofiel

LP = bodemprofiel tot 1 meter – GLG

In enkele gevallen was de waterafvoer van PLEASE hoger dan van het totale STONE-profiel in die situatie is de PLEASE-flux niet gecorrigeerd.

2.2 Maatregelen

2.2.1 Effecten huidige mestbeleid

In het 5de nitraatactieprogramma is de fosfaatgebruiksnorm gedifferentieerd naar fosfaattoestand van de bodem (LNV, 2009). Op gronden met een neutrale fosfaattoestand is de gebruiksnorm in 2015 gelijk aan de onttrekking (evenwichtsbemesting). Op gronden met een hoge toestand is de gebruiksnorm iets lager en op gronden met een lage toestand iets hoger dan de onttrekking. Dit beleid zal leiden tot een geleidelijk daling van de fosfaattoestand op bodems met een hoge fosfaattoestand. Bij deze optie is geanalyseerd wat dit beleid voor effecten heeft in 2027. Om dit in beeld te brengen, is de verandering in de P-uitspoeling bepaald in relatie tot sturende factoren, zoals P-toestand, GHG, grondsoort, landgebruik en drainage. Vervolgens wordt de uitvoer van PLEASE gecorrigeerd op basis van de afgeleide reductieregels.

2.2.2 Drainage

Bij 'ongedraineerde' (zonder drainbuizen) percelen vindt de ontwatering plaats met perceelgreppels en -sloten, door oppervlakteafstroming (run-off) en wegzijging naar het diepere grondwater. Bij 'gedraineerde' percelen zijn deze afvoerroutes eventueel ook (nog) wel aanwezig maar zijn drainbuizen – in het vervolg kortweg 'drainage' genoemd – de belangrijkste afvoerroute. Drainage kan leiden tot een vermindering van de P-verliezen doordat water door diepere bodemlagen, die een lager fosfaatgehalte hebben, wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. Twee vormen van drainage die momenteel relevant zijn in Nederland zijn beschouwd:

- 'Conventionele' drainage waarbij de drainbuizen vrij uitmonden boven slootpeil en de ontwateringsbasis gelijk is aan de drandiepte;
- 'Regelbare of peilgestuurde drainage' waarbij de drains wat dieper worden gelegd en de ontwateringsbasis kan worden gefluctueerd om zo te anticiperen en/of te reageren op veranderende weersomstandigheden.

Het 'regelen van de drainagebasis' kan leiden tot vochttoestanden en uitspoelingsroutes van water en stoffen die verschillen van die bij 'conventionele' drainage. De P-uitspoeling naar het oppervlaktewater kan daardoor verschillen tussen beide drainage methoden.

Het effect van drainage op de P-uitspoeling is voor beide drainagevormen samen onderzocht. Hierbij is gekeken naar het toepassen van conventionele en regelbare drainage in de ongedraineerde situatie. Bij deze optie wordt verondersteld dat drainage wordt aangebracht op die percelen waar dit momenteel nog niet het geval is, maar waar dit wel zinvol is. De huidige locaties van de drainagesystemen zijn gebaseerd op de buisdrainagekaart van Nederland (Massop et al., 2013). Verder is ook het omvormen van conventionele drainage naar regelbare drainage meegenomen. Aanvullend is voor maatregel 5 'Omzetten van landbouw in natuur' ook het effect van beëindigen van conventionele drainage onderzocht.

2.2.2.1 Methoden

De effecten van drainage zijn gebaseerd op kennisregels die afgeleid zijn uit door STONE (bestaande uit de deelmodellen SWAP & ANIMO) berekende verandering in fosforuitspoeling en -afspoeling bij implementatie van een nieuwe drainagetoestand. Kennisregels voor de volgende vier veranderingen in drainagetoestand zijn afgeleid:

1. Aanleggen van standaard conventionele buisdrainage in de ongedraineerde situatie;
2. Aanleggen van standaard diepe, regelbare buisdrainage in de ongedraineerde situatie;
3. Omzetten van standaard conventionele buisdrainage in standaard diepe, regelbare buisdrainage;
4. Omzetten van een standaard conventioneel met buisdrainage gedraineerde toestand naar een ongedraineerde toestand; dus verwijderen van de bestaande buisdrainage.

De drie mogelijke drainagetoestanden zijn bij de STONE-berekeningen als volgt gedefinieerd (voor details en verantwoording, zie Bijlage 5 (B5.1)):

1. **Ongedraineerd:** de oorspronkelijke ontwateringstoestand van alle doorgerekende STONE-plots (rekeneenheden) is overgenomen. Dit betekent vier drainagesystemen plus run-off en eventueel wegzijging; de ontwateringsbasis wordt bepaald door de drooglegging (slootpeil of slootbodem);
2. **Standaard conventionele drainage:** de oorspronkelijke ontwateringstoestand is uitgebreid met drainbuizen op 100 cm diepte met standaard eigenschappen die hetzelfde zijn voor alle doorgerekende plots. De drainbuizen liggen 20 cm boven slootpeil, zodat infiltratie via de drains niet kan optreden;
3. **Standaard diepe, regelbare drainage:** de oorspronkelijke ontwateringstoestand is aangepast en uitgebreid met dieper liggende drainbuizen op 120 cm diepte met standaard eigenschappen die hetzelfde zijn voor alle doorgerekende plots. Het streefslootpeil is ingesteld op 90 cm in de winter en 60 cm in de zomer. Er wordt echter geen water aangevoerd. Dat betekent dat het slootpeil alleen kan stijgen tot maximaal streefpeil door waterafvoer vanuit het perceel zelf. Bij een peil hoger dan de draindiepte (120 cm) kan infiltratie via de drains optreden.

Regelbare drainage is aan het begin van deze subparagraaf omschreven als drainagemethode om 'te anticiperen en/of te reageren op veranderende weersomstandigheden'. Dat is met het huidige hydrologische model (SWAP), zoals dat in STONE wordt gebruikt, nog niet mogelijk. Daarom is bij de definitie van deze drainagevorm aangesloten bij het modelonderzoek van Van Bakel *et al.* (2008a) en de Praktijkproef Samengestelde drainage Ospel (Stuyt *et al.*, 2013) (zie verder Bijlage 5, B5.1). Voor de ontwateringsdiepte is dezelfde aanpak met een zomer- en winterstreefpeil gekozen als in beide studies. Hierbij zijn de waarden van de streefpeilen van de praktijkproef te Ospel genomen: 60 cm -mv in het zomerhalfjaar en 90 cm -mv in het winterhalfjaar. De waarden van het modelonderzoek van Van Bakel *et al.* (2008a) zijn met 40/50 (zand/klei) en 60/70 cm -mv als te ondiep beoordeeld.

Met STONE zijn 24 geselecteerde ongedraineerde plots (12 op zand en 12 op zavel/klei) doorgerekend voor de periode 2000-2030 met de reguliere modelinvoer van STONE voor deze periode. Deze modeloefening is de ongedraineerde basisberekening. Het enige dat voor deze basisberekening is aangepast, in de reguliere STONE-invoer, is de onderrand in de vorm van kwel of wegzijging. Deze is in STONE opgelegd als vaste flux die gelijk is voor alle jaren, met een vast sinusvormig verloop door het jaar. Omdat drains de grondwaterstand beïnvloeden en daarmee de flux over de onderrand was deze parametrisatie ongewenst. Daarom is voor de optie gekozen met een grondwaterstandafhankelijke onderrandflux (zie verder B5.1). Voor de negen plots op zandgrond die zijn overgenomen uit de modelverkenning van Van Bakel *et al.* (2008a; zie 2.1.3.2) was dit niet nodig, omdat die al deze onderrandoptie hadden.

Met de modelinvoer van de basisberekeningen zijn voor elke plot de twee drainagevarianten doorgerekend. Hierbij is alleen de relevante invoer van de drainage aangepast op de standaardmanier van de beide drainagevormen (zie verder B5.1).

De modeluitkomsten van de periode 2026 t/m 2030 zijn geanalyseerd en geïnterpreteerd voor het afleiden van de kennisregels voor PLEASE. De gemiddelde P-uitspoeling van deze periode werd geacht een representatief beeld van de P-uitspoeling te geven voor toetsjaar 2027. De rekenperiode 2000-2025 is meegenomen als aanlooperperiode om het model zich te laten instellen voor de betreffende drainagevariant gegeven de historische weerjaren en de bemestingsintensiteit. Om na te gaan of de

periode 2026-2030 hydrologisch niet sterk afwijkend was van de periode 2000-2030, zijn de grondwaterstandsduurlijnen van beide perioden steeds vergeleken. Deze vergelijking gaf acceptabele tot goede resultaten (zie Bijlage 5, B5.2).

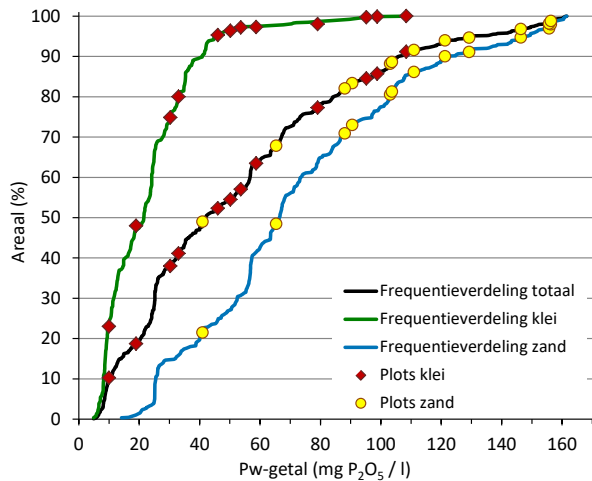
Rekenregels voor PLEASE zijn afgeleid uit de gemiddelden van de modeluitkomsten van 2026-2030 door relaties te zoeken tussen verklarende variabelen die met PLEASE zijn af te leiden en een vermenigvuldigingsfactor, de drainfactor F_{drain} , om de P-uitspoeling die PLEASE genereert mee te converteren naar een P-uitspoeling in de aangepaste drainagetoestand rond het jaar 2027 (vergelijking [3.1] in paragraaf 3.3). De relaties tussen doelgrootte F_{drain} en de verklarende variabelen zijn verkregen door *curve-fitting*. Om bruikbare verklarende variabelen te vinden, zijn de STONE-modeluitkomsten van de periode 2026-2030 geanalyseerd, zoals aangegeven in Bijlage 5, B5.1. Uiteindelijk is gekozen voor de verklarende variabele R_{oorspr} als de verhouding (ratio) van de P-uitspoeling uit en af de bovenste 50 cm van het profiel en de P-uitspoeling uit de rest van het bodemprofiel in de oorspronkelijke uitgangssituatie.

2.2.2.2 Selectie STONE-plots

Bij de keuze van de STONE-plots is onderscheid gemaakt tussen zand en zavel-/kleigronden, omdat deze gronden door belangrijke verschillen in bodemchemische en bodemfysische eigenschappen sterk verschillend P-uitspoelingsgedrag vertonen. Dat uit zich bijvoorbeeld in de grootte en de verdeling van verklarende variabele R_{oorspr} .

Aan de selectie van de STONE-plots hebben de volgende criteria ten grondslag gelegen:

- Bodemsoort: de helft van de plots moest bestaan uit zandgronden en de helft uit zavel- of kleigronden.
- Ontwateringstoestand: plots moesten drainagebehoefstig zijn, met grondwatertrappen III-V. Selectiecriteria hiervoor was de GHG die kleiner moest zijn dan 40 cm -mv.
- Voor de zandgronden zijn de negen oorspronkelijk ongedraineerde zandgronden uit de modelverkenning van Van Bakel *et al.* (2008a) meegenomen, omdat deze plots zorgvuldig zijn gekozen op basis van hydrotypen en al de juiste onderrandvoorwaarde hadden, en om de resultaten van onderhavige studie te kunnen vergelijken met deze modelstudie. Deze plots zijn in onderhavige studie op dezelfde manier doorgerekend als de andere plots.
- De fosfaattoestand: deze is uitgedrukt in het Pw-getal gemiddeld voor de bovenste 30 cm van het profiel. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de twee bodemsoorten zand en zavel/klei. Per bodemsoort zijn uit de frequentieverdeling van het Pw-getal naar areaal het 20ste, 50ste en 80ste percentiel genomen van het Pw-getal om het bereik van de verdeling te vertegenwoordigen. Plots met die drie percentielwaarden zijn gezocht. De Pw-getallen van de overige negen plots lagen in het hogere traject vanaf percentiel 70 (Figuur 2.1). Bij de zandgronden was dat een gegeven omdat die hoge waarden hoorden bij de plots uit de modelverkenning van Van Bakel *et al.* (2008a). Voor de zavel-/kleigronden is hierbij aangesloten.
- Landgebruik: er is gestreefd naar een gelijke vertegenwoordiging in de plots van de landgebruiksgroepen gras en mais/akkerbouw.
- Onderrandflux: deze moest niet te extreem zijn. Er is gezocht naar plots met wegzijgingsklasse W1 of W2 of kwelklasse K1 of K2. Dit houdt in dat de onderrandflux (meestal) tussen -300 en 200 mm per jaar lag.
- Oppervlakte van de plot: dit moest liefst niet te klein zijn.



Figuur 2.1 Cumulatieve frequentieverdeling van het Pw-getal in de bovenste 30 cm voor alle STONE-plots (totaal), de plots op zavel/klei en die op zand. De symbolen geven de percentielwaarden van de voor deze studie gekozen STONE-plots.

In Tabel 1 en 2 zijn de geselecteerde STONE-plots met een aantal relevante kenmerken gegeven.

Tabel 1

Relevante kenmerken van de twaalf geselecteerde STONE-plots op zandgrond die in de uitgangssituatie ongedraineerd (zonder drainbuizen) zijn. Vetgedrukte nummers zijn overgenomen van de modelstudie van Van Bakel et al. (2008a). Nummers met een x gemarkeerd zijn niet gebruikt bij de berekeningen voor bodemverbetering (subparagraaf 2.1.6).

STONE plot nummer	Areaal (ha)	Bodemsoort (bodemeenheid)	Land-gebruik	Streefpeil zom./win. (cm -mv)	GHG (cm -mv)	GLG (cm -mv)	Kwel(+)-flux (mm j ⁻¹)	Pw-getal	
								(mg P ₂ O ₅ l ⁻¹)	Per-centiel
2379	800	beekeerd (pZg23)	gras	90/120	17	108	164	65	49
3059	238	beekeerd (pZg23)	gras	90/120	18	132	39	111	85
3493	825	podzol (Hn21)	mais	110/140	23	107	40	103	81
3740	2400	beekeerd (pZg23)	gras	90/120	17	102	250	41	21
4603 x	263	podzol (Hn23x)	akkerbouw	110/140	22	128	132	129	91
4974	456	podzol (Hn21)	gras	130/160	44	136	-29	91	74
5055	213	podzol (Hn21)	mais	130/160	51	147	-96	156	97
5325	1019	podzol (Hn21)	mais	90/120	26	124	103	156	98
5496	256	podzol (Hn21)	akkerbouw	130/160	41	144	8	121	89
5622	738	podzol (Hn21)	mais	100/130	33	124	147	146	94
5654	663	enkeerd (EZg23)	gras	90/120	27	80	859	88	71
5724 x	375	podzol (Hn21)	gras	90/120	46	146	-88	104	81

Tabel 2

Relevante kenmerken van de twaalf geselecteerde STONE-plots op zavel- en kleigrond die in de uitgangssituatie ongedraineerd (zonder drainbuizen) zijn. Nummers met een x gemarkeerd zijn niet gebruikt bij de berekeningen voor bodemverbetering (subparagraaf 2.2.6).

STONE plot nummer	Areaal (ha)	Bodemsoort	Land-gebruik	Streefpeil zom./win. (cm -mv)	GHG (cm -mv)	GLG (cm -mv)	Kwel(+)-flux (mm j ⁻¹)	Pw-getal	
								(mg P ₂ O ₅ l ⁻¹)	Per-centiel
232 x	112	zavel	mais	130	25	171	-107	99	100
283	738	zavel	akkerbouw	130	32	178	-138	46	95
686	250	zavel	gras	80	15	164	14	33	80
775	1088	lichte klei	gras	80	21	126	7	19	48
3424	131	zware klei	mais	120	16	178	-161	30	75
3675 x	125	lichte klei	akkerbouw	130/160	28	167	-131	79	98
3785	444	zavel	akkerbouw	165/195	24	181	1	95	99
4596	363	lichte klei	gras	120	36	159	-99	10	23
4817 x	88	zware klei	mais	120	19	184	-179	59	97
4989	119	zavel	mais	150	34	170	-45	108	100
5009	300	lichte klei	akkerbouw	90/120	24	163	-39	54	97
5088 x	94	zavel	gras	130	19	165	58	50	96

2.2.3 Uitmijnen

Uitmijnen is een methode waarbij de fosfaattoestand van de bodem sterk wordt verlaagd door geen P aan te voeren (niet te bemesten of te beweiden) en zo veel mogelijk P af te voeren. Deze methode wordt meestal uitgevoerd door gras te verbouwen bij een optimale N-bemesting (Koopmans et al., 2004; Van der Salm et al., 2009). De effecten zijn in beeld gebracht op basis van berekeningen met STONE voor een periode van 20 jaar (2009-2029).

2.2.4 Fosfaattoestand 'voldoende'

Het nitraatactieprogramma streeft naar de realisatie van een neutrale fosfaattoestand op alle Nederlandse gronden. Dit komt voor de meeste bodems en vormen van landgebruik overeen met een toestand ruim voldoende. In 2027 zal deze toestand nog niet op alle gronden bereikt zijn omdat de fosfaatgebruiksnormen op gronden met een hoge toestand slechts iets hoger zijn dan de onttrekking. Bij deze maatregel wordt onderzocht wat de P-verliezen zouden zijn als op alle Nederlandse landbouwgronden een P-toestand is bereikt waarbij geen opbrengstreducties mogen worden verwacht conform de bemestingsadviezen.

De effecten van P-toestand en P-giften op de gewasopbrengst zijn gebaseerd op Ehlert *et al.* (2005). In deze studie is op basis van bemestingsadviezen gekeken naar de fysieke opbrengstderving bij de fosfaatgebruiksnormen uit het 4e Nitraatactieprogramma in relatie tot de P-toestand (Pw-getal, P-Al-getal). In de studie van Ehlert zijn analyses uitgevoerd voor grasland en verscheidene akkerbouwrotaties. Voor de eenvoud is dit onderscheid niet meegenomen en is voor akkerbouw uitgegaan van een 1:4 rotatie van aardappel, wintertarwe, suikerbiet en snijmais/zomergraan. Voor grasland wordt geen opbrengstderving verwacht bij een P-Al getal van 20 mg P₂O₅ 100g⁻¹ bij een fosfaatgebruiksnorm van 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹. Voor een 1:4 akkerbouwrotatie wordt geen opbrengstderving verwacht bij een Pw-getal van 30 mg P₂O₅ l⁻¹ indien bij een gebruiksnorm van 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ het fosfaat uitsluitend wordt gebruikt voor de bemesting van de fosfaatbehoeftige gewassen in de rotatie (aardappel, suikerbiet).

Het effect van deze maatregel wordt in beeld gebracht door in de invoer van het model PLEASE de huidige fosfaattoestand van de bodem (0-20 cm) te vervangen door een situatie waarbij uitgegaan wordt van de minimale P-toestand, waar bij het huidige mestbeleid geen opbrengstderving mag worden verwacht. Wij nemen hierbij aan dat de fosfaattoestand in de diepere bodemlagen (20-50 cm) niet verandert. Deze aanname is te rechtvaardigen, omdat veranderingen in de P-toestand van de diepere bodemlagen langzaam verloopt en de reductie in fosfaatgiften bij deze maatregel relatief beperkt is, waardoor er in 2027 geen significante effecten op de P-toestand van de ondergrond te verwachten zijn. In de situatie dat de fosfaattoestand zo hoog is dat de P-toestand van de laag

20-50 cm hoger is dan de landbouwkundig gewenste toestand van de bouwvoor, hebben wij verondersteld dat de P-toestand van de ondergrond gelijk is aan die van de bovengrond. In de praktijk betekent dit dat op een dergelijk perceel extra maatregelen zijn genomen om de fosfaattoestand te verlagen (bv. uitmijnen) en vervolgens weer een normale landbouwpraktijk is gestart. Voor grasland wordt het P-Al-getal gebruikt als indicatie voor de bodemvruchtbaarheid. Het model PLEASE gebruikt het Pw-getal als invoer. Voor deze studie is aangenomen dat, bij gebruik van de gebruikelijke eenheden, het Pw-getal ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$) gelijk is aan het P-AL-getal ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$) (van der Paauw en Sissingh, 1968).

2.2.5 Omzetten van landbouw in natuur

Bij het omzetten van landbouw in natuur worden drainagesystemen afgesloten en wordt niet meer bemest. Voor het in beeld brengen van dit effect wordt, vanwege de eenvoud, ervan uitgegaan dat de bodem eerst uitgemijnd wordt (maatregel 4) en vervolgens het drainagesysteem wordt aangepast (maatregel 2). Dit effect zal gunstiger zijn dan wanneer de locatie direct in natuur wordt omgezet, omdat het uitmijnen langzamer zal verlopen als de grond slecht gedraineerd is en er geen stikstofbemesting wordt gegeven.

2.2.6 Bodemverbetering

De maatregel 'bodembetering' is in deze studie uitgewerkt als het effect op de P-uit- en -afspoeling van het verbeteren van een verdichte bodem. Bodemverdichting is in algemene zin in Nederland het proces waardoor landbouwbodems het sterkst verslechteren (pers. med. Jan van den Akker).

Voor het afleiden van rekenregels om het effect van bodemverdichting te beschrijven door PLEASE, is de 'omgekeerde weg' gevolgd. Uitgangspunt in PLEASE is een niet-verdichte bodem en de afgeleide rekenregels converteren deze niet-verdichte toestand naar een verdichte toestand. Vergelijking van de P-uit- en -afspoeling van beide bodemtoestanden geeft het effect van het verbeteren van verdichte bodems. Dit effect is met PLEASE doorgerekend voor de bodems die op de bodemverdichtingsrisicokaart van Van den Akker *et al.* (2013) als gevoelig voor verdichting zijn aangemerkt met de risicoklassen 'groot' en 'zeer groot'.

Voor het afleiden van de rekenregels voor bodembetering zijn de basisberekeningen van subparagraaf 2.2.2 (2.2.2.1 Methodes) vergeleken met berekeningen voor een verdichte situatie. Bij de laatste berekeningen is in de modelbodemkolom een verdichte laag aangebracht en is het model SWAP uitgebreid met het proces van lateraal uitstromen van schijngrondwater boven een verdichte bodemlaag naar open drains.

Voor de zavel-/kleigronden is de verdichte laag gemodelleerd als de ploegzool op een diepte van 25 tot 50 cm -mv uit de Andelst-veldproef op lichte klei (Smelt *et al.*, 2003). Voor de zandgronden is de verdichte laag in het model opgenomen volgens aanwijzingen van Jan van den Akker op een diepte van 25 tot 75 cm -mv. Ook is de bewortelingsdiepte in de verdichte situaties aangepast: voor gras tot de verdichte laag op 25 cm diepte en voor mais tot 60 cm diepte (dieper wortelen door de verdichte laag kost de plant te veel energie). Details van de modelmatige beschrijving van de verdichte lagen zijn gegeven in Bijlage 5, B5.1.

De modelberekeningen voor bodemverdichting zijn verder uitgevoerd op een vergelijkbare wijze als bij de drainageberekeningen (paragraaf 2.2). Dezelfde perioden zijn doorgerekend en de rekenregels voor PLEASE zijn afgeleid uit de gemiddelden van de periode 2026-2030 als schatting voor het toetsjaar 2027. Belangrijkste verschil met de modelberekeningen voor de drainage is dat voor de bodemverdichting alleen met SWAP is gerekend. De rekenregels voor PLEASE beschrijven het effect van bodemverdichting op de wateruitstroming uit de bovenste 25 cm van het bodemprofiel. Ze zijn van de vorm van een 'uitstroomfactor' F_{verdicht} als functie van verklarende variabele is $R_{25,\text{oorspr}}$ de relatieve laterale wateruitstroming door en over de top 25 cm (niet-verdichte laag) als fractie van de totale wateruitstroming naar de open drains in de oorspronkelijke uitgangssituatie (vergelijkingen [3.5], [3.8] en [3.9], paragraaf 3.6). De 'uitstroomfactor' is de factor waarmee de laterale flux door de top 25 cm in de onverdichte situatie moet worden vermenigvuldigd om de laterale top-flux in de

verdichte situatie te verkrijgen. Met deze aangepaste wateruitstroming is PLEASE doorgerekend om de P-uitspoeling bij bodemverdichting te berekenen.

De berekeningen zijn gedaan voor de STONE-plots uit de Tabellen 1 en 2, behalve voor de bodems die niet in de risicoklassen 'groot' en 'zeer groot' vallen welke zijn aangegeven met een 'x'. Bij de zavel-/kleigronden zijn nog de twee extra plots 574 en 687 meegenomen om een betere 'dekking' voor de verklarende variabele te verkrijgen (zie verder Bijlage 5, B5.2).

2.3 Areaal dat bijdraagt aan belasting oppervlaktewater

Fosfaatemissies vanuit de bodem naar het oppervlaktewater treden uitsluitend op indien er direct transport van water vanuit het perceel naar het oppervlaktewater plaatsvindt. Indien water via diepe stroombanen in het oppervlaktewater terechtkomt, is er voldoende mogelijkheid om het fosfaat in de diepere ondergrond te binden en zal de emissie verwaarloosbaar zijn. Om goed in beeld te brengen waar maatregelen effect kunnen hebben, wordt per gridcel het areaal bepaald van waaruit P-belasting plaatsvindt. De breedte van de zone die bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater, kan berekend worden met een formule die gebaseerd is op het stroombanenconcept en de indringingsdiepte van een sterk absorberende stof (Schoumans et al., 2008).

2.4 Risicogebieden voor oppervlakkige afspoeling

De afvoer van water en stoffen door oppervlakkige afstroming is lastig te modelleren, doordat het een zeer heterogeen proces is in ruimte en tijd. Het model PLEASE bevat een zeer simpele beschrijving voor het berekenen van oppervlakkige afstroming (Schoumans et al., 2008; Schoumans et al., 2013). Voor alle situaties wordt aangenomen dat er 5 mm water over het maaiveld wordt afgevoerd. In deze beschrijving wordt dus geen rekening gehouden met lokale factoren als de infiltratiecapaciteit, ligging van het maaiveld en de timing van bemesting. Om deze beperkingen te ondervangen, is in deze studie een kwalitatieve analyse opgenomen van de risico's voor oppervlakkige afstroming, zodat in beeld gebracht wordt in welke gebieden van Nederland de verliezen mogelijk worden onderschat door het optreden van oppervlakkige afvoer. Indien oppervlakkige afspoeling optreedt op recent bemeste percelen en/of percelen met een hoge fosfaattoestand kunnen de fosfaatverliezen groot zijn. Op locaties met hoge risico's op oppervlakkige afspoeling zullen maatregelen om deze verliezen te beperken of te voorkomen een aanzienlijk effect hebben op het terugdringen van de emissies van fosfaat naar het oppervlaktewater.

3 Rekenregels voor het implementeren van de maatregelen

3.1 Effecten huidige mestbeleid

De effecten van het 5de Nitraat Actieprogramma zijn met STONE doorgerekend (Groenendijk et al., 2015). Om deze resultaten te vertalen naar variabelen in het PLEASE-model wordt uitgegaan van het verschil van de uitspoeling in 2012 met de uitspoeling in 2027. De berekening van deze verschillen is gebaseerd op de voor weerseffecten gecorrigeerde resultaten, aangezien PLEASE uitgaat van langjarig gemiddelde hydrologische variabelen. De correctie voor weerseffecten in STONE geschiedt door uit te gaan van de neerslag van de periode 1981–2010 en STONE 30 keer te runnen met steeds een volgend jaar van de genoemde reeks als startjaar. De deelreeks vanaf 1981 tot aan het genoemde startjaar wordt dan achter aan de reeks gevoegd om toch een volledige dertigjarige reeks te krijgen.

Rekenexperimenten wijzen uit dat het niet zinvol is om regressierelaties af te leiden voor het verschil in uitspoeling als functie van Pw, P-overschot, GHG en waterafvoer. Daarom is besloten de STONE-resultaten samen te vatten in een Tabel met verschillende klassen van GHG en Pw-getal in 2012 (Tabel 3). De klasse-indeling is gebaseerd op een analyse van de verdelingen van GHG en Pw-getal, zoals deze is weergegeven in Bijlage 3. Het blijkt dat een klasse-indeling voor de GHG met intervallen van 20 cm en voor de Pw met intervallen van 20 (mg P₂O₅/L grond) voldoende onderscheid oplevert voor de toepassing op PLEASE-rekeneenheden. De aantallen STONE-plots en de arealen waarop de verschillen betrekking hebben, staan vermeld in Bijlage 4.

Tabel 3

Afname van de P-uitspoeling (kg ha⁻¹ jr⁻¹) in 2027 t.o.v. de P-uitspoeling in 2012 bij constante bemesting vanaf 2013 volgens de normen van het 5de Nitraat Actieprogramma.

Ge- was	Grond- soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80- 100	Pw 100- 120	Pw 120- 140	Pw 140- 160	Pw >160	
Akker -bouw	Klei	0	GHG 0-20			0.231197		1.609293					
			GHG 20-40	0.063847	0.065102	0.170968	0.039903						
			GHG 40-60	0.00817	0.029358	0.038366	0.047436						
			GHG 60-80	0.012186	0.000702	0.030267							
			GHG 80-100	0.01517	-0.00103	0.004194	0.047817						
			GHG 100-120	0.002823	0.014532		0.012382						
			GHG 120-140	-0.00221	0.005393		0.004624						
			GHG 140-160						0.01644				
	GHG >160		6.25E-05	0.003849	0.049643	0.00332	0.032442						
	Veen	0	GHG 0-20			0.299379							
			GHG 20-40	0.073617	0.036637	0.192583	0.312236	0.14413					
			GHG 40-60	0.038548	0.056531	0.045742	0.143756						
			GHG 60-80	0.02292	0.032599	0.038671	0.042077	0.044925	0.057938				
			GHG 80-100	0.002205	0.025593	0.029612	0.026341	0.038601					
			GHG 100-120		0.008436	0.00668	0.003116						
			GHG 120-140		0.014548	-0.00055	-0.00529	-0.00039	0.005471				
GHG >160				-0.00076	0.000394	0.001655	0.020465						
Zand	0	GHG 0-20	0.354214	0.244908	0.831677	0.60136	1.08673						
		GHG 20-40	0.50706	0.21747	0.840786		0.482197	0.239588					
		GHG 40-60	0.051747	0.298596	0.090546								
		GHG 60-80	-0.04407										
		GHG 80-100	-0.04244										
		GHG >160	-0.00865										
		1	GHG 0-20		0.220186								
			GHG 20-40		0.122558	-0.00504							
GHG 40-60			0.140476	0.124866									
GHG 60-80			0.219716	-0.28781		0.153715							
1	GHG 80-100			-0.09249		-0.01832							
	0	GHG 0-20							0.291084				
		GHG 20-40			0.290402	0.09373	0.208224	0.118671	0.151712	0.138199			
		GHG 40-60	-0.02378	0.07575	0.104737	0.121653	0.088995	0.051818	0.040057	0.036767			

Ge-was	Grond-soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80-100	Pw 100-120	Pw 120-140	Pw 140-160	Pw >160			
			GHG 60-80	0.05761	-0.03311	0.014914	0.037675	0.068916	-0.0017	0.021311	0.040737				
			GHG 80-100		-0.03351	0.025757	0.035627	0.040114	0.014335	0.020447	-0.02397				
			gras	Klei	0	GHG 0-20	0.048622	0.037985	0.069596						
						GHG 20-40	0.013369	0.019538	0.039191						
GHG 40-60	0.006191	0.006058				0.04204									
GHG 60-80	0.005029	0.00789				0.031245									
GHG 80-100	0.004086	-0.0006													
GHG 100-120	0.001024	0.010677													
GHG 120-140	0.00108														
GHG 140-160	-0.0004														
GHG >160	0.001101	0.003541													
1	GHG 0-20	0.002015													
	GHG 20-40	0.015786			0.02018	0.060204									
	GHG 40-60	0.008936			0.008585	0.018872									
	GHG 60-80	0.012145			0.017557	0.00548									
	GHG 80-100	0.009622			0.015726	0.019423	0.013057								
	GHG 100-120	0.001821			0.006551										
	GHG 120-140	0.004934			-0.01078										
	GHG 140-160		-0.00105												
0	GHG 0-20	0.013966	0.017219	0.141957	0.16511	0.08919	0.076449	0.177596							
	GHG 20-40		0.030036	0.029749	0.043171	0.088832	0.116532								
	GHG 40-60		0.002604	0.012552	0.053191	0.06363									
	GHG 60-80	-0.01797	-0.00632	0.015889	-0.21594	0.06362	0.049841								
	GHG 80-100				0.015447	0.011691									
	GHG 120-140				-0.01										
	GHG >160				-0.00617		-0.01827								
1	GHG 0-20	-0.02711	0.0028	0.14866	0.1282										
	GHG 20-40		0.038864	-0.01807											
	GHG 40-60		-0.00605	-0.0285	0.008359	-0.04093									
	GHG 60-80		0.003308	0.007611											
	GHG 80-100		-0.0063												
Zand		0	GHG 0-20	0.076712	0.109305	0.041996	0.040941	0.055155	0.269						
			GHG 20-40	0.0027	0.02224	0.026826	0.04021	0.042383	0.092891	0.063164					
			GHG 40-60	0.005772	0.006498	0.011865	0.014663	0.021077	0.017701	0.028056					
			GHG 60-80	0.003141	0.003526	0.004918	0.011152	0.008482	0.019056	0.016165					
			GHG 80-100	0.004557	0.000891	0.003889	0.010408	0.003521	0.026108	0.009016					
			GHG 100-120	-5E-05	0.001843	0.002323	0.007663	0.004623	0.054106	0.003938					
			GHG 120-140	0.002325	0.000477	0.004648	0.004527	0.000915	0.004209	0.004969					
			GHG 140-160	0.000792	0.005412	0.007457	0.00698	0.000348	0.006026						
		GHG >160	0.001797	0.000504	0.006051	0.007766	0.008142								
		1	GHG 0-20	0.542353	0.172877	0.08063									
			GHG 20-40		0.012866	0.027256	0.013696	-0.00244							
			GHG 40-60	-0.00506	0.012542	-0.00136	-0.01134	-0.00396	-0.01058						
			GHG 60-80	-0.00834	-0.00243	-0.0092	-0.00538	-0.00947	-0.00305						
			GHG 80-100	-0.00561	-0.00094	-0.00211	0.000878	-0.01585	-0.00192						
			GHG 100-120					-0.01002	-0.00116						
			GHG 120-140	0.002907		-0.00138									
			GHG 140-160			-0.00035									
GHG >160			-0.00028	0.000861											
mais	Klei	0	GHG 20-40		0.002169	0.046785	0.051724	0.12844	0.336856						
			GHG 40-60			0.03149	0.032204	0.064995	0.075116	0.145303					
			GHG 60-80				0.022203	0.171096	0.053835	0.04283	0.0296				
			GHG 80-100		0.132909		0.038844	0.013911		0.057598	0.032166				
			GHG 100-120			-0.00106	0.019155	0.03144		0.017093					
			GHG 120-140				0.014403	0.063579	0.057415						
			GHG 140-160					0.008574							
			GHG >160			0.00876	0.012346	0.00344	0.062115	0.014291	0.034411				
		1	GHG 20-40			0.123337	0.121012			0.155531					
			GHG 40-60			0.022959	0.058347	0.223023	0.175836						
			GHG 60-80		0.025001	0.04103	0.055058	0.097023	0.064378	0.061999	0.117829	0.190433			
			GHG 80-100			0.038794	0.030216	0.044974	0.065362	0.022624		0.078551			
			0.001938	0.008817	0.032044	0.010155	0.021098								
			0.003221	0.00644											

Ge- was	Grond- soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80- 100	Pw 100- 120	Pw 120- 140	Pw 140- 160	Pw >160
	Veen	0	GHG >160						0.003122			
			GHG 0-20		0.461349	1.624573	0.535584	0.371863			0.968858	1.722358
			GHG 20-40		3.423596	0.754837	6.135021	0.222905				0.277314
			GHG 40-60		4.260127	0.351644	0.230247	0.14813				
			GHG 60-80			0.334889		0.102223				
			GHG 80-100			0.097441		0.10688				
			GHG 140-160			0.043134						
			GHG >160						0.021861			
		1										
			GHG 20-40				2.710597			0.289573		
			GHG 40-60			3.933333						
	Zand	0										
			GHG 20-40		1.310281	0.17294	0.538991	0.33157	0.620991	0.398769	0.092137	
			GHG 40-60			0.046311	0.407242	0.138408	0.135776	0.141377	0.351374	
			GHG 60-80			-0.01743	0.351308	0.085422	0.076713	0.075057	0.11487	
			GHG 80-100			0.016002	0.043914	0.050222	0.082703	0.048931	0.040539	
			GHG 100-120			0.002614	0.030659	0.020621	0.027299	0.030167		
			GHG 120-140			0.05616	0.029941	0.027007	0.019936	0.030557		
			GHG 140-160				0.056008	0.016506	0.029651	0.048033	0.052497	
			GHG >160			0.028539	0.025984	0.038072	0.017877	0.01173	0.04405	
		1										
			GHG 20-40				0.45943	0.103557	0.07595	0.6813		
			GHG 40-60		0.5062	0.043705	2.690492	0.707467	0.15024	-0.11311		
			GHG 60-80		2.329984	0.284666	0.836659	0.075816	-0.23684	0.005358	-0.00423	
			GHG 80-100				0.028475	0.038246	-0.37665	0.053756		
			GHG 100-120					0.042725	0.014424	0.025669		
			GHG 120-140				0.013354					-0.00056
			GHG 140-160				0.008113				0.009687	
			GHG >160				0.005859	0.010976	0.005625	-0.01297		

3.2 Drainage

De resultaten van de berekeningen van conventionele drainage en diepe, regelbare drainage worden in deze paragraaf samen gepresenteerd en besproken omdat ze onderling samenhangen. Het gaat hierbij met nadruk om buisdrainage. Andere vormen van drainage met ontwateringsmiddelen, zoals perceelstoten en -greppels, blijven in deze berekeningen onveranderd (zie ook subparagraaf 2.2.2).

De berekeningen van beide drainagevormen zijn voor alle geselecteerde rekeneenheden (STONE-plots) op dezelfde manier uitgevoerd (zie subparagraaf 2.2.2 en Bijlage 5). Uit de berekeningsresultaten zijn rekenregels afgeleid voor de effecten op de P-uit- en -afspoeling van de volgende veranderingen van de drainagetoestand:

1. Aanleggen van moderne conventionele buisdrainage in de ongedraineerde (= niet met buizen gedraineerde) situatie;
2. Aanleggen van diepe, regelbare buisdrainage in de ongedraineerde situatie;
3. Omzetten van conventionele buisdrainage in diepe, regelbare buisdrainage;
4. Alleen voor optie 5 'omzetten landbouw in natuur' (3.5): omzetten van een conventioneel met buisdrainage gedraineerde toestand die is uitgemijnd (3.4) naar een ongedraineerde (= niet met buizen gedraineerde situatie); dus verwijderen van de bestaande buisdrainage na uitmijnen.

De rekenregels zijn afgeleid uit de modeluitkomsten van de P-uit- en -afspoeling, als jaargemiddelden van de periode 2026-2030 die als representatief kan worden gezien voor het toetsjaar 2027, bij de bovengenoemde drie drainagetoestanden (géén drainage, moderne conventionele drainage en diepe, regelbare drainage) zoals beschreven in Bijlage 5. Voor elk van de vier bovenstaande veranderingen van de drainagetoestand is een rekenregel afgeleid. De rekenregels zijn van de vorm:

$$P_{\text{nieuw}} = F_{\text{drain}} P_{\text{oorspr}} \quad (3.1)$$

waarin:

P_{nieuw} = resulterende P-af- en -uitspoeling door aanpassing van de drainagetoestand ($\text{kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$);

P_{oorspr} = P-uit- en -afspoeling in de oorspronkelijke situatie (ongedraineerd of conventioneel gedraineerd) ($\text{kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$);

F_{drain} = drainfactor als functie van R_{oorspr} (-);

R_{oorspr} = de ratio van P_{oorspr} af en uit de bovenste 50 cm en P_{oorspr} uit de rest van het bodemprofiel (-).

$$R_{\text{oorspr}} = \frac{P_{50 \text{ cm, oorspr}}}{P_{\text{diepte bodem profiel} > 50 \text{ cm, oorspr}}} \quad (3.2)$$

Hierbij is F_{drain} als functie van R_{oorspr} verkregen door *curve-fitting* op de modeluitkomsten.

Bij het afleiden van de drainfactoren is onderscheid gemaakt tussen de zandgronden en de zavel-/lichte kleigronden. Door belangrijke verschillen in bodemchemische en bodemfysische eigenschappen vertonen deze gronden sterk verschillend P-uitspoelingsgedrag. Dat uit zich bijvoorbeeld in de grootte en de verdeling van R_{oorspr} . De resultaten van de *curve-fitting* en de daaruit verkregen rekenregels worden daarom achtereenvolgens besproken voor deze twee grondsoorten.

3.2.1 Zandgronden

Figuur 3.1 toont voor de vier veranderingen van drainagetoestand de resultaten van de *curve-fitting* op de modeluitkomsten van de twaalf doorgerekende zandgronden. De achterliggende modeluitkomsten zijn gegeven in Bijlage 5, Tabel B5.3a. De wiskundige beschrijving van de vier gefitte relaties tussen F_{drain} en R_{oorspr} voor de zandgronden geven vergelijkingen (3.3a-d). De determinatiecoëfficiënten R^2 als statistische maat voor de sterkte voor de relaties zijn opgenomen in Figuur 3.1.

De gevonden relaties voor de vier drainagetoestand veranderingen zijn:

1. geen drains → conventioneel: $F_{\text{drain}} = 0,9039 \cdot e^{-0,2219 \cdot R_{\text{oorspr}}}$ (3.3a)

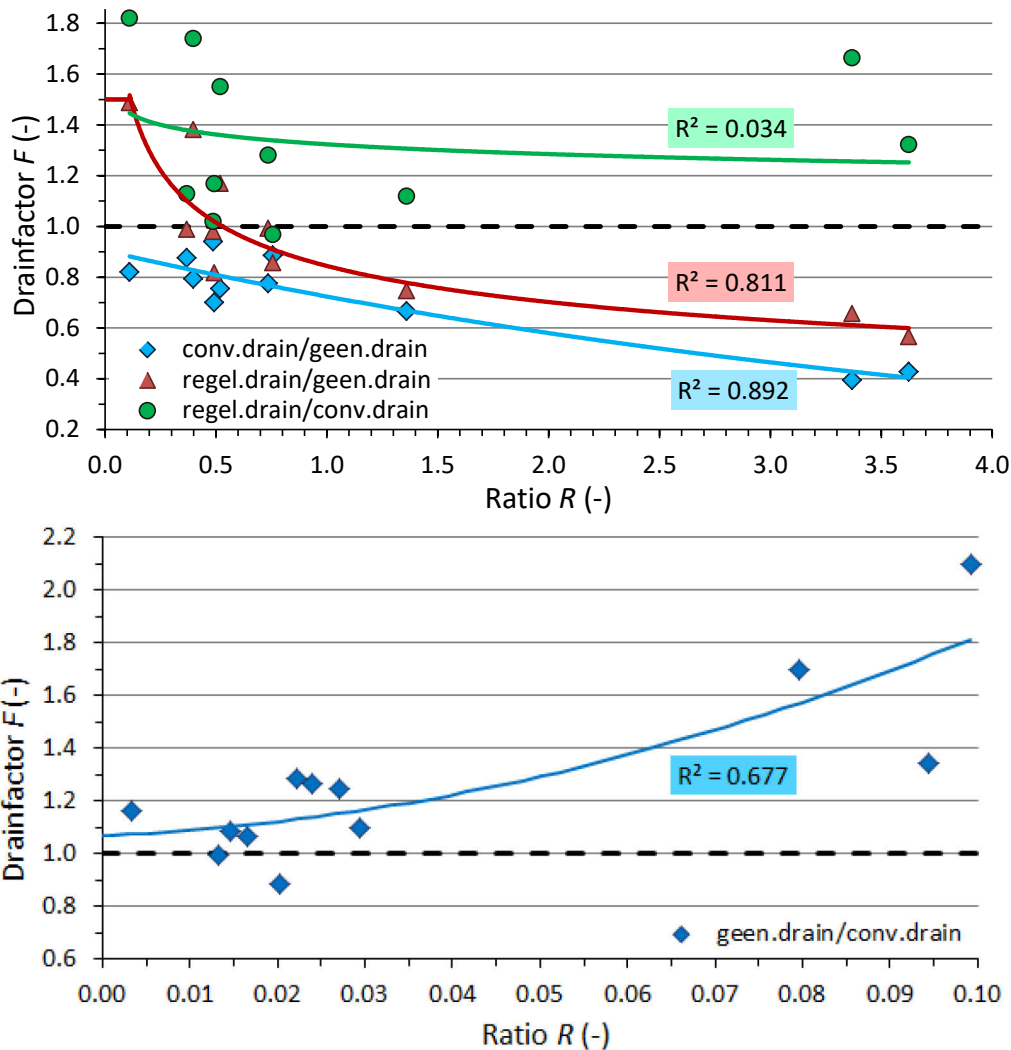
2. geen drains → regelbaar: $F_{\text{drain}} = \text{Min}[1,5 ; 0,8366 \cdot R_{\text{oorspr}}^{-0,2667}]$ (3.3b)

3. conventioneel → regelbaar: $F_{\text{drain}} = 1,33$ (3.3c)

4. conventioneel → geen drains: $F_{\text{drain}} = \text{Min}[2,1 ; 61,30 \cdot R_{\text{oorspr}}^2 + 1,43 \cdot R_{\text{oorspr}} + 1,07]$ (3.3d)

Bij vergelijkingen (3.3b) en (3.3d) is F_{drain} gelimiteerd tot een maximumwaarde die overeenkomt met de hoogste waarde van de populatie van modelberekeningen. Dit om grote uitschieters van F_{drain} te voorkomen voor waarden van R_{oorspr} die buiten het bereik vallen van R_{oorspr} in de modelberekeningen.

De R^2 's van de twee toestanden waarin buisdrainage wordt aangelegd in de ongedraineerde situatie zijn vrij hoog (groter dan 0,8), wat duidt op een sterk verband. De R^2 van omzetten van conventionele buisdrainage naar de situatie zonder drainbuizen is met 0,75 wat minder groot, maar toont toch een duidelijk verband; hoewel er een duidelijke uitbijter is met punt ($x=0,094$; $y=1,34$). De zeer lage R^2 van 0,034 voor de relatie van de omzetting van conventionele drainage naar regelbare drainage betekent dat er geen significant verband is tussen F_{drain} en R_{oorspr} . Daarom is voor deze relatie het gemiddelde van de berekende F_{drain} 's genomen.

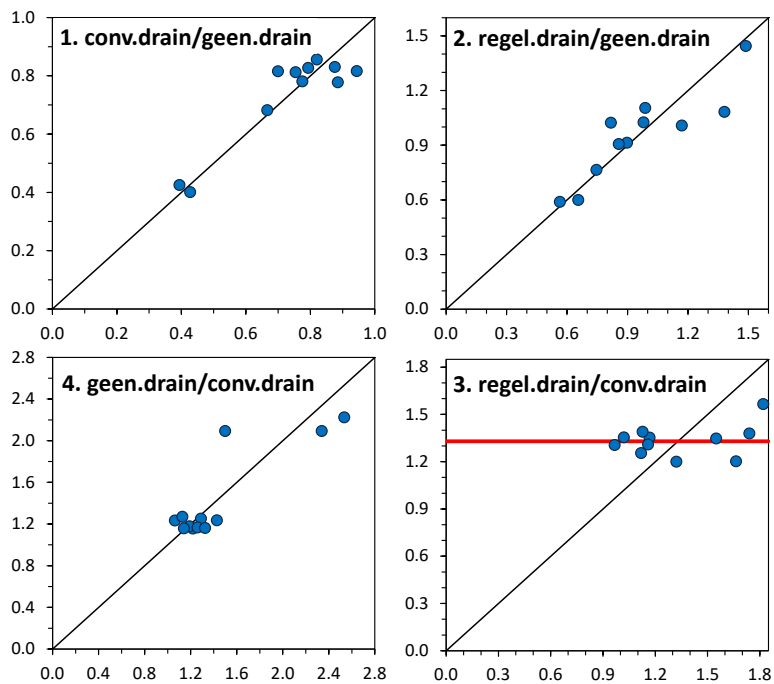


Figuur 3.1 Resultaten van het fitten van de vier drainfactoren F als functie van de ratio R van de P -uit- en -afspoeling uit de top 50 cm en uit de rest van het profiel, voor de zandgronden. Drainfactoren zijn de verhoudingen tussen de P -uitspoeling van de vier drainagetoestanden: geen drains, nieuw aangelegde conventionele drains (conv.drain) en diepe, regelbare drainage (regel.drain). R^2 is de determinatiecoëfficiënt die een maat is voor de sterkte van het verkregen verband. De optie 'geen.drain/conv.drain' geldt voor de P -toestand na uitmijnen. Vanwege de afwijkende schaal is deze optie in een aparte grafiek opgenomen.

De twee functies voor aanbrengen van drainage in de ongedraineerde situatie zijn aflopend bij een toenemende R_{orspr} (aandeel van de top 50 cm in de totale P -uitspoeling): naarmate in de ongedraineerde situatie meer P uit de bovenste 50 cm uitspoelt, is het effect van conventionele en regelbare drainage op de P -uitspoeling groter. De fit voor het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drainage vertoont eveneens een dalende trend, maar de relatie is niet significant.

De verklaring van deze algemene trend is gelegen in de combinatie van de diepteprofielen van wateruitstroming en de P -concentraties in de oorspronkelijke situatie zoals weergegeven in Figuur B5.2 in Bijlage 5. Deze resulteren in het diepteprofiel van de P -uitspoelingsvracht in de meest rechtse plaatjes (Bijlage 5). De cumulatieve frequentieverdeling van deze P -vracht geeft een duidelijk beeld van het aandeel van de top 50 cm van het profiel in de totale P -uitspoeling. Bij een vlakker verloop van de cumulatieve frequentieverdeling is het aandeel van de P afvoer in de bovengrond groter (plot 4603); bij een steiler verloop is het aandeel kleiner (plot 5654). Uit de Tabel boven elke plot in Figuur B5.2 vallen voor plot 4603 (vlak) lage F_{drain} 's van 0,39 en 0,66 af te lezen voor conventionele drains respectievelijk regelbare drains, wat duidt op een sterke verlagings van de P -uitspoeling door aanbrengen van deze vormen van drainage, terwijl voor plot 5654 (steil) hoge F_{drain} 's van 0,82 en 1,49 gelden, indicatie van een kleiner verlagend effect van conventionele drains en zelfs

een verhogend effect op de P-uitspoeling van regelbare drains, doordat er minder water door de diepe ondergrond wordt afgevoerd dan bij een ongedraineerde situatie.



Figuur 3.2 Scatterplots van de vier drainfactoren F voor de zandgronden. Op de x-as de F , afgeleid uit de modelberekeningen en op de y-as de F verkregen met de gefitte relatie. De gefitte F 's (blauwe rondjes) bij regelbare drainage / conventionele drainage zijn verkregen met de oorspronkelijke gefitte relatie (niet opgenomen). De rode lijn is de gemiddelde waarde die als constante F voor de rekenregel van omzetten van conventionele naar regelbare drainage is gekozen.

Het mechanisme achter deze trend is dat drains vooral de ondiepe uitstromingsroutes naar het oppervlaktewater overnemen. Dit is goed te zien in de diepteprofielen van de waterfluxen in Figuur B5.2. Bij een combinatie van een groot aandeel van ondiepe uitstromingsroutes en relatief hoge P-concentraties boven in het profiel verleggen de drains de P-uitspoelingsroutes naar diepere lagen met lagere P-concentraties met als gevolg een afname van de P-uitspoeling. Voor conventionele drains is daardoor het effect op de P-uitspoeling altijd verlagend. Bij regelbare drains is er een kantelpunt bij een R_{oorspr} van ruim 0,5. Onder deze grenswaarde van R_{oorspr} werken regelbare drains verhogend op de P-uitspoeling. Oorzaak hiervan is de typische definitie van regelbare drains in deze studie, waarbij streefpeilen van 60 cm -mv in zomer en 90 cm -mv in winter worden gehanteerd. Dit met het oog op water vasthouden. Hierdoor blijven de uitspoelingsroutes ondieper dan bij conventionele drainage – wat goed is te zien in Figuur B5.2 – waarbij de draindiepte van 100 cm de constante drainagebasis vormt. Daardoor leidt het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drainage volgens deze definitie altijd tot een toename van de P-uitspoeling met een constante factor van 1,33.

Het stoppen van (conventionele) drainage (Figuur 3.1) vertoont (logischerwijs) de omgekeerde trend van het aanbrengen van conventionele drainage. Deze trend impliceert dat naarmate in de gedraineerde situatie het aandeel aan de P-uitspoeling van de bovenste 50 cm van het profiel groter is, de toename van de P-uitspoeling bij verwijderen van de drainage (onevenredig) groter wordt.

Figuur 3.2 toont de vergelijking tussen de F_{drain} -waarden direct afgeleid uit de modeluitkomsten en die voorspeld met de gefitte relaties als scatterplots. Deze geven een beeld van hoe goed de fits de oorspronkelijke modeluitkomsten beschrijven. Als waarden op de lijn liggen, zijn ze gelijk voor modeluitkomst en fit. Rechts van de lijn betekent onderschatting door de fit; links van de lijn overschatting. De scatterplots weerspiegelen de R^2 's van Figuur 3.1: hoe groter de R^2 , des te dichter

liggen de punten bij de lijn. Duidelijk te zien zijn het wat mindere sterke verband bij drainagetoestandverandering 4 en het ontbreken van een duidelijk verband bij drainagetoestandverandering 3.

3.2.2 Zavel-/kleigronden

Figuur 3.3 toont voor de vier veranderingen van drainagetoestand de resultaten van de *curve-fitting* op de modeluitkomsten van de twaalf doorgerekende zavel-/kleigronden (zie subparagraaf 3.3.1). De achterliggende modeluitkomsten zijn gegeven in Bijlage 5, Tabel 5.3b.

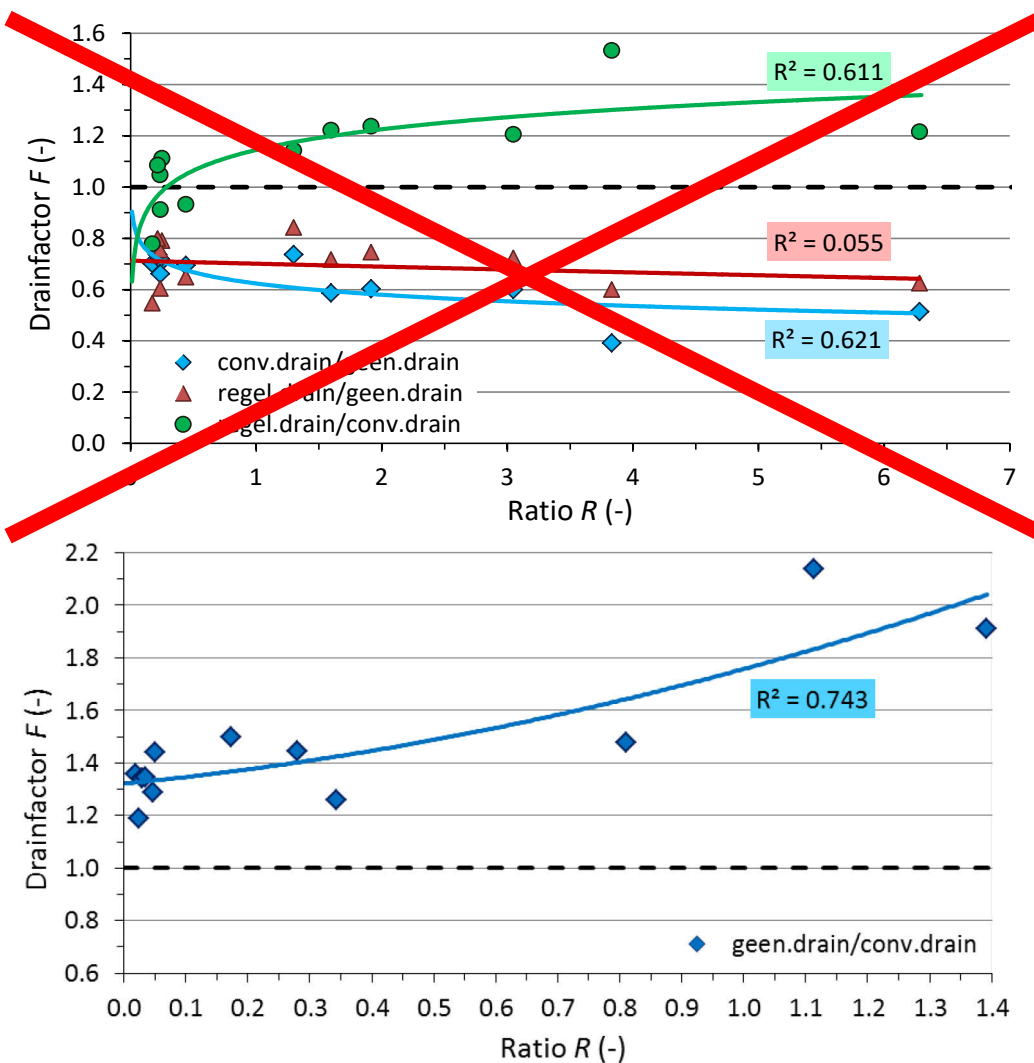
De wiskundige beschrijving van gefitte relaties tussen F_{drain} en R_{oorspr} voor de vier drainagetoestandveranderingen bij de zavel-/kleigronden geven vergelijkingen (3.4a-d). De determinatiecoëfficiënten R^2 als statistische maat voor de sterkte voor de relaties zijn opgenomen in Figuur 3.3.

1. geen drains → conventioneel: $F_{\text{drain}} = -0,0634 \cdot \ln(R_{\text{oorspr}}) + 0,6293$ (3.4a)

2. geen drains → regelbaar: $F_{\text{drain}} = 0,70$ (3.4b)

~~3. conventioneel → regelbaar: $F_{\text{drain}} = 0,1162 \cdot \ln(R_{\text{oorspr}}) + 1,1448$ (3.4c)~~

4. conventioneel → geen drains: $F_{\text{drain}} = \text{Min}[2,1 ; 0,206 \cdot R_{\text{oorspr}}^2 + 0,23 \cdot R_{\text{oorspr}} + 1,32]$ (3.4d)



Figuur 3.3 Resultaten van het fitten van de vier drainfactoren F als functie van de ratio R van de P -uit- en -afspoeling uit de top 50 cm en uit de rest van het profiel, voor de zavel-/kleigronden. Drainfactoren zijn de verhoudingen tussen de P -uitspoeling van de vier drainagetoestanden: geen drains, nieuw aangelegde conventionele drains (conv.drain) en diepe, regelbare drainage (regel.drain). R^2 is de determinatiecoëfficiënt die een maat is voor de sterkte van het verkregen verband. De optie 'geen.drain/conv.drain' geldt voor de P -toestand na uitmijnen. Vanwege de afwijkende schaal is deze optie in een aparte grafiek opgenomen.

Bij vergelijking (3.4d) is F_{drain} gelimiteerd tot een maximumwaarde die overeenkomt met de hoogste waarde van de populatie van modelberekeningen. Dit om grote uitschieters van F_{drain} te voorkomen voor waarden van R_{oorspr} die buiten het bereik vallen van R_{oorspr} in de modelberekeningen.

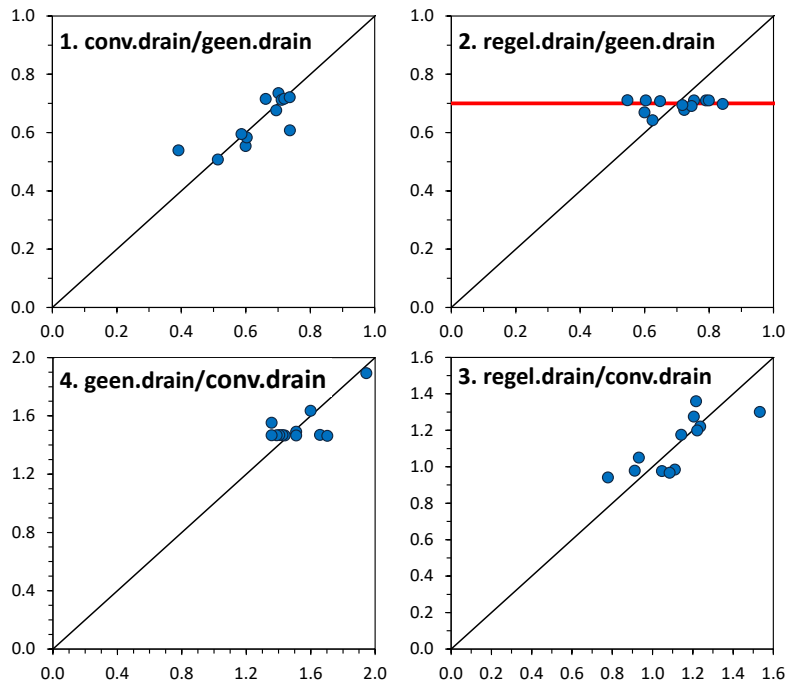
De R^2 's van de fits voor de zavel-/kleigronden zijn veel lager (rond 0,2) dan die van de zandgronden. De twee toestanden waarin buisdrainage wordt aangelegd in de ongedraineerde situatie en waarin conventionele buisdrainage wordt omgezet in regelbare drainage hebben lage R^2 's van ruim 0,6. Deze waarden zijn flink lager dan de hoogste waarden bij de zandgronden. Dit duidt op een minder sterk statistisch verband tussen F_{drain} en R_{oorspr} bij de zavel-/kleigronden in vergelijking met de zandgronden. De waarde van beëindigen van conventionele drains in de uitgemijnde situatie is echter wat hoger bij de zavel-/kleigronden dan bij de zandgronden. De zeer lage R^2 van 0,055 voor de relatie van aanleggen van regelbare drainage in de ongedraineerde situatie betekent dat er geen significant verband is tussen F_{drain} en R_{oorspr} . Daarom is voor deze relatie het gemiddelde van de berekende F_{drain} 's genomen.

Opvallend is dat bij de zavel-/kleigronden het maximale aandeel van de top 50 cm in de P -uitspoeling in de ongedraineerde uitgangssituatie (R_{oorspr}) bijna een factor twee groter is dan bij de zandgronden.

Dit komt vooral door het grotere aandeel van de ondiepe uitstromings- en uitspoelingsroutes bij deze gronden (Figuur B5.2, Bijlage 5). Ook de relatief hoge P-concentratie in de bovenste 50 cm van het profiel ten opzichte van de 1,5 m daaronder draagt daaraan bij. Wat hier niet aan bijdraagt, zijn de vaak relatief hoge P-concentraties beneden 2 m diepte. Dit zijn de plots die links in Figuur 3.3 zijn geconcentreerd met een relatief groot aandeel aan de P-uitspoeling beneden 50 cm en daardoor een lage R.

Ondanks de grotere spreiding in de waarden van R_{oorspr} zijn de effecten van aanbrengen van drains in de ongedraineerde situatie bij de zavel-/kleigronden veel constanter – wat grotendeels de lage R^2 's verklaart – en voor regelbare drains ook veel gunstiger dan bij de zandgronden. Belangrijke oorzaak hiervan is dat bij de zavel-/kleigronden het tertiaire drainagesysteem (droogvallende waterlopen) nauwelijks bijdraagt aan de wateruitstroming en P-uitspoeling door de hoge drainageweerstanden. Hierdoor is de bijdrage van systeem 4, de maaiveld drainage, met zijn lage drainageweerstand (Bijlage 5, B5.1) veel belangrijker dan bij de zandgronden (Figuur B5.2). Het uitstromingsprofiel hiervan heeft bij de zavel-/kleigronden typisch een nogal blokvormig patroon tot 2-2,5 m diepte. Drains nemen vooral deze uitspoelingsroute over, waardoor de uitspoelingsdiepte sterker wordt verplaatst naar 0,5-2 m diepte, waar de P-concentraties meestal relatief laag zijn. Het wat geringere verschil tussen conventionele en regelbare drainage in hun effect op de P-uitspoeling bij de zavel-/kleigronden ten opzichte van de zandgronden, kan grotendeels worden verklaard door het grotere belang van blijvende ondiepe uit- en afspoeling bij conventionele drainage in zavel-/kleigronden. Dat komt ook naar voren in de ruim een factor tien grotere R_{oorspr} van de oorspronkelijk conventioneel gedraineerde situatie van Figuur 3.3-onder in vergelijking met Figuur 3.1-onder. De vernatting door hogere drainagebases bij regelbare drainage speelt dan een wat minder grote rol.

Figuur 3.4 toont de vergelijking tussen de F_{drain} -waarden direct afgeleid uit de modeluitkomsten en die voorspeld met de gefitte relaties als scatterplots. Deze geven een beeld van hoe goed de fits de oorspronkelijke modeluitkomsten beschrijven. Als waarden op de lijn liggen, zijn ze gelijk voor modeluitkomst en fit. Rechts van de lijn betekent onderschatting door de fit; links van de lijn overschatting. De scatterplots weerspiegelen de R^2 's: hoe groter de R^2 , des te dichter liggen de punten bij de lijn. Vergelijking met de scatterplots van de zandgronden in Figuur 3.2 laat naast de R^2 's zien dat de resultaten van het fitten van de relaties voor de zavel-/kleigronden minder goed zijn dan die van de zandgronden.



Figuur 3.4 Scatterplots van de vier drainfactoren F voor de zavel-/kleigronden. Op de x -as de F , afgeleid uit de modelberekeningen en op de y -as de F verkregen met de gefitte relatie. De gefitte F 's (blauwe rondjes) bij regelbare drainage / geen drainage zijn verkregen met de oorspronkelijke gefitte relatie (niet opgenomen). De rode lijn is de gemiddelde waarde die als constante F voor rekenregel van omzetten van geen drainage naar regelbare drainage is gekozen.

3.2.3 Implementatie

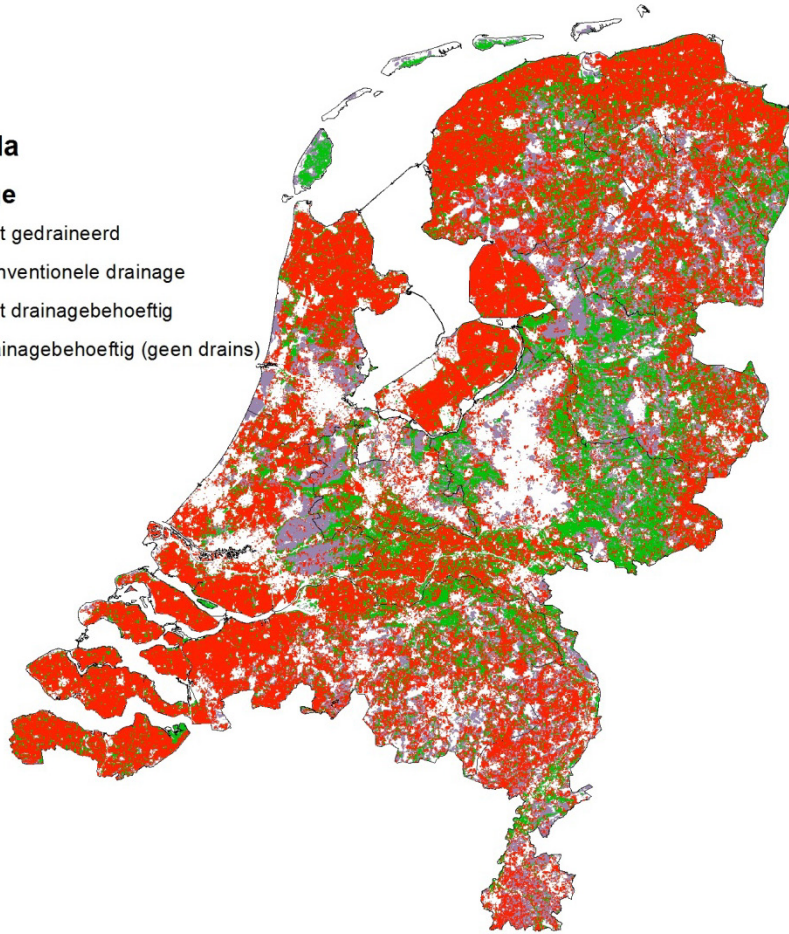
Voor het doorrekenen van de effecten van drainage is ervan uitgegaan dat in 2027 overall een zo optimaal mogelijk drainagesysteem aanwezig is. Dit betekent dat alle conventionele buisdrainage is omgezet naar regelbare drainage. Daarnaast is op alle drainagebehoefte gronden eveneens een systeem van regelbare drainage aangelegd.

De ligging van gedraineerde gebieden zijn ontleend aan de buisdrainagekaart (Massop et al., 2013). Voor het project Klimaatadaptieve drainage zijn de drainagebehoefte gronden in Nederland in kaart gebracht (Van Bakel et al., 2013). In Figuur 3.5 zijn gedraineerde en niet gedraineerde gebieden weergegeven, die kunnen worden opgesplitst in wel en niet drainagebehoefte.

Legenda

Drainage

- Niet gedraineerd
-  Conventionele drainage
-  Niet drainagebehoefstig
-  Drainagebehoefstig (geen drains)

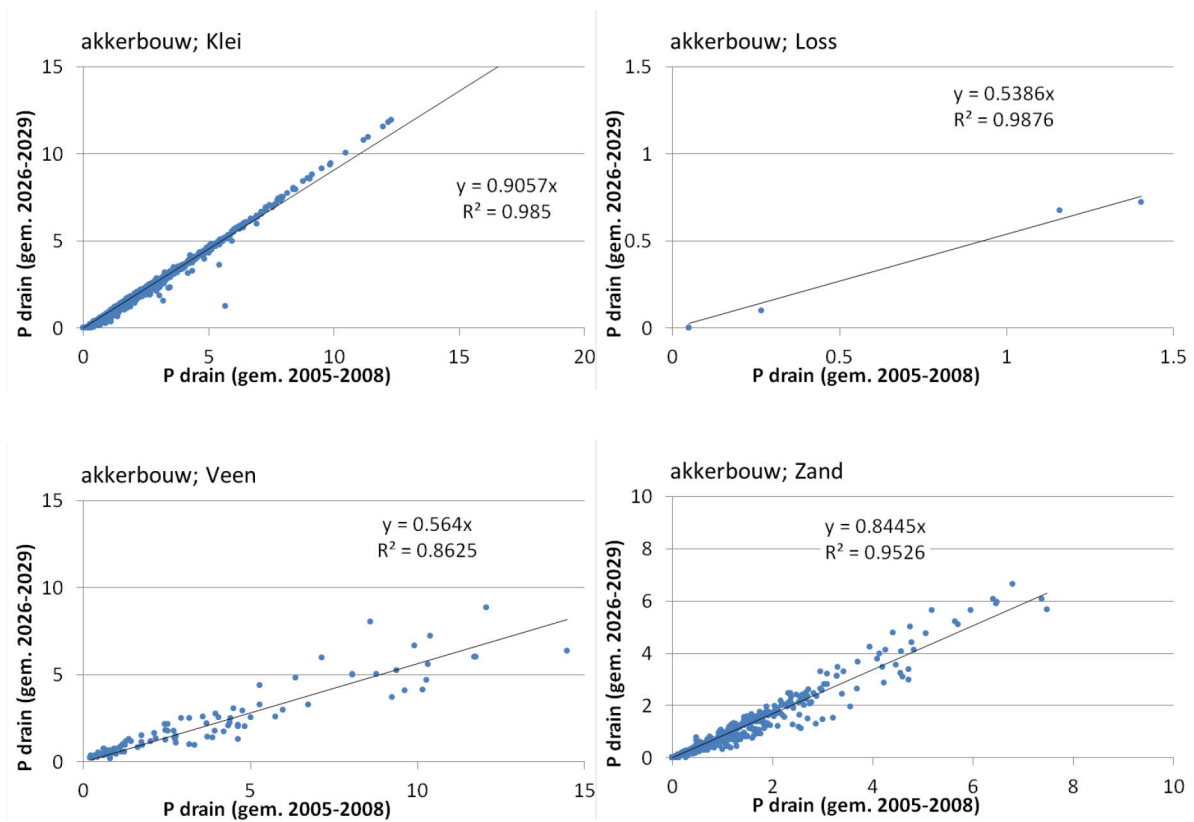


Figuur 3.5 Drainagekaart (Van Bakel et al., 2013).

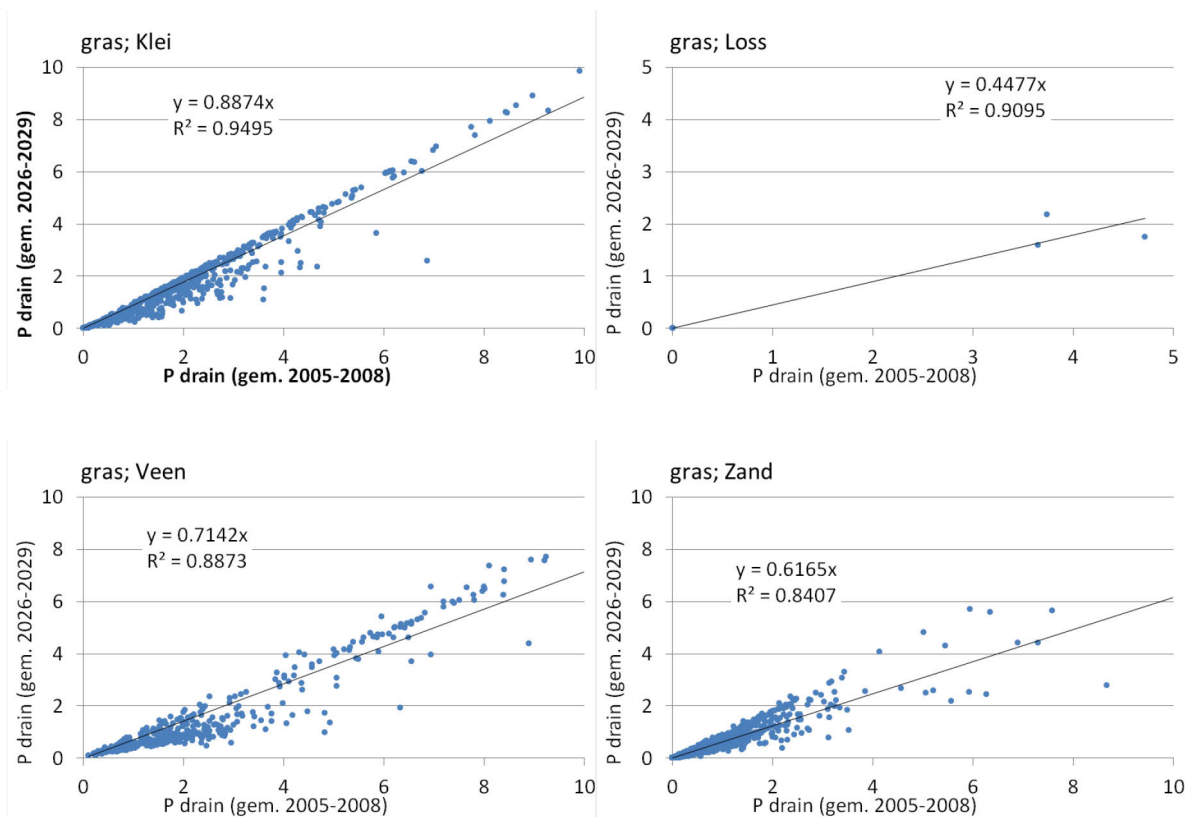
De fosfaatuitspoeling na invoering van regelbare drainage wordt berekend met formule 3.1. Voor gedraineerde gronden is gebruikgemaakt van formule 3.3c en 3.4c. Voor drainagebehoefstige gronden zijn de formules 3.3b en 3.4b gebruikt.

3.3 Uitmijnen

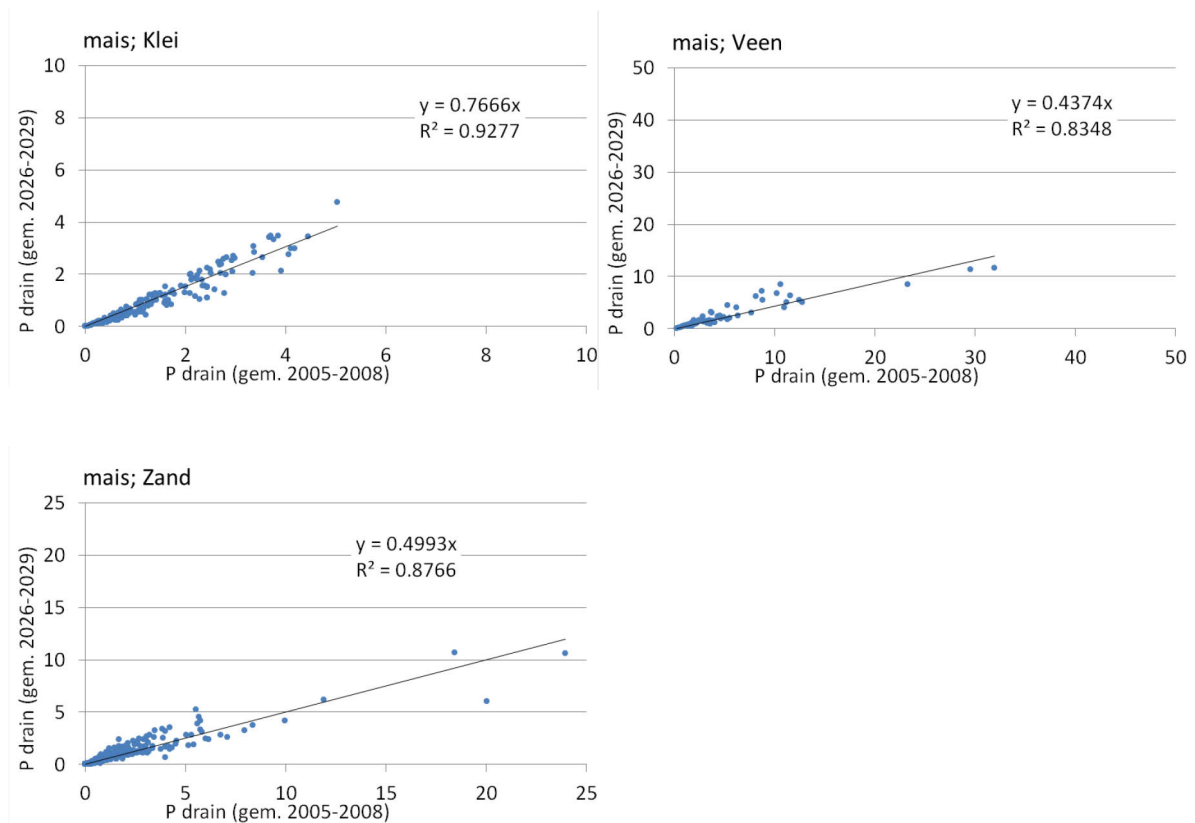
De effecten zijn in beeld gebracht op basis van berekeningen met STONE voor een periode van 20 jaar (2009-2029). De afname van de P-uit- en -afspoeling, na invoering van deze maatregel, is berekend. Hiervoor zijn de gemiddelde waarden genomen van 2005-2008 en 2026-2029. Deze beide perioden van 4 jaar zijn doorgerekend met dezelfde hydrologische omstandigheden, te weten de jaren 1990-1993. Ten slotte zijn regressievergelijkingen opgesteld waarbij de uitspoeling na invoering van de maatregel gerelateerd is aan de oorspronkelijke situatie. Hiervoor zijn de resultaten geclusterd naar landgebruik en bodemtype (Figuur 3.6-3.8).



Figuur 3.6 P-uit- en -afspoeling na 20 jaar uitmijnen t.o.v. oorspronkelijke P-uitspoeling bij akkerbouw.



Figuur 3.7 P-uit- en -afspoeling na 20 jaar uitmijnen t.o.v. oorspronkelijke P-uitspoeling op grasland.



Figuur 3.8 P-uit- en -afspoeling na 20 jaar uitmijnen t.o.v. oorspronkelijke P-uitspoeling bij mais.

3.4 Fosfaattoestand 'voldoende'

Voor deze optie is het model PLEASE gedraaid, waarbij gebruik is gemaakt van aangepaste invoer bestanden. Voor akkerbouw en mais is het Pw-getal van de laag van 0-20 cm op een waarde van 30 mg P₂O₅ l⁻¹ gezet is en voor grasland op 20 mg P₂O₅ l⁻¹. Voor de bodemlaag van 20-50 cm zijn de Pw-waarden, indien deze hoger zijn, eveneens verlaagd tot bovenstaande waarden. Indien de Pw van de bodemlaag lager was dan 30 mg P₂O₅ l⁻¹ voor akkerbouw en 20 mg P₂O₅ l⁻¹ voor grasland, zijn de oorspronkelijke waarden aangehouden. De PLEASE-resultaten zijn gebaseerd op de mediane waarde van 100 modeluitkomsten, gebaseerd op 100 realisaties van de bodem chemische invoerkaarten (Van der Salm et al., 2014).

3.5 Omzetten landbouw in natuur

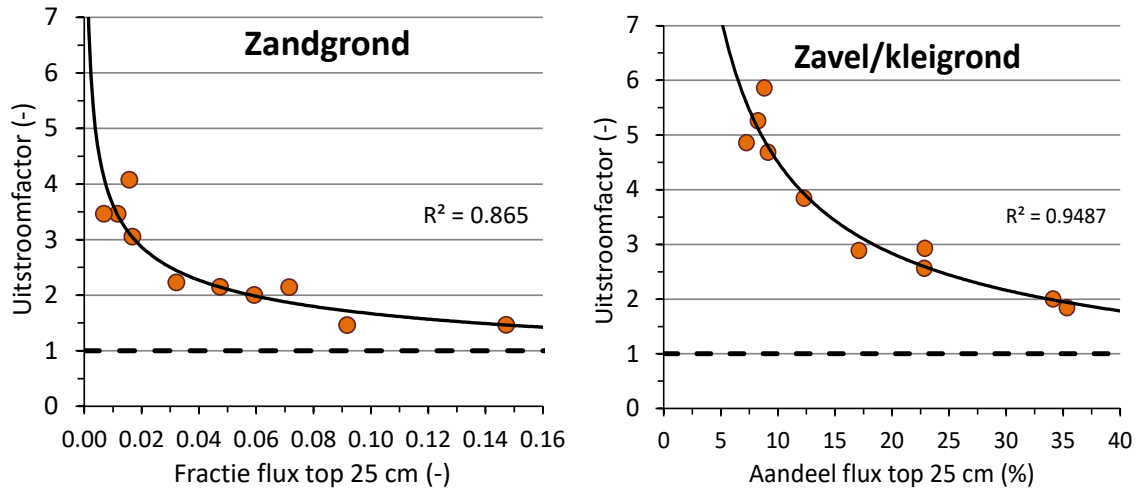
Deze optie is als volgt geïmplementeerd:

- Reductie P-uitspoeling door uitmijnen is berekend conform de vergelijkingen in H 3.3.
- De P-verliezen door de bovenste 50 cm na uitmijnen zijn berekend door de oorspronkelijke P-uitspoeling uit de bovenste 50 cm te verminderen met de reductie door uitmijnen.
- Ten slotte is het effect van het opheffen van drainage berekend (H 3.2).

3.6 Bodemverbetering

De rekenregels voor de invloed van verdichting zijn afgeleid uit de modeluitkomsten van de af- en -uitstroming van water, als jaargemiddelden van de periode 2026-2030 voor de oorspronkelijke niet-verdichte en de verdichte situatie zoals beschreven in Bijlage 5. Voor PLEASE wordt in dit project de

bestaande toestand, die als niet-verdicht wordt beschouwd, met de rekenregels van vergelijkingen (3.5) t/m (3.7) omgezet naar een verdichte situatie. De verschillen tussen deze verdichte situatie en de oorspronkelijke (kunnen) worden beschouwd als het effect van bodemverbetering. De relaties voor verdichting worden beschreven met een 'uitstroomfactor' als functie van de relatieve laterale waterflux door de top 25 cm (niet-verdichte laag) als fractie van de totale wateruitstroming naar de open drains. De 'uitstroomfactor' is de factor waarmee de laterale flux door de top 25 cm in de onverdichte situatie moet worden vermenigvuldigd om de laterale top-flux in de verdichte situatie te verkrijgen.



Figuur 3.9 Uitstroomfactoren voor de top 25 cm als functie van de relatieve waterflux door de top 25 cm van het bodemprofiel, voor de zandgronden (links) en kleigronden (rechts). De relatieve flux is gegeven als fractie van de totale uitstroming naar de drainagemiddelen.

De rekenregels zijn als volgt:

$$R_{25,\text{nieuw}} = F_{\text{verd}} R_{25,\text{oorspr}} \quad (3.5)$$

waarin:

F_{verd} = uitstroomfactor als functie van $R_{25,\text{oorspr}}$ (-);

$Q_{25,\text{nieuw}}$ = resulterende waterstroming door de top 25 cm bij verdichting (mm j^{-1});

$Q_{25,\text{oorspr}}$ = oorspronkelijke waterstroming door de top 25 cm (mm j^{-1});

$R_{25,\text{oorspr}}$ = de ratio van $Q_{25,\text{oorspr}}$ en de totale waterafvoer naar sloten (-).

$$R_{25,\text{oorspr}} = \frac{Q_{25,\text{oorspr}}}{Q_{\text{totaal,oorspr}}} \quad (3.6)$$

$$Q_{25,\text{nieuw}} = R_{25,\text{nieuw}} Q_{\text{totaal,oorspr}} \quad (3.7)$$

Ook hier is onderscheid gemaakt tussen de zandgronden en de zavel-/kleigronden. De resultaten van het fitten van beide grondsoorten is zichtbaar gemaakt in Figuur 3.9. De afgeleide vergelijkingen voor de effecten van bodemverdichting zijn:

$$\text{Zand: } F_{\text{verd}} = 0,7683 \cdot R_{25,\text{oorspr}}^{-0,337} \quad (3.8a)$$

en

$$\text{Zand: } R_{25,\text{nieuw}} = 0,7683 \cdot R_{25,\text{oorspr}}^{0,663} \quad (3.8b)$$

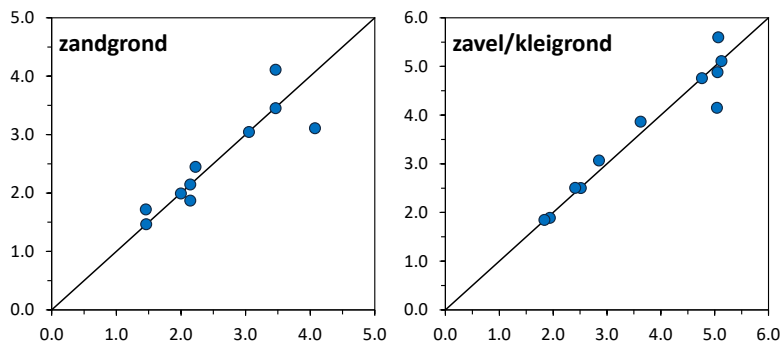
$$\text{Zavel/klei: } F_{\text{verd}} = 0,8894 \cdot R_{25,\text{oorspr}}^{-0,701} \quad (3.9a)$$

en

$$\text{Zavel/klei: } R_{25,\text{nieuw}} = 0,8894 \cdot R_{25,\text{oorspr}}^{0,299} \quad (3.9b)$$

De R^2 's zijn hoog, wat duidt op sterke verbanden (Figuur 3.9). Bij deze maatregel is de R^2 van de zavel-/kleigronden beter dan die van de zandgronden.

Naarmate de laterale uitstroming door de top 25 cm in de niet-verdichte situatie groter is, is logischerwijs de 'uitstromingsfactor' kleiner. Hierbij wordt opgemerkt dat de totale uitstromingsflux naar de drainagemiddelen (meestal) slechts weinig ($\leq 6\%$) verschilde tussen de niet- en wel verdichte simulaties. Opvallend is dat de relatieve flux als 'uitstroomfactor' bij de zandgronden veel kleiner zijn dan bij de kleigronden.

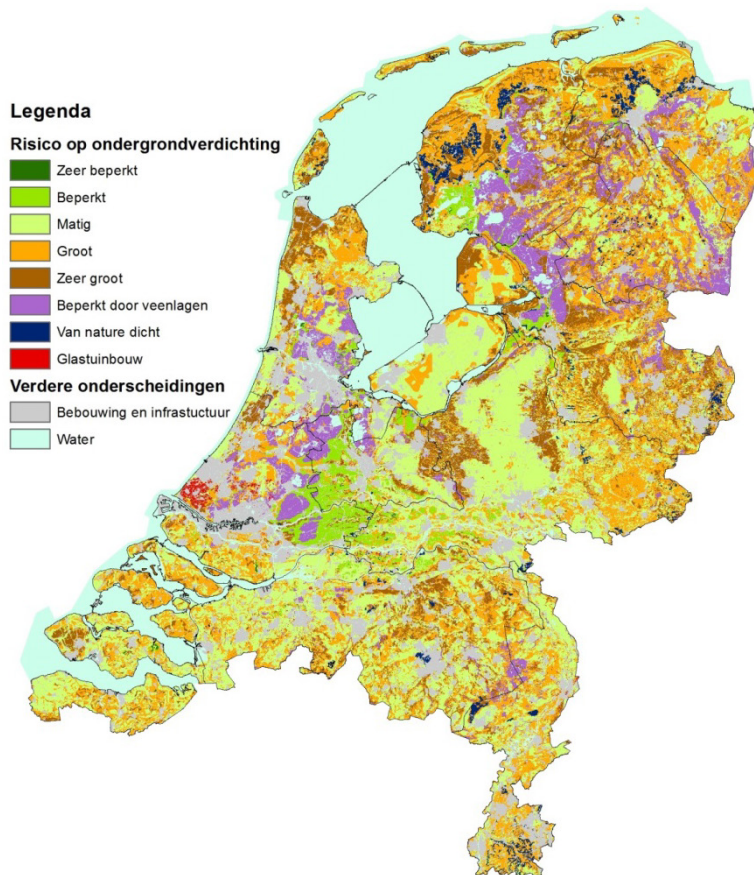


Figuur 3.10 Scatterplots van de twee uitstroomfactoren F_{verd} voor de zandgronden en de zavel-/kleigronden. Op de x-as de F , afgeleid uit de modelberekeningen en op de y-as de F verkregen met de gefitte relatie.

Figuur 3.10 toont de vergelijking tussen de F_{verd} -waarden direct afgeleid uit de modeluitkomsten en die voorspeld met de gefitte relaties als scatterplots. Als waarden op de lijn liggen, zijn ze gelijk voor modeluitkomst en fit. Rechts van de lijn betekent onderschatting door de fit; links van de lijn overschatting. De scatterplots weerspiegelen de R^2 's: hoe groter de R^2 , des te dichter liggen de punten bij de lijn.

3.6.1 Implementatie

Dit effect van bodemverbetering is met PLEASE doorgerekend voor de bodems die op de bodemverdichtingsrisicokaart van Van den Akker *et al.* (2013) als gevoelig voor verdichting zijn aangemerkt met de risicoklassen 'groot' en 'zeer groot' (Figuur 3.11).



Figuur 3.11 Risicokaart voor bodemverdichting (Van den Akker et al., 2013).

Uit deze selectie is de zware klei verwijderd, omdat deze gronden zich snel herstellen van verdichting. De zware kleigronden zijn verwijderd door de PAWN-eenheid 17 en 18 uit te sluiten (Figuur 3.12).



Figuur 3.12 Risicokaart voor bodemverdichting (Van den Akker et al., 2013).

Voor elke gridcel waar bodemverdichting mag worden verwacht, is vervolgens de fosfaatconcentratie berekend in de bovenste 25 cm (C_{25}) van het profiel en in de daaronder liggende laag ($C_{>25}$):

$$C_{25} = \frac{TP-Flux(25)}{Q_{25}} \text{ en}$$

$$C_{>25} = \frac{TP-Flux(>25)}{Q_{>25}}$$

Waarin $TP-Flux(25)$ en $TP-Flux(>25)$ de door PLEASE berekende totale fosfaatflux over resp. de bovenste 25 cm en de rest van het profiel zijn.

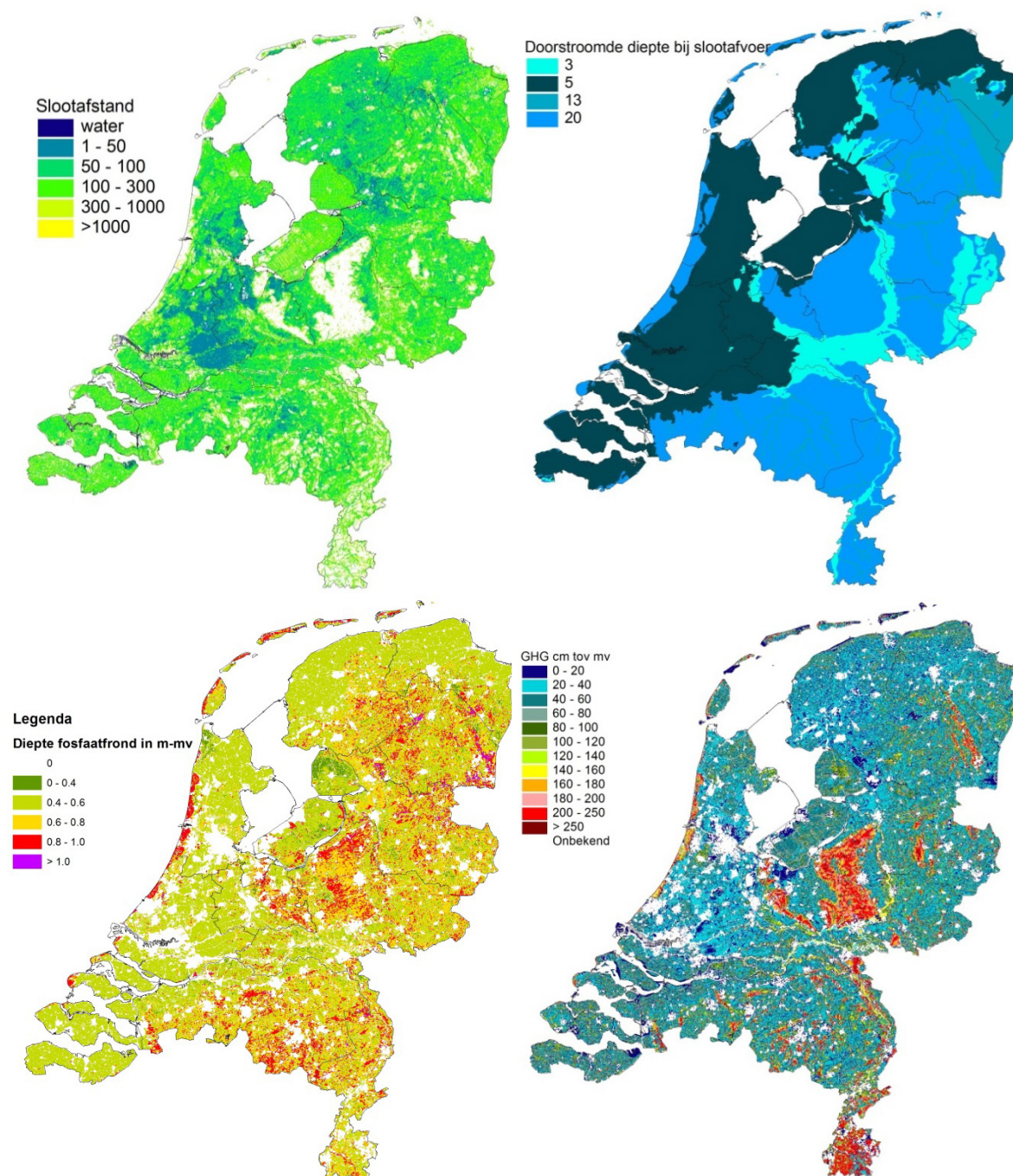
Vervolgens zijn de totale P-fluxen na verdichting berekend op basis van $Q_{25, \text{nieuw}}$ volgens formule 3.7:

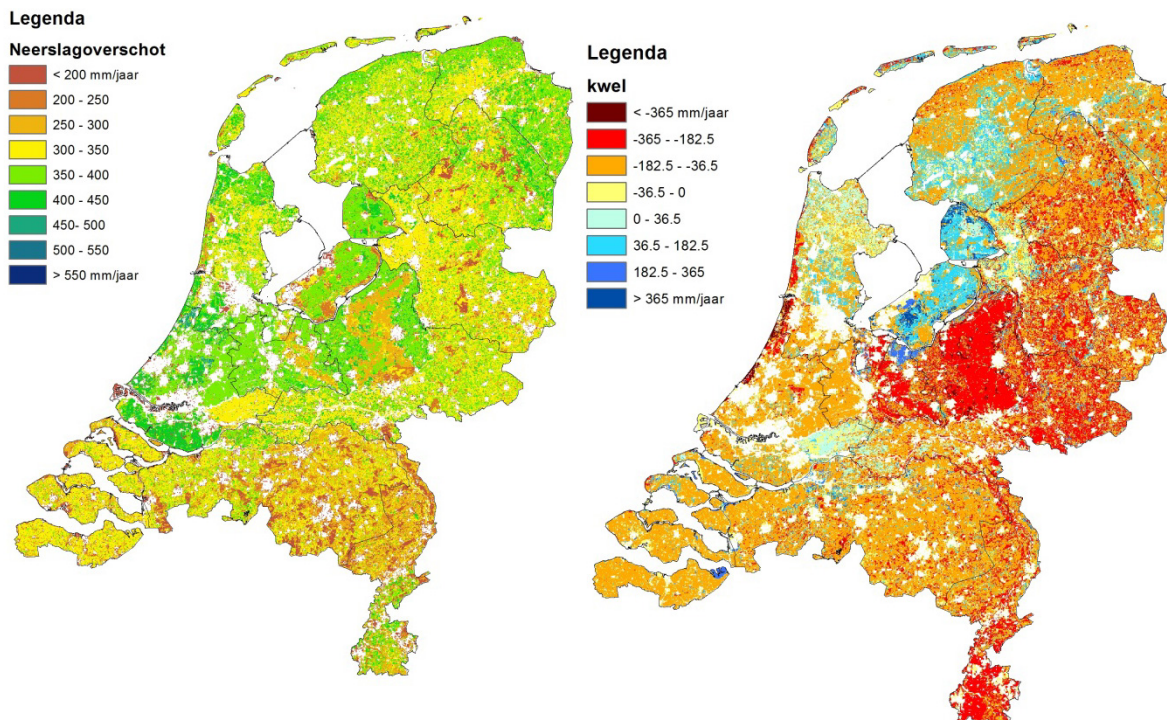
$$TP - flux(25)_{\text{nieuw}} = C_{25}Q_{25, \text{nieuw}} \text{ en}$$

$$TP - flux(> 25)_{\text{nieuw}} = C_{>25}(Q_T - Q_{25, \text{nieuw}})$$

3.7 Areaal dat bijdraagt aan belasting oppervlaktewater

De breedte van de zone die bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater, kan berekend worden met een formule die gebaseerd is op het stroombanenconcept en de indringingsdiepte van een sterk absorberende stof (Schoomans et al., 2008). De benodigde parameters zijn de diepte van het fosfaatfront, de afstand tussen de waterlopen, de diepte van de zone waarin water wordt afgevoerd naar de sloten, de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), het neerslagoverschot en de kwel. De diepte van het fosfaatfront is afgeleid uit het door PLEASE berekende verloop van de fosfaatconcentratie met de diepte in de bodem (Van der Salm et al. 2014). De indringingsdiepte is gedefinieerd als de zone waar de fosfaatconcentratie in de bodem meer dan twee keer zo hoog is als de natuurlijke achtergrondconcentratie. Gegevens van de GHG zijn gebaseerd op Van der Gaast et al. (2010) en ook toegepast voor de PLEASE-kaarten van Nederland. De diepte waarover water wordt afgevoerd naar de sloten is onderzocht door Jansen et al. (2013). De overige parameters, neerslagoverschot en kwel, zijn eveneens gebaseerd op de invoer voor PLEASE (Van der Salm et al., 2014) en gebaseerd op de STONE-hydrologie. In Figuur 3.13 zijn de invoerparameters weergegeven.



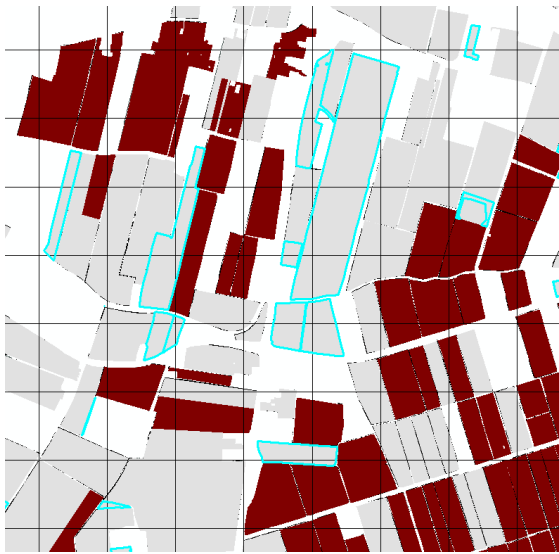
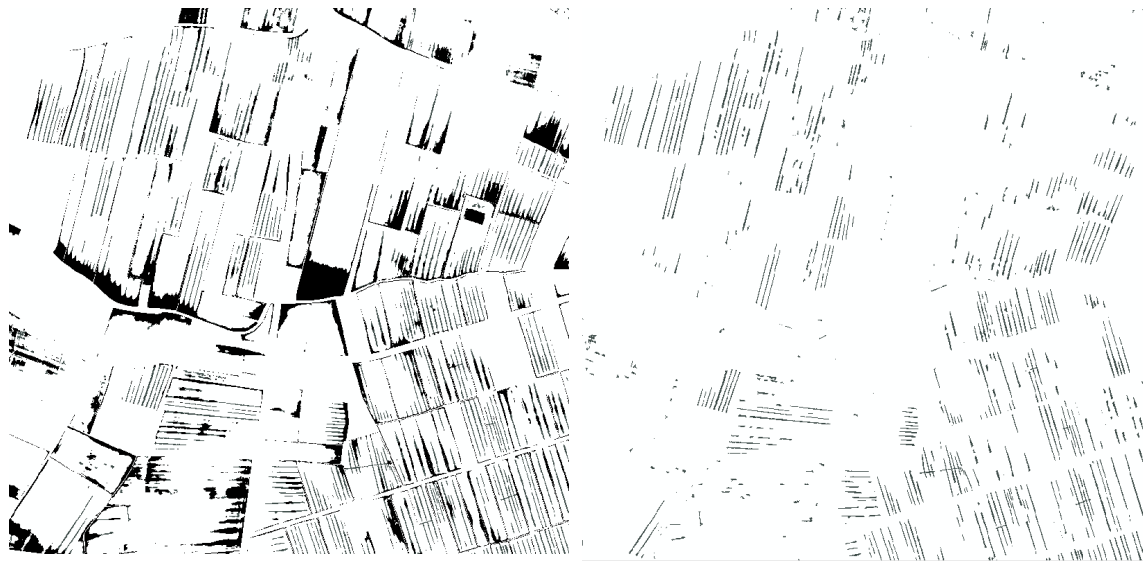


Figuur 3.13 De gebruikte invoerparameters voor de bepaling van areaal dat bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater, slootafstand (linksboven), doorstroomde diepte (rechtsboven), diepte fosfaatfront (links midden), GHG (rechts midden), neerslagoverschot (linksonder) en kwel (rechtsonder).

Deze invoerkaarten zijn omgezet in een puntenbestand. Voor alle voorkomende combinaties van slootafstand, diepte fosfaatfront, doorstroomde diepte, GHG, neerslagoverschot en kwel is met behulp van de bovengenoemde formule (Schoumans et al., 2008) de breedte van de zone bepaald die bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater. Omdat voor elke gridcel zowel de slootafstand als de breedte van de zone die bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater bekend is, kan per gridcel de fractie van het areaal dat bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater worden afgeleid als: Lengte sloten * afstand tot de sloot * 2.

Naast sloten en andere grotere waterlopen spelen ook maaiveldgreppels een rol bij de connectiviteit tussen land en water. De aanwezigheid van maaiveldgreppels zal dus leiden tot een groter areaal van het landoppervlak dat bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater.

Voor de aanwijzing van gebieden met maaiveldgreppels (dit zijn ondiepe greppels die niet voorkomen in de Top10-NL) is gebruikgemaakt van de resultaten uit de studie naar potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling (Massop et al., 2014). Deze studie was primair gericht op het vaststellen van lage plekken op perceelniveau en niet specifiek op het voorkomen van maaiveldgreppels. Verder heeft de studie zich beperkt tot landbouwpercelen. Maaiveldgreppels, rabatten en lage plekken in natuurgebieden zijn niet meegenomen in deze studie. Door bewerking van de resultaten van deze studie kunnen percelen met maaiveldgreppels voor een aanzienlijk deel in kaart worden gebracht. In de studie naar potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afvoer komen maaiveldgreppels als lage, langwerpige smalle structuren naar voren in de lage-plekkenkaart. Via GIS-operaties kunnen deze smalle structuren worden geëlimineerd, zodat alleen de grotere aaneengesloten vlakken overblijven: een opgeschoonde lage-plekkenkaart. Door vervolgens een verschilkaart te maken van de oorspronkelijke lage-plekkenkaart en de opgeschoonde lage-plekkenkaart komen de maaiveldgreppels voor een belangrijk deel in beeld; deze kaart wordt aangeduid als 'maaiveldgreppel-kaart' (Figuur 3.14).



Figuur 3.14 Oorspronkelijke lage-plekkenkaart (linksboven), geselecteerde maaiveldgreppels uit lage plekkenkaart (rechtsboven) en vertaling naar percelen met maaiveldgreppels (linksonder).

Het beeld m.b.t. de maaiveldgreppels wordt wel enigszins verstoord door kleine laagten, die als spikkels zichtbaar zijn. Ook dient het perceel redelijk vlak te liggen om de maaiveldgreppels in beeld te krijgen, anders vallen de maaiveldgreppels, die het maaiveld volgen, gedeeltelijk weg.

Voor percelen met maaiveldgreppels zal een aanzienlijk deel van het areaal lage plekken zichtbaar zijn op de afgeleide maaiveldgreppel-kaart. Aan de hand van enkele voorbeeldgebieden is gekeken naar het areaal lage plek in de maaiveldgreppel-kaart ten opzichte van de totale oppervlakte van het perceel. Op basis van een visuele inschatting is een grens gelegd bij 5%. Als in de maaiveldgreppel-kaart 5% of meer van het areaal van het perceel uit lage plekken bestaat, is het aannemelijk dat dit een perceel met maaiveldgreppels betreft. Uitgaande van een fictief perceel van 10000 m², komt 5% overeen met 500 m². Omdat er is gewerkt met een gridgrootte van 2,5 m, komt dit overeen met 200 m greppellengte. De bijbehorende greppelafstand zou dan 50 m bedragen. De greppelafstand kan variëren; geschat wordt dat deze varieert tussen 10 en 40 m.

De definitieve berekening voor de bepaling van het areaal dat bijdraagt, wordt gedaan op grids van 250*250 m. Om te bepalen of een grid is begreppeld, zijn de percelen met maaiveldgreppels omgezet naar grids van 25 m. Vervolgens is per rekgid van 250*250 m het percentage bepaald, door het aantal gridjes met maaiveldgreppels te delen op het totale aantal landbouwgridjes op basis van de percelenkaart. Als meer dan de helft van het aantal gridjes (25*25 m) is aangeduid als grid met

maaiveldgreppels, dan wordt voor het rekengridje (250*250 m) aangenomen dat deze is begreppeld (Figuur 3.15).

Uit Figuur 3.15 kunnen we afleiden dat maaiveldgreppels vooral voorkomen in het Friese veenweidegebied, de kop van Overijssel, het Noord-Hollands veenweidegebied, het Hollands-Utrechts veenweidegebied en het Gelders rivierkleigebied.

Om de greppelafstand (L) te bepalen, zijn vanaf de kaart enkele raaien getrokken en is de greppelafstand binnen de raai opgemeten (Tabel 4).

Tabel 4

Maaiveldgreppel afstand op enkele locaties in Nederland

Locatie	Coördinaten	Greppelafstand m.	Opmerking
Ten noorden Amsterdam	129120, 492740	14	Op afstand van 516 m liggen 7 sloten, slootafstand 73 m
Zeevang	132600, 503610	13	
Friesland	176850, 551150	14	
Krimpenerwaard	106320, 439315	38	Op 1800 m 47 sloten, veelal met tussenliggende greppel, slootafstand 38 m
Alblasserwaard	117350, 430050	39	Op 2854 m 73 sloten, veelal met tussenliggende greppel, slootafstand 39 m
Rivierengebied	160080, 439500	15	

In het Hollands-Utrechts veengebied zijn als gevolg van de ontginningswijze, de zogenaamde cope-ontginningen, langgerekte percelen ontstaan, met om de 40-50 m een sloot. In het midden van deze percelen ligt vaak een maaiveldgreppel met onderlinge afstand van 40 m. Voor het karakteriseren van de maaiveldgreppelafstand zijn uiteindelijk twee gebieden onderscheiden, namelijk de veengebieden binnen het Hollands-Utrechts veengebied met een greppelafstand van 40 m en de overige gebieden met maaiveldgreppels met een greppelafstand van 15 m. Het Hollands-Utrechts veengebied is gekarakteriseerd door de veengebieden binnen de waterschappen HDSR, Rijnland, HSK, AGV, Rivierenland en Delfland (Figuur 3.15).



Figuur 3.15 Gridjes met maaiveldgreppels (bruin is $\geq 50\%$) en veengebieden waar een greppelafstand van 40 m is gehanteerd (kaartje linksboven).

Vervolgens is net als voor de sloten en grotere waterlopen met behulp van de formule van Groenendijk (Schoumans et al., 2008) de leaching-afstand bepaald. Hierbij is uitgegaan van de info (Figuur 3.13) die is gebruikt voor de situatie waarbij geen rekening is gehouden met de maaiveldgreppels en deze is aangevuld met de maaiveldgreppelinfo. Voor de doorstroomde diepte is een correctie uitgevoerd; indien deze groter is dan een $\frac{1}{4}L$ is deze gelijk gesteld aan $\frac{1}{4}L$. Bij een maaiveldgreppelafstand van 15 m zal de slootafstand op basis van alle waterlopen incl. maaiveldgreppels kleiner of gelijk zijn aan 15 m en de doorstroomde diepte kleiner of gelijk aan 3,75 m.

3.8 Risicogebieden voor oppervlakkige afspoeling

In Massop *et al.* (2014) is een kwalitatieve kaart voor het risico op oppervlakkige afspoeling opgenomen. Het risico op oppervlakkige afspoeling is bepaald door de combinatie van de kans dat een dreiging (in dit geval het ontstaan van een natte plek) zich voordoet en de gevolgen daarvan (oppervlakkige afspoeling naar het oppervlaktewatersysteem). Het gevolg van een natte plek wordt bepaald door de mate van connectiviteit van de plek met het oppervlaktewater.

Kortweg:

Risico = Kans * Gevolg

De 'kans' dat op een lage plek waterplassen ontstaan, is ingeschat aan de hand van de infiltratiecapaciteit van de bodem en de beschikbare bodemberging; het 'gevolg', dat wil zeggen de waarschijnlijkheid dat de natte plek overloopt naar het oppervlaktewater, wordt bepaald door de afstand tussen de sloot en berekende lage plekken. Voor de weging van het risico is Tabel 5 gebruikt.

Tabel 5

Risico voor oppervlakkige afspoeling.

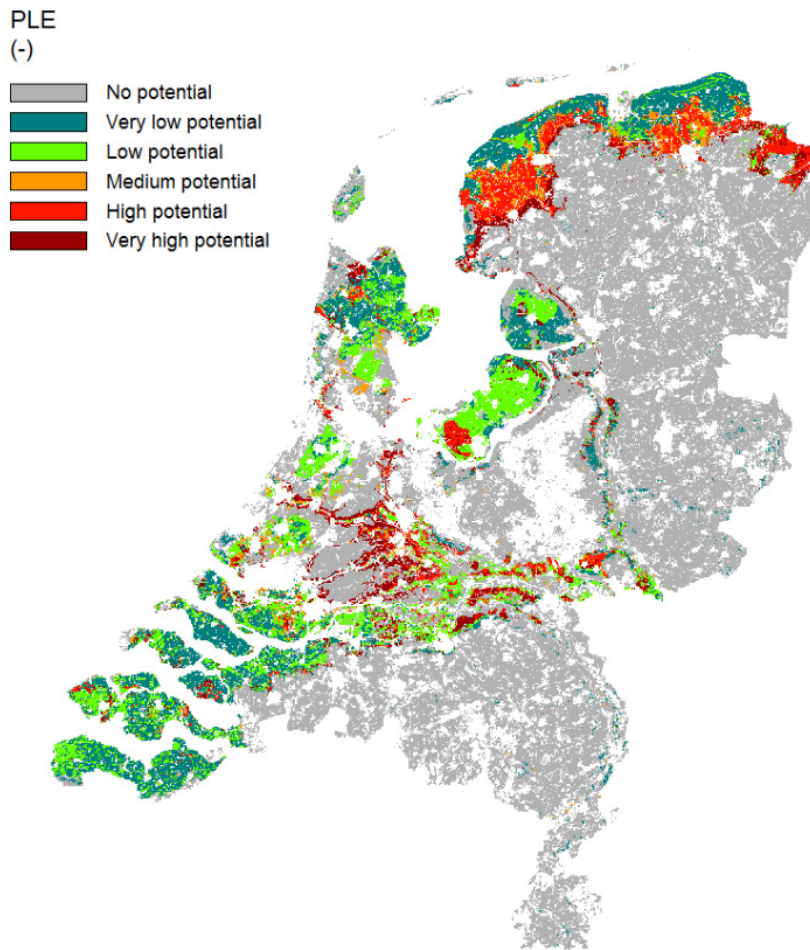
Risico		Kans											
		Beschikbare bodemberging (GHG)											
Gevolg		Te gering (< 10 mm)			Gering (10<b<20)			Matig (20<b<` 40)			Groot (> 40 mm)		
		Infiltratiesnelheid (K = 1< cm/d ; 1 cm/d< M < 10 cm/d; G = > 10 cm/d)											
		K	M	G	K	M	G	K	M	G	K	M	G
Afstand	< 2	10	9	8	9	8	7	8	7	6	7	6	5
opper-	2-10	8	7	6	7	6	5	6	5	4	5	4	3
vlakke-	10 - 50	6	5	4	5	4	3	4	3	2	3	2	1
water	>50	5	4	3	4	3	2	3	2	1	2	1	0
(m)													

In de analyse van Massop *et al.* (2014) is geen rekening gehouden met transport door scheuren en eventuele gevolgen van bodemverdichting. Scheurvorming in combinatie met buisdrainage vormt een snelle route voor water van het maaiveld naar het oppervlaktewater, indien scheuren contact maken met drains. Daarnaast kan bodemverdichting aanleiding geven tot schijngrondwaterspiegels waardoor de kans op plasvorming toeneemt. Beide aspecten zijn niet meegenomen in de risicokaart van Massop *et al.* (2014). In deze analyse worden beide aspecten wel meegewogen en een nieuwe kanskaarten gepresenteerd.

3.8.1 Risico bij scheurvorming

De risico's voor scheurvorming kunnen worden afgeleid uit een kaart van de potentie van de grond voor zwel en krimp (Tiktak *et al.*, 2012). Deze kaart (Figuur 3.15) is afgeleid op basis van relaties zoals beschreven door Bronswijk (1991). De gebruikte pedotransferfuncties zijn alleen geldig voor klei en löss, daarom zijn veen- en zandgebieden buiten beschouwing gelaten. Verder is in Figuur 3.15 nog geen rekening gehouden met de aanwezigheid van buisdrainage. De categorieën low tot very high potential zijn samengevoegd en vormen het gebied waar scheurvorming kan voorkomen. De grens is gelegd bij low potential, omdat in Flevoland scheurvorming voorkomt en bij deze begrenzing Flevoland wordt meegenomen.

Als eerste stap is de kaart in Figuur 3.15 gecombineerd met de buisdrainagekaart (Massop, 2013), zodat alleen gebieden resteren waar kortsluiting via scheuren naar ondergrondse drains kan optreden. Om in de risicokaart rekening te kunnen houden met scheurvorming, is de afstand tussen natte plekken en het oppervlaktewater aangepast in gebieden met kans op scheurvorming en de aanwezigheid van buisdrainage. Voor deze situatie is de kleinste afstand tot het oppervlaktewater toegepast (< 2m in Tabel 5). Vervolgens is met Tabel 5 het risico op oppervlakkige afspoeling bepaald, rekening houdend met scheurvorming.



Figuur 3.15 Kaart voor de gevoeligheid van de grond voor zwel en krimp: PLE (Potential Linear Extensibility) (Tiktak et al., 2012).

3.8.2 Risico bij Bodemverdichting

Bij bodemverdichting vormt zich een verdichte laag met een lage waterdoorlatendheid. Dit kan aanleiding geven tot het ontstaan van schijngrondwaterspiegels. Deze verdichte laag wordt bij akkerland vooral gevormd door de ploegzode en bevindt zich op ca. 30 cm -mv. Bij grasland bevindt direct na de bodemverbetering en graslandvernieuwing de verdichte laag zich op ca. 25 cm -mv. In de jaren daarna komt deze laag geleidelijk ondieper te liggen door beweiden en berijden, zodat de verdichte laag in de loop der tijd langzaam omhoog schuift naar ca. 10 cm -mv (Idse Hoving, pers. Comm). In de berekeningen is een diepte aangehouden van 15 cm -mv voor grasland en 30 cm -mv voor akkerbouw. Als we aannemen dat bij bodemverdichting schijngrondwaterspiegels worden gevormd, dan heeft bodemverdichting invloed op de beschikbare bodemberging. Om de beschikbare bodemberging bij bodemverdichting te bepalen, is uitgegaan van de volgende bronnen:

- De profielopbouw van de bodem volgens de BodemFysische Eenheden Kaart 2012 (BOFEK2012, Wösten et al., 2012);
- Landgebruik volgens LGN7 geherclassificeerd naar gras (1) en akkerbouw (2 t/m 9 en 61 en 52);
- Beschikbare bodemberging bij grondwaterstand van 15 en 30 cm -mv en neergaande flux van 2 mm/d voor BOFEK2012-profielen.

Door combinatie van BOFEK2012 profielen met de geherclassificeerde landgebruikskaat zijn per gridcel het profiel en het landgebruik bekend. Vervolgens is per combinatie de beschikbare bodemberging toegevoegd. De beschikbare bodemberging is geclassificeerd volgens de klasse-indeling in Tabel 5. In de volgende stap is per gridcel bepaald of de bodembergingsklasse gelijk is gebleven of is verslechterd. Als laatste stap is het risico bij bodemverdichting opnieuw berekend.

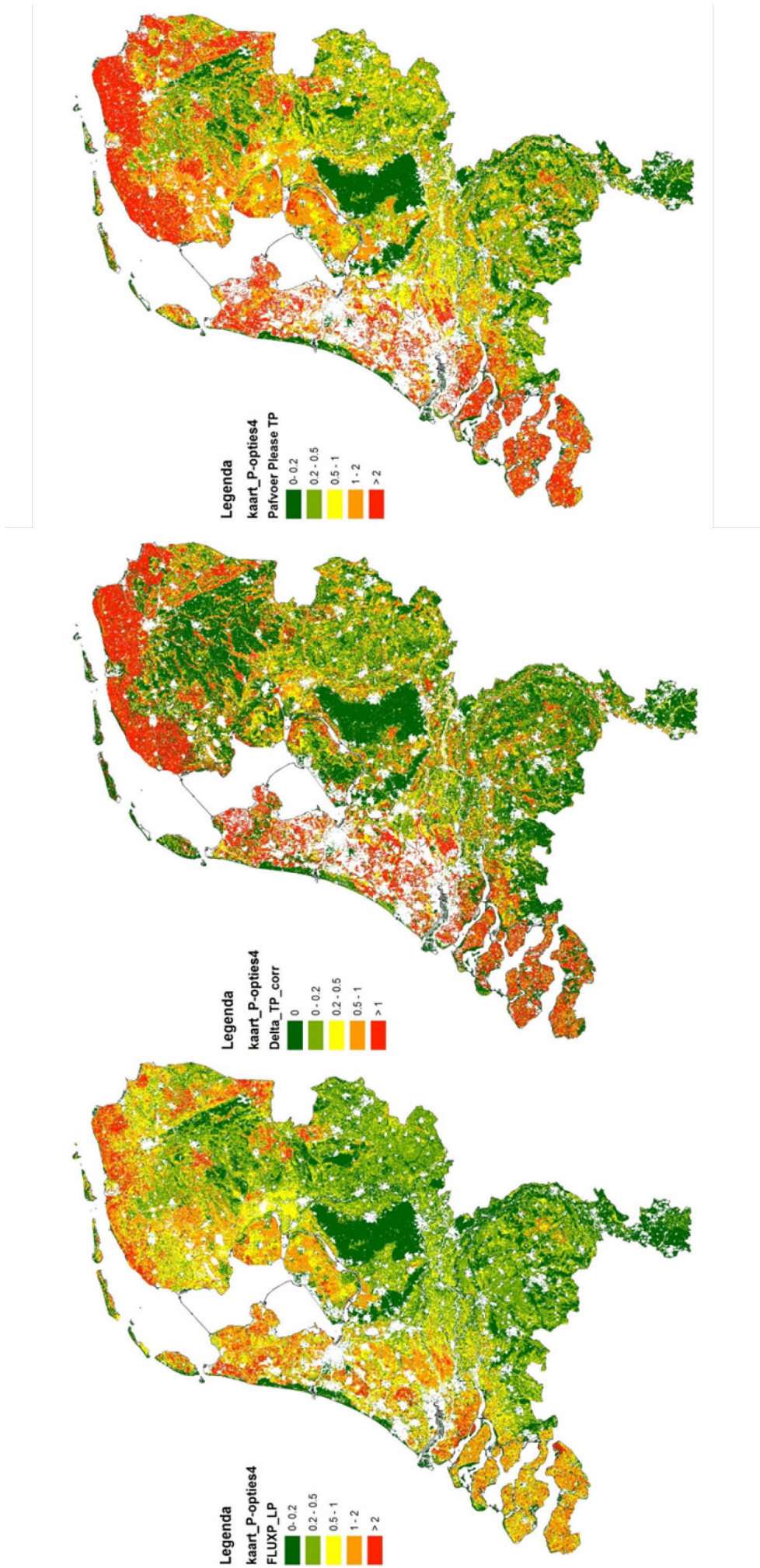
4 Effecten van implementatie van maatregelen

4.1 Basiskaart P-uitspoeling

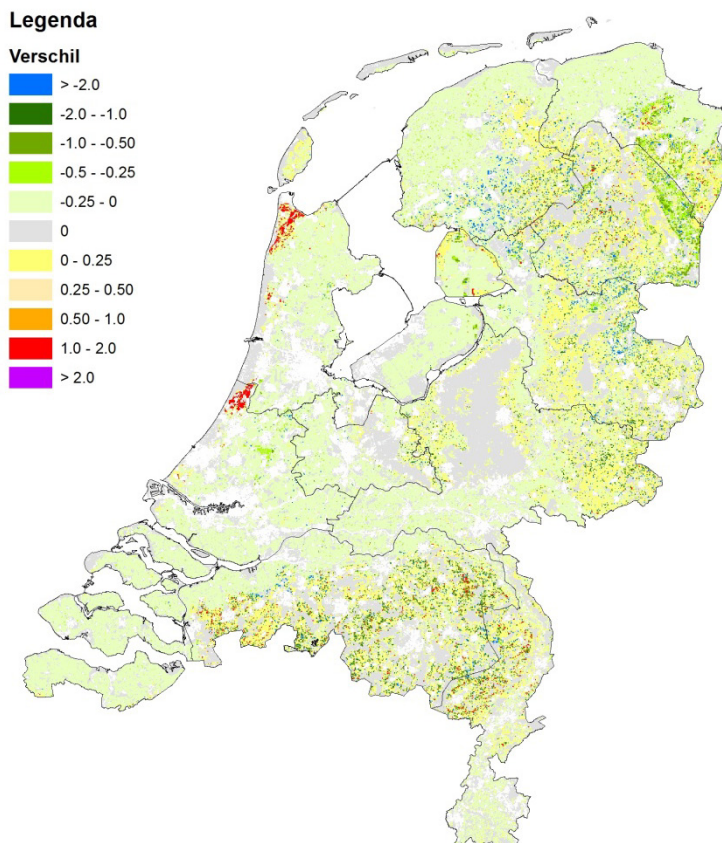
De basiskaart voor het inschatten van de effecten van de verschillende maatregelen is opgebouwd uit de met PLEASE berekende P-verliezen naar het oppervlaktewater over de bodemlaag tot 1 m –GLG (Van der Salm et al., 2014) en de afvoer uit de ondergrond (Figuur 4.1). Hoge afvoerfluxen uit de bodemlaag tot 1 m –GLG worden op grote schaal gevonden in de westelijke helft van Nederland. Deze hoge afvoerfluxen zijn voor een belangrijk deel te verklaren uit de hoge achtergrondconcentraties en hoge drainagefluxen in dit deel van het land. In de overige delen van Nederland worden in bepaalde regio's (bv. Gelderse Vallei, Oost Brabant, IJsseldal, Acherhoek) zeer hoge uitspoelingsfluxen berekend door de ophoping van fosfaat in combinatie met ondiepe grondwaterstanden. Lage fluxen komen vooral voor in gebieden met diepe grondwaterstanden. De afvoer van fosfaat uit de ondergrond is hoog in West- en Noord-Nederland. Daarnaast komen lokaal in de rest van Nederland fluxen in de ondergrond voor van meer dan 0.2 kg P/ha/jr.

4.2 Huidige mestbeleid

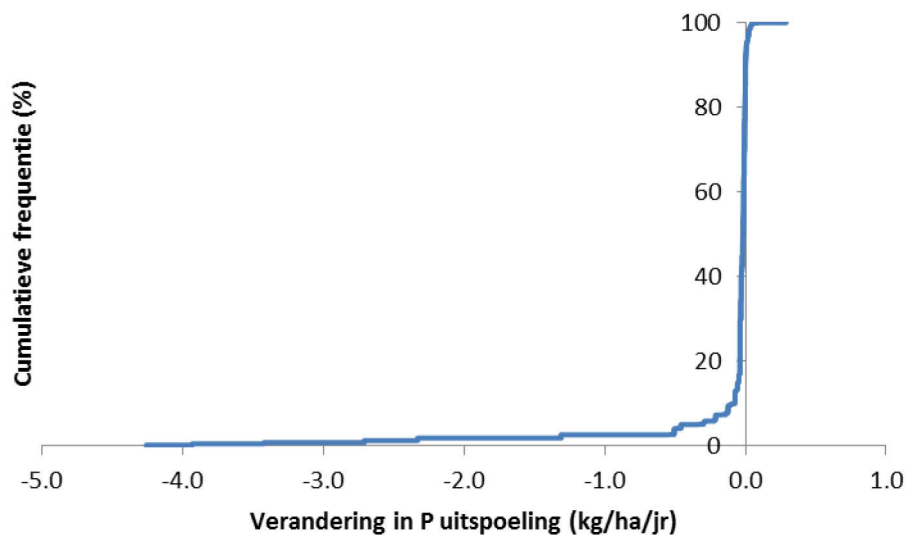
In een groot deel van Nederland is het effect van het huidige mestbeleid (5^e NAP) op de P-uitspoeling naar het oppervlaktewater zeer beperkt (Figuur 4.2). Het voorgenomen beleid zal in 85% van de grids met landbouwgronden leiden tot een afname van minder dan 0.05 kg/ha/jr. Grotere effecten worden gevonden in Brabant en delen van Gelderland, Drenthe en Overijssel. Op 10% van de grids is de afname groter dan 0.1 kg/ha/jr. en op 4% van de locaties is de afname van de P-uitspoeling groter dan 0.5 kg/ha/jr. (Figuur 4.3). Lokaal (11% van de grids) wordt een toename van de P-uitspoeling verwacht. Het betreft hier vooral gronden met een lage P-toestand (zie Tabel 3) en/of diepere grondwaterstanden.



Figuur 4.1 Met PLEUSE berekende P-uitspoeling uit de bodemlaag tot 1 meter -GLG (links), de uit STONE afgeleide P-uitspoeling uit de diepere ondergrond (midden) en de als basiskaart gebruikte P-uitspoeling uit het totale bodemprofiel (rechts).



Figuur 4.2 Verandering van de P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in 2027 t.o.v. de P-uitspoeling in 2012 bij constante bemesting vanaf 2013 volgens de normen van het 5de Nitraat Actieprogramma Fosfaattoestand.

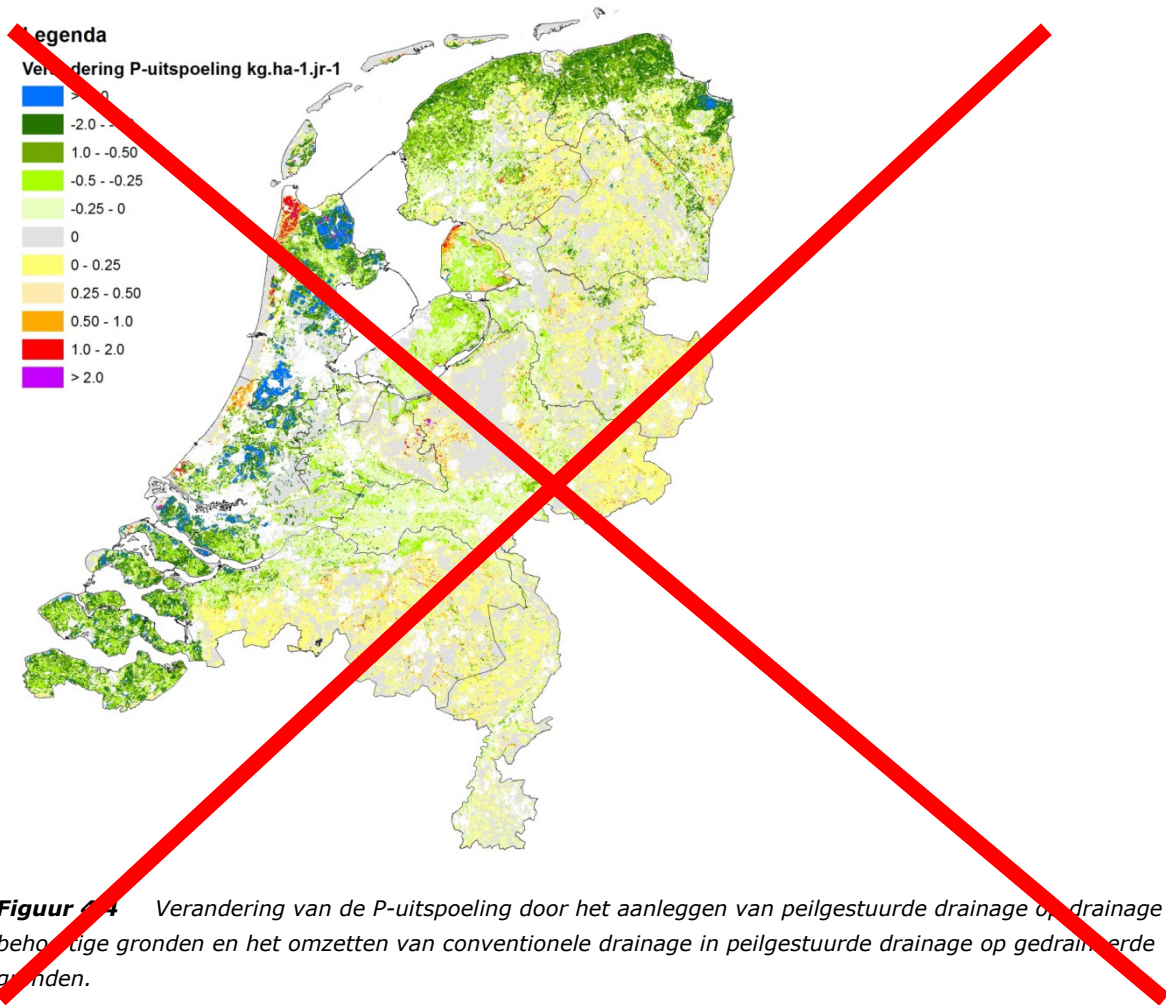


Figuur 4.3 Cumulatieve frequentieverdeling van de verandering in de P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in 2027 t.o.v. de P-uitspoeling in 2012 bij constante bemesting vanaf 2013 volgens de normen van het 4de Nitraat Actieprogramma.

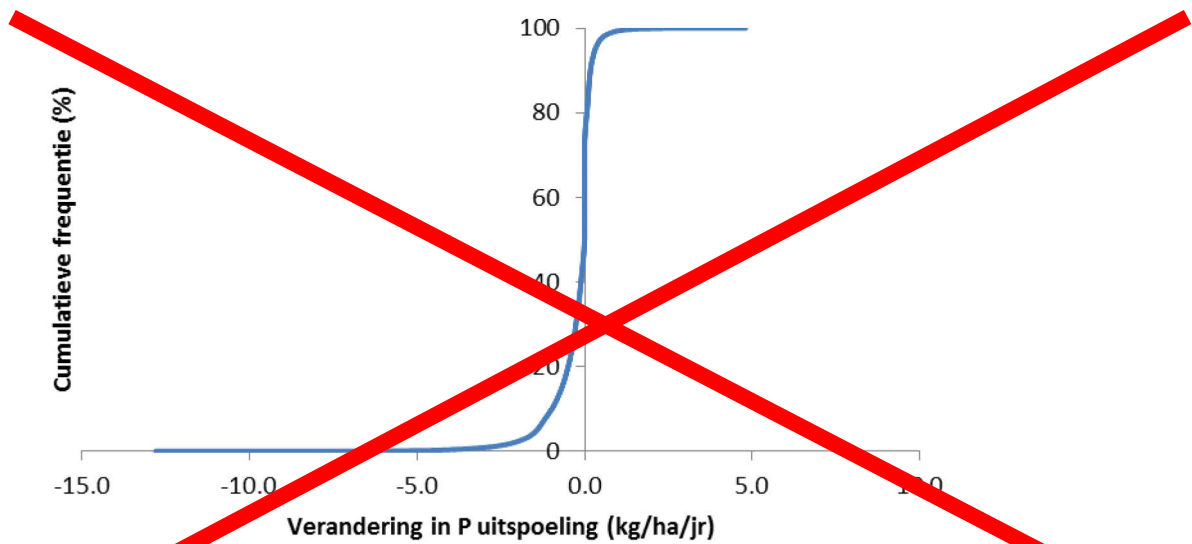
4.3 Drainage

Het optimaliseren van de drainage door het aanleggen of vervangen van conventionele drainage door peilgestuurde drainage leidt op de zandgronden over het algemeen tot een lichte toename van de P-

uitspoeling (Figuur 4.4). Op de zavel- en rivierkleigronden treedt over het algemeen een kleine verlaging op van de P-uitspoeling. Grotere reducties in P-verliezen treden lokaal op in het zeekele gebied. De toename van de uitspoeling op de zandgronden kan verklaard worden door het feit dat het omzetten van conventionele drainage naar peilgestuurde drainage op deze gronden leidt tot een stijging van de P-uitspoeling (formule 3.3c). Deze toename wordt veroorzaakt door het feit dat er bij de peilgestuurde drainage minder water door de diepe ondergrond wordt afgevoerd dan in een ongedraineerde situatie of bij conventionele drainage. De exacte toename van deze uitspoeling is vrij onzeker (R^2 0.03), maar voor vrijwel alle doorgerekende combinaties is sprake van een toename van de uitspoeling. Bij het aanleggen van peilgestuurde drainage op niet gedraineerde zandgronden treedt eveneens een verhoging van de uitspoeling op als het percentage fosfaat dat uitspoelt uit de bovenste 50 cm van de bodem lager is dan 50% (Figuur 3.1; formule 3.3b). Gemiddeld is de uitspoeling van fosfaat door de bovenste 50 cm op de zandgronden 33%.



Figuur 4.4 Verandering van de P-uitspoeling door het aanleggen van peilgestuurde drainage op drainage behoevende gronden en het omzetten van conventionele drainage in peilgestuurde drainage op gedraineerde gronden.



Figuur 4.5 Cumulatieve frequentieverdeling van de verandering van de P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) door het verbeteren van de drainage.

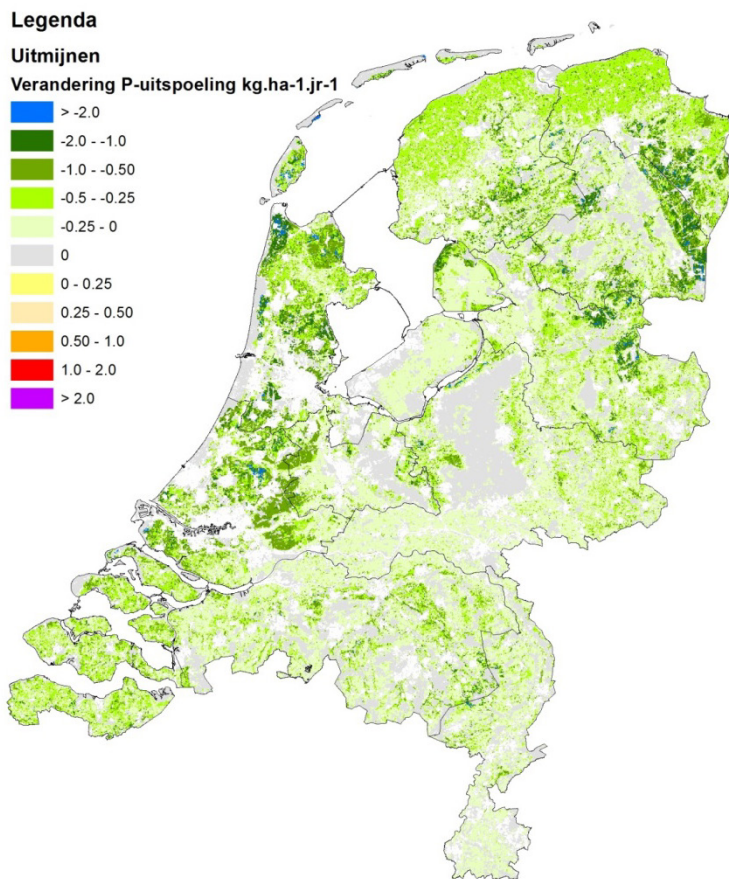
Het effect van het aanleggen of verbeteren van drainage heeft op 34% van de landbouwgrids nauwelijks effect op de P-verliezen ($< 0.05 \text{ kg/ha/jr.}$). Op 41% van de grids wordt een verbetering van meer dan 0.1 kg/ha/jr. verwacht, op 20% is de verbetering hoger dan 0.5 kg/ha/jr. (Figuur 4.5). Op 21% van het landbouwareaal wordt een negatief effect verwacht op de P-uitspoeling. Dit betreft vooral het aanleggen van peilgestuurde drainage op zandgronden, waar de P-uitspoeling toeneemt doordat minder water door de diepere ondergrond wordt afgevoerd.

Idealiter wordt bij regelbare drainage geanticipeerd op veranderende weersomstandigheden. In deze berekeningen zijn deze mogelijkheden niet meegenomen. Bij een optimaal gebruik van de mogelijkheden van peilgestuurde drainage is mogelijk en gunstiger effect te bereiken dan nu is berekend.

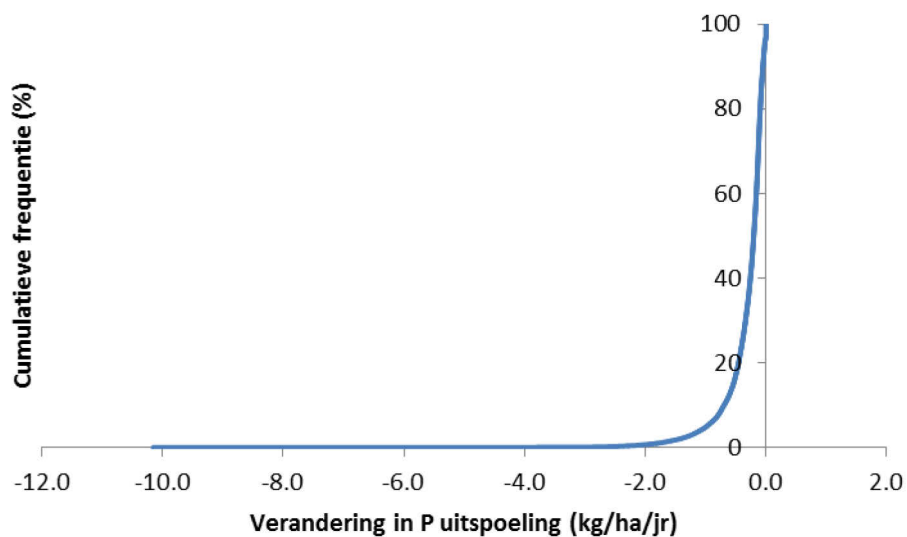
4.4 Uitmijnen

Uitmijnen leidt in heel Nederland tot een daling van de fosfaatuitspoeling (Figuur 4.6). Geringe effecten worden gevonden in het rivierengebied en in Limburg doordat de huidige P-uitspoeling daar al vrij laag is. Grote effecten worden gevonden in gebieden waar de P-uitspoeling momenteel hoog is, zoals het Westen van Nederland en delen van Brabant, Gelderland en Overijssel.

De afname van de P-uitspoeling door uitmijnen is in 90% van de grids groter dan 0.05 kg/ha/jr. De mediane afname bedraagt 0.20 kg/ha/jr. en het 95-percentiel ligt op 0.98 kg/ha/jr. (Figuur 4.7). De afname van de P-uitspoeling is over het algemeen lager dan volgens de optie fosfaattoestand 'voldoende'. Bij fosfaattoestand 'voldoende' is ervan uitgegaan dat de P-toestand van de bouwvoor (en indien van toepassing de diepere bodemlagen) verlaagd wordt tot een niveau dat minimaal nodig is voor een goede landbouwpraktijk (zie H 3.2). In veel gevallen is na 20 jaar uitmijnen de P-toestand, en dus de P-uitspoeling, nog hoger dan deze grenswaarden (zie ook H 4.5).



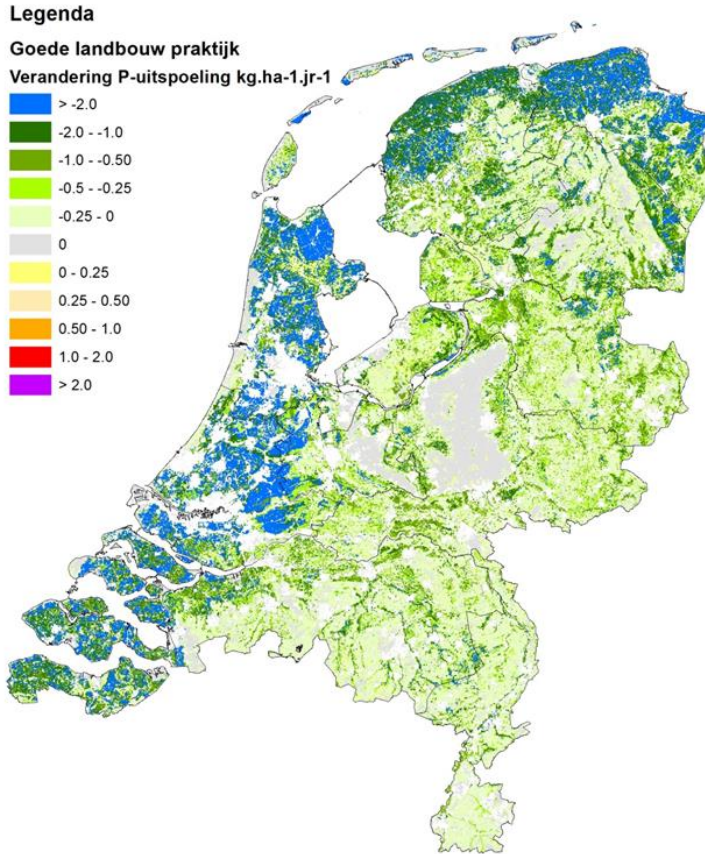
Figuur 4.6 Verandering van de P-uitspoeling (kg/ha/jr.) na 20 jaar uitmijnen ten opzichte van de oorspronkelijke uitspoeling.



Figuur 4.7 Cumulatieve frequentieverdeling van de verandering van de P-uitspoeling (kg/ha/jr.) na 20 jaar uitmijnen ten opzichte van de oorspronkelijke uitspoeling.

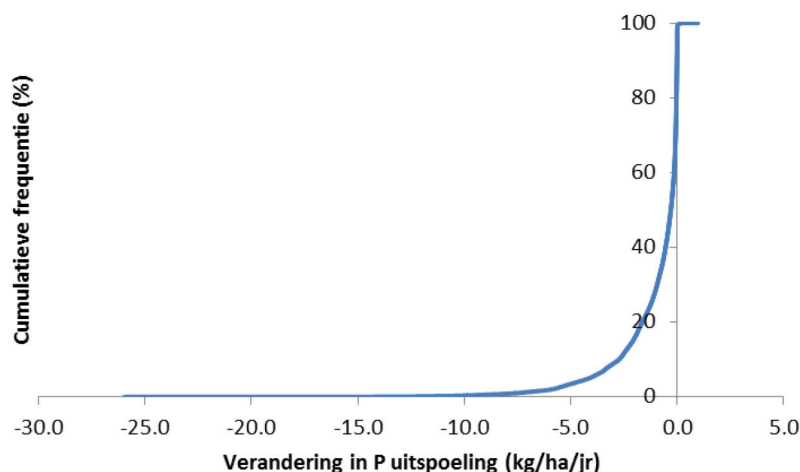
4.5 Fosfaattoestand 'voldoende'

Bij een verlaging van de P-toestand van de bodem naar een niveau dat minimaal noodzakelijk is voor een optimale gewasproductie daalt de P-uitspoeling aanzienlijk. De grootste effecten worden gevonden in het westen en noorden van Nederland waar relatief ondiepe grondwaterstanden voorkomen. In het binnenland worden lokaal grote effecten gevonden in gebieden die momenteel hoge fosfaatverliezen hebben (Figuur 4.8).



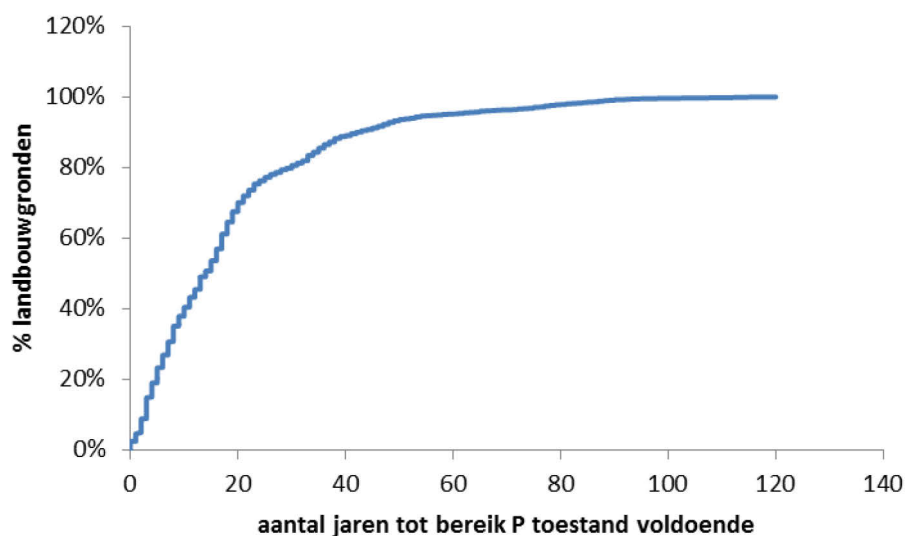
Figuur 4.8 Verandering van de P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in 2027 t.o.v. de P-uitspoeling in 2012 bij verlaging van de P-toestand van de bodem tot het minimale niveau voor een fosfaattoestand 'voldoende'.

De fosfaatuitspoeling daalt op 76% van de grids meer dan 0.05 kg/ha/jr . (Figuur 4.9). De mediane afname op landbouwgronden bedraagt 0.30 kg/ha/jr . Het 95-percentiel ligt op 4.1 kg/ha/jr .



Figuur 4.9 Cumulatieve frequentieverdeling van de verandering van de P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) t.o.v. de P-uitspoeling in 2012 bij verlaging van de P-toestand van de bodem tot het minimale niveau voor een goede landbouwpraktijk.

In veel (56% van het landbouwareaal) situaties zal, ook indien niet bemest wordt met P, de fosfaattoestand in 2027 nog hoger zijn dan minimaal noodzakelijk is voor de landbouw waardoor de uitspoeling bij uitmijnen hoger is dan voorspeld wordt bij een fosfaattoestand voldoende (Figuur 4.6 vs. Figuur 4.8). Indien geen fosfaatmeststoffen meer worden toegediend op gronden met een hogere fosfaattoestand zal in 2050 90% van het landbouwareaal een minimale fosfaattoestand hebben. In 2039 is dat al op 75% van het areaal gerealiseerd.

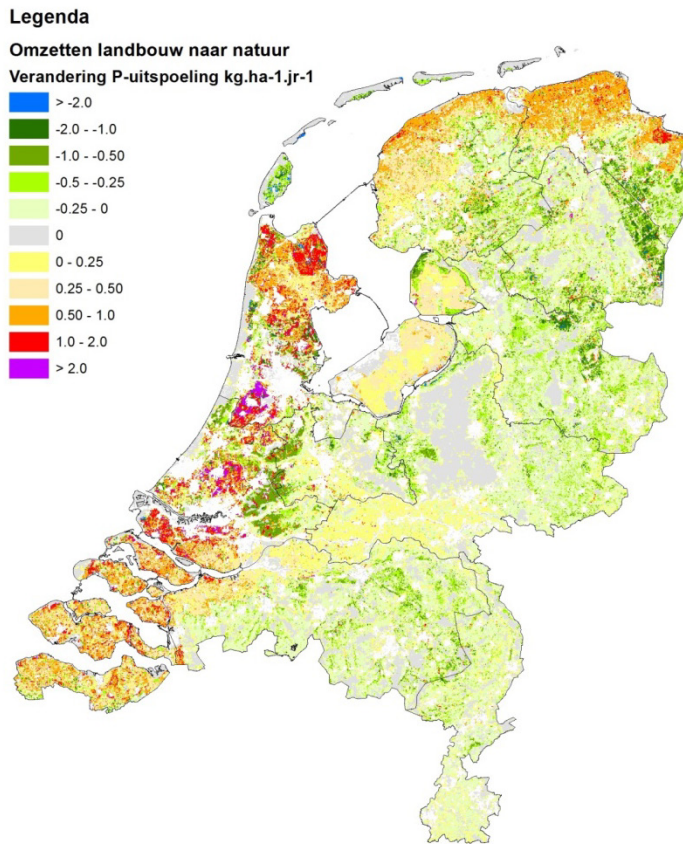


Figuur 4.10 Cumulatieve frequentieverdeling van het landbouwareaal als functie van het aantal jaren dat nodig is om de P-toestand te verlagen tot een niveau dat minimaal voldoende is ($P_w 20$ voor akkerbouw en $P\text{-AL } 20$ voor gras) voor een goede landbouwpraktijk.

4.6 Omzetten van Landbouw in Natuur

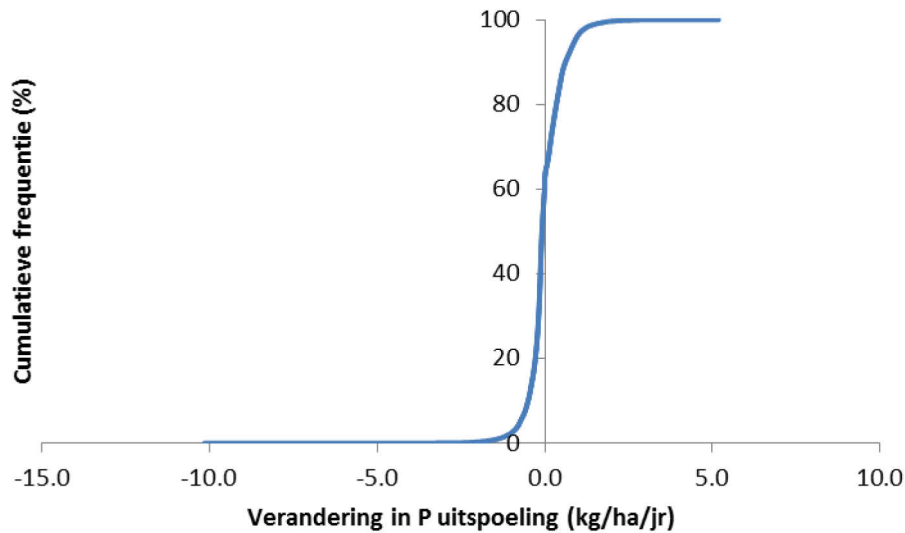
Het omzetten van landbouw in natuur leidt op de zandgronden over het algemeen tot een daling in de P-uitspoeling die vergelijkbaar of iets hoger is dan de daling door uitsluitend uitmijnen (zie Figuur 4.11 en 4.8). Dit komt doordat drainage over het algemeen geen of een licht negatief effect heeft. In de veen- en kleigebieden is de afname van de P-uitspoeling door het omzetten van landbouw in natuur

over het algemeen geringer dan het effect van uitmijnen. Door het opheffen van de drainage neemt de P-uitspoeling toe, doordat meer water wordt afgevoerd uit de bovengrond die (ook na 20 jaar uitmijnen nog) relatief fosfaatrijk is.



Figuur 4.11 Verandering van de P-uitspoeling (kg/ha/jr.) bij omzetten landbouw in natuur.

Het omzetten van landbouw in natuur heeft bij 11% van de Nederlandse landbouwgronden geen (< 0.05 kg P /ha/jr.) effect (Figuur 4.12). Op 35% van de landbouwgronden vindt een toename plaats van de P-uitspoeling. In 42% van Nederland is de afname groter dan 0.05 kg P/ha/jr. en in 10% van Nederland levert het omzetten van landbouw naar natuur een reductie op van meer dan 0.5 kg P/ha/jr.

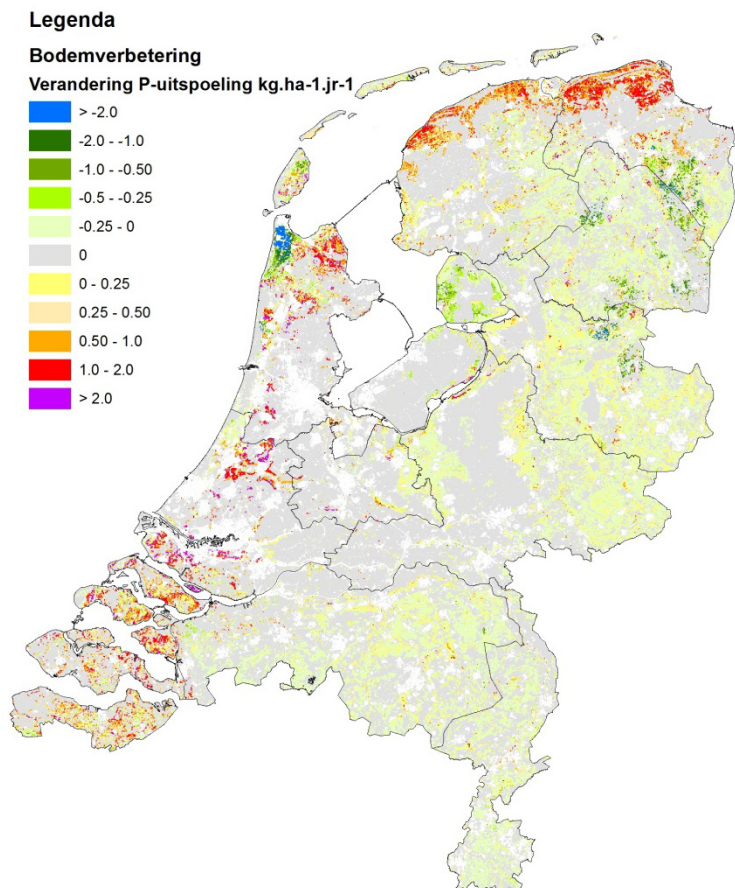


Figuur 4.12 Verandering van de P-uitspoeling (kg/ha/jr.) na het omzetten van landbouw in natuur ten opzichte van de oorspronkelijke uitspoeling.

4.7 Bodemverbetering

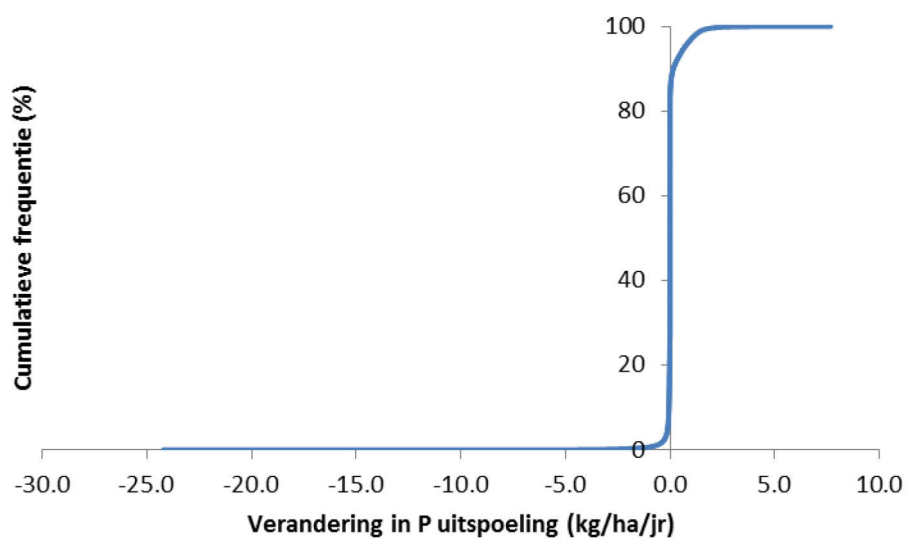
In het algemeen leidt bodemverdichting tot een lichte toename van de P-belasting van het oppervlaktewater doordat het water minder diep in de bodem infiltreert en daardoor afstroomt door lagen met een hogere fosfaattoestand. Bij de berekeningen met PLEASE wordt ervan uitgegaan dat de bodem niet verdicht is. Indien de bodem in werkelijkheid wel verdicht is, zal de uitspoeling dus hoger zijn dan nu voorspeld wordt met PLEASE (Figuur 4.1). Om het effect van deze maatregelen echter vergelijkbaar te houden met de andere maatregelen, is de verandering van de P-uitspoeling bij bodemverbetering in beeld gebracht. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat dit effect even groot is, maar tegengesteld aan het effect van verdichting.

Indien de verdichte situatie hersteld wordt door bodemverbeterende maatregelen, is in een groot deel van Nederland sprake van een lichte afname van de P-uitspoeling (Figuur 4.13). In het westen en noorden van het land kan volgens de kaart verdichting leiden tot een toename van de P-belasting van het oppervlaktewater. Dit komt door de hoge achtergrondbelasting van fosfaat in deze gebieden. Door verdichting neemt de waterafvoer door de bovengrond toe. In situaties waarbij de concentraties in de bovengrond lager zijn dan in de ondergrond, leidt verdichting dus tot een afname van de P-belasting. Dit is echter alleen het geval als de totale waterafvoer niet toeneemt. Indien de waterafvoer door de ondergrond vooral bepaald wordt door kwel, zal de totale waterafvoer bij verdichting groter worden. Met dit soort situaties is in deze berekening geen rekening gehouden.



Figuur 4.13 Verandering in de P-afvoer (kg/ha/jr.) naar het oppervlaktewater door bodemverbetering (opheffen verdichting).

De verandering van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater is op 76% van de landbouwgrids geringer dan 0.05 kg/ha/jr. (Figuur 4.14). Op 11% van de grids is er sprake van een afname van de P-afvoer door verdichting van meer dan 0.05 kg/ha/jr. Op 12% van de grids neemt de P-afvoer met meer dan 0.05 kg/ha/jr. toe door verdichting.



Figuur 4.14 Verandering van de P-uitspoeling door bodemverbetering (opheffen verdichting).

4.8 De effectiefste maatregel

De zes bestudeerde maatregelen verschillen in hun effect op het verlagen van de P-belasting van het oppervlaktewater (Tabel 6). Fosfaattoestand 'voldoende' leidt tot de hoogste (95-percentiel) reductie van de fosfaatbelasting en de hoogste mediane waarde. Deze maatregel gaat ervan uit dat overal in Nederland de P-toestand van de bouwvoor niet hoger is dan minimaal noodzakelijk is voor een optimale gewasproductie. Deze P-toestand is in veel gevallen lager dan met uitmijnen bereikt kan worden in 2027. Deze maatregel geeft dus meer een beeld wat maximaal mogelijk is bij een langdurig zeer terughoudend gebruik van meststoffen. Van de vijf andere maatregelen hebben verbeteren van de drainage, uitmijnen en het omzetten van landbouw naar natuur het meeste effect. Voor bijna alle maatregelen geldt dat de ruimtelijke verschillen in effecten groot zijn en dat er ook gebieden zijn waar de maatregel geen of een negatief effect heeft.

Tabel 6
Verandering in P-uitspoeling in 2027 bij implementatie van de maatregel en % areaal van de Nederlandse landbouwgronden waar de reductie in fosfaatbelasting door deze maatregel hoger is dan 0.1 kg P/ha/jr.

Maatregel	Verandering P verlies (kg/ha/jr.)			%Areaal reductie > 0.1 kg P/ha/jr.
	95%	mediaan	0%	
Mestbeleid	0.0	-0.4	0	10%
Fosfaattoestand 'voldoende'	0.0	-4.1	-0.3	65%
Drainage	0.3	-1.4	0	41%
Uitmijnen	0.0	-1.0	-0.1	79%
Landbouw naar Natuur	0.9	-0.7	-0.1	47%
Bodemverbetering	-0.1	-0.7	0	6%






Om de regionale verschillen in het effect van de maatregelen in beeld te brengen, is een kaart gemaakt die aangeeft welke maatregel in welke delen van Nederland het grootste effect heeft op de reductie van de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater. De optie fosfaattoestand 'voldoende' is hierbij buiten beschouwing gelaten, omdat dit effect niet in 2027 kan zijn gerealiseerd. Het gaat hierbij dus om het effect van het huidige mestbeleid, uitmijnen, drainage, bodemverbetering en het omzetten van landbouw in natuur.

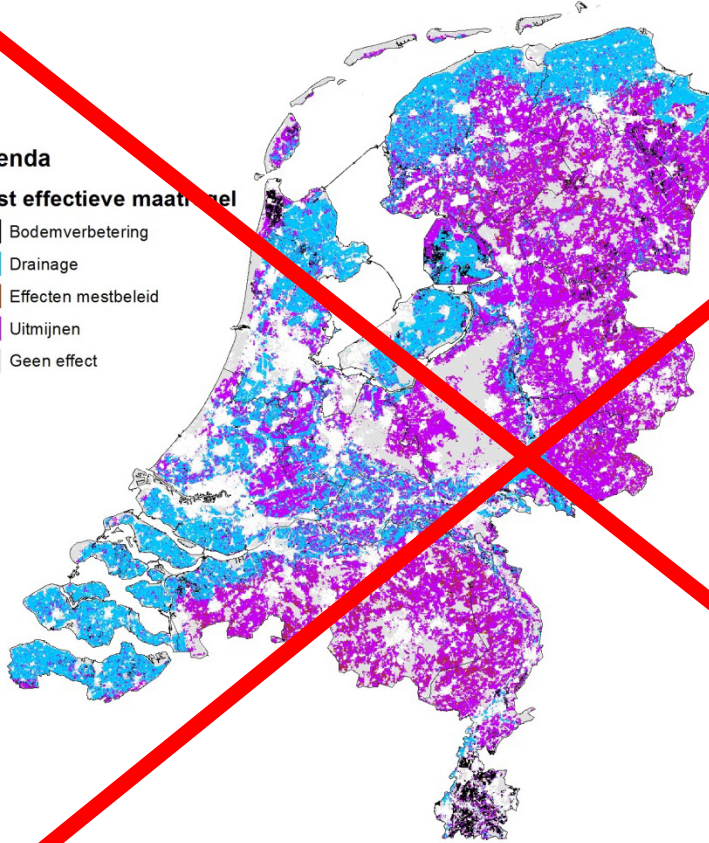
Het aanleggen of omzetten van conventionele in peilgestuurde drainage leidt in de kleigebieden, in het westen en noorden van Nederland, tot de hoogste reductie in P-belasting van het oppervlaktewater (Figuur 4.15). In de rest van Nederland heeft uitmijnen of het omzetten van landbouw in natuur het grootste effect. Lokaal (kop van Noord-Holland, Limburg) kan, indien sprake is van bodemverdichting, een verbetering van de bodemstructuur de grootste effecten hebben op de vermindering van de P-belasting van het oppervlaktewater.

Het verbeteren van de drainage heeft in ruim 30% van Nederland het hoogste effect op de P-belasting van het oppervlaktewater (Figuur 4.16). Uitmijnen is in 53% van Nederland het effectiefst. Het omzetten van Landbouw naar Natuur is nergens de effectiefste optie. Bodemverbetering en het huidige mestbeleid leiden slechts in 4 resp. 7% van Nederland tot de grootste afname van de fosfaatverliezen. In 3% van Nederland heeft geen van de maatregelen effect. Indien de maatregel fosfaattoestand 'voldoende' wordt meegenomen, is dit in meer dan de helft van Nederland de maatregel met het hoogste effect. De maatregel drainage is bij het meenemen van deze maatregel in een veel kleiner areaal de effectiefste maatregel.

Legenda

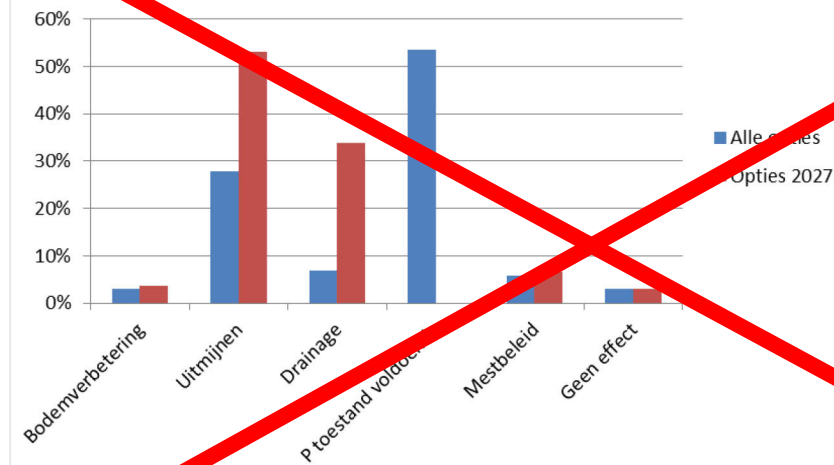
Meest effectieve maatregel

-  Bodemverbetering
-  Drainage
-  Effecten mestbeleid
-  Uitmijnen
-  Geen effect



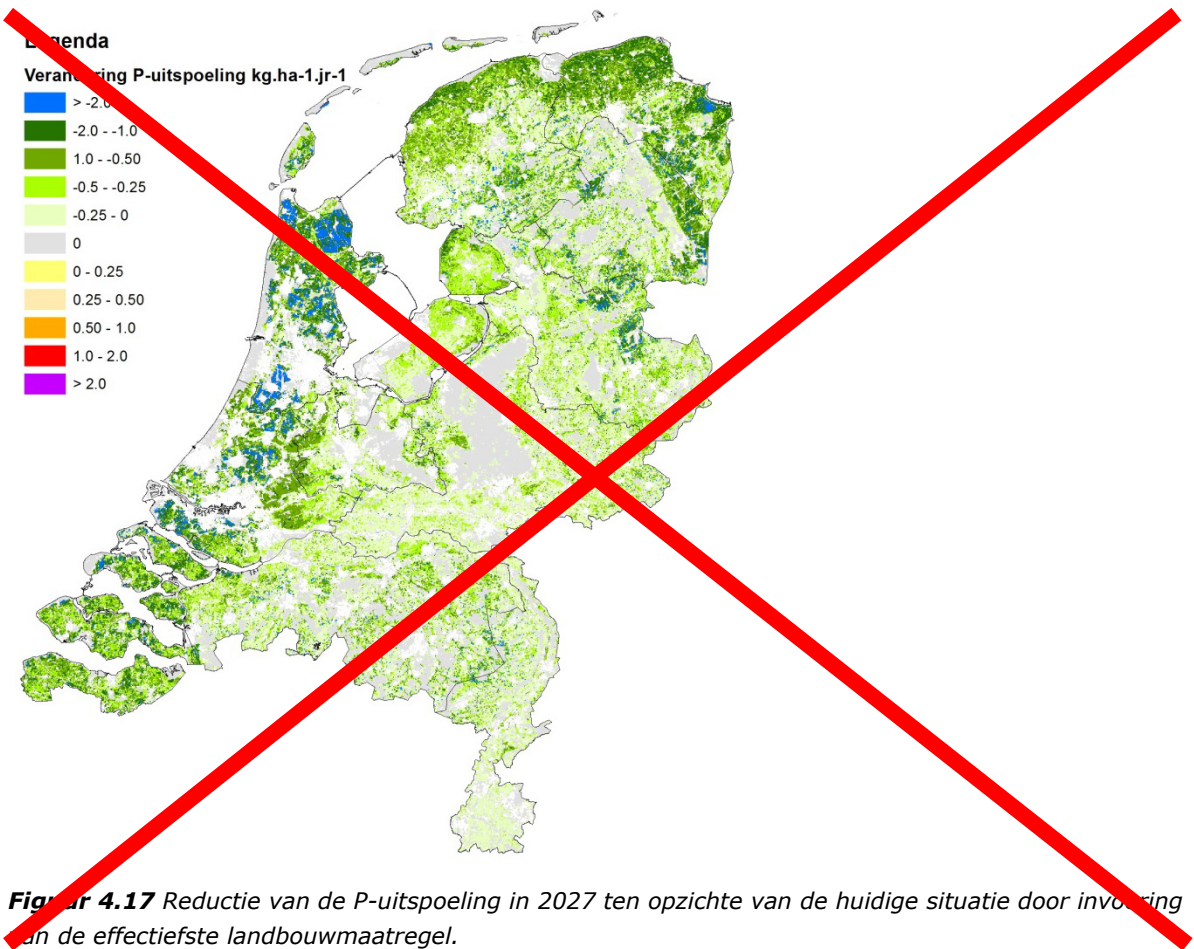
Figuur 4.15 Maatregel die leidt tot de hoogste afname van de P-uitspoeling in 2027 per gridcel (met uitzondering van 'fosfaattoestand voldoende').

Areaal effectiefste maatregel



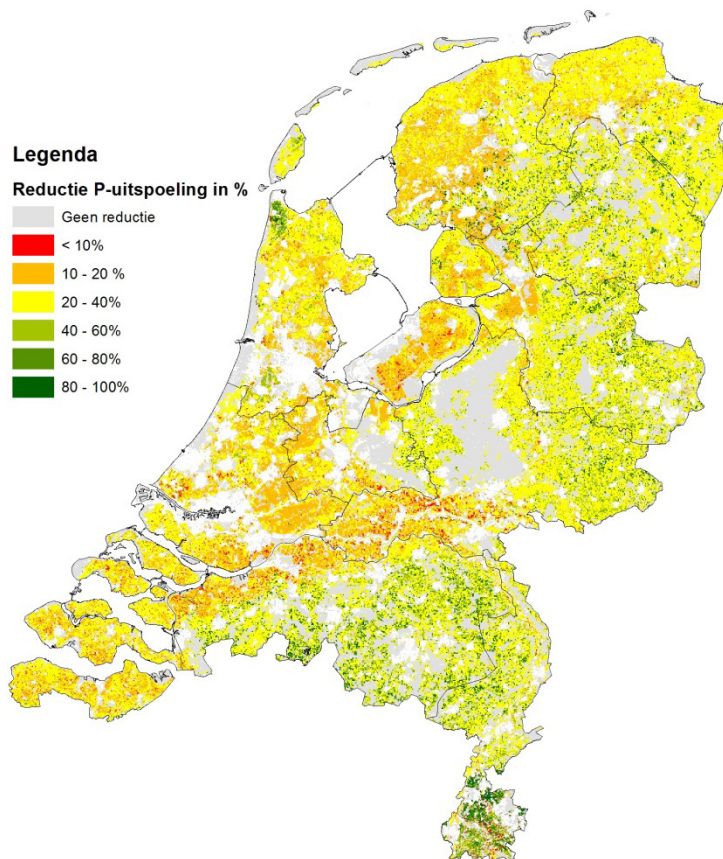
Figuur 4.16 Percentage van landbouwareaal van Nederland waarbij de betreffende maatregel leidt tot de hoogste afname van de P-uitspoeling.

De mediane reductie van de fosfaatuitspoeling door de bestudeerde landbouwmaatregelen bedraagt in 2027 $0.25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en het gemiddelde is $0.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De hoogste reducties worden bereikt in het westen en noorden van Nederland waar ook de hoogste emissies worden gevonden (Figuur 4.17).



Figuur 4.17 Reductie van de P-uitspoeling in 2027 ten opzichte van de huidige situatie door invoering van de effectiefste landbouwmaatregel.

De gemiddelde percentuele reductie in fosfaatuitspoeling, die optreedt bij het invoeren van de effectiefste maatregel, bedraagt 25%. De percentuele reductie varieert sterk binnen Nederland (Figuur 4.18). Deze variatie wordt vooral bepaald door de variatie in de huidige P-belasting van het oppervlaktewater (Figuur 4.1) en de spreiding in de verandering in P-uitspoeling door het invoeren van een van de maatregelen (Figuur 4.18). Over het algemeen worden percentueel de hoogste reducties gevonden in het zandgebied, terwijl in het rivierengebied en de Flevopolder de reducties het laagst zijn (<20%). In het klei- en veengebied in het noorden en westen van het land ligt de reductie veelal tussen de 20 en 40%. De absolute afname in de P-belasting is in deze gebied weliswaar vaak hoog ($> 1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$), maar door de hoge huidige belasting (deels veroorzaakt door de hoge achtergrondconcentraties van fosfaat) is het effect relatief beperkt.

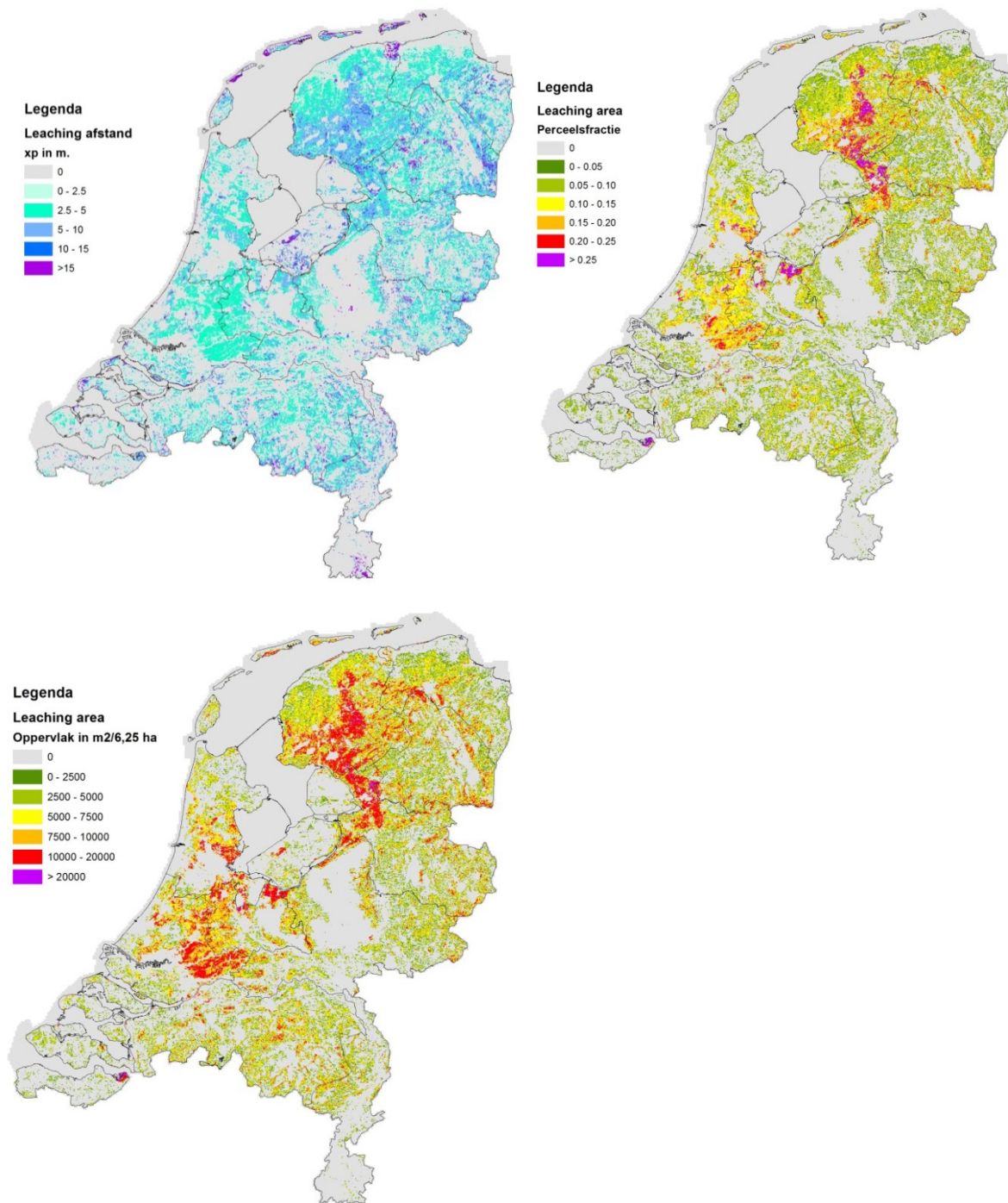


Figuur 4.18 Percentuele reductie van de P-uitspoeling in 2027 ten opzichte van de huidige situatie door invoering van de effectiefste landbouwmaatregel.

4.9 Areal dat bijdraagt aan belasting oppervlaktewater

De breedte van de zone die direct bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater is in een groot deel van Nederland minder dan 5 m (Figuur 4.19) indien alleen rekening wordt gehouden met sloten en grotere waterlopen. Hogere waarden komen vooral voor in Noord-Nederland en lokaal verspreid over de rest van Nederland. Deze hangen samen met een combinatie van een relatief diep fosfaatfront (Figuur 4.19) en een grote slotdichtheid. De kaart met de diepte van het fosfaatfront laat zien dat in hoog Nederland de grootste diepten worden gevonden; in het zandgebied komen echter ook delen voor met een beperkte diepte van het fosfaatfront. In laag Holoceen Nederland is de diepte van het fosfaatfront overwegend 0,4 - 0,6 m.

Op basis van de slootafstand komen de laagveengebieden, zoals verwacht, naar voren als gebieden met geringe slootafstanden, in tegenstelling tot de stuwwallen (Veluwe, Utrechtse Heuvelrug) en Zuid-Limburg, waar geen of nauwelijks waterlopen voorkomen. In de gebieden met de geringe slootafstanden draagt dus een hoger deel van het gebied bij aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater; dit komt overeen met de kaart van de GHG waar in de veengebieden hoge GHG's worden gevonden en op de stuwwallen en Zuid-Limburg diepe grondwaterstanden.

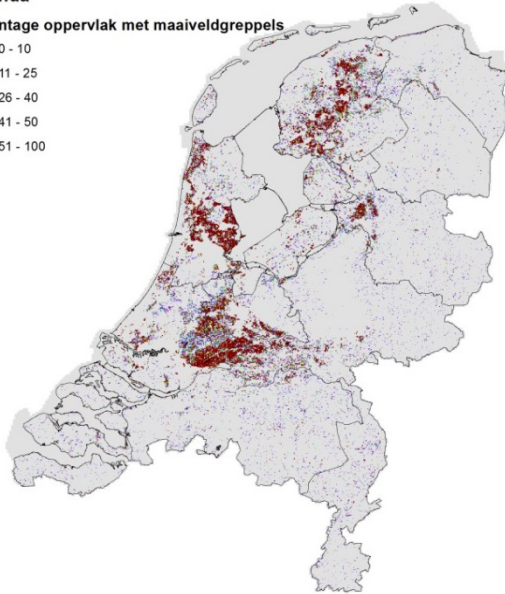
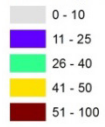


Figuur 4.19 Afstand tot de sloot waaruit belasting plaatsvindt op het oppervlaktewater (linksboven en linksonder), en fractie van het areaal dat als belastende oppervlakte is aangemerkt.

Indien ook de maaiveldgreppels worden meegenomen in deze analyse neemt de perceelfractie die bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater toe (Figuur 4.20).

Legenda

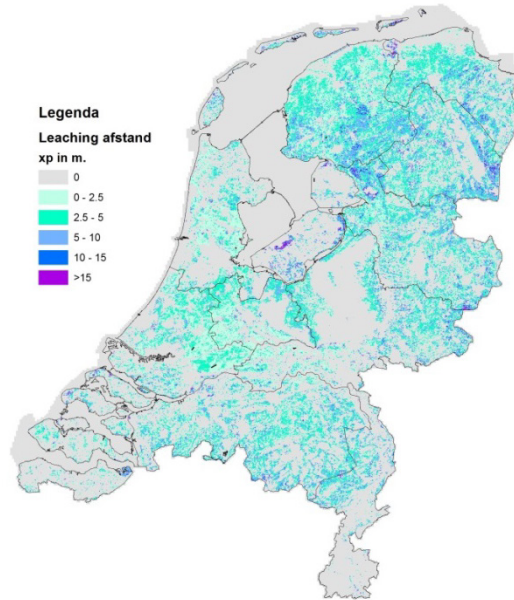
Percentage oppervlak met maaiveldgreppels



Legenda

Leaching afstand

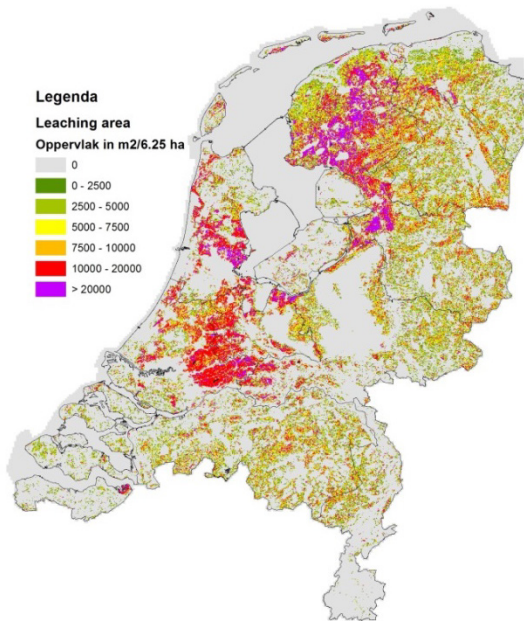
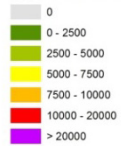
xp in m.



Legenda

Leaching area

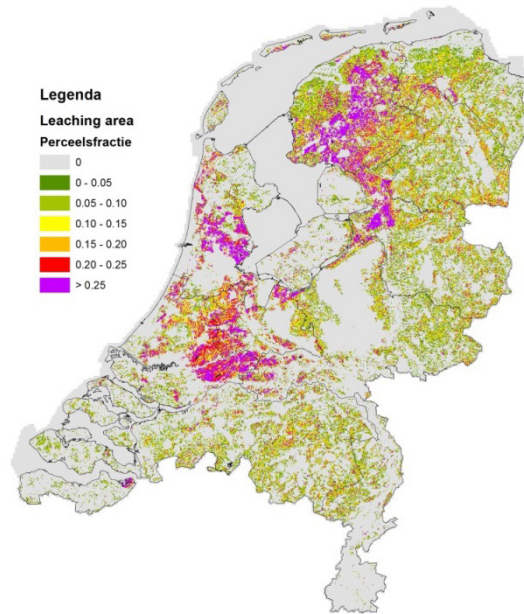
Oppervlak in m²/6.25 ha



Legenda

Leaching area

Perceelsfractie



Figuur 4.20 Gebieden met maaiveldgreppels (linksboven), leaching-afstand waterlopen incl. maaiveldgreppels (rechtsboven), areaal beslag (linksonder) en perceelfractie (rechtsonder).

In Tabel 7 zijn de arealen per provincie gesommeerd.

Tabel 7

Leaching-areaal per provincie, rekening houdend met de aanwezigheid van maaiveldgreppels.

PROVINCIE	Oppervlak ha	Leaching-areaal ha	Percentage %	Percentage gedraineerde gronden %
Groningen	240006	12823	5	37
Friesland	353838	51982	15	27
Drenthe	267994	15691	6	14
Overijssel	340600	25544	8	6
Gelderland	511813	20997	4	5
Flevoland	147156	3425	2	50
Utrecht	144306	13914	10	2
Noord-Holland	285875	18417	6	24
Zuid-Holland	299881	22788	8	17
Zeeland	183313	2963	2	42
Noord-Brabant	504950	22053	4	14
Limburg	220956	5097	2	6
Nederland	3500688	215694	6	18

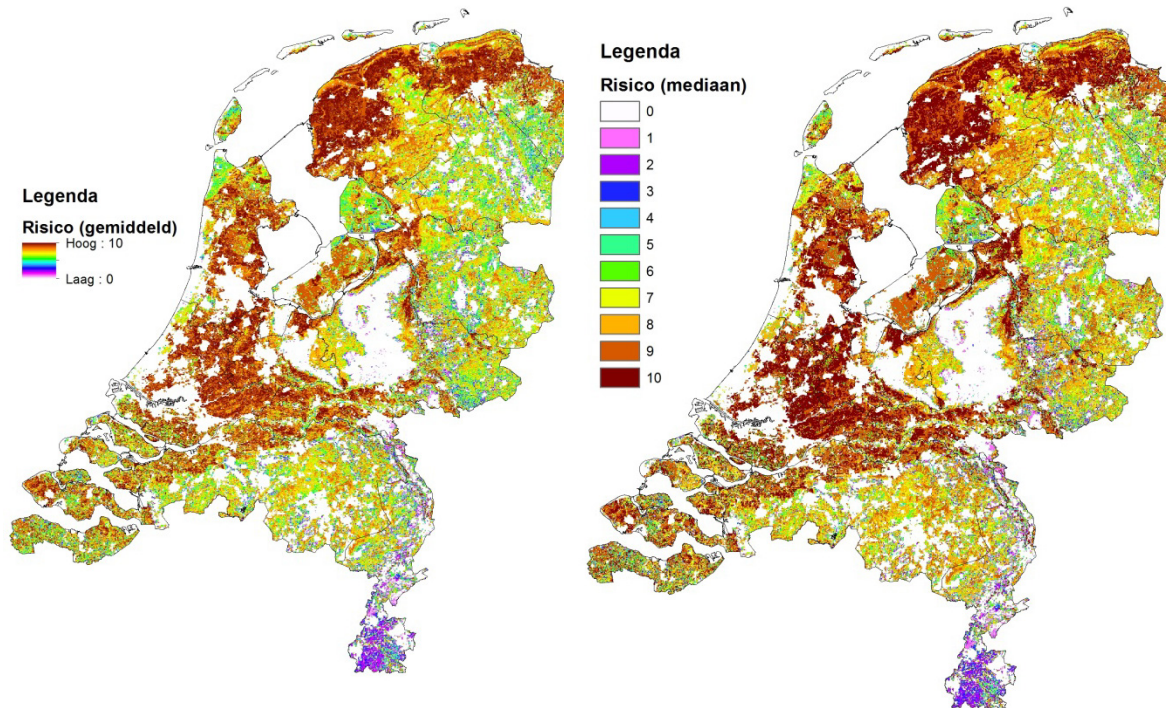
Gemiddeld draagt 6% van het areaal bij aan de P-uitspoeling. Vooral Friesland en Utrecht hebben hoge percentages van meer dan 8%.

De hiervoor getoonde kaarten zijn uitsluitend van toepassing op niet gedraineerde percelen. Op gedraineerde percelen is er een directe verbinding tussen perceel en sloot via de drainpijp en draagt dus het gehele perceel bij aan de belasting van het oppervlaktewater. Op dit soort percelen heeft het dus geen zin om maatregelen te beperken tot een deel van het perceel dat grenst aan een waterloop. Het percentage gedraineerde gronden in Nederland bedraagt bijna 18% (Massop et al., 2013). In het noorden en westen van het land is het percentage gedraineerde gronden relatief hoog (17-50%), terwijl op de zandgronden in het midden, zuiden en oosten van het land vaak minder dan 10% van de gronden zijn gedraineerd.

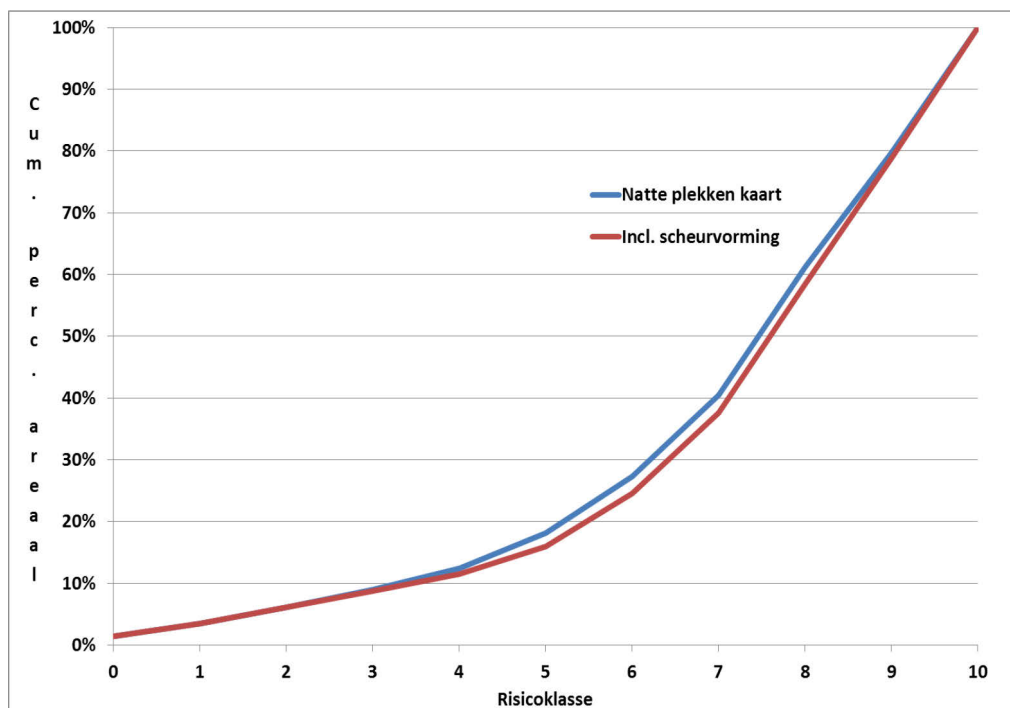
Bij gebruik van de uitkomsten dient in ogenschouw genomen te worden dat de diepte van het fosfaatfront vrij onzeker is. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de beperkte kennis over het verloop van de fosfaatgehalten in de ondergrond en anderzijds door de gehanteerde definitie van de diepte van het fosfaatfront. De berekeningen zijn uitgegaan van gehalten (Pw-getal) in de laag van 20-50 cm. Deze gehalten zijn gebaseerd op 1191 waarnemingen van het Pw-getal. Het aantal waarnemingen in de toplaag is bijna tweemaal zo hoog. In aanvulling daarop is gebruikgemaakt van ruim 3000 waarnemingen van P-ox om schattingen te maken van het Pw-getal. Voor het berekenen van het verloop van de P-concentraties met de diepte wordt in PLEASE aangenomen dat de P-concentraties onder de bouwvoor exponentieel dalen met de diepte totdat de natuurlijke achtergrondconcentratie wordt bereikt. De indringingsdiepte van het fosfaatfront is in deze studie gedefinieerd als de diepte waarop de concentratie meer dan tweemaal de natuurlijke achtergrondwaarde bedraagt. Deze achtergrondconcentraties zijn hoog in de kleigebieden en veel lager in de zandgebieden. Voor de kleigebieden zal dus bij eenzelfde concentratieprofiel een lagere indringingsdiepte worden berekend, omdat het afbreekcriterium hoger ligt. Naast de informatie over de diepte van het fosfaatfront is ook de kaart van de doorstroomde diepte minder gedetailleerd dan de overige kaarten. Deze kaart kan mogelijk verfijnd worden op basis van NHI.

4.10 Risico's voor oppervlakkige afstroming

Hoge risico's voor oppervlakkige afstroming of door preferent transport worden vooral aangetroffen in het rivier- en zeeleigebied in het noorden, westen en midden van Nederland (Figuur 4.21). De cumulatieve frequentieverdeling geeft aan dat in meer dan 80% van Nederland het risico op oppervlakkige afstroming en preferent transport in klasse 5 of hoger ligt (Figuur 4.22). Ongeveer 40% van de gridcellen bevindt zich in de drie hoogste risicoklassen (klasse 8 en hoger).

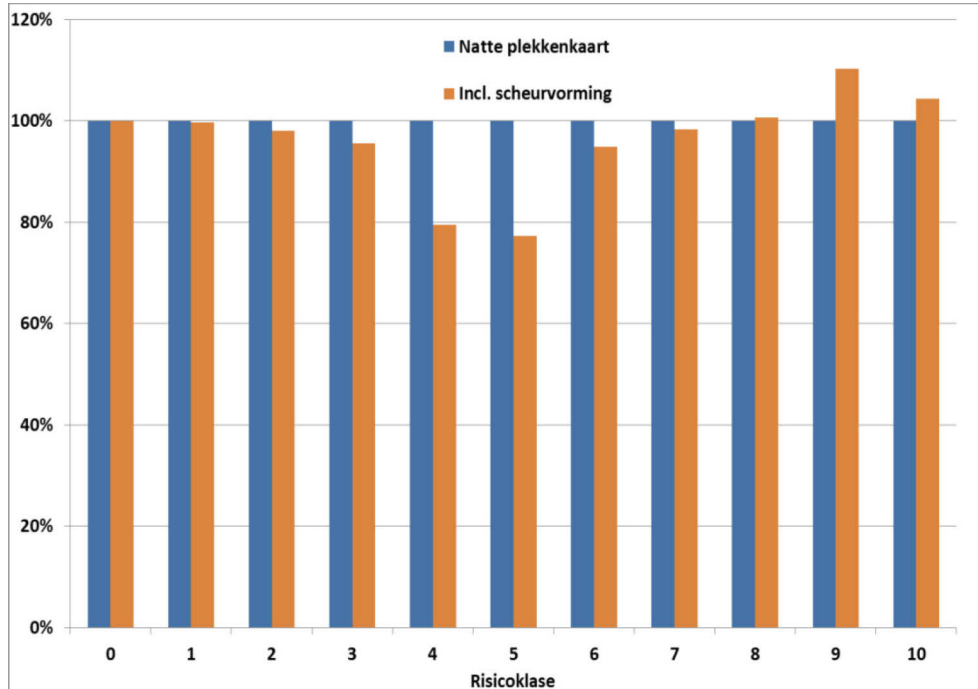


Figuur 4.21 Gemiddeld risico op oppervlakkige afstroming (links) en mediaan (rechts), rekening houdend met scheurvorming en aanwezigheid van drainage systemen.



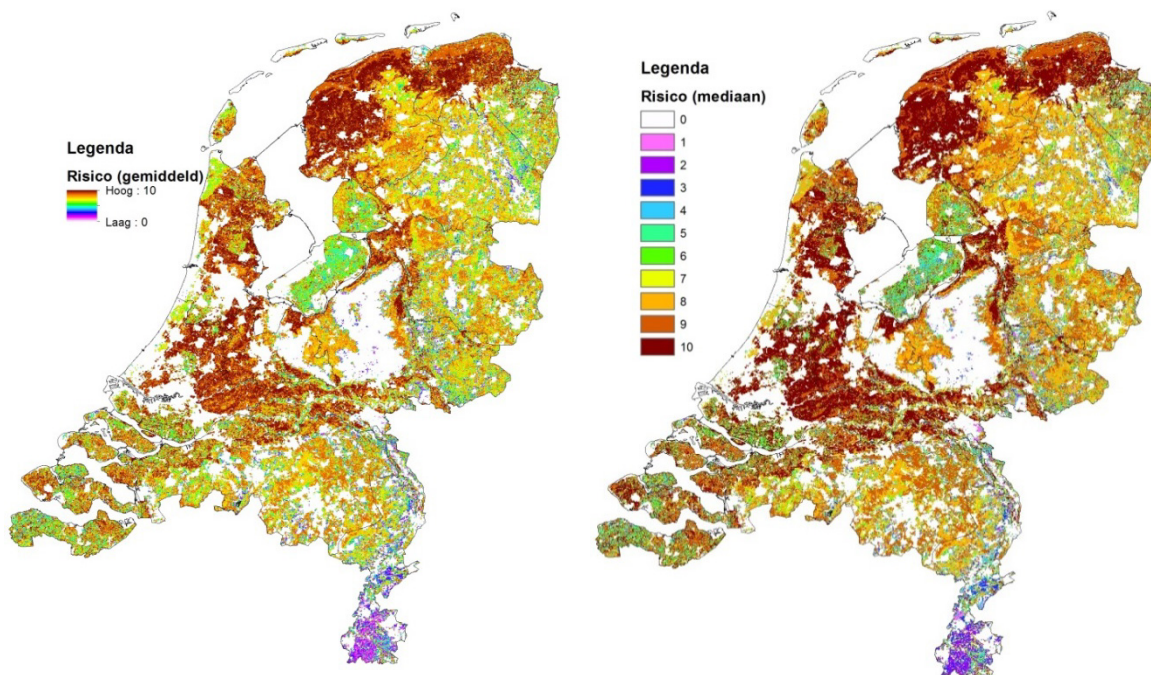
Figuur 4.22 Cumulatieve verdeling risicoklasse voor oppervlakkige afstroming.

Door het meenemen van de bijdrage van preferent transport is het risico op het optreden van snelle afvoerroutes naar het oppervlaktewater gestegen. In Figuur 4.23 is de verdeling van het risico volgens de oorspronkelijke natte-plekkenkaart (Massop et al., 2014) vergeleken met de risicokaart waarin rekening wordt gehouden met preferent transport (op basis van de mediane waarden). Er is een afname in het aantal gridcellen met een relatief laag risico van 4 en 5 en een toename van het aantal gridcellen met een hoog risico; vooral het areaal met risicoklasse 9 – en in mindere mate met risicoklasse 10 – neemt toe.

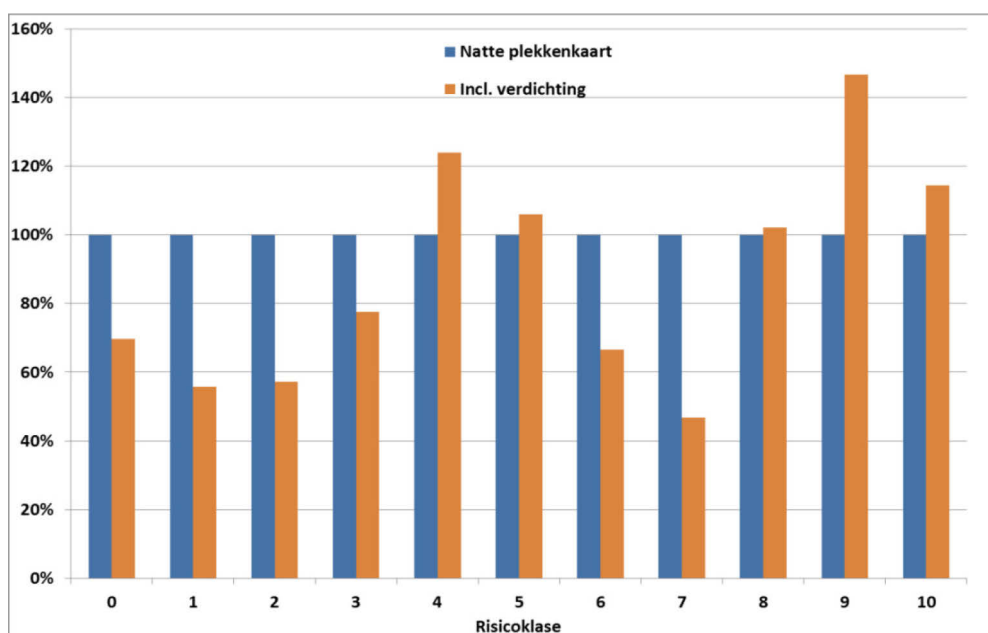


Figuur 4.23 Relatieve verandering van de omvang van de risicoklassen voor oppervlakkige afspoeling door het meenemen van het risico op preferent transport t.o.v. de oorspronkelijke natte-plekkenkaart.

Het meenemen van de effecten van bodemverdichting heeft eveneens een aanzienlijke impact op de risico's op oppervlakkige afspoeling (Figuur 4.24). In Figuur 4.25 is de verdeling van het risico volgens de natte-plekkenkaart (Massop et al., 2014) vergeleken met de risicokaart volgens Figuur 4.24 op basis van de mediane waarden per gridcel. Het areaal met risicoklasse 9 – en in mindere mate het areaal met risicoklasse 4 en 10 – neemt toe en ook risicoklasse 5 en 8 laten een geringe toename zien, terwijl alle andere risicoklassen een afname laten zien.

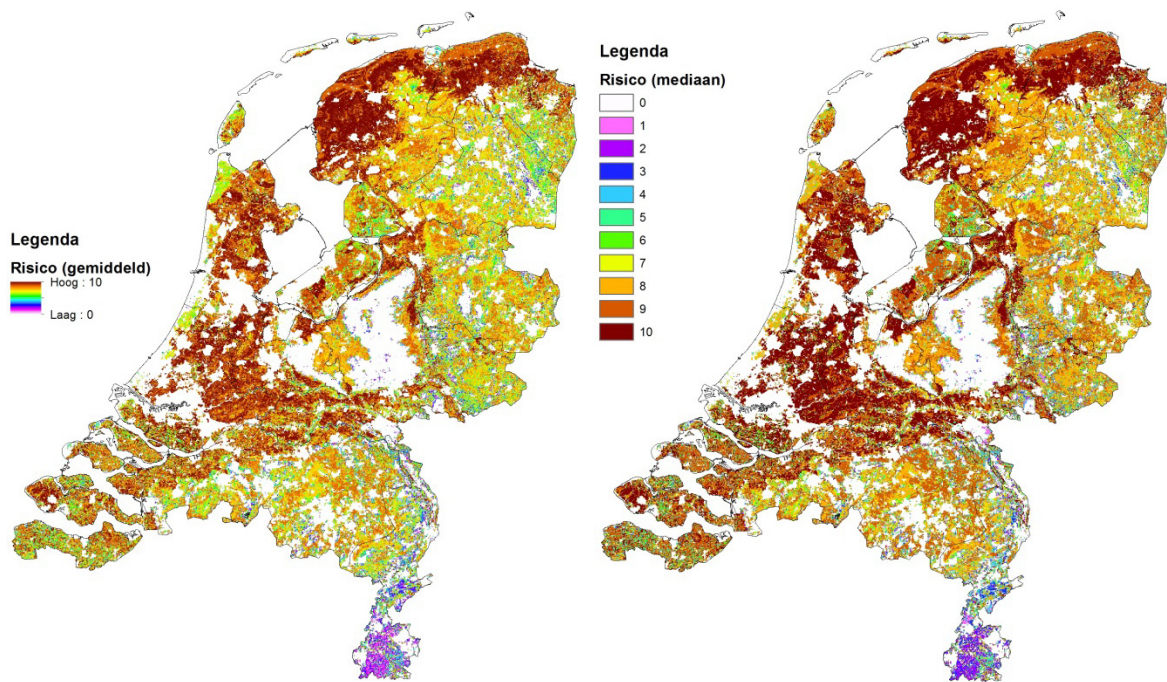


Figuur 4.24 Gemiddeld risico op oppervlakkige afstroming (links) en mediaan (rechts) bij bodemverdichting.



Figuur 4.25 Relatieve verandering van de omvang van de risicoklassen voor oppervlakkige afspoeling door het meenemen van bodemverdichting t.o.v. de oorspronkelijke natte-plekkenkaart.

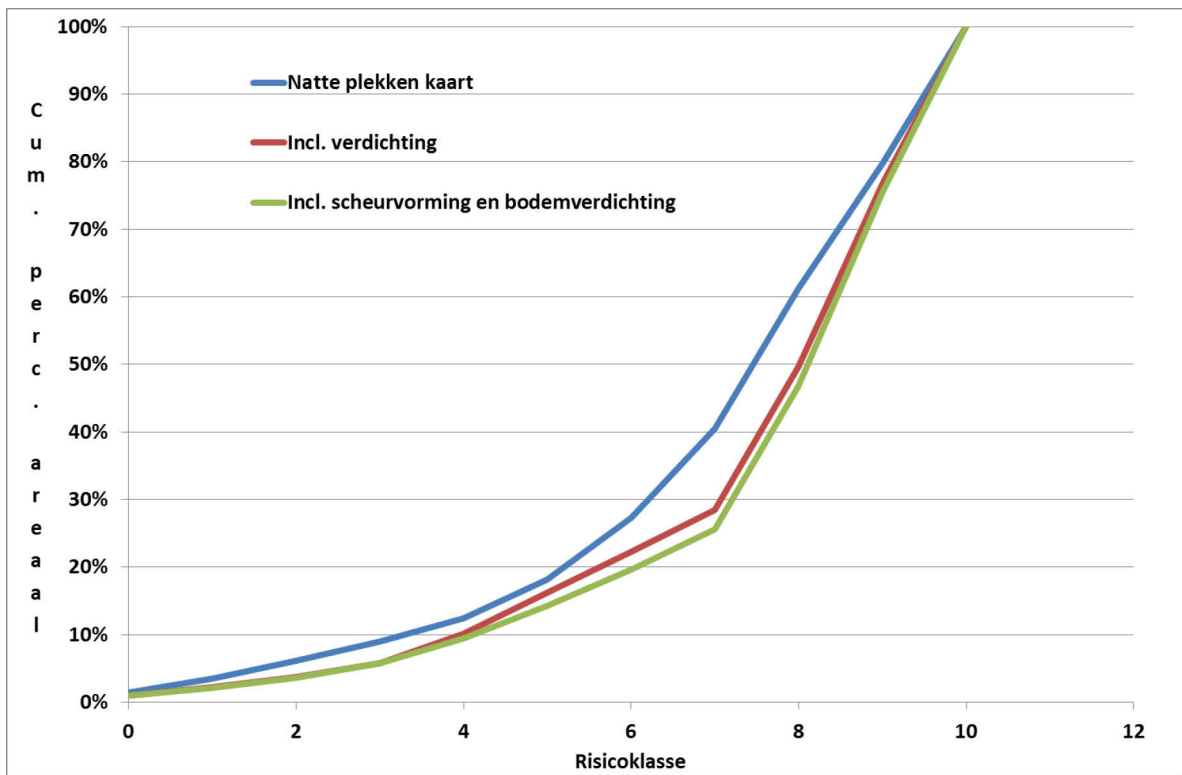
Als laatste stap zijn de effecten van bodemverdichting en scheurvorming gecombineerd. Op basis van Tabel 5 en de onderliggende kaarten is een nieuwe risicokaart af te leiden waarin zowel rekening is gehouden met bodemverdichting als scheurvorming (Figuur 4.26). Voor het gecombineerde effect is zowel rekening gehouden met de impact van scheuren op de connectiviteit met het oppervlaktewater als met het effect van bodemverdichting op de bodemgeving (zie H 3.8).



Figuur 4.26 Gemiddeld risico op oppervlakkige afstroming (links) en mediaan (rechts) wanneer bodemverdichting en scheurvorming gecombineerd worden meegenomen.

In Figuur 4.27 is de cumulatieve frequentie verdeling weergegeven. Bodemverdichting heeft het grootste effect op het risico voor oppervlakkige afspoeling. Het meenemen van scheurvorming geeft een beperkte toename van het risico te zien. Risicoklasse 9 neemt het sterkst toe, gevolgd door risicoklasse 10. Risicoklasse 4 en 8 laten een geringe toename zien, terwijl de overige risicoklassen een afname laten zien.

Indien zowel het effect van bodemverdichting als scheurvorming wordt meegenomen in de analyse van het risico op oppervlakkige afspoeling, dan is op 85% van de gridcellen het risico op oppervlakkige afspoeling groter dan 5. Ongeveer de helft van de gridcellen valt in de drie hoogste risicoklassen (> 8).



Figuur 4.27 Cumulatieve verdeling risicoklasse voor oppervlakkige afstroming

5 Conclusies

In deze studie is een quickscan uitgevoerd om te bepalen hoe effectief een aantal verschillende maatregelen zijn om in de verschillende delen van Nederland de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in 2027 terug te hebben gedrongen. De effectiviteit van een maatregel hangt af van de lokale omstandigheden, zoals de hydrologische situatie en de mate van fosfaatophoping. Recent zijn de huidige fosfaatemissies naar het oppervlaktewater zo goed mogelijk in kaart gebracht (Van der Salm et al., 2014) op basis van metingen van de fosfaattoestand van de bodem. De effecten van zes belangrijke maatregelen (huidige mestbeleid, fosfaattoestand 'voldoende', drainage, uitmijnen, omzetten landbouw in natuur en structuurverbetering) zijn vervolgens met behulp van rekenregels gekwantificeerd. Deze rekenregels zijn gebaseerd op het nationale nutriëntenemissiemodel STONE. Combinatie van de kaarten van de huidige fosfaatbelasting en de rekenregels geeft een beeld van de afname van de fosfaatuitspoeling tussen nu en 2027 indien de betreffende maatregel wordt uitgevoerd.

De effecten van de zes maatregelen tonen grote verschillen in omvang en regionale spreiding. Fosfaattoestand 'voldoende' leidt tot de hoogste reductie van de fosfaatbelasting. Deze maatregel gaat ervan uit dat overal in Nederland de P-toestand van de bouwvoor niet hoger is dan minimaal noodzakelijk is voor een optimale gewasproductie. Deze P-toestand is in veel gevallen lager dan met uitmijnen bereikt kan worden in 2027. Deze maatregel geeft dus meer een beeld wat maximaal mogelijk is bij een langdurig (tot 2050) zeer terughoudend gebruik van fosfaatmeststoffen. Van de vijf andere maatregelen hebben verbeteren van de drainage en uitmijnen het meeste effect. Het huidige mestbeleid heeft op de meeste plaatsen nauwelijks effect op het terugdringen van de P-belasting van het oppervlaktewater.

Voor bijna alle maatregelen geldt dat de ruimtelijke verschillen in effecten groot zijn en dat er ook gebieden zijn waar de maatregel geen of een negatief effect heeft. In het westen en noorden van Nederland (zavel- en kleigronden) leidt het aanleggen van drainage of het omzetten van conventionele in peilgestuurde drainage tot de grootste verlaging van de P-belasting van het oppervlaktewater. In de rest van Nederland (veelal zandgronden) heeft uitmijnen het grootste effect.

De belasting van het oppervlaktewater met fosfaat vanuit landbouwgronden is veelal beperkt tot de zone die grenst aan oppervlaktewater. Op basis van de indringingsdiepte van het fosfaatfront is de breedte van deze zone berekend. In een groot deel van Nederland is deze zone smaller dan 5 m. Dit betekent dat maatregelen mogelijk niet voor het hele perceel, maar slechts voor een deel van het perceel hoeven te worden genomen. Dit geldt echter alleen voor ongedraineerde percelen. Indien een perceel gedraineerd is, draagt het hele perceel bij aan de belasting van het oppervlaktewater. Gemiddeld is circa 18% van de percelen in Nederland gedraineerd, dit betreft vooral het noorden en westen van het land. Op de zandgronden in het midden, zuiden en oosten van het land ligt het percentage gedraineerde gronden vrijwel altijd onder de 10%. De berekening van de breedte van de zone die bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater is verder vrij onzeker, omdat exacte gegevens over de indringingsdiepte van het fosfaatfront schaars zijn.

In de uitgevoerde studie wordt maar beperkt rekening gehouden met de risico's van preferent transport en oppervlakkige afvoer. Een kwalitatieve analyse laat zien dat er in een groot deel van Nederland risico's zijn op oppervlakkige afstroming. Deze risico's worden verder vergroot door scheurvorming (preferent transport) en door verdichting. Verliezen door oppervlakkige afvoer en preferent transport kunnen aanzienlijk zijn en maatregelen om deze risico's terug te dringen (zoals timing bemesting, verbeteren bodemstructuur, water vasthouden, lagere bodemvruchtbaarheid van de toplaag), kunnen dus in een groot deel van Nederland bijdragen aan een verlaging van de belasting van het oppervlaktewater.

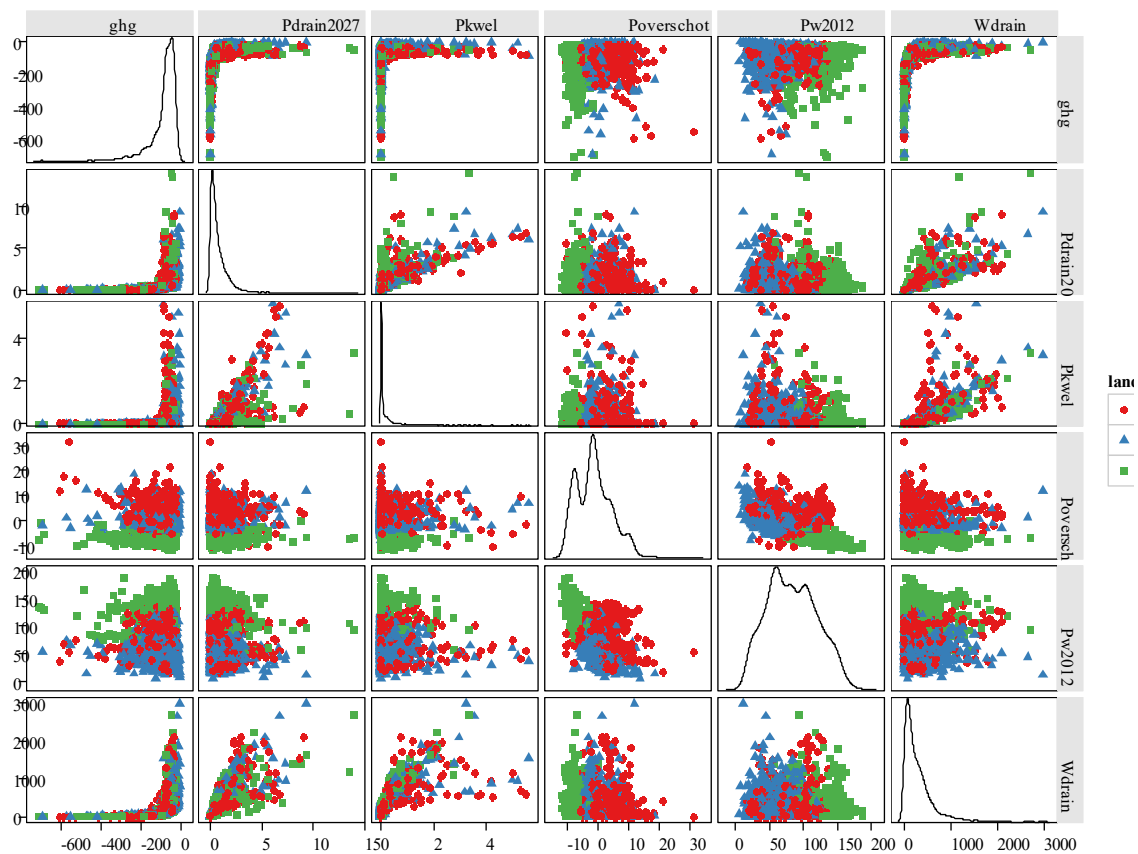
De huidige studie laat zien dat door het combineren van gegevens van de huidige fosfaatbelasting met rekenregels op een snelle en eenvoudige manier een beeld geschapen kan worden van de effecten van verschillende maatregelen. De effecten tonen sterke lokale en regionale verschillen. Door rekening te houden met deze verschillen bij de implementatie van maatregelen, kan met dezelfde inspanning een grotere reductie van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater gerealiseerd worden.

Literatuur

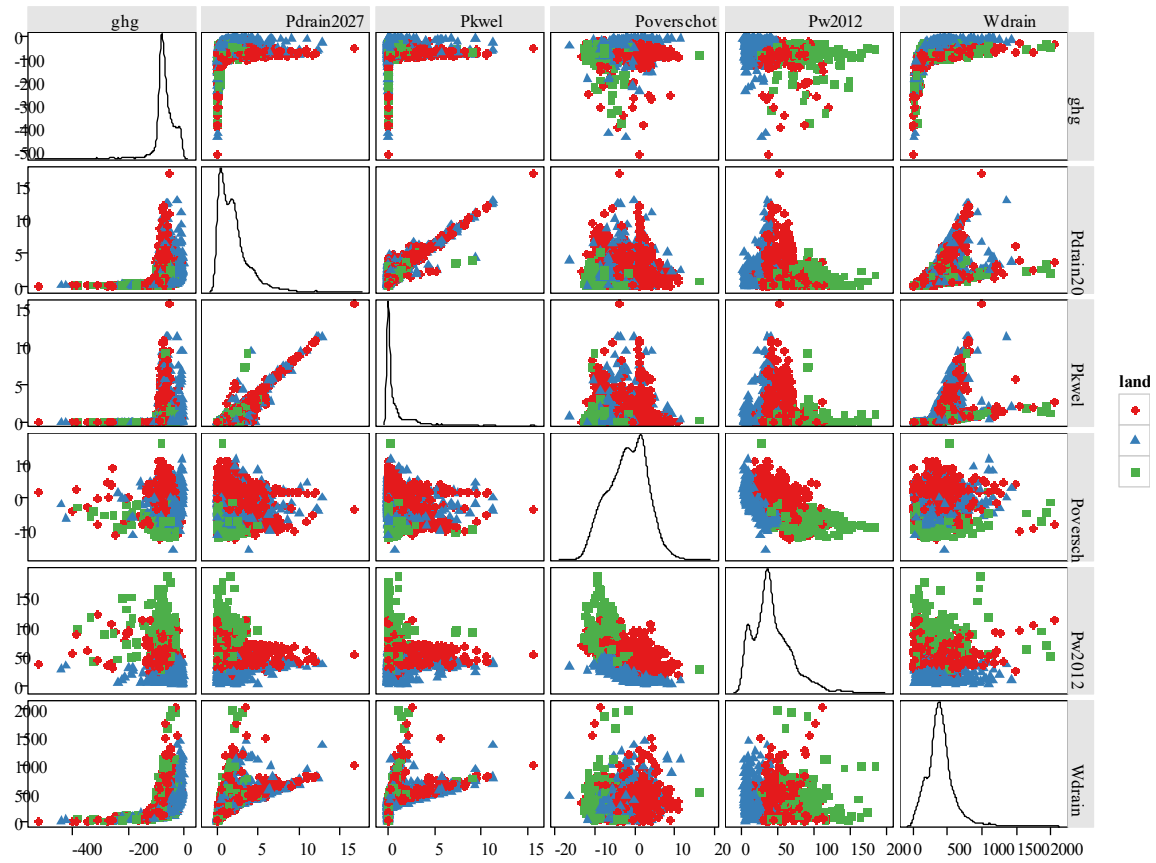
- Akker, J.J.H. van den, F. de Vries, G.D. Vermeulen, M.J.D. Hack-ten Broeke en T. Schouten, 2012. Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2409.
- Bakel, P.J.T. van, H.T.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors en T. Kroon, 2008a. Klimaatadaptieve Drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. Wageningen, WOT-rapport 57.
- Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij, 2008b. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Wageningen, Alterra-rapport 1647.
- Bakel, P.J.T. van, G.A.P.H. van den Eertwegh, H.T.L. Massop en J. Brandsma, 2013. Klimaatadaptieve Drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. Wageningen, FutureWater Rapport 118.
- Bronswijk, J.J.B., 1991. Magnitude, modeling and significance of swelling and shrinkage processes in clay soils. Doctoral thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University.
- Ehlert, P.A.I., O.F. Schoumans, D.J. Brus, W.J.M de Groot, R. Visschers en M. Pleijter, 2005. Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm. Technische uitwerking. Wageningen, Alterra-rapport 1201.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop, 2010. Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken. Amersfoort, STOWA-rapport 41.
- Groenendijk, P., L. Renaud, C. van der Salm, H. Luesink, P. W. Blokland, T. de Koeijer, 2015. *Nitraat in grondwater en N- en P-uitspoeling bij de mestnormen van het 5de actieprogramma. Modelberekeningen met MAMBO en STONE*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2647
- Jansen, P., H. Massop, P. Groenendijk, L. Renaud en R. Hendriks, 2013, Oppervlakkige afstroming en diepte van modelprofielen. Invloed op N- en P-vrachten in STONE2.3. Wageningen, Alterra-rapport 2464.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema, and W.H. van Riemsdijk. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *J. Environ. Qual.* 33:965-975.
- LNV. Ministerie van, 2009. Vierde Nederlandse actieprogramma betreffende de nitraatrichtlijn (2010-2013).
- Massop, H. Th.L., C. Schuiling en A.A. Veldhuizen, 2013. Buisdrainagekaart 2012. Update landelijke buisdrainagekaarten voor het NHI op basis van de landbouwmeitellingen 2010. Alterra-rapport 2381. Alterra, Wageningen.
- Massop, H. Th. L., J. Clement en C. Schuiling, 2014. Plassen op het land. Een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling. Wageningen, Alterra-rapport 2546.
- Paauw, F. Van der en H.A. Sissingh, 1968. Het Pw-getal, een nieuwe maat voor de beschikbaarheid van fosfaat. *Landbouwvoorlichting* 25-9.
- PBL, 2012. Kwaliteit voor later 2. Evaluatie van het waterkwaliteitsbeleid. PBL-publicatienummer 500208001, PBL, Bilthoven.
- Salm, C. van der, W. J. Chardon, G. F. Koopmans, J. C. van Middelkoop, and P.A.I. Ehlert, 2009. Phytoextraction of phosphorus-enriched grassland soils. *J. Envir. Qual* 38: 1-11.
- Salm, C. van der, D. Walvoort en H. Massop, 2014. Landelijk beeld van de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2565.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm, M. Pleijter. 2008. Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden. Beschrijving van het instrumentarium PLEASE. Alterra-rapport 1724. Alterra. Wageningen.
- Schoumans, O.F., C. Van der Salm and P. Groenendijk, 2013. PLEASE: A simple model to determine P losses by leaching. *Soil Use & Management*, 29:138-146.
- Smelt, J.H., R.F.A. Hendriks, L.J.T. van der Pas, A.M. Matser, A. van den Toorn, K. Oostindie, O.M. van Dijk-Hooijer, J.J.T.I. Boesten & R.P. Scorza Jr, 2003. Transport of water, bromide ion, nutrients

-
- and the pesticides bentazone and imidacloprid in a cracking, tile drained clay soil at Andelst, the Netherlands. Wageningen. Alterra-rapport 289.
- Stuyt, L.C.P.M, 2013. Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Bundeling van resultaten van onderzoek, ervaringen en indrukken, opgedaan in binnen- en buitenland. Alterra rapport 2370. Alterra, Wageningen.
- Tiktak, A., R.F.A. Hendriks, J.J.T.I. Boesten en A.M.A. van der Linden, 2012. A spatially distributed model of pesticide movement in Dutch macroporous soils. *Journal of Hydrology*, 470-471 (2012) 316-327.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte. 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2012. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Alterra-rapport 2387. Alterra, Wageningen.

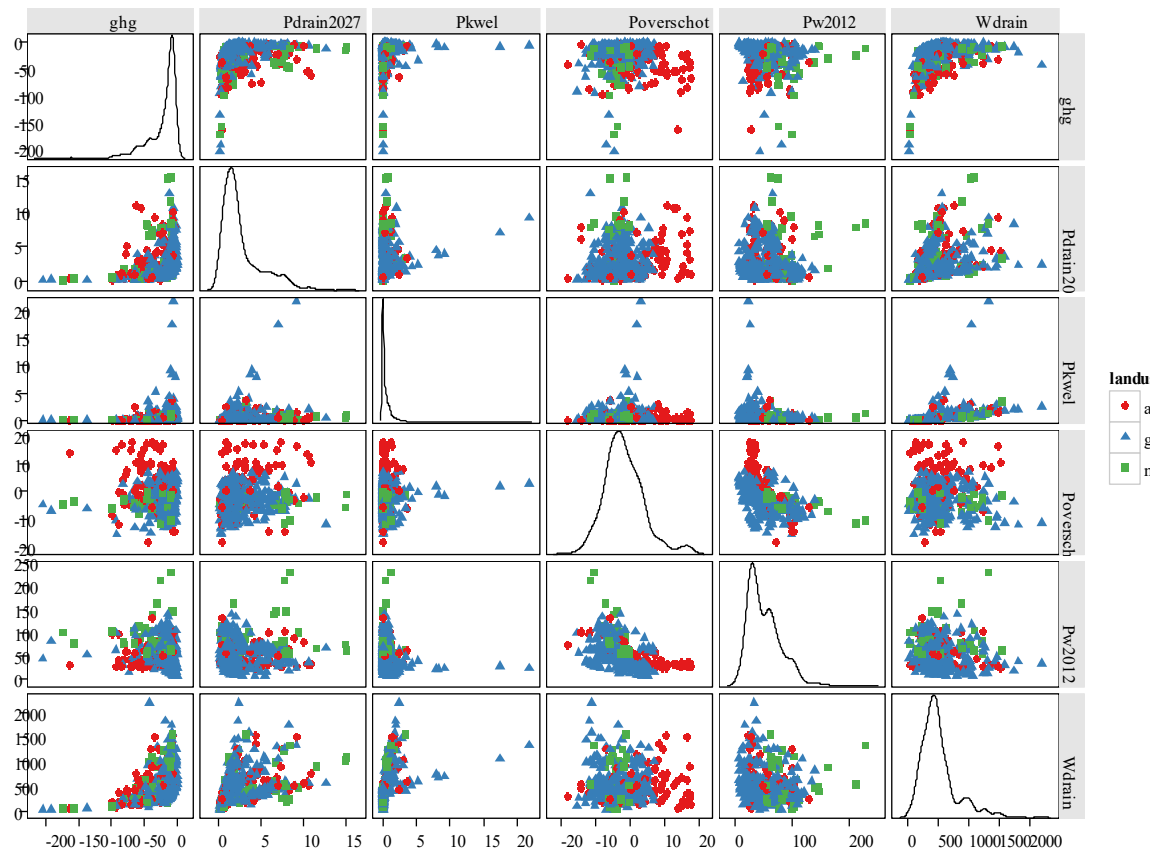
Bijlage 1 Met STONE berekende P-uitspoeling in 2027 als functie van GHG, Pw, Poverschot, kwel en waterafvoer



P-uitspoeling (kg ha⁻¹ jr⁻¹) in zandgronden.



P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in kleigronden.



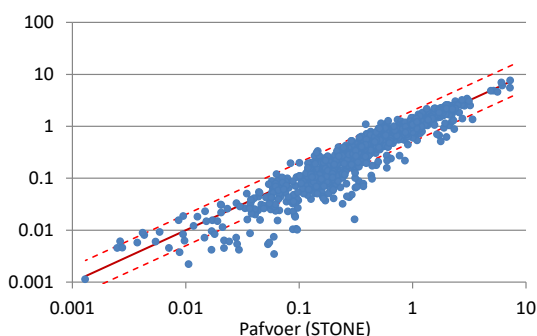
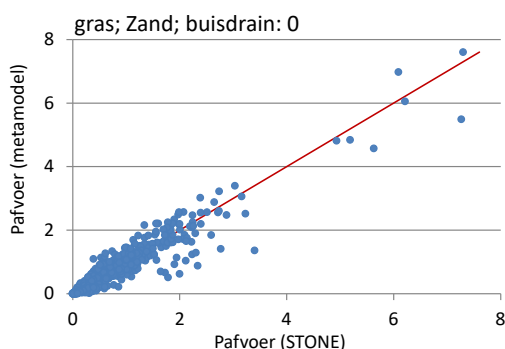
P-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in veengronden.

Bijlage 2 Resultaten van de niet-lineaire regressie van de met STONE berekende P-uitspoeling

Gras op zand, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	0.045000				
a2	3.238E-02	1.418E-03	22.832	< 2e-16	***
a3	1.940E-01	1.852E-02	10.471	< 2e-16	***
a4	-2.311E-05	1.371E-06	-16.861	< 2e-16	***
a5	-7.419E-05	1.408E-05	-5.271	1.72E-07	***
a6	2.190E-03	7.238E-05	30.254	< 2e-16	***
a7	1.000000				

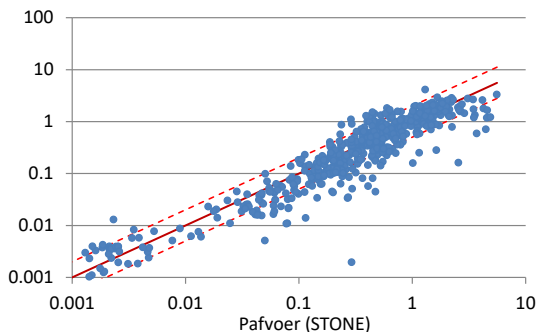
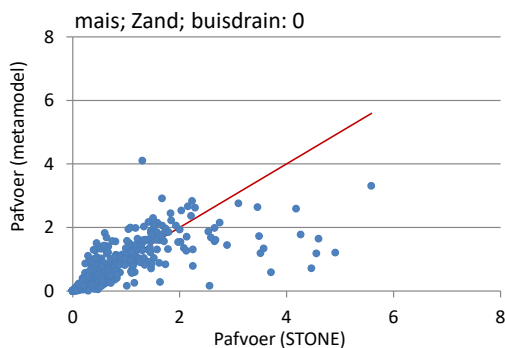
MAE = 0.14; R2 = 0.90; IoA = 0.97



Mais op zand, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	4.500E-02				
a2	6.572E-02	1.718E-02	3.826	0.000145	***
a3	4.236E-01	2.642E-01	1.603	0.109423	.
a4	-1.856E-05	9.510E-06	-1.951	0.051509	.
a5	1.024E-06	1.328E-04	0.008	0.99385	
a6	3.033E-03	4.049E-04	7.492	2.75E-13	***
a7	1.000E+00				

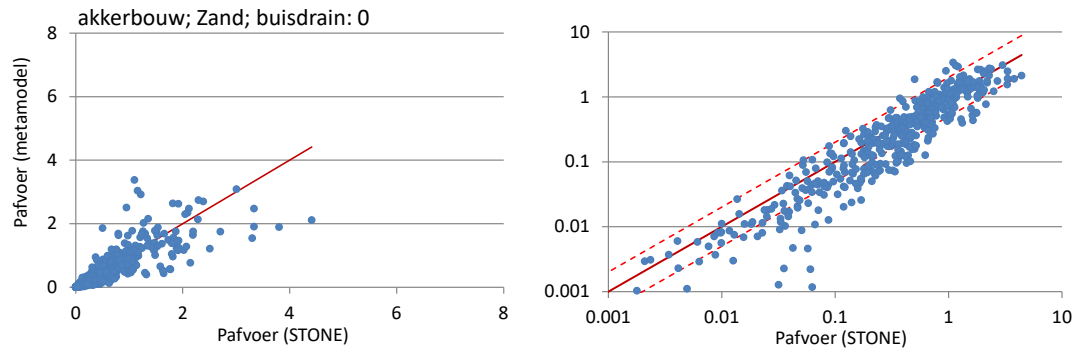
MAE = 0.24; R2 = 0.57; IoA = 0.85



Akkerbouw op zand, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	4.500E-02				
a2	3.119E-02	3.816E-03	8.173	3.07E-15	***
a3	3.526E-01	6.507E-02	5.419	9.78E-08	***
a4	-1.864E-05	3.829E-06	-4.869	1.56E-06	***
a5	-1.377E-04	3.242E-05	-4.247	2.64E-05	***
a6	3.373E-03	3.662E-04	9.21	< 2e-16	***
a7	1.000E+00				

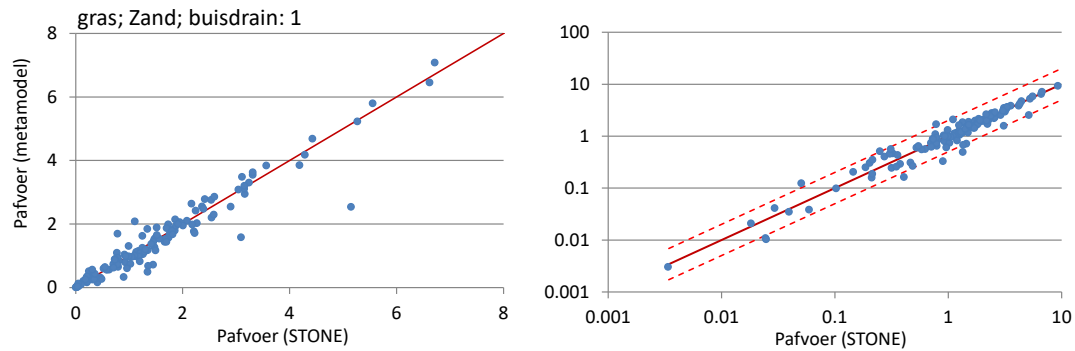
MAE = 0.21; R2 = 0.68; IoA = 0.90



Gras op zand, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	3.1000E-02				
a2	1.799E-01	6.838E-02	2.631	0.00962	**
a3	1.000E-04	3.682E-01	0	0.999784	
a4	0.000E+00	8.305E-06	0	1	
a5	7.000E-05	6.639E-05	1.054	0.293768	
a6	1.769E-03	4.967E-04	3.561	0.000527	***
a7	1.000E+00				

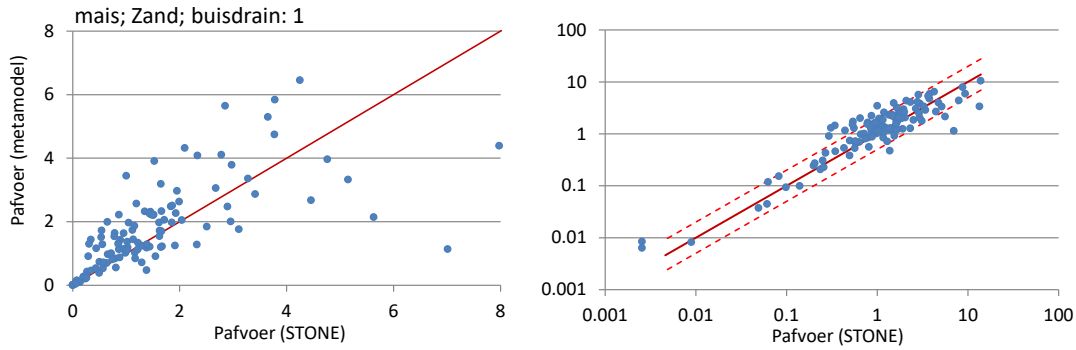
MAE = 0.21; R2 = 0.94; IoA = 0.98



Mais op zand, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a1	3.1000E-02			
a2	1.520E-01	1.259E-01	1.207	0.23
a3	1.993E+00	1.981E+00	1.006	0.3164
a4	-5.093E-05	2.468E-05	-2.064	0.0413 *
a5	-3.414E-04	3.930E-04	-0.869	0.3868
a6	5.016E-03	8.313E-04	6.035	1.99E-08 ***
a7	1.000E+00			

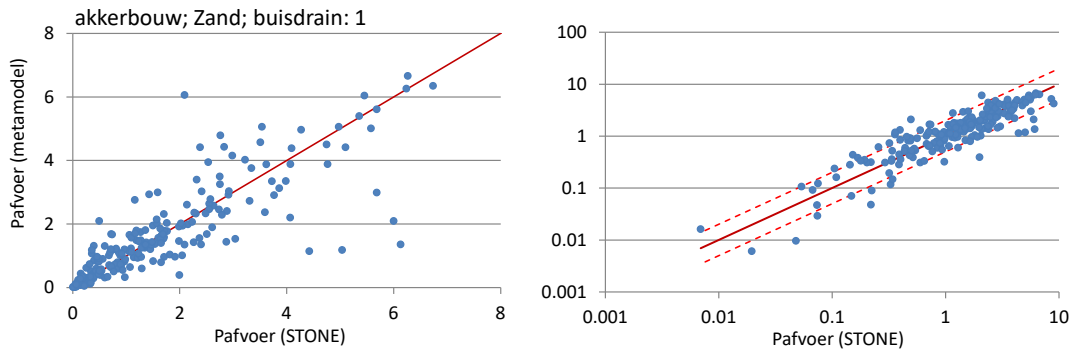
MAE = 0.82; R2 = 0.57; IoA = 0.84



Akkerbouw op zand, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a1	3.1000E-02			
a2	1.184E-01	2.076E-02	5.706	4.21E-08 ***
a3	7.848E-02	2.347E-01	0.334	0.739
a4	-1.986E-05	4.355E-06	-4.561	8.95E-06 ***
a5	-1.010E-05	4.340E-05	-0.233	0.816
a6	1.677E-03	3.148E-04	5.328	2.70E-07 ***
a7	1.000E+00			

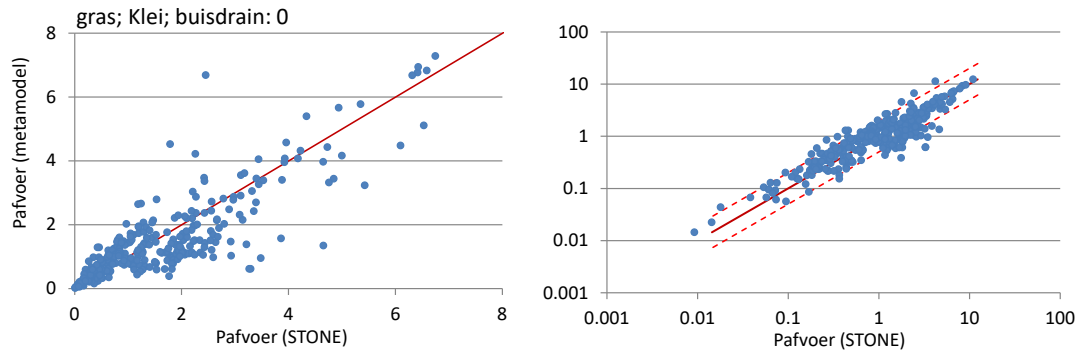
MAE = 0.54; R2 = 0.67; IoA = 0.90



Gras op klei, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	0.0426300				
a2	7.814E-02	1.278E-02	6.115	2.59E-09	***
a3	1.585E-01	8.517E-02	1.861	0.0635	.
a4	5.200E-06	1.512E-05	0.344	0.7311	
a5	-3.397E-05	7.199E-05	-0.472	0.6373	
a6	1.054E-03	2.212E-04	4.764	2.79E-06	***
a7	1.000000				

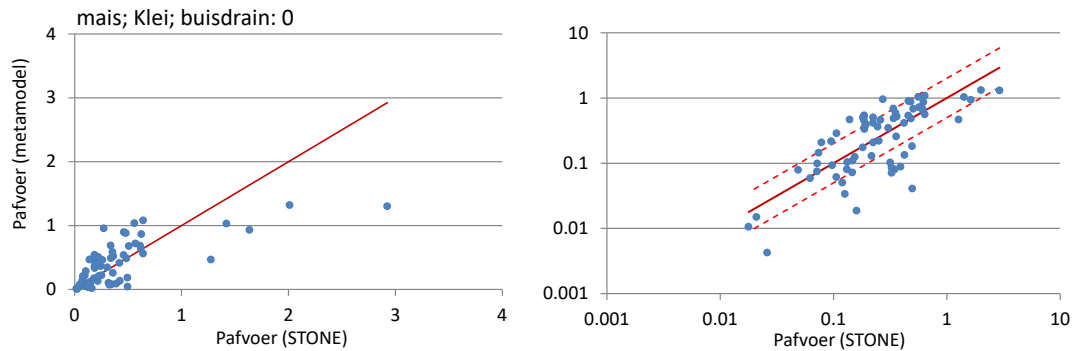
MAE = 0.49; R2 = 0.77; IoA = 0.94



Mais op klei, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	0.0426300				
a2	1.254E-02	1.285E-02	0.976	0.3327	
a3	-2.783E-01	1.254E-01	-2.219	0.0298	*
a4	1.494E-05	1.141E-05	1.309	0.1949	
a5	5.301E-05	4.984E-05	1.064	0.2913	
a6	-2.967E-04	8.240E-04	-0.36	0.7199	
a7	1.000000				

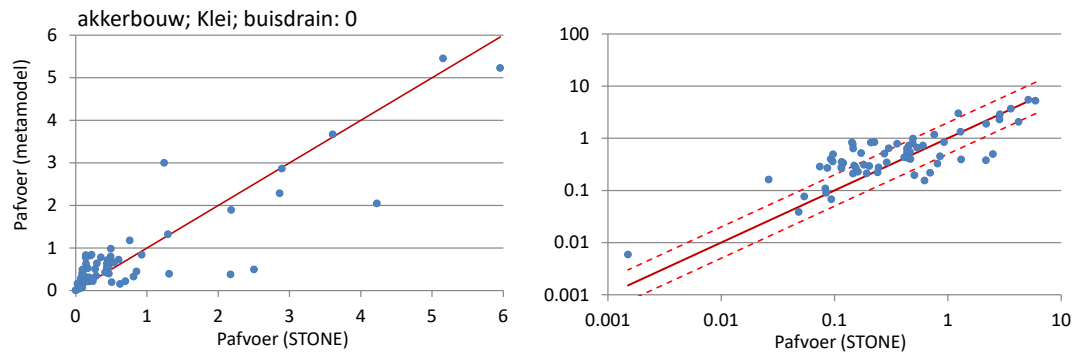
MAE = 0.22; R2 = 0.48; IoA = 0.80



Akkerbouw op klei, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a1	0.0426300			
a2	-4.033E-03	2.816E-02	-0.143	0.887
a3	-5.935E-02	2.776E-01	-0.214	0.831
a4	2.923E-05	3.458E-05	0.845	0.401
a5	-2.689E-04	1.819E-04	-1.478	0.144
a6	1.576E-03	1.213E-03	1.3	0.199
a7	1.000000			

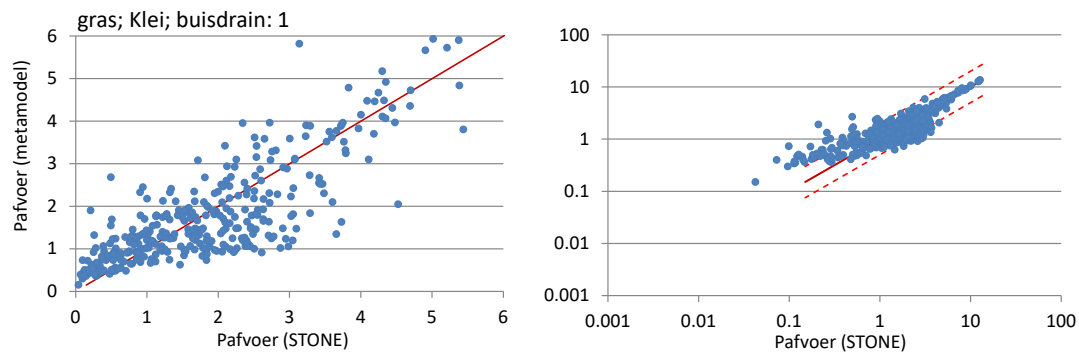
MAE = 0.34; R2 = 0.78; IoA = 0.94



Gras op klei, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	0.011				
a2	1.034E-01	1.057E-02	9.783	< 2e-16	***
a3	9.049E-02	7.890E-02	1.147	0.2521	
a4	-3.341E-05	1.330E-05	-2.512	0.0124	*
a5	-1.372E-05	9.612E-05	-0.143	0.8866	
a6	8.521E-04	1.956E-04	4.356	1.71E-05	***
a7	1.000000				

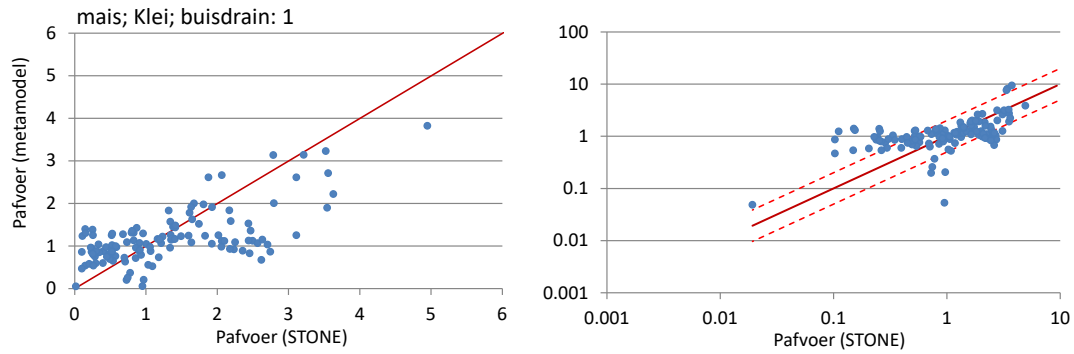
MAE = 0.55; R2 = 0.87; IoA = 0.96



Mais op klei, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	0.011				
a2	-6.982E-03	1.421E-02	-0.491	0.62412	
a3	-5.057E-01	1.611E-01	-3.138	0.00212	**
a4	1.116E-05	1.202E-05	0.929	0.35492	
a5	3.998E-04	1.432E-04	2.791	0.00607	**
a6	6.615E-04	4.740E-04	1.396	0.16528	
a7	1.000000				

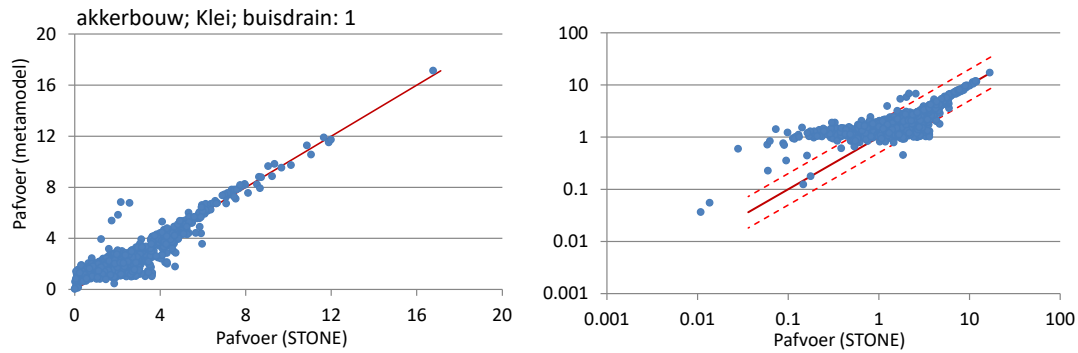
MAE = 0.66; R2 = 0.36; IoA = 0.75



Akkerbouw op klei, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	0.011				
a2	6.952E-02	4.260E-03	16.319	< 2e-16	***
a3	2.017E-01	4.665E-02	4.324	1.74E-05	***
a4	-5.781E-05	5.289E-06	-10.929	< 2e-16	***
a5	-2.282E-04	4.447E-05	-5.13	3.71E-07	***
a6	2.207E-03	2.600E-04	8.485	< 2e-16	***
a7	1.000000				

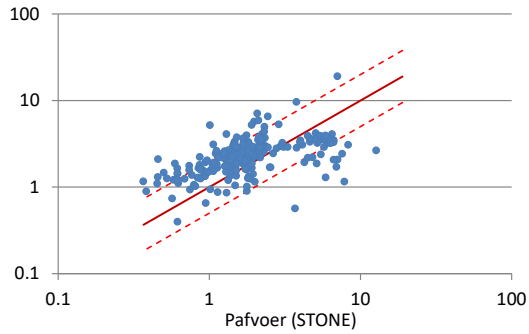
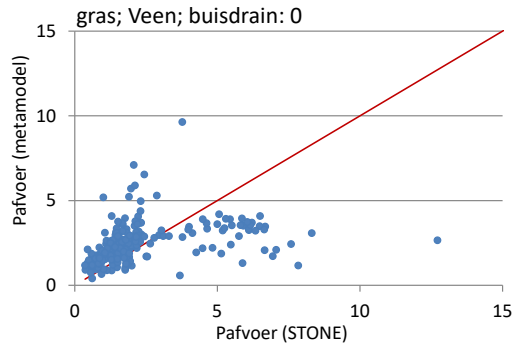
MAE = 0.65; R2 = 0.84; IoA = 0.96



Gras op veen, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	4.651E-02	7.875E-03	5.906	8.57E-09	***
a2	1.022E-01	1.288E-02	7.935	3.16E-14	***
a3	1.063E-01	1.083E-01	0.982	0.32697	
a4	-4.427E-05	1.370E-05	-3.232	0.00135	**
a5	-5.997E-05	8.916E-05	-0.673	0.50169	
a6	7.455E-04	4.577E-04	1.629	0.1043	
a7	1.000000				

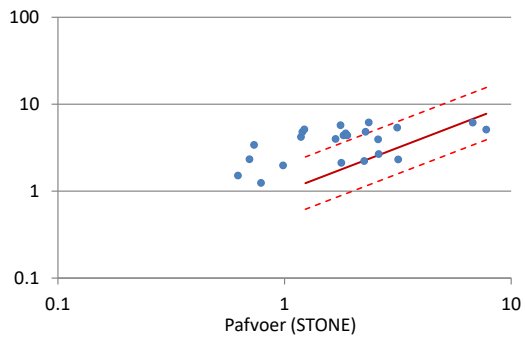
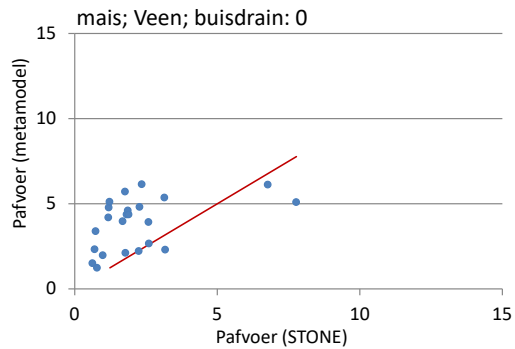
MAE = 1.43; R2 = 0.17; IoA = 0.62



Mais op veen, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	1.044E-02	1.167E-02	0.895	0.3751	
a2	7.736E-02	3.571E-02	2.167	0.0348	*
a3	9.439E-01	7.197E-01	1.312	0.1953	
a4	-6.414E-05	5.518E-05	-1.162	0.2503	
a5	-9.533E-04	1.097E-03	-0.869	0.3888	
a6	3.474E-03	1.652E-03	2.103	0.0402	*
a7	1.000000				

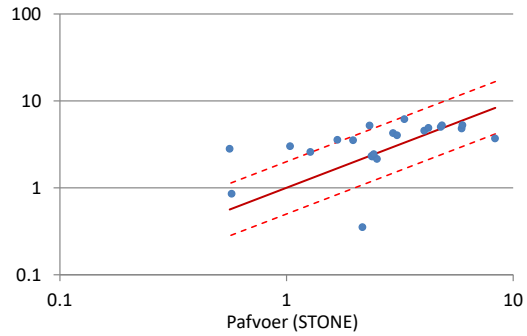
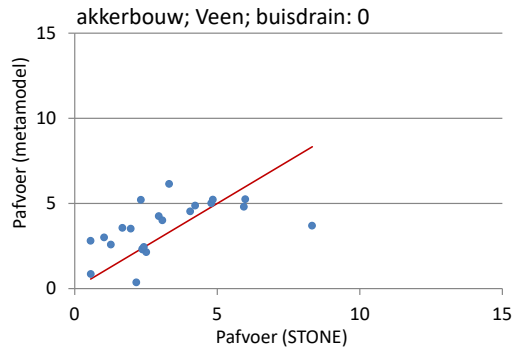
MAE = 2.26; R2 = 0.07; IoA = 0.62



Akkerbouw op veen, geen buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	2.530E-02	4.988E-03	5.073	4.05E-06	***
a2	1.326E-01	1.832E-02	7.239	9.77E-10	***
a3	2.199E-01	1.455E-01	1.512	0.1359	
a4	7.624E-06	3.115E-05	0.245	0.8075	
a5	3.275E-04	1.585E-04	2.067	0.0431	*
a6	-3.662E-03	1.900E-03	-1.927	0.0587	.
a7	1.000000				

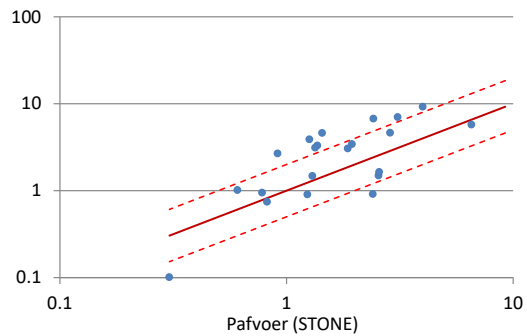
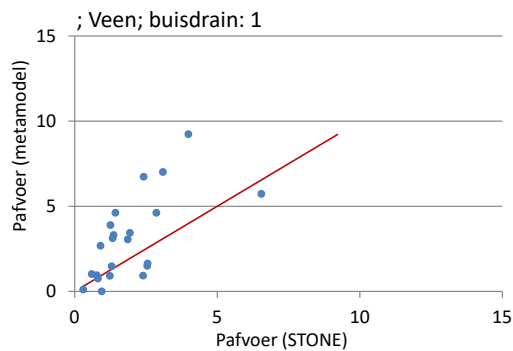
MAE = 0.34; R2 = 0.78; IoA = 0.94



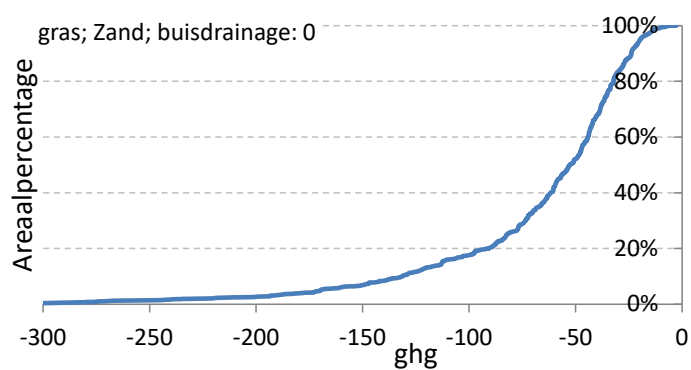
Gras + mais + akkerbouw op veen, buisdrainage

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
a1	-7.683E-03	1.111E-02	-0.692	4.92E-01	
a2	7.856E-03	8.403E-03	0.935	3.54E-01	
a3	2.217E-01	1.951E-01	1.137	0.260937	
a4	9.863E-05	2.813E-05	3.506	0.000946	***
a5	5.237E-05	1.209E-04	0.433	0.666777	
a6	-2.014E-03	1.126E-03	-1.789	0.079412	
a7	1.000000				

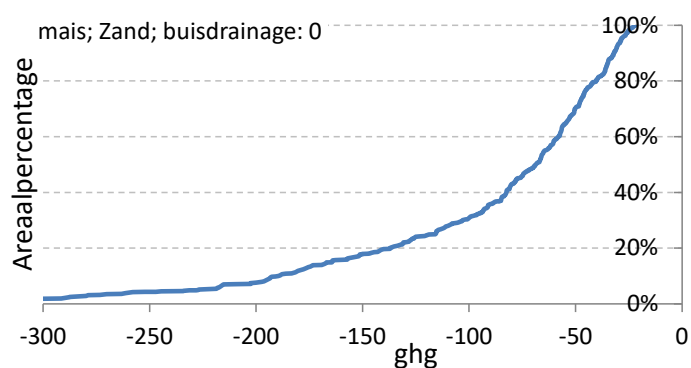
MAE = 1.51; R2 = 0.55; IoA = 0.88



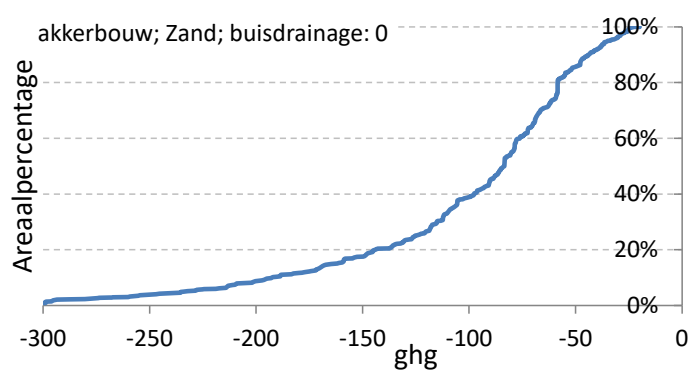
Bijlage 3 Frequentieverdelingen van de GHG- en Pw-getallen in STONE



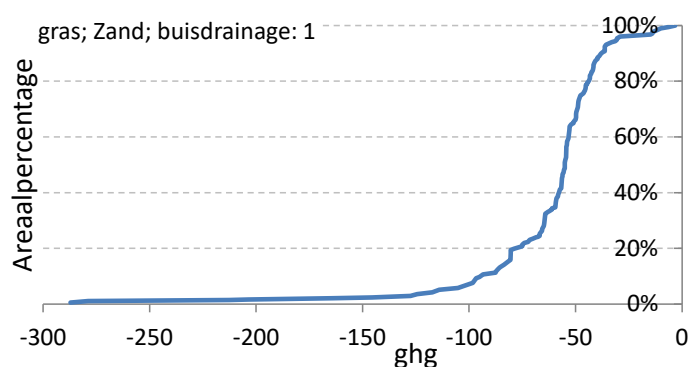
GHG	Percentage
0-20	5.3%
20-40	26.9%
40-60	25.6%
60-80	16.2%
80-100	8.4%
100-120	4.4%
120-140	4.7%
140-160	2.4%
>160	6.1%



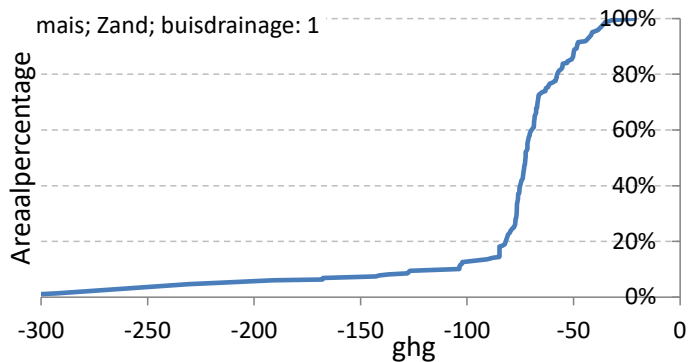
GHG	Percentage
0-20	0.0%
20-40	19.9%
40-60	21.9%
60-80	15.6%
80-100	12.1%
100-120	6.3%
120-140	4.9%
140-160	3.9%
>160	15.4%



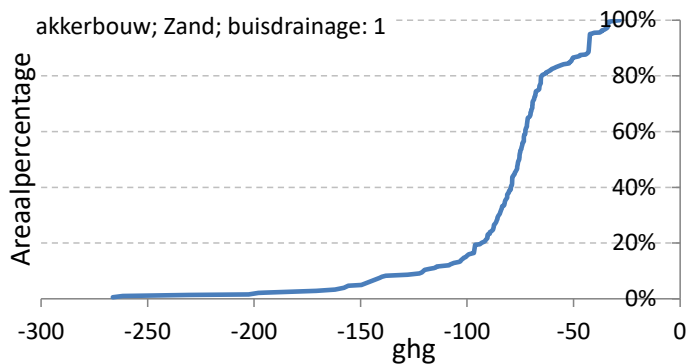
GHG	Percentage
0-20	0.0%
20-40	8.2%
40-60	17.9%
60-80	18.9%
80-100	16.1%
100-120	12.3%
120-140	6.2%
140-160	5.1%
>160	15.4%



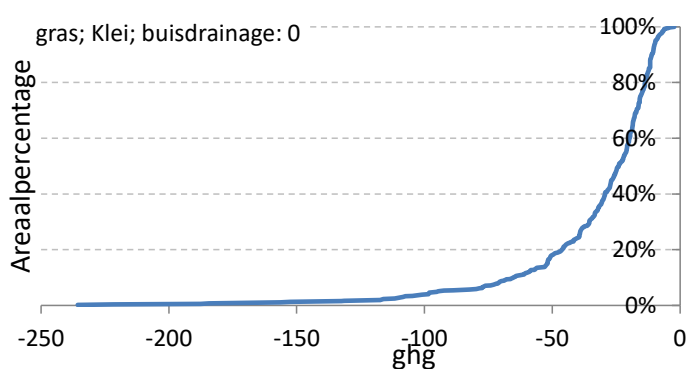
GHG	Percentage
0-20	3.5%
20-40	8.7%
40-60	53.2%
60-80	15.2%
80-100	12.3%
100-120	3.1%
120-140	1.5%
140-160	0.4%
>160	2.1%



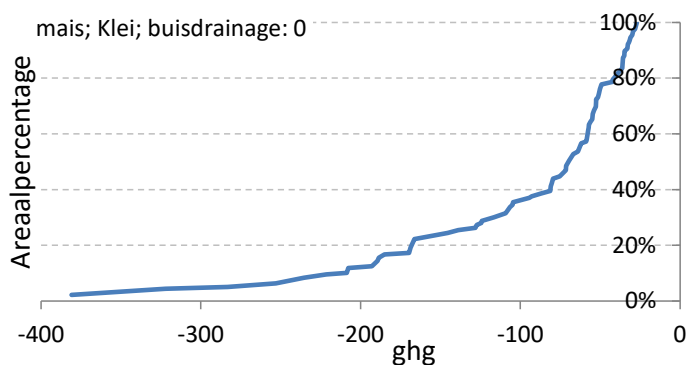
GHG	
0-20	0.0%
20-40	4.7%
40-60	18.5%
60-80	53.8%
80-100	10.3%
100-120	3.1%
120-140	1.8%
140-160	0.9%
>160	6.9%



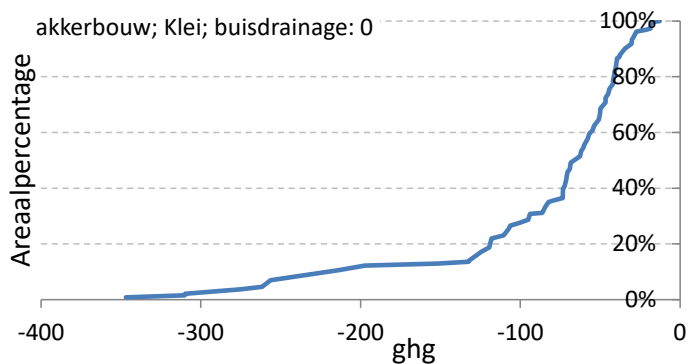
GHG	
0-20	0.0%
20-40	5.0%
40-60	12.9%
60-80	43.7%
80-100	23.4%
100-120	5.2%
120-140	2.4%
140-160	4.3%
>160	3.1%



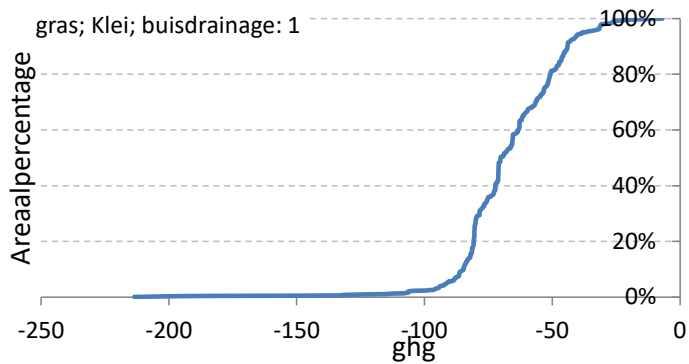
GHG	
0-20	41.3%
20-40	34.4%
40-60	12.5%
60-80	5.8%
80-100	2.0%
100-120	2.1%
120-140	0.4%
140-160	0.4%
>160	1.1%



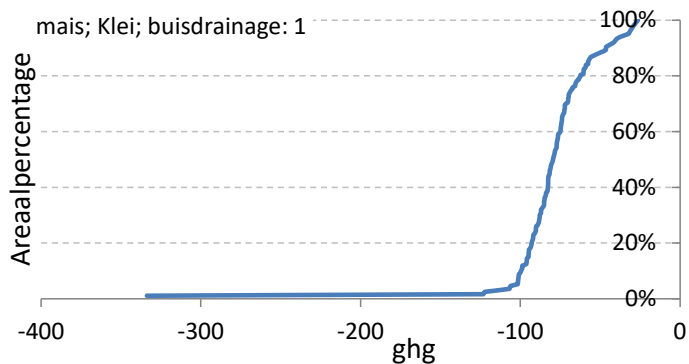
GHG	
0-20	0.0%
20-40	32.5%
40-60	24.0%
60-80	14.1%
80-100	6.7%
100-120	6.7%
120-140	4.2%
140-160	2.3%
>160	9.4%



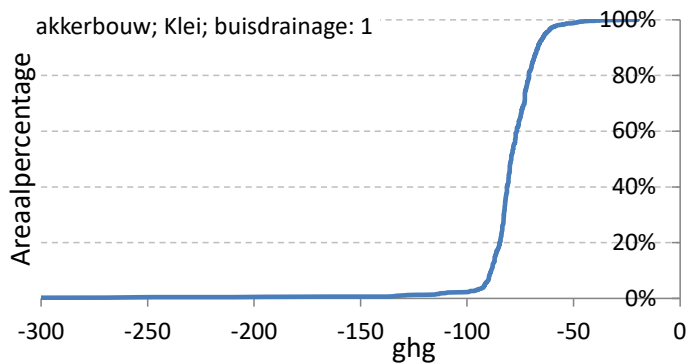
GHG	
0-20	2.9%
20-40	12.7%
40-60	28.9%
60-80	20.1%
80-100	7.7%
100-120	9.1%
120-140	5.3%
140-160	0.5%
>160	12.8%



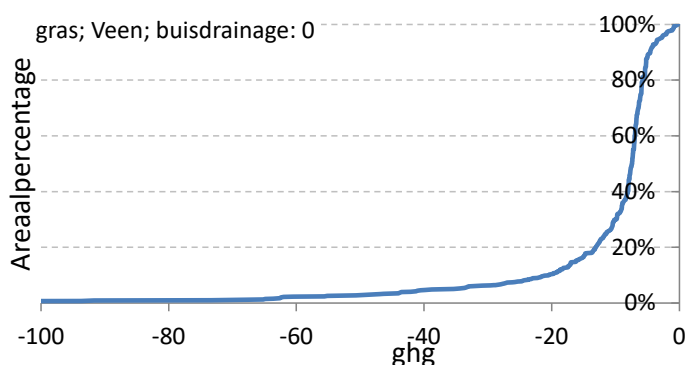
GHG	
0-20	0.4%
20-40	5.3%
40-60	27.7%
60-80	39.2%
80-100	24.9%
100-120	1.4%
120-140	0.4%
140-160	0.1%
>160	0.5%



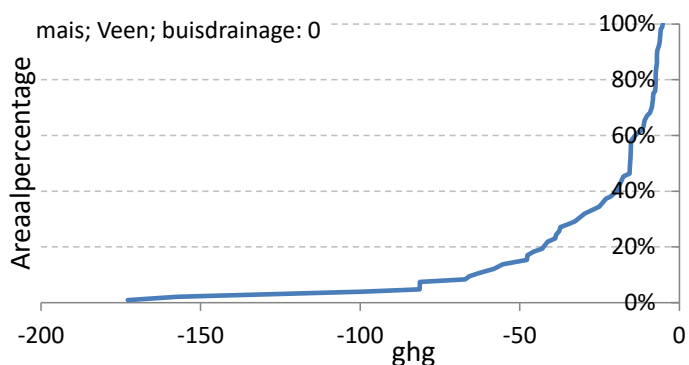
GHG	
0-20	0.0%
20-40	6.9%
40-60	10.5%
60-80	33.5%
80-100	39.6%
100-120	6.8%
120-140	1.0%
140-160	0.1%
>160	1.5%



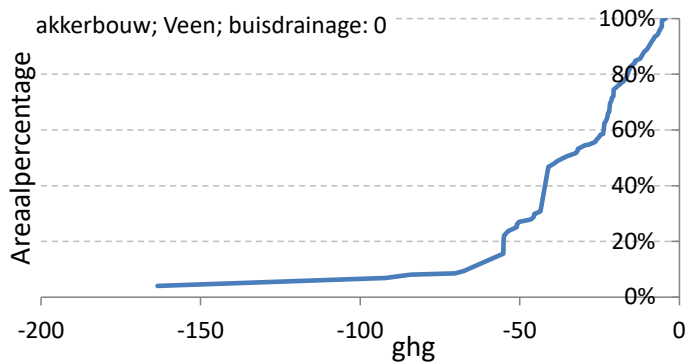
GHG	
0-20	0.0%
20-40	0.4%
40-60	2.4%
60-80	51.5%
80-100	43.5%
100-120	1.0%
120-140	0.7%
140-160	0.0%
>160	0.6%



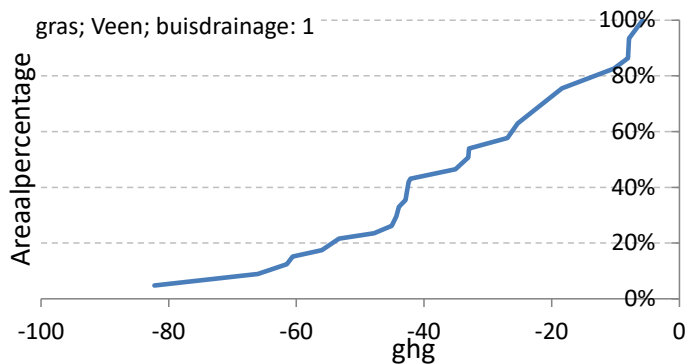
GHG	
0-20	89.6%
20-40	5.7%
40-60	2.4%
60-80	1.3%
80-100	0.3%
100-120	0.1%
120-140	0.1%
140-160	0.1%
>160	0.4%



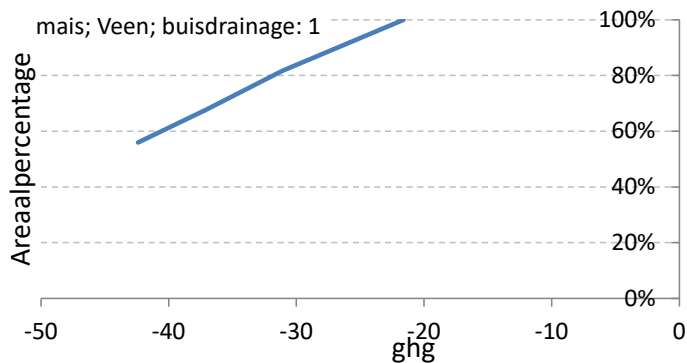
GHG	
0-20	60.3%
20-40	17.2%
40-60	11.0%
60-80	4.0%
80-100	3.6%
100-120	0.6%
120-140	0.6%
140-160	0.8%
>160	1.9%



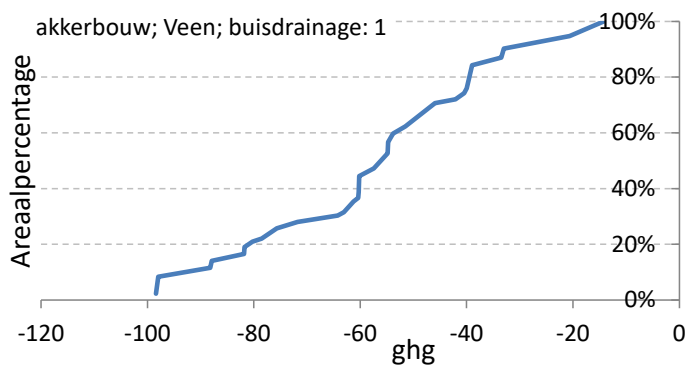
GHG	Areaalpercentage
0-20	24.9%
20-40	27.6%
40-60	34.3%
60-80	5.0%
80-100	1.6%
100-120	0.8%
120-140	0.8%
140-160	0.8%
>160	4.1%



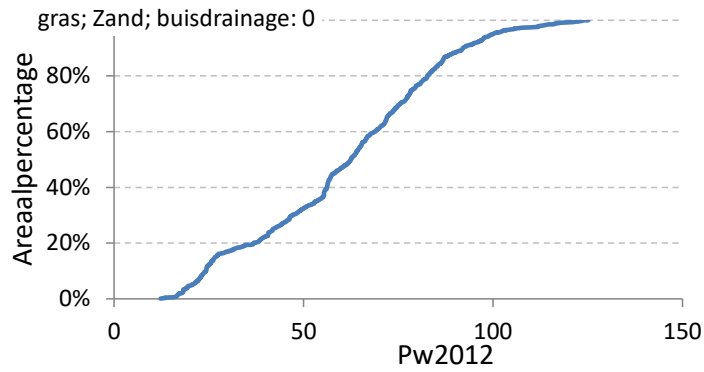
GHG	Areaalpercentage
0-20	27.4%
20-40	28.5%
40-60	28.7%
60-80	10.1%
80-100	5.4%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



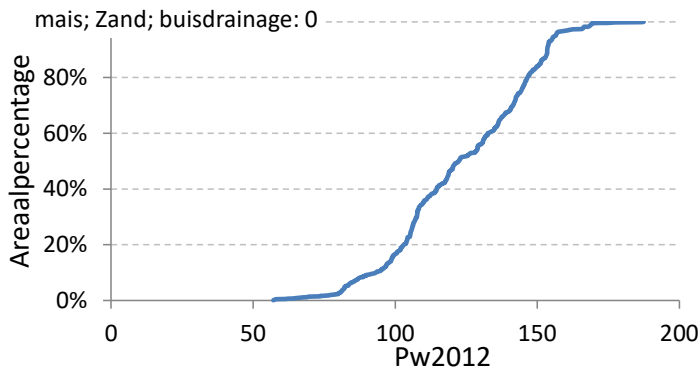
GHG	Areaalpercentage
0-20	0.0%
20-40	55.6%
40-60	44.4%
60-80	0.0%
80-100	0.0%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



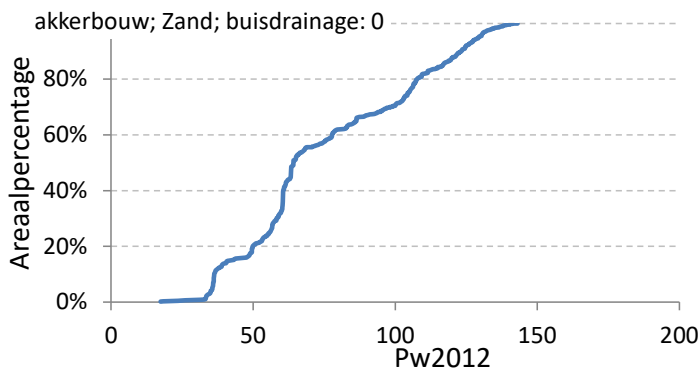
GHG	Areaalpercentage
0-20	4.7%
20-40	19.4%
40-60	31.3%
60-80	23.5%
80-100	21.1%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



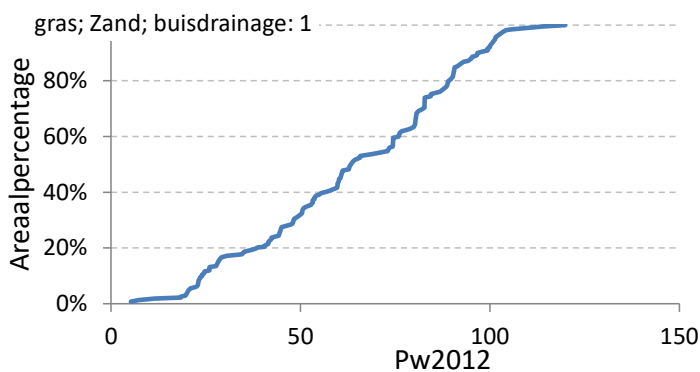
Pw in 2012	
0-20	4.7%
20-40	17.7%
40-60	24.5%
60-80	29.7%
80-100	18.4%
100-120	4.2%
120-140	0.8%
140-160	0.0%
>160	0.0%



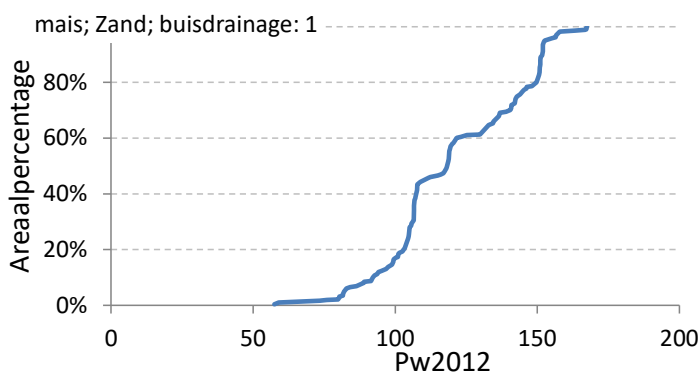
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	0.0%
40-60	0.5%
60-80	2.0%
80-100	14.1%
100-120	30.5%
120-140	20.7%
140-160	29.1%
>160	3.2%



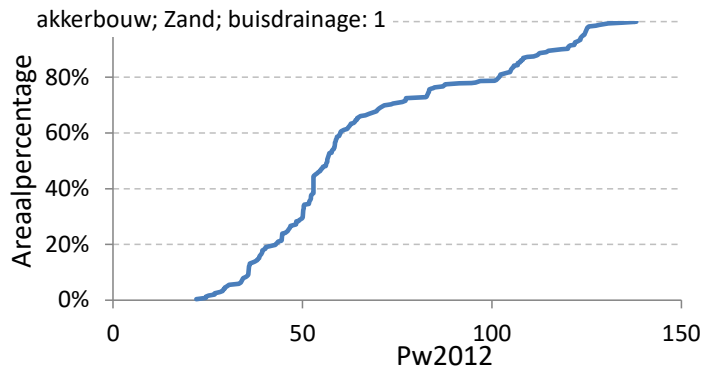
Pw in 2012	
0-20	0.3%
20-40	13.6%
40-60	18.9%
60-80	29.2%
80-100	8.5%
100-120	17.1%
120-140	12.0%
140-160	0.4%
>160	0.0%



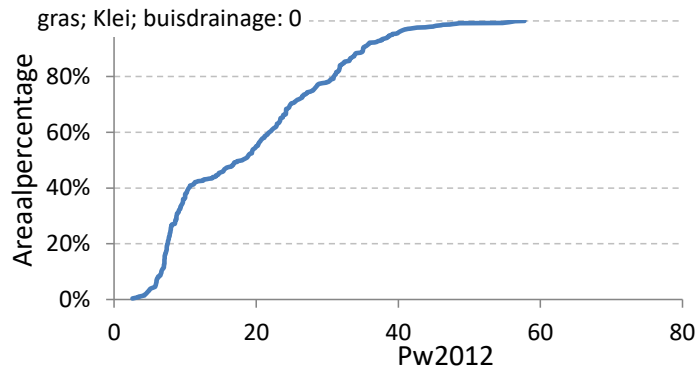
Pw in 2012	
0-20	3.6%
20-40	16.7%
40-60	23.3%
60-80	20.0%
80-100	28.9%
100-120	7.5%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



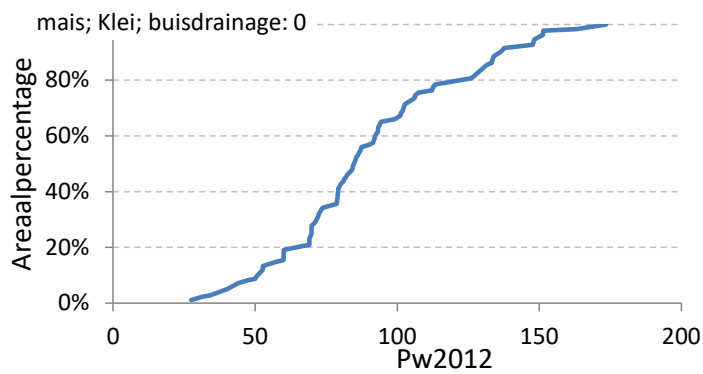
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	0.0%
40-60	1.0%
60-80	1.3%
80-100	14.6%
100-120	40.9%
120-140	12.1%
140-160	28.5%
>160	1.6%



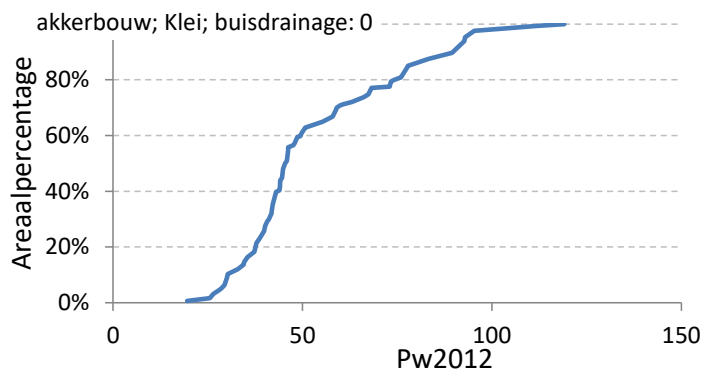
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	18.4%
40-60	41.6%
60-80	12.8%
80-100	6.0%
100-120	11.5%
120-140	9.7%
140-160	0.0%
>160	0.0%



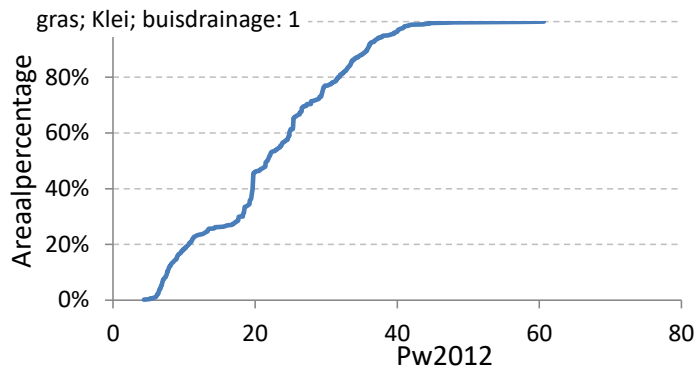
Pw in 2012	
0-20	55.1%
20-40	40.7%
40-60	4.2%
60-80	0.0%
80-100	0.0%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



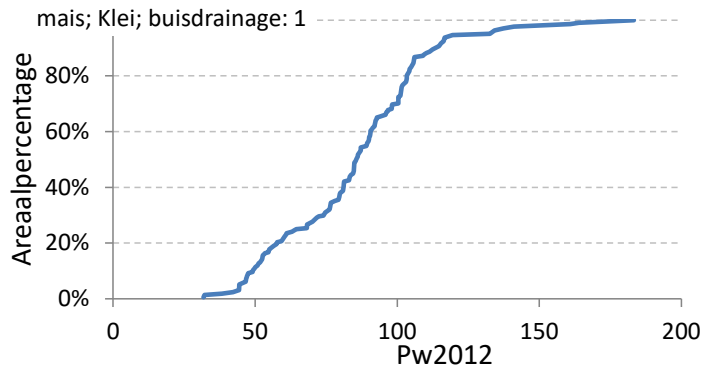
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	6.1%
40-60	11.2%
60-80	26.3%
80-100	24.1%
100-120	13.1%
120-140	12.2%
140-160	6.4%
>160	0.7%



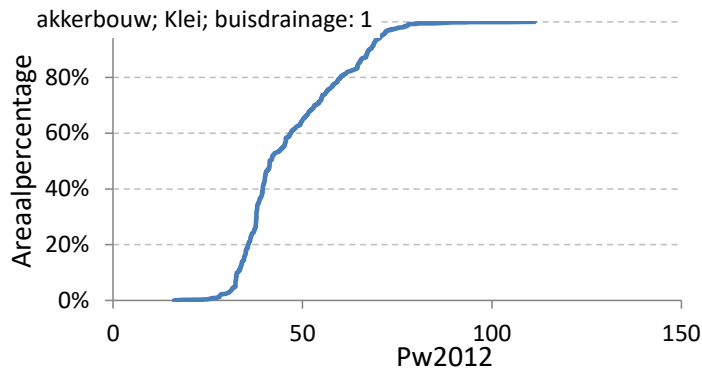
Pw in 2012	
0-20	0.7%
20-40	26.0%
40-60	44.2%
60-80	15.2%
80-100	12.0%
100-120	1.9%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



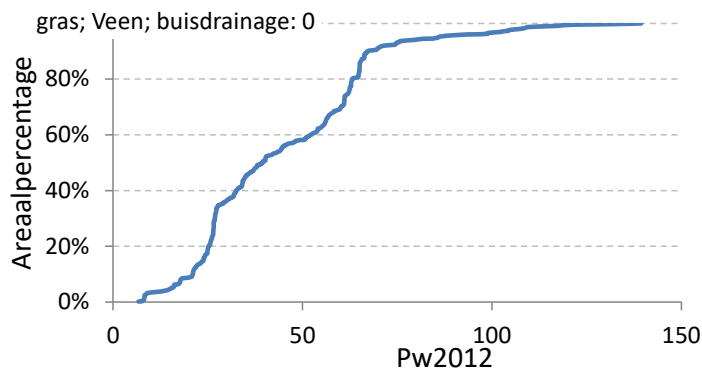
Pw in 2012	
0-20	46.1%
20-40	50.3%
40-60	3.5%
60-80	0.0%
80-100	0.0%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



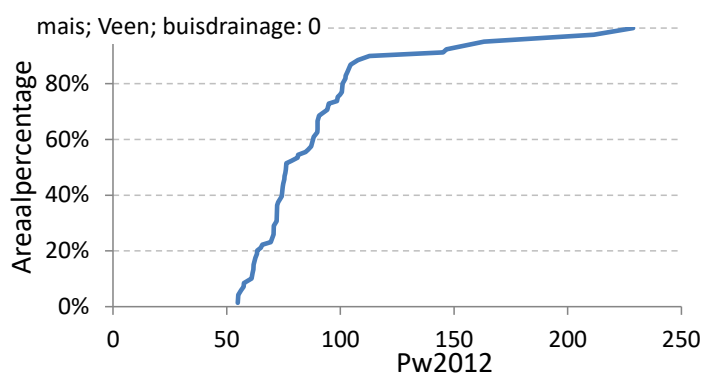
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	2.1%
40-60	19.7%
60-80	16.3%
80-100	32.0%
100-120	24.6%
120-140	2.9%
140-160	1.0%
>160	1.5%



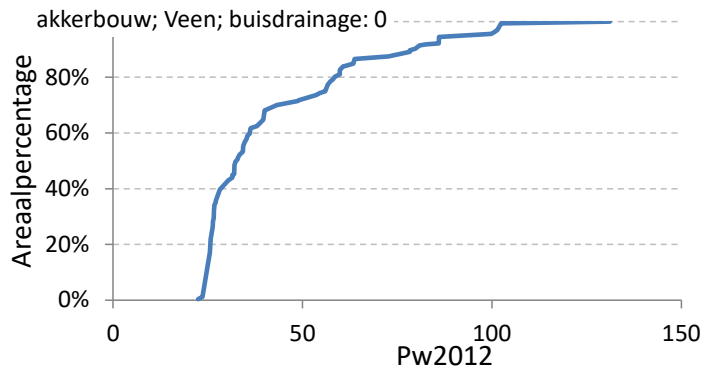
Pw in 2012	
0-20	0.2%
20-40	42.9%
40-60	36.8%
60-80	19.4%
80-100	0.5%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



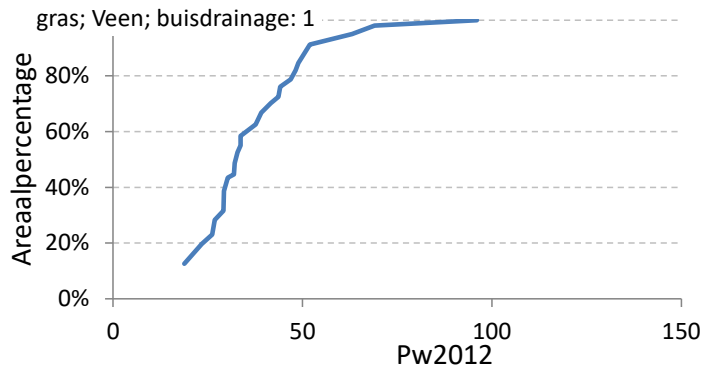
Pw in 2012	
0-20	8.8%
20-40	41.9%
40-60	19.0%
60-80	24.6%
80-100	2.5%
100-120	2.7%
120-140	0.6%
140-160	0.0%
>160	0.0%



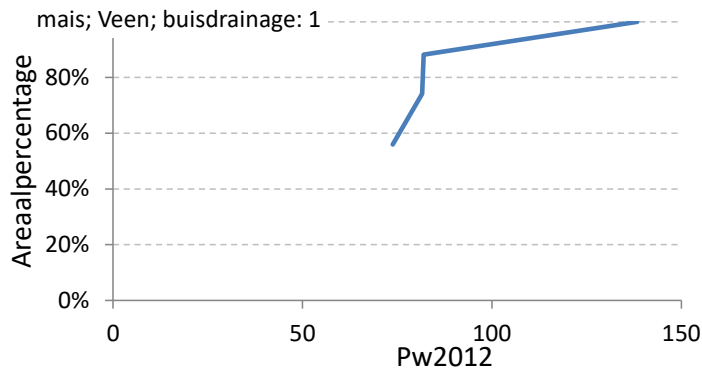
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	0.0%
40-60	9.6%
60-80	43.4%
80-100	23.3%
100-120	14.0%
120-140	0.8%
140-160	3.5%
>160	5.4%



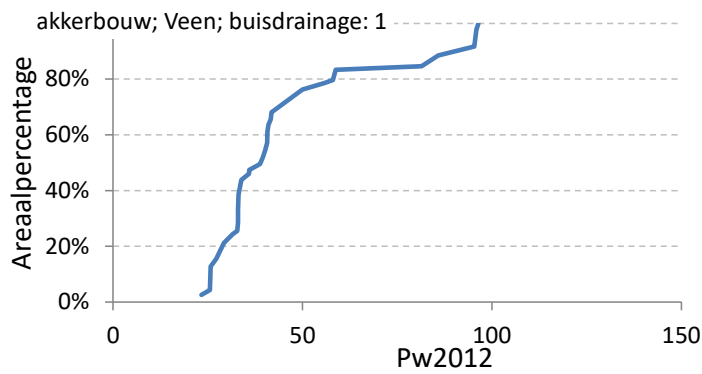
Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	67.8%
40-60	14.7%
60-80	7.6%
80-100	5.3%
100-120	4.1%
120-140	0.5%
140-160	0.0%
>160	0.0%



Pw in 2012	
0-20	14.4%
20-40	53.5%
40-60	26.0%
60-80	4.9%
80-100	1.1%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%



Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	0.0%
40-60	0.0%
60-80	55.9%
80-100	32.3%
100-120	0.0%
120-140	11.8%
140-160	0.0%
>160	0.0%



Pw in 2012	
0-20	0.0%
20-40	54.0%
40-60	29.5%
60-80	1.2%
80-100	15.4%
100-120	0.0%
120-140	0.0%
140-160	0.0%
>160	0.0%

Bijlage 4 Aantal STONE-plots en oppervlakten voor de berekening van de afname van de P-uitspoeling

Tabel B4.1

Aantal STONE plots voor de berekening van de afname van de P-uitspoeling ($kg\ ha^{-1}\ jr^{-1}$).

Ge- was	Grond- soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80- 100	Pw 100- 120	Pw 120- 140	Pw 140- 160	Pw >160		
Akker -bouw	Klei	0	GHG 0-20			2		1						
			GHG 20-40		1	5	2	1						
			GHG 40-60		5	9	2	1						
			GHG 60-80		3	7	4							
			GHG 80-100		1	1	1	2						
			GHG 100-120		2	3		1						
			GHG 120-140	1	1		1				1			
			GHG 140-160									1		
		GHG >160		2	2	1	1	2						
		1	GHG 0-20				1							
			GHG 20-40		2	3	1	2	1					
			GHG 40-60		16	19	5	1						
			GHG 60-80	2	133	158	80	4	3					
			GHG 80-100	3	87	107	83	2						
	GHG 100-120			4	3	3								
	GHG 120-140			2	4	1	1	1						
	GHG >160			2	1	1	4							
	Veen	0	GHG 0-20											
			GHG 20-40		8	3	4	5	1					
			GHG 40-60		13	6	3		3		1			
			GHG 60-80		9	4	1							
			GHG 80-100		2									
			GHG >160		2									
			1	GHG 0-20										
		GHG 20-40			1									
		GHG 40-60			4	1								
		GHG 60-80			6	2								
		GHG 80-100			4	3		2						
Zand		0		GHG 0-20										
		GHG 20-40												
		GHG 40-60									1			
	GHG 60-80			6	12	12	11	15			1			
	GHG 80-100	1	1	12	16	14	27	12			2			
	GHG 100-120	1	6	18	15	13	15	15			1			
	GHG 120-140		12	5	11	4	11	14			1			
GHG 140-160		7	5	14	2	8	5							
GHG >160		2	5	8	5	2	11							
1	GHG 20-40		3	7	4	1	7	1						
	GHG 40-60		11	18	19	4	12	9						
	GHG 60-80							3		2				
	GHG 80-100		1	6	2	4	7	2						
	GHG 100-120		14	32	14	10	17	7						
	GHG 120-140		11	20	8		4	2						
	GHG 140-160		5	5	2			3						
	GHG >160			1	1	1				1				
	gras	Klei	0	GHG 0-20		1		2				2		
			GHG 20-40		2	3	2			1				
			GHG 40-60											
			GHG 60-80											
			GHG 80-100	76	53	6								
			GHG 100-120	48	63	9								
GHG 120-140			26	15	6									
GHG 140-160		18	7	2										
GHG >160		4	4											
1		GHG 0-20		7	2									
		GHG 20-40		2										
		GHG 40-60		3	1									
		GHG 60-80												
		GHG 80-100	3											
	GHG 100-120	13	8	3										

Ge- was	Grond- soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80- 100	Pw 100- 120	Pw 120- 140	Pw 140- 160	Pw >160
			GHG 120-140	56	60	7						
			GHG 140-160	37	76	3						
			GHG >160	28	66	8	1					
	Veen	0	GHG 0-20	7	1							
			GHG 20-40	1	2							
			GHG 40-60	1	2							
			GHG 60-80									
			GHG 80-100									
			GHG 120-140	28	126	52	53	8	8	3		
			GHG >160		9	11	6	3	8			
		1	GHG 0-20		5	3	4	1				
			GHG 20-40	1	2	3	1	1	1			
			GHG 40-60				1					
			GHG 60-80			1		1				
			GHG 80-100									
	Zand	0	GHG 0-20	1	2	1	1					
			GHG 20-40		3	2						
			GHG 40-60		6	2	1	1				
			GHG 60-80		1	2						
			GHG 80-100									
			GHG 100-120									
			GHG 120-140	7	13	14	16	2	1			
			GHG 140-160	3	37	62	65	39	19	1		
			GHG >160	2	31	62	57	53	11	3		
		1	GHG 0-20	5	21	24	32	36	8	1		
			GHG 20-40	7	10	11	24	17	6	3		
			GHG 40-60	2	9	3	12	8	1	1		
			GHG 60-80	2	10	12	10	2	5	1		
			GHG 80-100	2	5	6	4	3	2			
			GHG 100-120	4	17	20	25	5				
			GHG 120-140									
			GHG 140-160	2	2	2						
			GHG >160	1	6	4	3	1				
mais	Klei	0	GHG 0-20	1	10	16	13	15	6			
			GHG 20-40	1	5	4	5	5	1			
			GHG 40-60	1	1	3	3	6	1			
			GHG 60-80					2	1			
			GHG 80-100	1		1						
			GHG 100-120		2	3						
			GHG 120-140									
			GHG 140-160									
			GHG >160									
		1	GHG 0-20		2	1	7	4	1			
			GHG 20-40			2	1	8	4	2		1
			GHG 40-60				2	1	1	3	1	
			GHG 60-80		1			1	2		1	1
			GHG 80-100			2	1	1	1	1		
			GHG 100-120					2	1	2		
			GHG 120-140						1			
			GHG 140-160			4	3	3	2	1	2	
			GHG >160									
	Veen	0	GHG 0-20			3	2		1			
			GHG 20-40			3	2	5	1			1
			GHG 40-60		1	11	6	18	11	1	1	1
			GHG 60-80			6	11	22	11	2		1
			GHG 80-100		1	2	1	1	2			
			GHG 140-160		1	1						
			GHG >160						1			
		1	GHG 0-20									
			GHG 20-40									
	Zand	0	GHG 40-60			1	15	13	2		2	1
			GHG 20-40			2	4	1	1			2
			GHG 40-60			2	1	2	2			
			GHG 60-80				2		1			
			GHG 80-100				2					
			GHG 100-120				1					
			GHG 120-140						1			
			GHG 140-160					2		1		
			GHG >160				1					
		1	GHG 0-20									
			GHG 20-40									
			GHG 40-60			3	2	26	36	10	29	4
			GHG 60-80				1	19	41	22	38	4
			GHG 80-100				1	14	28	22	23	4
			GHG 100-120				2	13	20	11	13	3
			GHG 120-140				1	6	8	10	8	
			GHG 140-160				1	5	3	10	7	
			GHG >160					5	3	4	3	1

Tabel B4.2

Oppervlak van de STONE-plots voor de berekening van de afname van de P-uitspoeling (kg ha⁻¹ jr⁻¹).

Ge- was	Grond- soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80- 100	Pw 100- 120	Pw 120- 140	Pw 140- 160	Pw >160		
Akker -bouw	Klei	0	GHG 0-20			512.5		100						
			GHG 20-40		93.75	1700	456.25	443.75						
			GHG 40-60		1562.5	2818.75	631.25	262.5						
			GHG 60-80		981.25	2156.25	800							
			GHG 80-100		325	237.5	68.75	818.75						
			GHG 100-120		500	1000		475						
			GHG 120-140	112.5	606.25		93.75							
			GHG 140-160							156.25				
		GHG >160		768.75	262.5	687.5	318.75	306.25						
		1	GHG 0-20				112.5							
			GHG 20-40		487.5	531.25	81.25	256.25	106.25					
			GHG 40-60		4075	5068.75	1425	218.75						
			GHG 60-80	306.25	102093.7	78325	46737.5	893.75	368.75					
					5									
	GHG 80-100		331.25	77125	77987.5	37137.5	268.75							
	GHG 100-120			2587.5	987.5	568.75								
	GHG 120-140			931.25	1262.5	237.5	431.25	150						
	Veen	0	GHG 0-20											
			GHG 20-40		3206.25	1125	856.25	1425	156.25					
			GHG 40-60		3687.5	1750	912.5	850	175					
			GHG 60-80		8712.5	981.25	256.25							
			GHG 80-100		343.75									
			GHG >160		1081.25									
		1	GHG 0-20											
			GHG 20-40		443.75									
			GHG 40-60		1043.75	700								
			GHG 60-80		1956.25	575								
			GHG 80-100		962.5	593.75		437.5						
					800		981.25							
Zand			0	GHG 0-20										
				GHG 20-40										
	GHG 40-60									100				
	GHG 60-80				1918.75	3175	3343.75	1850	2906.25	131.25				
	GHG 80-100	243.75		212.5	6500	9725	2962.5	6737.5	2087.5	306.25				
	GHG 100-120	125		4506.25	8100	6768.75	2518.75	4731.25	3675	225				
	GHG 120-140			6393.75	3131.25	9275	1150	2825	3106.25	100				
	GHG 140-160			5612.5	1868.75	7550	162.5	3700	1081.25					
	GHG >160		456.25	1368.75	2468.75	1843.75	506.25	3268.75						
	1	GHG 20-40		1268.75	2618.75	1018.75	287.5	3050	168.75					
		GHG 40-60		3600	4775	7550	1343.75	4425	2931.25					
		GHG 60-80			2100			537.5	512.5					
		GHG 80-100		193.75	5912.5	468.75	850	1325	331.25					
		GHG 100-120		5018.75	12668.75	3512.5	3162.5	4381.25	1700					
GHG 120-140			5368.75	5581.25	3050		1387.5	725						
gras	Klei	0	GHG 140-160		1131.25	1512.5	462.5			1093.75				
			GHG >160			250	212.5	256.25		325				
					287.5		675		2256.25					
			GHG 20-40		731.25	837.5	437.5		281.25					
		1	GHG 0-20											
			GHG 20-40		693.75									
			GHG 40-60		612.5	306.25								
			GHG 60-80											
	GHG 80-100		1212.5											
	GHG 100-120		5212.5	2806.25	1875									
	Veen	0	GHG 120-140	27356.25	23900	2081.25								
			GHG 140-160	41118.75	34337.5	493.75								
			GHG >160	10325	34937.5	2225	243.75							
				2393.75	100									
GHG 0-20			318.75	568.75										
GHG 20-40				181.25										

Ge- was	Grond- soort	Buis drain age	GHG-klasse	Pw 0-20	Pw 20-40	Pw 40-60	Pw 60-80	Pw 80- 100	Pw 100- 120	Pw 120- 140	Pw 140- 160	Pw >160
		1			2356.25	968.75	1425	218.75				
			GHG 0-20	262.5	793.75	1306.25	312.5	175	162.5			
			GHG 20-40				456.25	387.5				
			GHG 40-60			450						
			GHG 60-80			412.5		243.75				
			GHG 80-100									
	Zand	0		1181.25	1325	612.5	356.25					
			GHG 0-20		1243.75	618.75						
			GHG 20-40		1681.25	468.75	287.5	181.25				
			GHG 40-60		381.25	587.5						
			GHG 60-80		450							
			GHG 80-100									
			GHG 100-120									
			GHG 120-140	2993.75	4981.25	5443.75	5806.25	812.5	425			
			GHG 140-160	1306.25	21393.75	28225	29818.75	14775	5481.25	231.25		
			GHG >160	3456.25	13237.5	25731.25	29950	20693.75	2825	956.25		
		1		1668.75	9387.5	11893.75	16756.25	18206.25	2731.25	300		
			GHG 0-20	1837.5	3156.25	5568.75	12443.75	6525	1700	775		
			GHG 20-40	4006.25	3650	931.25	3606.25	3456.25	200	431.25		
			GHG 40-60	612.5	3850	6187.5	3800	681.25	1943.75	500		
			GHG 60-80	775	1631.25	2906.25	2187.5	956.25	675			
			GHG 80-100	931.25	5518.75	5631.25	7462.5	3268.75				
			GHG 100-120									
			GHG 120-140	531.25	887.5	600						
			GHG 140-160		1943.75	1256.25	700	437.5				
			GHG >160	200	3125	6068.75	7000	7193.75	3012.5			
mais	Klei	0		175	1287.5	1568.75	1581.25	2750	168.75			
			GHG 20-40	181.25	937.5	1050	937.5	3206.25	518.75			
			GHG 40-60					750	318.75			
			GHG 60-80	362.5								
			GHG 80-100			275						
			GHG 100-120		493.75	543.75						
			GHG 120-140									
			GHG 140-160									
			GHG >160									
		1			218.75	87.5	1581.25	593.75	118.75			
			GHG 20-40			293.75	75	1312.5	462.5	493.75		206.25
			GHG 40-60				606.25	193.75	106.25	693.75	200	
			GHG 60-80		137.5			206.25	250		193.75	68.75
			GHG 80-100			456.25	112.5	112.5	162.5			
			GHG 100-120					200	118.75	218.75		
			GHG 120-140						281.25			
			GHG >160			737.5	837.5	512.5	231.25	68.75	400	
	Veen	0										
			GHG 0-20			806.25	587.5		243.75			
			GHG 20-40			450	275	712.5	318.75			187.5
			GHG 40-60		100	1518.75	800	2368.75	1700	256.25	137.5	106.25
			GHG 60-80			631.25	1806.25	3237.5	1837.5	237.5		175
			GHG 80-100		106.25	312.5	75	131.25	756.25			
			GHG 140-160		162.5	118.75						
			GHG >160						212.5			
		1										
			GHG 20-40									
			GHG 40-60			112.5	2612.5	1531.25	475		193.75	200
	Zand	0				343.75	356.25	100	112.5			437.5
			GHG 20-40			243.75	93.75	337.5	256.25			
			GHG 40-60				181.25		81.25			
			GHG 60-80				287.5		150			
			GHG 80-100				100					
			GHG 100-120						75			
			GHG 120-140									
			GHG 140-160					187.5		68.75		
			GHG >160					325				
		1										
			GHG 20-40									
			GHG 40-60			668.75	218.75	5375	9850	2287.5	9081.25	843.75
			GHG 60-80				125	3193.75	11075	5131.25	11600	718.75
			GHG 80-100				93.75	2081.25	5762.5	5925	7556.25	1168.75
			GHG 100-120				262.5	1818.75	5443.75	3275	6650	762.5
			GHG 120-140				93.75	1031.25	2656.25	2412.5	2412.5	
			GHG 140-160				118.75	731.25	1362.5	3000	1662.5	
			GHG >160					1087.5	1456.25	1768.75	1356.25	131.25

Bijlage 5 Nadere beschrijving van methoden en modelresultaten van afleiden van rekenregels voor effecten van drainage en bodemverbetering op de P-uitspoeling

Deze Bijlage beschrijft in meer detail de methoden die zijn gevolgd om rekenregels af te leiden voor effecten van de verandering van de drainagetoestand en van bodemverbetering op de P-uitspoeling naar het oppervlaktewater en geeft de modelresultaten waarop de rekenregels zijn gebaseerd.

B5.1 Methoden

B5.1.1 Drainage

Modelinvoer

Oorspronkelijk worden in STONE in de 'ongedraineerde situatie' (zonder drainbuizen) vier drainagesystemen onderscheiden (Van Bakel et al., 2008b):

1. Primaire waterlopen die breder zijn dan 3 m en die het gehele jaar watervoerend zijn;
2. Secundaire waterlopen die maximaal 3 m breed zijn en die het gehele jaar watervoerend zijn;
3. Tertiaire droogvallende waterlopen, die een deel van het jaar droogvallen;
4. Maaiveld drainage, een systeem dat in werking treedt bij hoge grondwaterstanden tot minstens 20 cm -mv. De drainageweerstand is met 30 dagen erg laag. De functionele parameter 'drainafstand' is 10 m, waardoor in SWAP dit systeem tot 2,5 m diepte kan draineren (kwart v.d. drainafstand).

Daarnaast kan onder zeer natte omstandigheden, als de waterlaag op maaiveld dikker dan 2 mm is, oppervlakteaflow optreden. Door de intensieve maaiveld drainage is deze afvoer relatief gering.

Tabel B5.1 geeft de standardeigenschappen van de in de modelberekeningen opgenomen drains die voor alle STONE-plots zijn toegepast. De gegevens zijn afkomstig van Van Bakel *et al.* (2008a en 2008b). Te zien is dat regelbare drains niet alleen dieper liggen dan conventionele drains, maar dat ze ook op veel (40%) kortere afstand van elkaar liggen. Hierdoor is de drainageweerstand van regelbare drains de helft lager ingeschat. In geval van regelbare drains monden de individuele drains uit in een collectordrain. Hierdoor zijn minder perceelsslotsen nodig waarin de drains uitmonden. Daarom is bij deze drainagevorm de helft van de perceelsslotsen (tertiaire systeem) gedempt, waardoor slootafstand en -weerstand twee keer zo groot zijn als in de uitgangssituatie.

Tabel B5.1

Eigenschappen van de gemodelleerde drains en het tertiaire ontwateringssysteem voor de drie beschouwde drainagevormen. 'Weerstand' heeft betrekking op zowel drainage als infiltratie. Voor parameter 'f-topafvoer', zie tekst.

Drainagevorm	Drains				Tertiaire systeem	
	diepte (cm)	afstand (m)	weerstand (d)	f-topafvoer (-)	relatieve afstand (-)	relatieve weerstand (-)
Ongedraineerd	-	-	-	-	1	1
Conventioneel	100	10	100	0,4	1	1
Diep, regelbaar	120	6	50	0,4	2	2

Parameter 'f-topafvoer' bepaalt de dikte van de verzadigde laag boven drainniveau die meedoet aan de laterale afvoer naar de drains. Bij een waarde 1 doet de hele verzadigde laag mee aan de afvoer en ligt de top van de afvoerlaag op het niveau van de grondwaterstand. Bij een waarde 0 ligt de top van de afvoerlaag op drainniveau en doet alleen het deel van de verzadigde bodem onder drainniveau mee aan de laterale afvoer naar de drains. Het deel van de verzadigde bodem boven drainniveau wordt dan alleen verticaal doorstroomd. Voor de uitspoeling van stoffen zoals fosfor is dit van groot belang, omdat de lateraal doorstroomde bodemlagen sterk kunnen verschillen in de hoeveelheid fosfaat die zij bevatten (vooral gebonden aan het bodemcomplex) en in de eigenschappen om fosfaat te binden. Zie voor deze verschillen de concentratieprofielen van Figuur B5.2.

De instelling van deze 'f-topafvoer' is in onderhavige studie minder gunstig ingeschat dan in het verkennende modelonderzoek van Van Bakel *et al.* (2008a). In dat onderzoek deed alleen het deel van de verzadigde bodem onder drainniveau mee aan de afvoer naar de drains ($f\text{-topafvoer} = 0$). In de veelvuldig voorkomende situaties met relatief hoge P-concentraties in de bovenste lagen (tot ca. 50 cm diep) van het profiel en lage concentraties daaronder (Figuur B5.2), betekent dit een onderschatting van de P-afvoer naar de drains. De waarde van 0,4 die in onderhavige studie is ingeschat, is naar verwachting realistischer en leidt tot een wat hogere P-afvoer naar de drains.

De grondwaterstandafhankelijke onderrandflux is gemodelleerd met de optie om het stijghoogteverloop door het jaar te beschrijven met een sinus. De benodigde weerstand tegen verticale stroming die in de STONE-invoer voor SWAP al was gegeven, is hierbij overgenomen. Van de sinusrelatie voor het stijghoogteverloop in SWAP is de variabele die de gemiddelde stijghoogte beschrijft door proberen zo afgesteld dat SWAP over dertig jaar gemiddeld dezelfde netto-onderrandflux berekende als de oorspronkelijke netto-onderrandflux van STONE.

Afleiding rekenregels

Door de modeluitkomsten zijn functies gefit waarbij verschillende grootheden als verklarende variabelen zijn getoetst. Een absolute eis aan de verklarende variabelen was dat ze uit de PLEASE-berekeningen moesten kunnen worden afgeleid. Een voor de hand liggende verklarende variabele was het P_w -getal van de bovenste 30 cm van het profiel of het percentiel daarvan in de frequentieverdeling van de betreffende bodemsoort (Tabel 2.1 en 2.2). Maar de resultaten van deze fits waren over het algemeen slecht met lage verklaarde varianties.

Uit de diepteprofielen van wateruitstroming, P-concentratie en P-uitspoeling die per plot waren opgesteld (Figuur B5.2), in combinatie met de berekende verhoudingen F_{drain} tussen de P-uitspoeling van de verschillende drainagetoestanden, rees het beeld dat naarmate de P-uitspoeling uit de bovenste 50 cm relatief t.o.v. de P-uitspoeling uit de totale bodemkolom in de ongedraineerde uitgangssituatie groter is, de effecten van drains op de P-uitspoeling groter zijn. Vooral de cumulatieve verdeling met de diepte van de P-uitspoelingsvrachten in de meest rechtse plaatjes in Figuur B5.2 laten dat duidelijk zien. Als het cumulatieve verloop boven in het profiel vlak is, dan is de P-uitspoelingsvracht uit de bovenste bodemlagen relatief groot (bv. plot 4603); bij een steil verloop boven in het profiel spoelt er relatief meer P dieper uit het profiel (bv. plot 5654).

Met deze kennis zijn relaties gefit met verschillende verklarende variabelen die de verhouding tussen de P-uitspoeling uit de bovenste 50 cm van het profiel en de totale P-uitspoeling uit het profiel in de uitgangssituatie beschrijven. Deze verhouding kan zichtbaar worden gemaakt in PLEASE. Uiteindelijk

is als verklarende variabele gekozen de verhouding R_{oorspr} tussen de P-uitspoeling uit de top 50 cm en de P-uitspoeling uit het overige deel van het bodemprofiel in de oorspronkelijke situatie zonder drains. De gefitte relaties met deze verklarende variabele zijn gegeven in vergelijkingen (3.3) en (3.4) en in Figuur 3.1 en 3.3 in de hoofdtekst.

B5.1.2 Verdichting

Modelaanpak

Verdichting is met SWAP gemodelleerd als een verdichte laag over een zeker dieptetraject met een laag waterbergend vermogen en een zeer geringe verticale en horizontale doorlatendheid. Bij neerslag in grote hoeveelheden en met grote intensiteit stagneert de verticale percolatie van water naar het grondwater net boven deze laag en vormt zich een laag (schijn)grondwater op deze laag. Dit water kan over de verdichte laag lateraal afstromen naar sloten en greppels. Hiervoor is SWAP uitgebreid met dit proces.

Modelinvoer

Bij de kleigronden is de verdichte laag als ploegzool aangebracht tussen 25 en 50 cm -mv. Hiervoor is bij alle doorgeredende STONE-plots een ploegzool gemodelleerd met de hydraulische eigenschappen in de vorm van de Van Genuchten-parameters (Tabel 5B.2) van de ploegzool uit de Andelst-veldproef (Smelt et al., 2002). Ook is de bewortelingsdiepte aangepast. Bv. bij mais tot een maximum van 60 cm en bij gras tot de diepte van de ploegzool = 25 cm -mv.

Tabel B5.2

Van Genuchten-parameters verzadigd volumiek vochtgehalte en verzadigde doorlatendheid gebruikt in de modellering van de oorspronkelijke en de verdichte situatie. Cursieve percentages = verdicht als% van oorspronkelijk.

Zand 1 plots: 2379, 3059, 3740

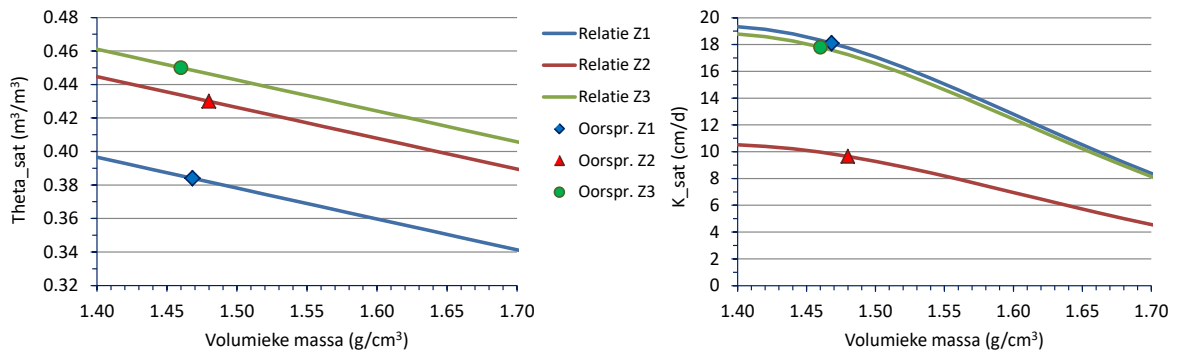
Zand 2 plot: 4603

Zand 3 plots: 3493, 4974, 5055, 5325, 5496, 5622, 5654, 5724

Drainage vorm	Verzadigd volumiek vochtgehalte Θ_{sat}		Verzadigde doorlatendheid K_{sat}	
	oorspronkelijk (cm^3/cm^3)	verdicht (cm^3/cm^3)	oorspronkelijk (cm/d)	verdicht (cm/d)
Zand 1	0,38	0,34 88%	18,1	7,6 42%
Zand 2	0,43	0,39 90%	9,7	4,1 43%
Zand 3	0,45	0,40 89%	17,8	7,4 41%
Zavel/klei	0,46-0,57	0,41 72%-89%	2,2-3,3	0,18 5%-8%

Bij de zandgronden is de verdichte laag aangebracht van 25 tot 75 cm -mv. Voor de bodemlagen in dit dieptetraject zijn de Van Genuchten-parameters aangepast door gebruik te maken van de continue vertaalfuncties van Wösten *et al.* (2001). Door deze functies zo te schrijven dat alle parameters een functie zijn van de dichtheid (volumieke massa) van de grond gegeven de oorspronkelijke parameterwaarden, kunnen nieuwe waarden worden berekend voor een aangepaste dichtheid. Figuur B5.1 geeft deze herschreven functies voor de twee belangrijk(st)e en meest aansprekende parameters Θ_{sat} en K_{sat} . Voor deze dichtheid is op aanraden van Jan van den Akker de maximale waarde van $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ genomen, die ruim boven de grenswaarde voor verdichte zandgronden van $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ ligt. De waarden van Θ_{sat} en K_{sat} voor de verdichte situatie zijn gegeven in Tabel B5.2. Ook hier is op dezelfde manier als bij de kleigronden de bewortelingsdiepte aangepast.

De drainageweerstand voor de laterale uitstroming is met 30 dagen gelijk genomen met de weerstand van de maaiveld drainage in STONE.



Figuur B5.1 De herschreven relaties van Θ_{sat} en K_{sat} als functie van de volumieke massa voor de zandgronden Z(and)1 t/m Z(and)3. De waarden van de drie lijnen bij Volumieke massa = $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ zijn de waarden voor 'verdicht' in Tabel B5.2.

Afleiding rekenregels

Voor 'verdichting' is geen rekenregel direct voor de P-afvoer afgeleid, maar een voor de verdeling van de wateruitstroming over de belangrijkste uitstromingsroutes. Door de verdichting wordt de ondiepe laterale uitstroming door de bovenste 25 cm een belangrijke route. PLEASE berekent dan zelf de nieuwe P-afvoer op basis van de nieuwe verdeling van de waterfluxen en de P-concentraties. Hiervoor is gekozen, omdat de verschuiving in uitstromingsroutes vrij eenduidig naar deze ondiepe laterale route is door de stagnerende werking van de verdichte laag. De verschuiving is daarnaast ook relatief aanzienlijk (Figuur 3.10). Daarnaast was de hoge waarde van de determinatiecoëfficiënten R^2 van het fitten van deze oplossing een belangrijke reden voor deze keuze.

B5.2 Resultaten

In Tabel B5.3 en B5.4 zijn de resultaten gegeven van de modelberekeningen die ten grondslag liggen aan de afgeleide relaties uit paragraaf 3.3 en 3.6.

Tabel B5.3

Resultaten van de berekeningen van de drainagevarianten voor de zandgronden (boven) en voor de zavel-/kleigronden (onder). De resultaten van uitmijnen met en zonder drains zijn gegeven in Figuur 3.9. De R_{oorspr} hiervan (vergelijkingen 3.3d en 3.4d) staan in de laatste kolom onder 'd'. $P_w = mg P_{O_5} l^{-1}$ gemiddeld voor de bovenste 30 cm; Kwel: positief is kwel, negatief wegzijging; Kwel water = $mm j^{-1}$; Kwel P = $kg P ha^{-1} j^{-1}$.

STONE	Bodem	Gewas	Pw	Per- centiel water	Kwel	Kwel	P	GHG (cm)		GLG (cm)		P-belasting (kg P / ha / j)		Verschillen (kg P / ha / j)		Fracties (-)		Ratio's $R_{oorspr}(-)$					
								Nodr	Drains	Rdrains	Nodr	Drains	Rdrains	Nodr	Drains	Rdrains	dr - nd	rd - nd	rd - dr	rd / nd	rd / dr	rd / dr	a / m
2379	zand	gras	65	49	164	0.23		17	67	37	108	87	1.38	1.07	1.37	-0.31	-0.01	0.30	0.78	0.99	1.28	0.735	0.029
3059	zand	gras	111	85	39	0.02		18	67	55	132	138	1.38	0.59	0.78	-0.79	-0.60	0.19	0.43	0.57	1.32	3.624	0.080
3493	zand	mais	103	81	40	0.06		23	74	49	107	126	1.53	0.99	1.40	-0.54	-0.13	0.41	0.65	0.92	1.41	0.339	0.022
3740	zand	gras	41	21	250	0.35		17	67	44	102	111	1.70	1.19	1.39	-0.51	-0.31	0.20	0.70	0.82	1.17	0.492	0.027
4603	zand	akkerb.	129	91	132	0.06		22	70	50	128	140	2.94	1.16	1.93	-1.78	-1.01	0.77	0.39	0.66	1.66	3.368	0.099
4974	zand	gras	91	74	-29	-0.03		44	78	67	136	142	0.51	0.49	0.50	-0.02	-0.01	0.01	0.96	0.98	1.02	0.487	0.020
5055	zand	mais	156	97	-96	-0.47		51	85	71	147	152	1.26	0.84	0.94	-0.42	-0.32	0.10	0.67	0.75	1.12	1.360	0.094
5325	zand	mais	156	98	103	0.14		26	77	46	124	128	1.59	1.20	1.86	-0.39	0.27	0.66	0.75	1.17	1.55	0.519	0.015
5496	zand	akkerb.	121	89	8	-0.01		41	80	57	144	154	0.89	0.78	0.88	-0.11	-0.01	0.10	0.88	0.99	1.13	0.369	0.013
5622	zand	mais	146	94	147	0.20		33	77	47	124	127	1.60	1.27	2.21	-0.33	0.61	0.94	0.79	1.38	1.74	0.398	0.017
5654	zand	gras	88	71	859	1.20		27	71	38	80	104	2.01	1.64	2.99	-0.37	0.98	1.35	0.82	1.49	1.82	0.111	0.003
5724	zand	gras	104	81	-88	-0.09		46	87	78	146	153	0.35	0.31	0.30	-0.04	-0.05	-0.01	0.89	0.86	0.97	0.757	0.024

Nodr nd geen drains Drains conv. drains Rdrains regelbare drains
dr rd

varianten vergelijkingen 3.3 en 3.4: a / m c d

STONE	Bodem	Gewas	Pw	Per- centiel water	Kwel	Kwel	P	GHG (cm)		GLG (cm)		P-belasting (kg P / ha / j)		Verschillen (kg P / ha / j)		Fracties (-)		Ratio's $R_{oorspr}(-)$						
								Nodr	Drains	Rdrains	Nodr	Drains	Rdrains	Nodr	Drains	Rdrains	dr - nd	rd - nd	rd - dr	rd / nd	rd / dr	rd / dr	a / m	c
232	zavel	mais	99	100	-107	-1.40		25	67	49	171	180	157	2.13	1.48	1.38	-0.65	-0.75	-0.10	0.69	0.65	0.93	0.441	0.046
283	zavel	akkerb.	46	95	-138	-2.10		32	63	52	178	154	147	2.58	1.81	1.41	-0.77	-1.17	-0.40	0.70	0.55	0.78	0.174	0.019
686	zavel	gras	33	80	14	0.10		15	66	49	164	171	142	2.39	1.70	1.89	-0.69	-0.50	0.19	0.71	0.79	1.11	0.250	0.030
775	lichtklei	gras	19	48	7	0.04		21	65	52	126	164	136	2.07	1.49	1.56	-0.58	-0.51	0.07	0.72	0.75	1.05	0.235	0.035
3424	zware klei	mais	30	75	-161	-0.12		16	62	50	178	199	185	0.65	0.39	0.47	-0.26	-0.18	0.08	0.60	0.72	1.21	3.049	0.810
3675	lichtklei	akkerb.	79	98	-131	-0.10		28	64	53	167	171	160	0.63	0.38	0.47	-0.25	-0.16	0.09	0.60	0.75	1.24	1.915	0.280
3785	zavel	akkerb.	95	99	1	0.00		24	67	48	181	180	162	1.15	0.45	0.69	-0.70	-0.46	0.24	0.39	0.60	1.53	3.831	1.114
4596	lichtklei	gras	10	23	-99	-0.08		36	71	60	159	164	144	0.38	0.28	0.32	-0.10	-0.06	0.04	0.74	0.84	1.14	1.299	0.343
4817	zware klei	mais	59	97	-179	-0.12		19	64	49	184	207	189	0.72	0.37	0.45	-0.35	-0.27	0.08	0.51	0.63	1.22	6.283	1.393
4989	zavel	mais	108	100	-45	-0.81		34	65	49	170	171	154	3.18	2.11	1.92	-1.08	-1.26	-0.19	0.66	0.60	0.91	0.238	0.051
5009	lichtklei	akkerb.	54	97	-39	-0.03		24	68	54	163	171	158	0.46	0.27	0.33	-0.19	-0.13	0.06	0.59	0.72	1.22	1.597	0.173
5088	zavel	gras	50	96	58	0.65		19	67	53	165	162	148	2.54	1.87	2.03	-0.67	-0.51	0.16	0.74	0.80	1.09	0.217	0.025

Nodr nd geen drains Drains conv. drains Rdrains regelbare drains
dr rd

varianten vergelijkingen 3.3 en 3.4: a / m c d

Figuur B5.2 bevat van alle voor de drainagevarianten doorgerekende STONE-plots, diagrammen van grondwaterduurlijnen en diepteprofielen. Voor elke plot zijn er twaalf diagrammen in drie rijen en vier kolommen. De drie rijen bevatten van boven naar beneden de diagrammen van:

1. De oorspronkelijke, ongedraineerde situatie;
2. De situatie met conventionele drainage;
3. De situatie met diepe, regelbare drainage.

De vier kolommen bevatten van links naar rechts de diagrammen van:

1. De vergelijking tussen de grondwaterduurlijnen van de periode 2026-2030 en de periode 2001-2030;
2. De verdeling in de diepte van de (laterale) uitstromingsflux per drainagesysteem;
3. Het verloop met de diepte van de P-concentraties;
4. De verdeling in de diepte van de P-uitspoelingsvracht per drainagesysteem.

Elke plot heeft als kop een Tabel met typerende kenmerken en belangrijke rekenresultaten.

Eerst zijn de twaalf zandplots gegeven, gevolgd door de twaalf zavel-/kleiplots.

Legenda van de tabellen:

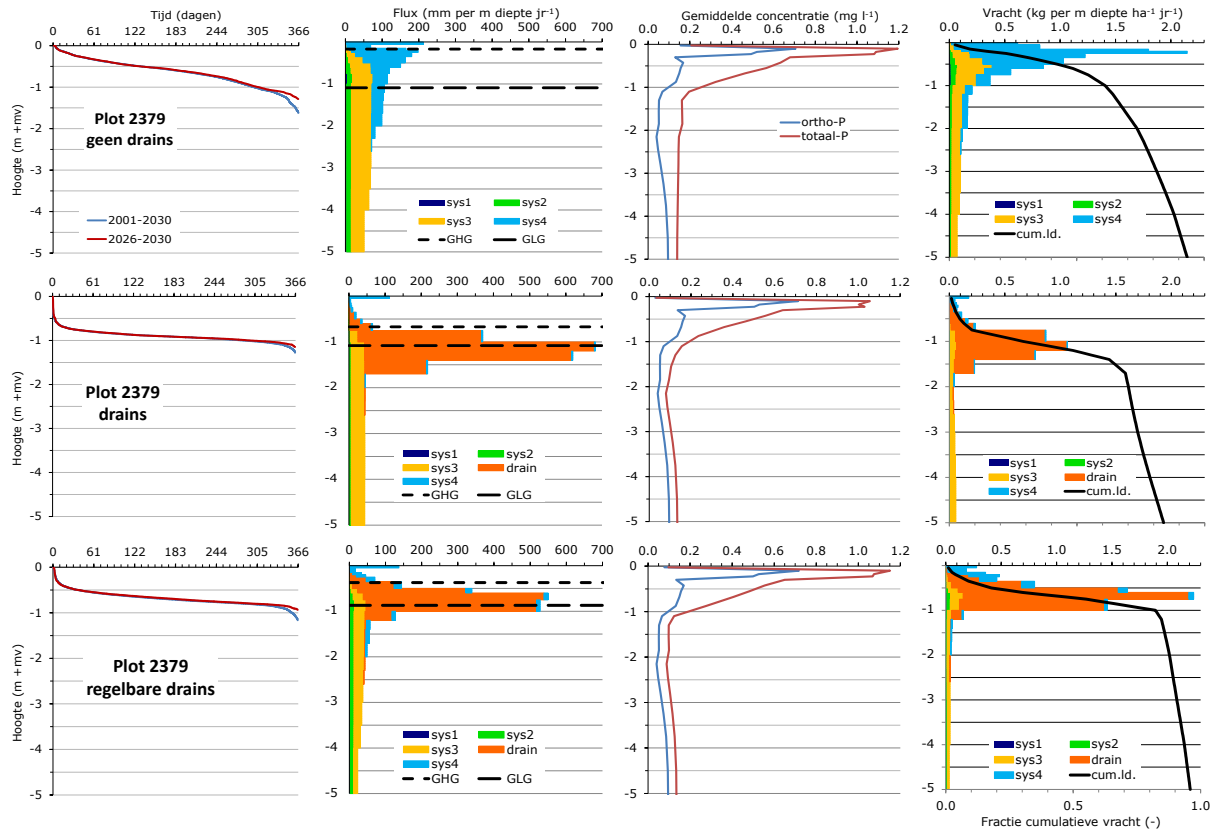
- P_w is in $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$;
- $K_{\text{wel water}}$ in mm j^{-1} ;
- $K_{\text{wel P}}$ in $\text{kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$;
- Draandiepte in cm; bij ongedraineerd: 90/120 is zomer/winter streefpeil;
- GHG, GLG in cm;
- P-belasting is vracht naar het oppervlaktewater in $\text{kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$;
- Δ ongedr. is het verschil in P-vracht tussen ongedraineerd en drains of regelbare drains;
- F ongedr. is de verhouding tussen de P-vrachten van drains of regelbare drains en ongedraineerd.

Legenda van de diagrammen:

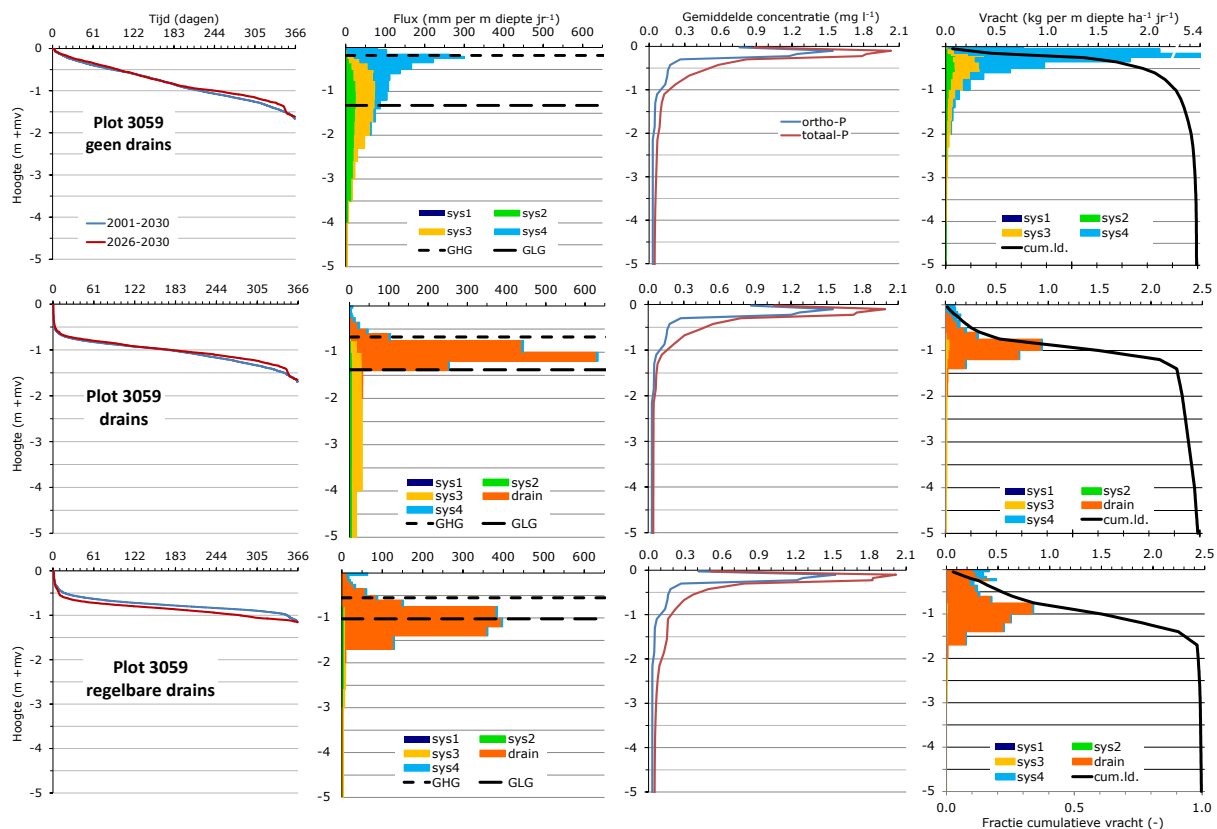
- Sys1 t/m sys4 zijn de vier drainagesystemen zoals opgesomd onder kopje **Modelinvoer** in B5.1.1;
- Cum.Id. is het cumulatieve verloop in de diepte van de genormaliseerde totale P-vracht; de indeling van de x-as is aangegeven bij het diagram rechtsonder.

Zandplots

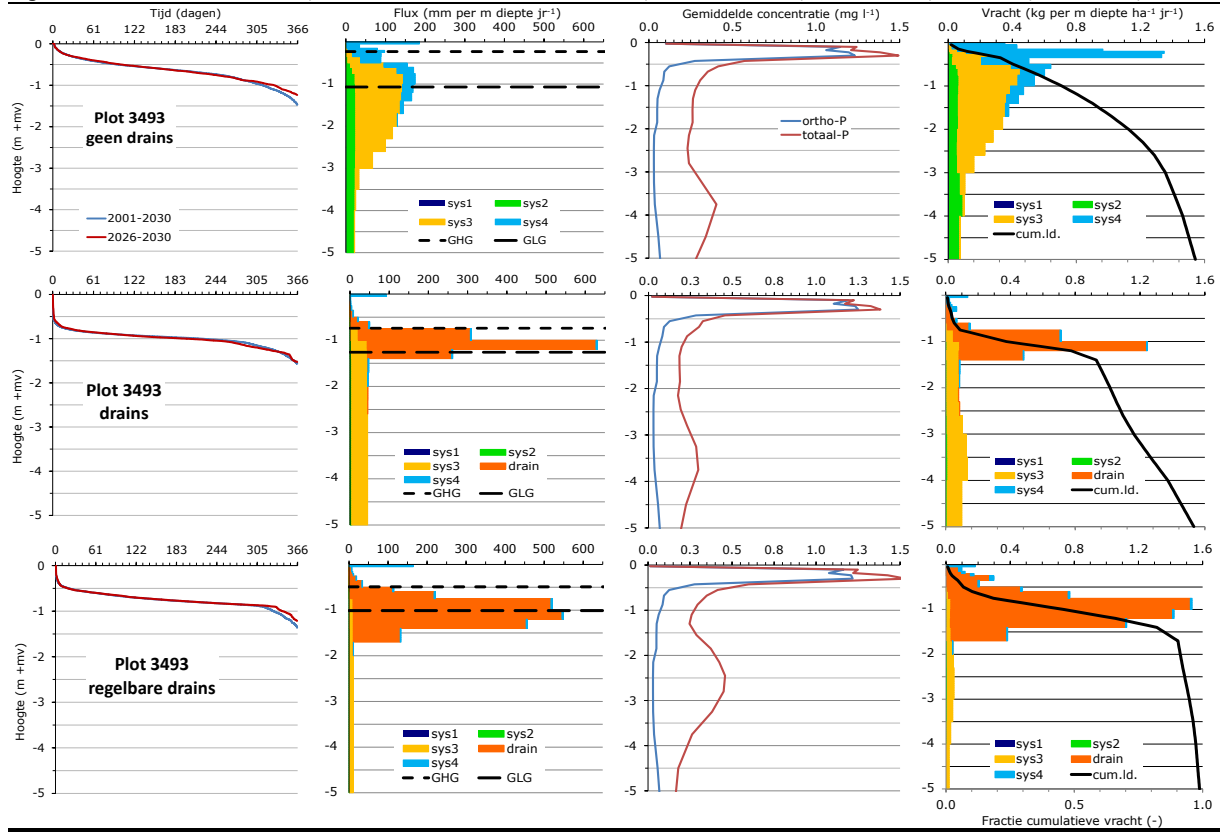
Plot: 2379		Zand	Gras	Pw top 30 cm: 65		Percentiel: 49	Geen wateraanvoer			
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	164	0,23	90/120	17	108	1,38	0	-	1	-
drains	367	0,51	100	67	108	1,07	-0,31	0	0,78	1
regelb. drains	225	0,31	120	37	87	1,37	-0,01	0,30	0,99	1,28



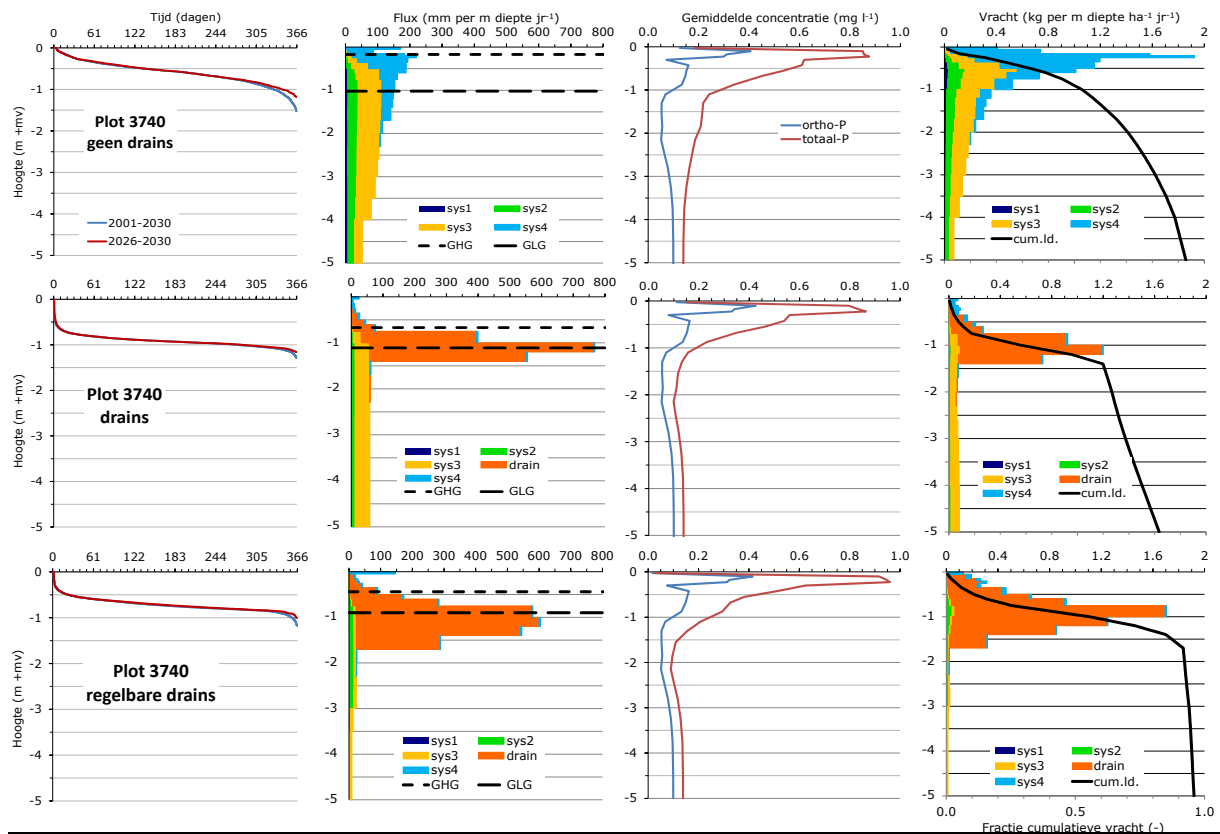
Plot: 3059		Zand	Gras	Pw top 30 cm: 111		Percentiel: 85	Geen wateraanvoer			
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	39	0,02	90/120	18	132	1,38	0	-	1	-
drains	178	0,08	100	67	138	0,59	-0,79	0	0,43	1
regelb. drains	39	0,02	120	55	102	0,78	-0,60	0,19	0,57	1,32



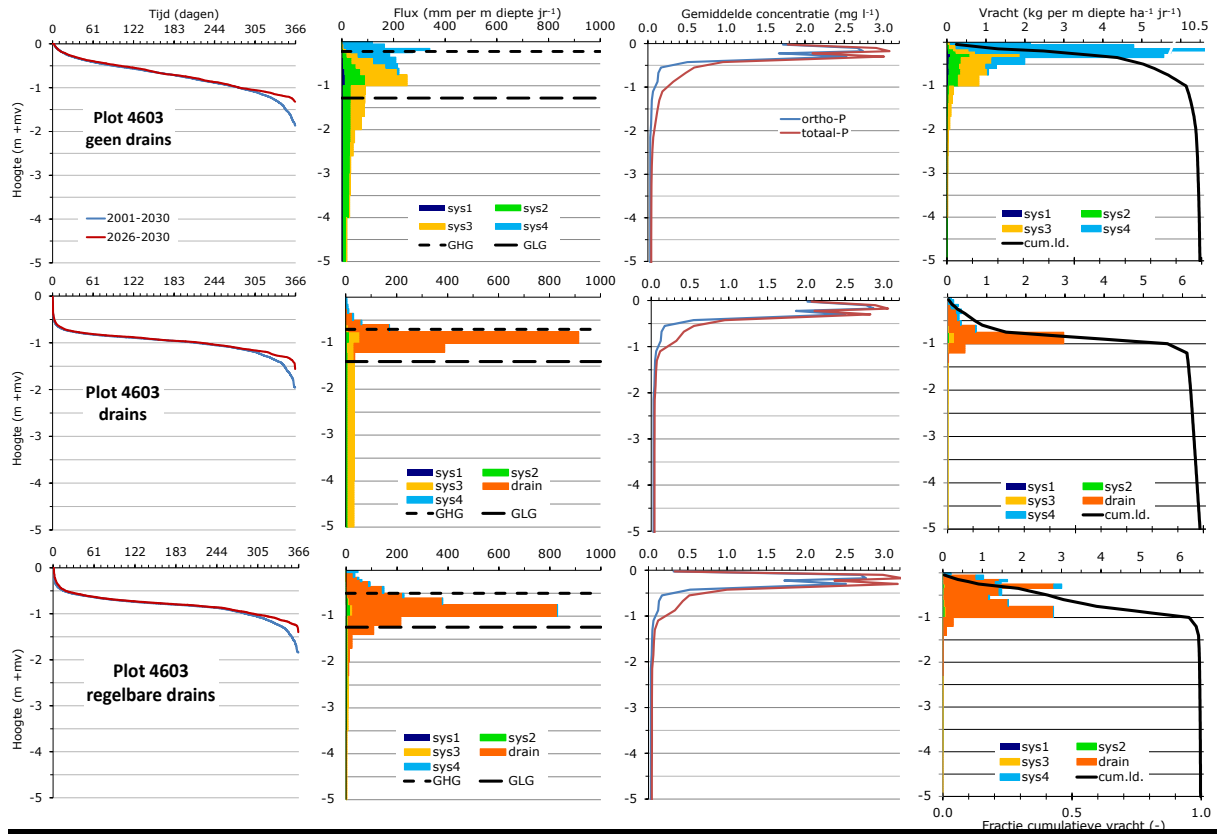
Plot: 3493		Zand	Mais	Pw top 30 cm: 103		Percentiel: 81		Geen wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	40	0,06	110/140	23	107	1,53	0	-	1	-
drains	72	0,11	100	74	126	0,99	-0,54	0	0,65	1
regelb. drains	47	0,07	120	49	101	1,40	-0,13	0,41	0,92	1,41



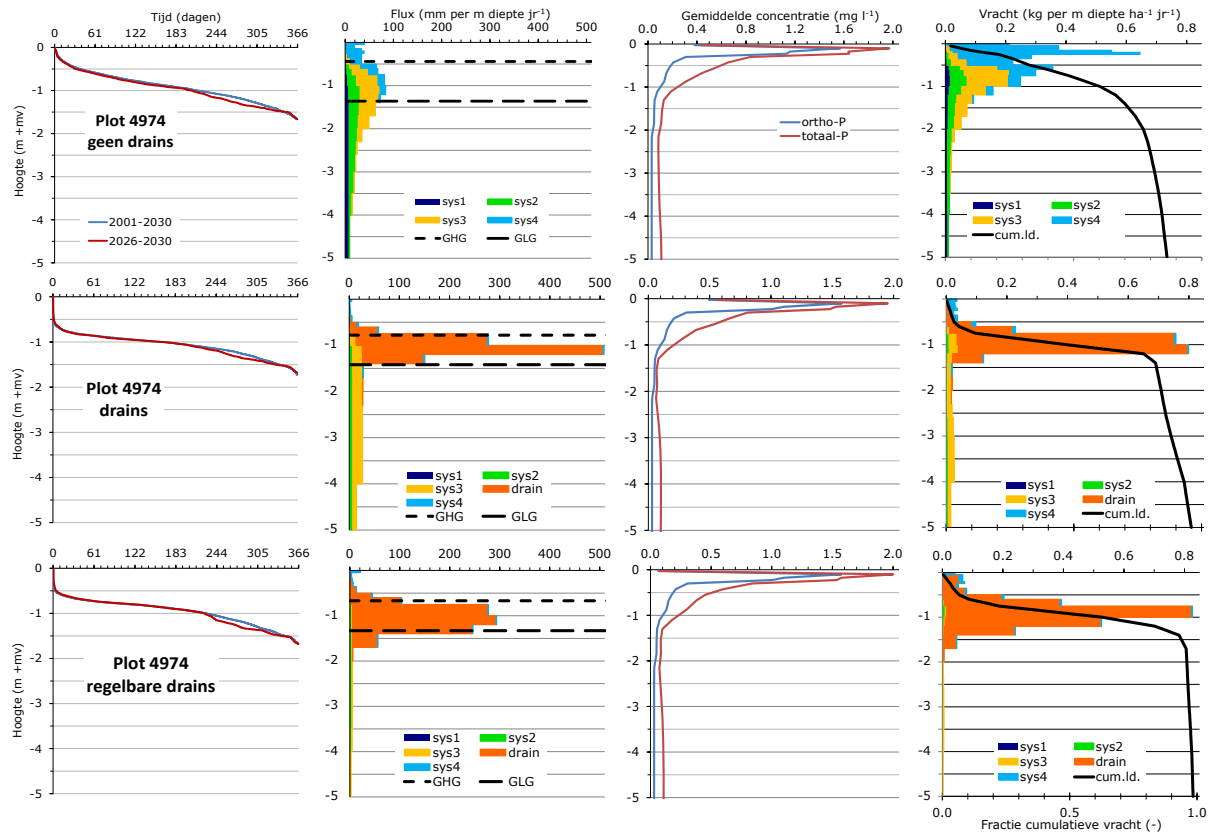
Plot: 3740		Zand	Gras	Pw top 30 cm: 41		Percentiel: 21		Geen wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	250	0,35	90/120	17	102	1,70	0	-	1	-
drains	373	0,52	100	67	111	1,19	-0,51	0	0,70	1
regelb. drains	243	0,34	120	44	90	1,39	-0,31	0,20	0,82	1,17



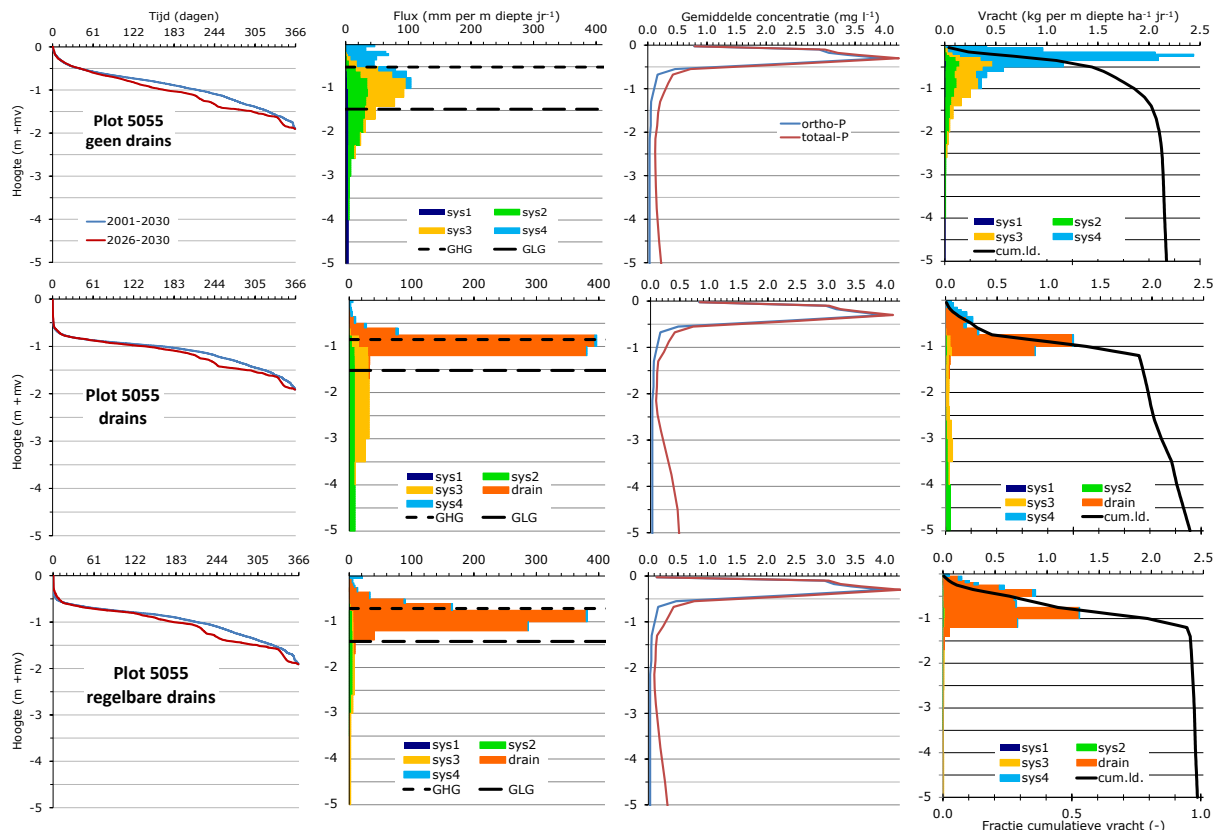
Plot: 4603		Zand	Akkerbouw	Pw top 30 cm: 129		Percentiel: 91		Geen wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	132	0,06	110/140	22	128	2,94	0	-	1	-
drains	204	0,09	100	70	140	1,16	-1,78	0	0,39	1
regelb. drains	112	0,05	120	50	124	1,93	-1,01	0,77	0,66	1,66



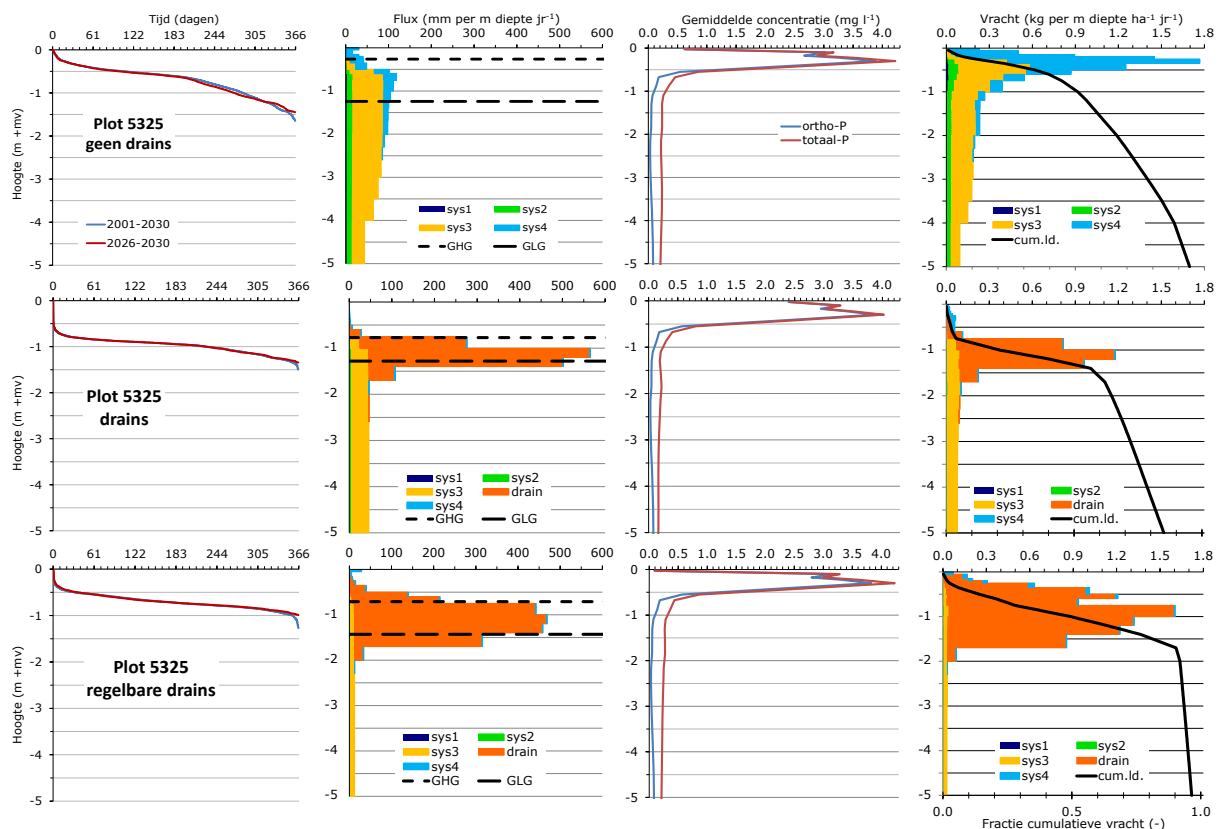
Plot: 4974		Zand	Gras	Pw top 30 cm: 91		Percentiel: 74		Geen wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	-29	-0,03	130/160	44	136	0,51	0	-	1	-
drains	49	0,07	100	78	142	0,49	-0,02	0	0,96	1
regelb. drains	-35	-0,03	120	67	133	0,50	-0,01	0,01	0,98	1,02



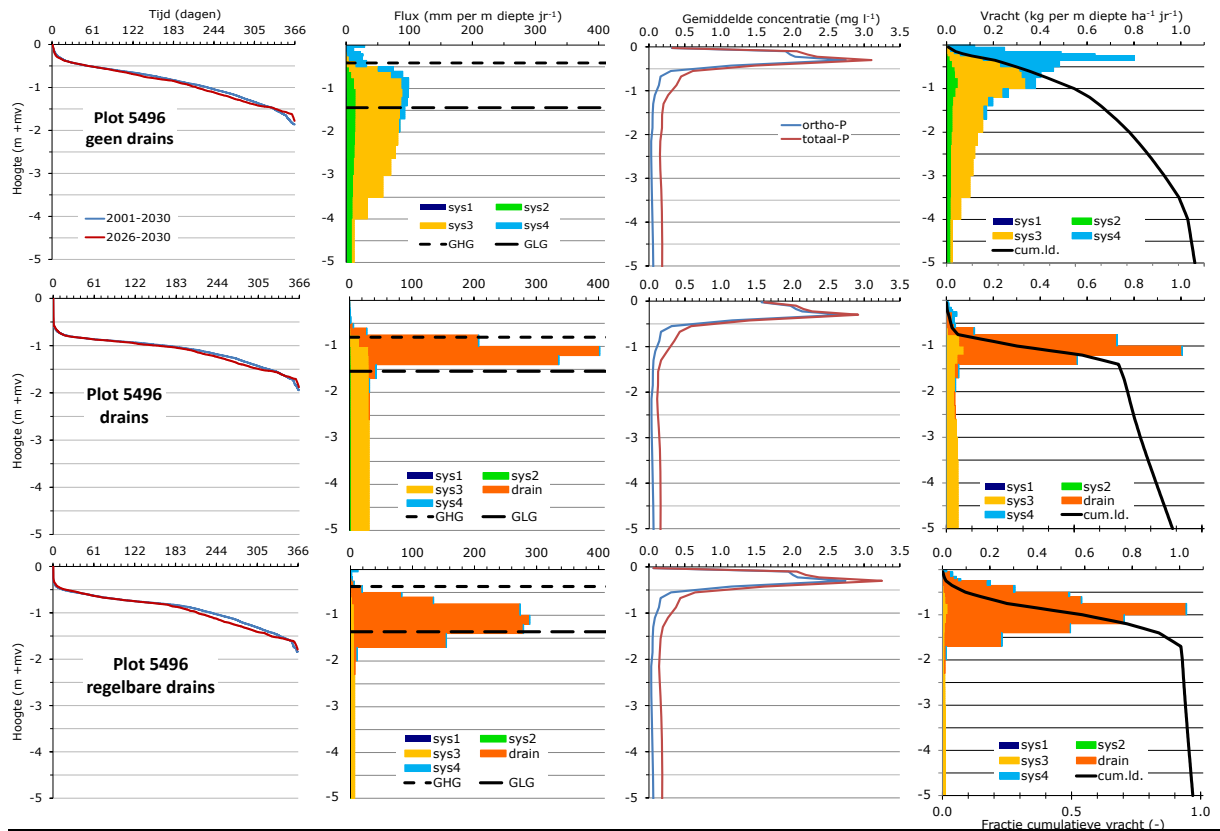
Plot: 5055		Zand	Mais	Pw top 30 cm: 156		Percentiel: 97		Geen wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	-97	-0,47	130/160	51	147	1,26	0	-	1	-
drains	-1	-0,15	100	85	152	0,84	-0,42	0	0,67	1
regelb. drains	-78	-0,44	120	71	143	0,94	-0,32	0,10	0,75	1,12



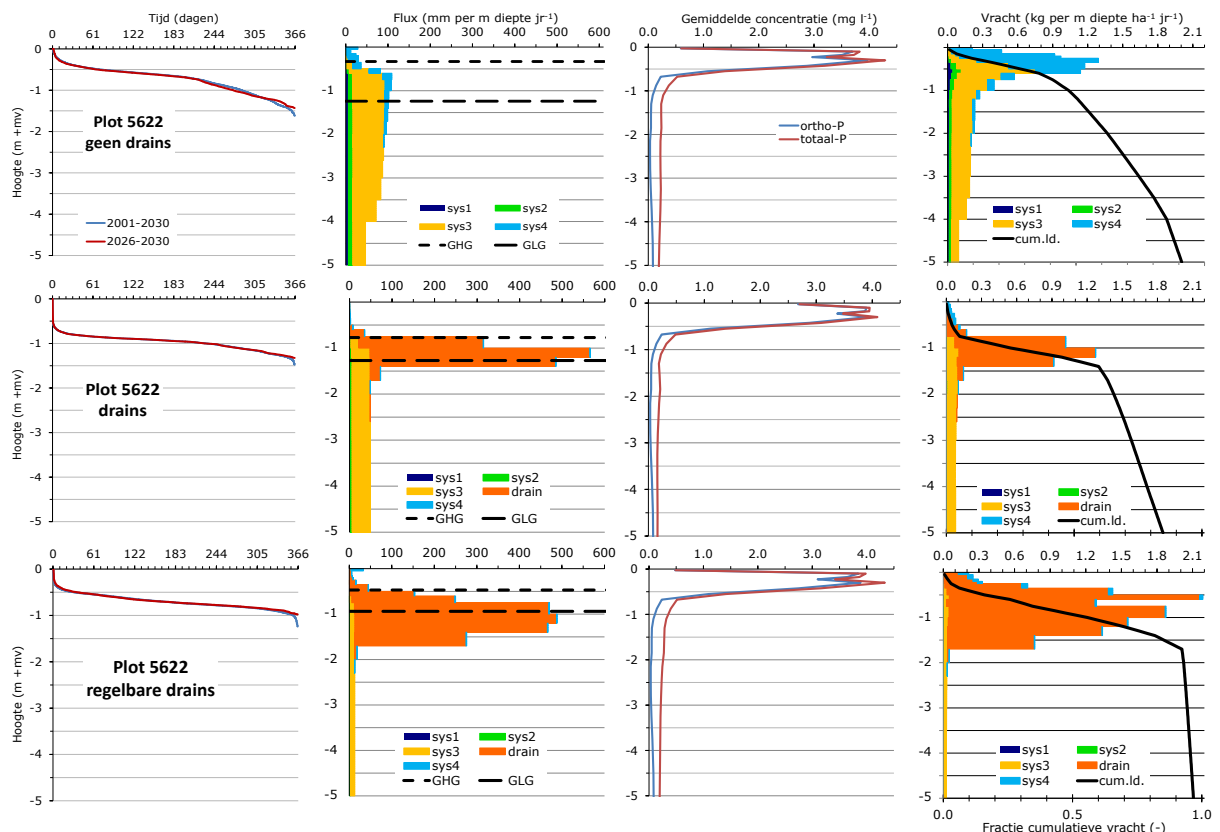
Plot: 5325		Zand	Mais	Pw top 30 cm: 156		Percentiel: 98		Wel wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	103	0,14	90/120	26	124	1,59	0	-	1	-
drains	233	0,33	100	77	128	1,20	-0,39	0	0,75	1
regelb. drains	72	0,08	120	46	96	1,86	0,27	0,66	1,17	1,55



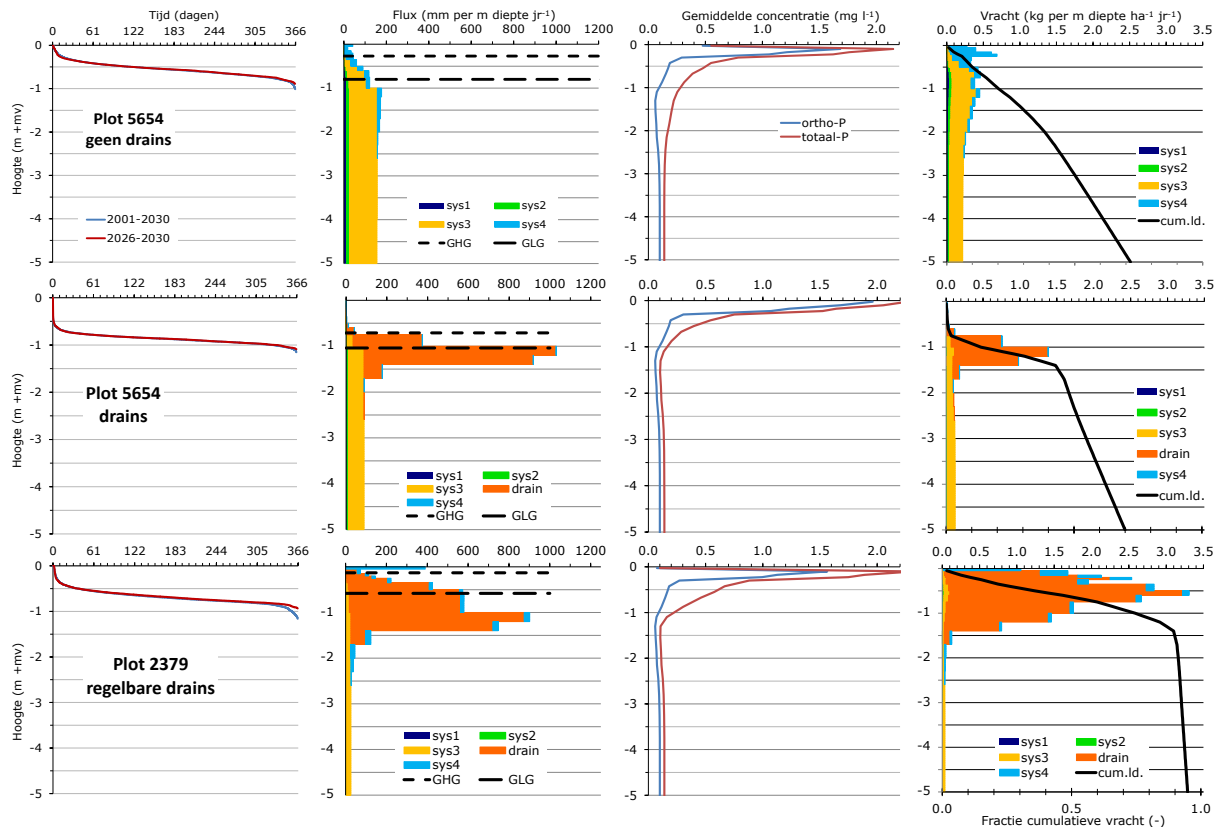
Plot: 5496		Zand	Akkerbouw	Pw top 30 cm: 121	Percentiel: 89	Geen wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraïneerd	8	-0,01	130/160	41	144	0,89	0	-	1	-
drains	84	0,12	100	80	154	0,78	-0,11	0	0,88	1
regelb. drains	-11	-0,04	120	57	141	0,88	-0,01	0,10	0,89	1,13



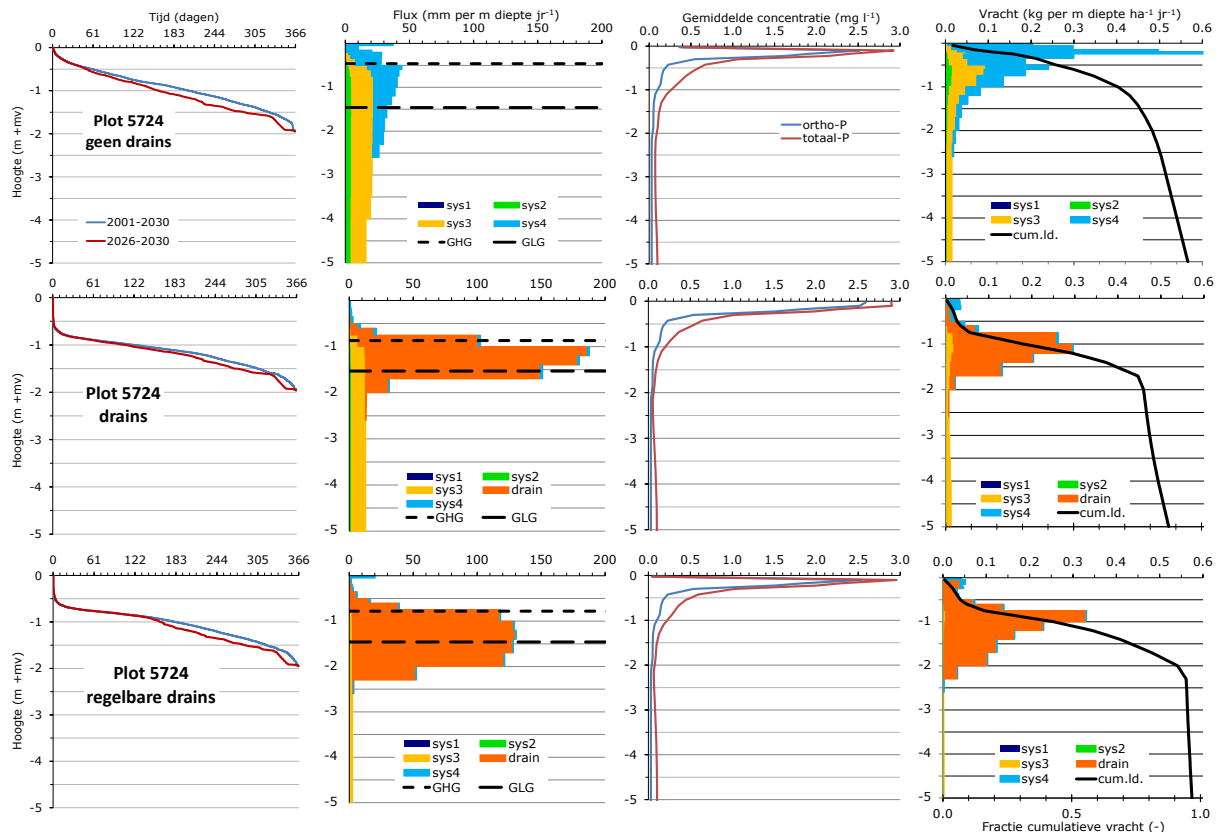
Plot: 5622		Zand	Mais	Pw top 30 cm: 146	Percentiel: 94	Wel wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraïneerd	147	0,20	100/130	33	124	1,60	0	-	1	-
drains	252	0,35	100	77	127	1,27	-0,33	0	0,79	1
regelb. drains	89	0,11	120	47	94	2,21	0,61	0,94	1,38	1,74



Plot: 5654	Zand	Gras	Pw top 30 cm: 88		Percentiel: 71		Geen wateraanvoer			
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	859	1,20	90/120	27	80	2,01	0	-	1	-
drains	919	1,29	100	71	104	1,64	-0,37	0	0,82	1
regelb. drains	694	0,97	120	38	78	2,99	0,98	1,35	1,49	1,82

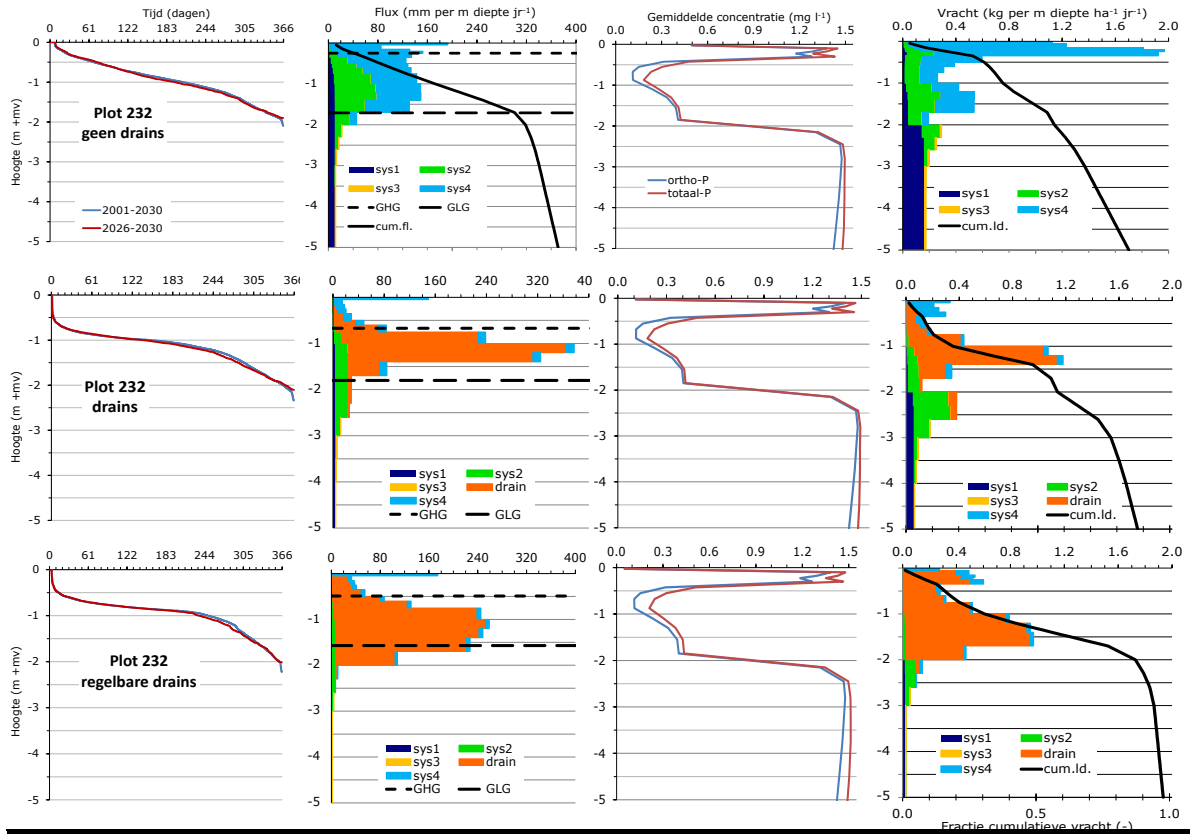


Plot: 5724	Zand	Gras	Pw top 30 cm: 104		Percentiel: 81		Geen wateraanvoer			
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongedr.	F drains
ongedraineerd	-88	-0,09	90/120	46	146	0,35	0	-	1	-
drains	-6	0,02	100	87	153	0,31	-0,04	0	0,89	1
regelb. drains	-50	-0,03	120	78	146	0,30	-0,05	-0,01	0,86	0,97

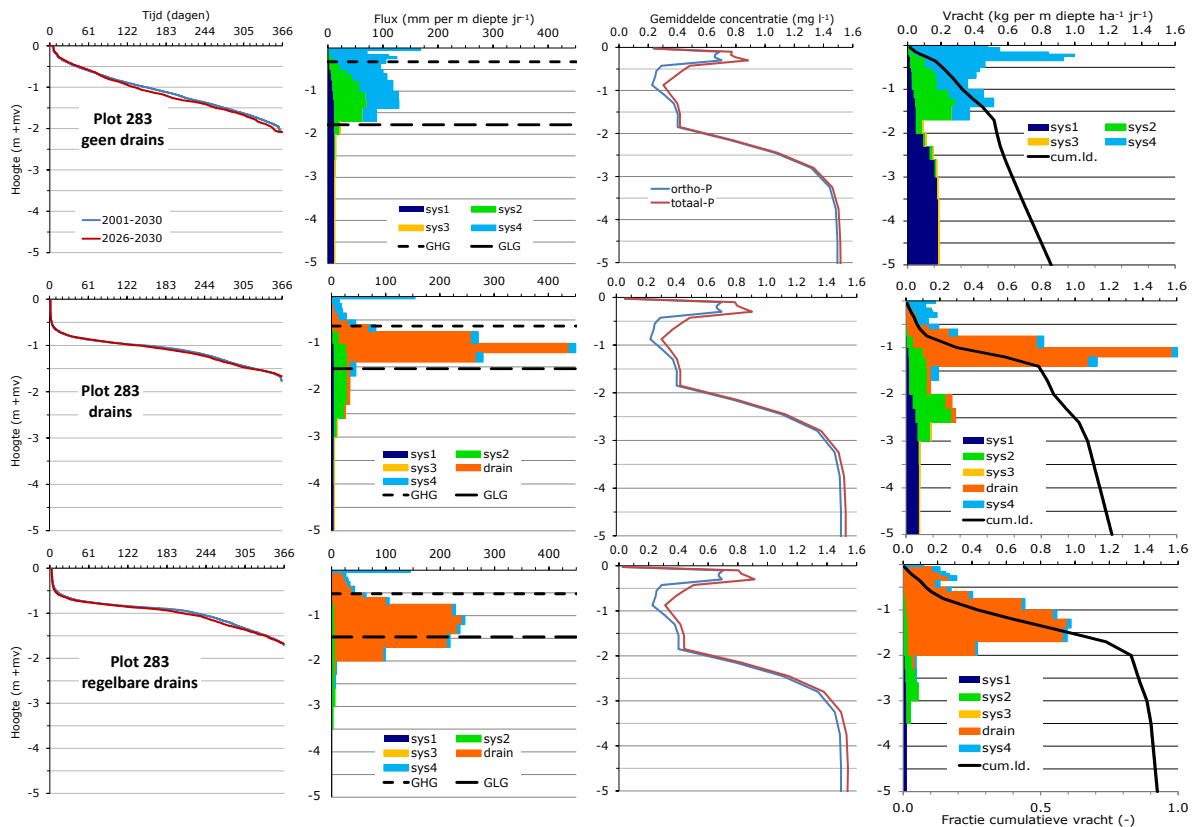


Zavel-/kleiplots

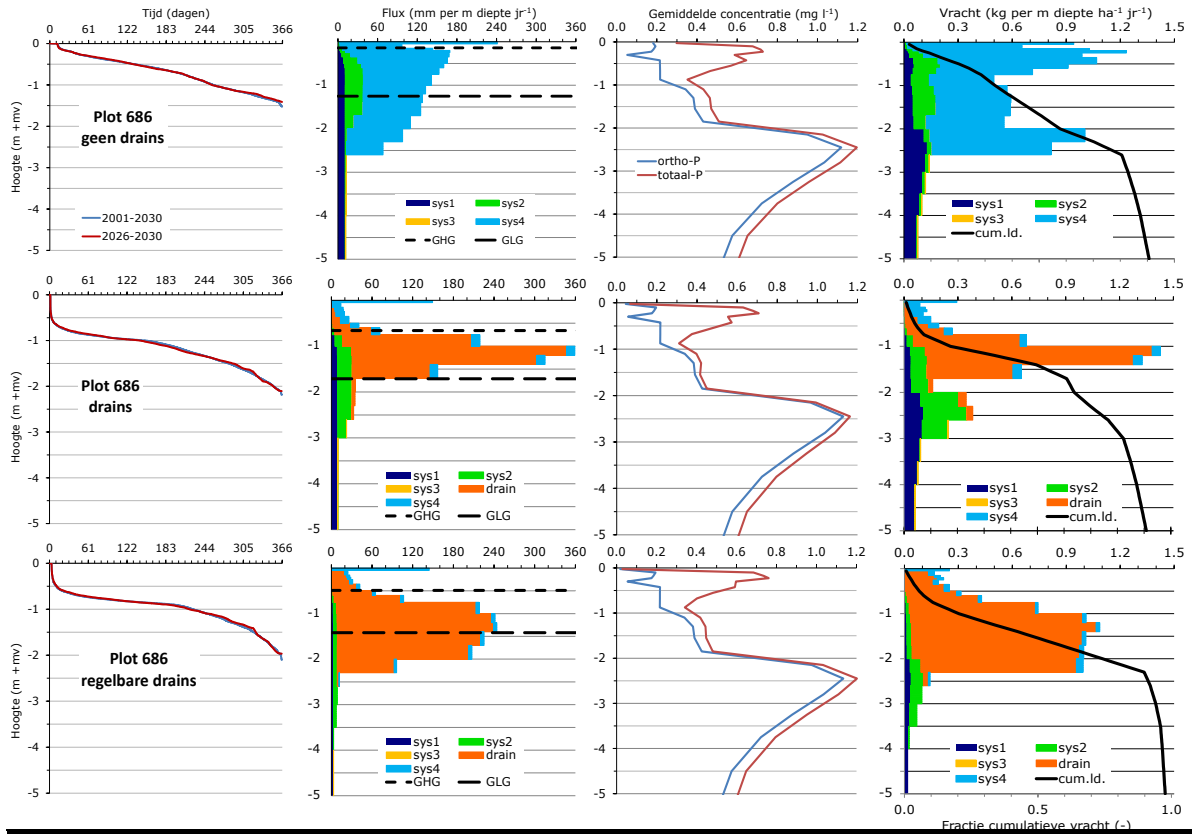
Plot: 232		Klei	Mais	Pw top 30 cm: 99	Percentiel: 100	Geen wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F onodr.	F drains
ongedraineerd	-107	-1,40	130	25	171	2,13	0	-	1	-
drains	-90	-1,18	100	67	180	1,48	-0,65	0	0,69	1
regelb. drains	-107	-1,41	120	49	157	1,38	-0,75	-0,10	0,65	0,93



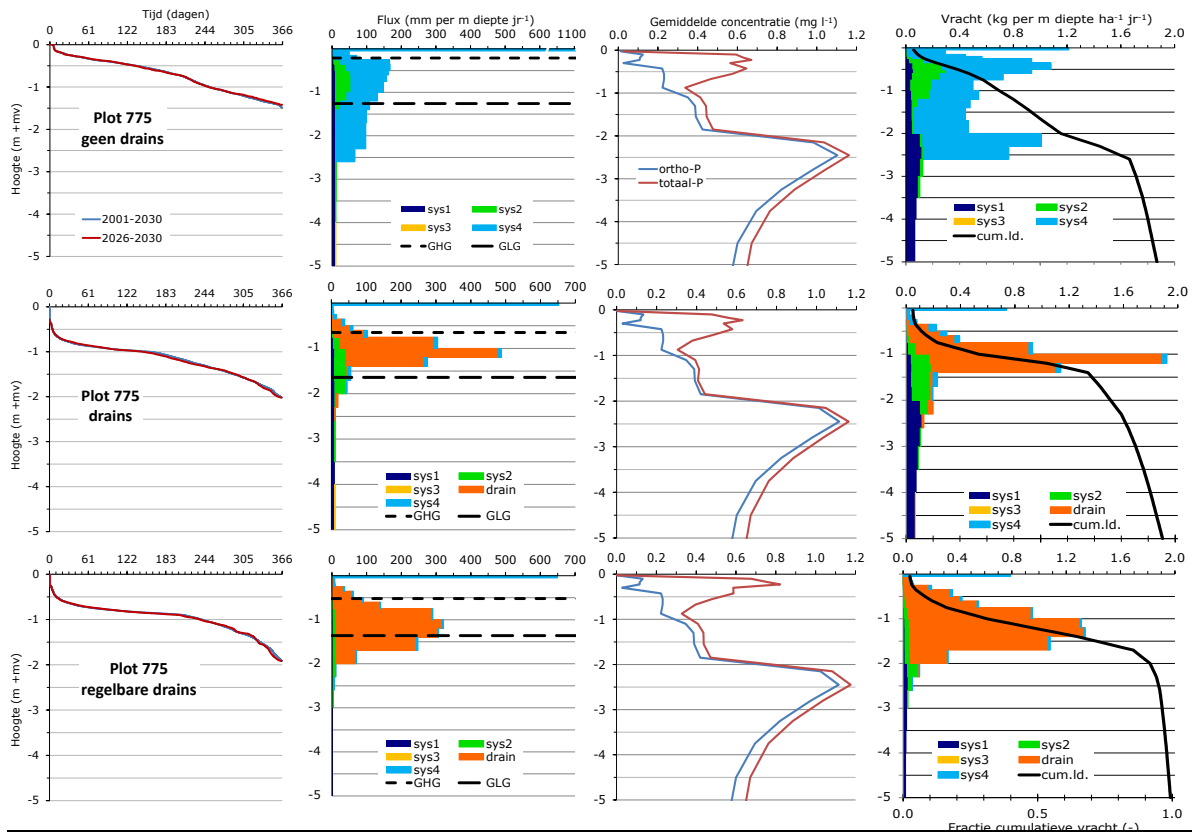
Plot: 283		Zavel	Aardappelen	Pw top 30 cm: 46	Percentiel: 95	Geen wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F onodr.	F drains
ongedraineerd	-138	-2,10	130	32	178	2,58	0	-	1	-
drains	-107	-1,36	100	63	154	1,81	-0,77	0	0,70	1
regelb. drains	-128	-1,94	120	52	147	1,41	-1,17	-0,40	0,55	0,78



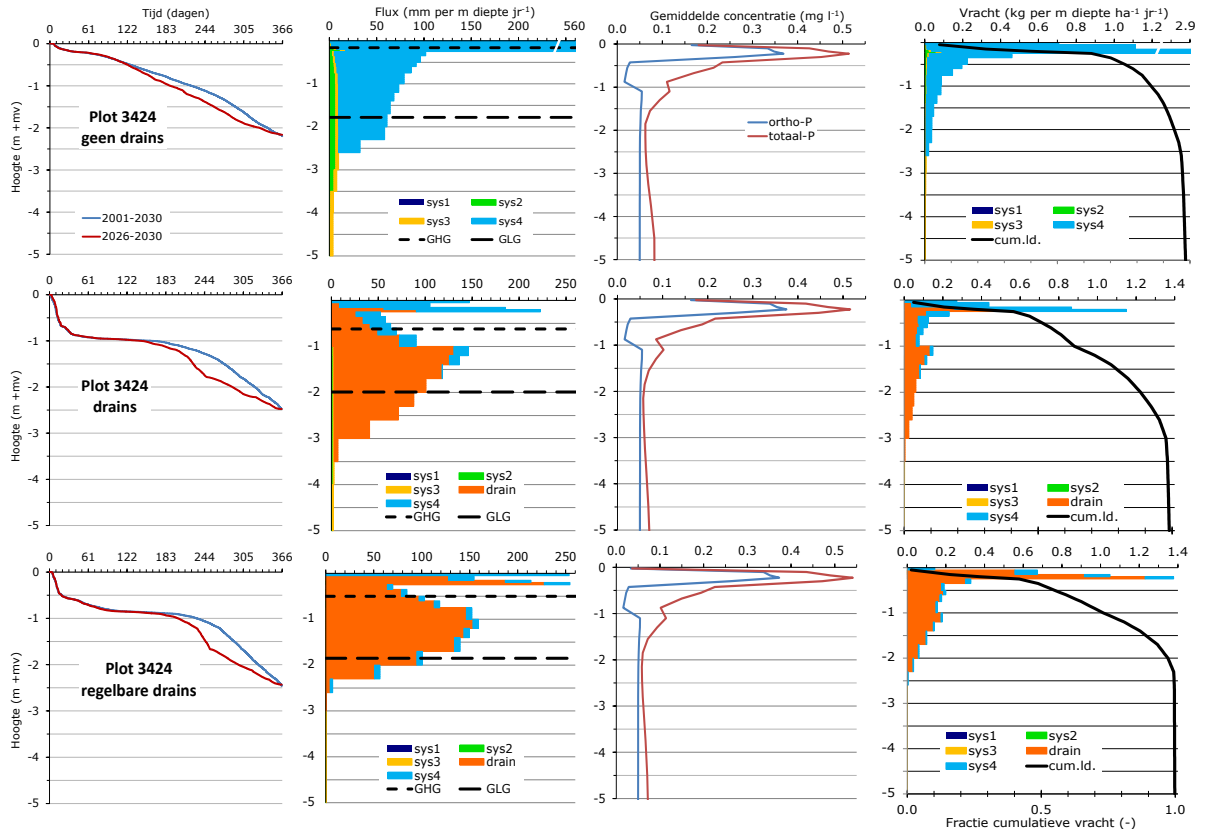
Plot: 686	Zavel	Gras	Pw top 30 cm: 33	Percentiel: 80	Wel wateraanvoer					
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	9	0,07	80	14	125	2,39	0	-	1	-
drains	18	0,13	100	66	171	1,70	-0,69	0	0,71	1
regelb. drains	14	0,10	120	49	142	1,89	-0,50	0,19	0,79	1,11



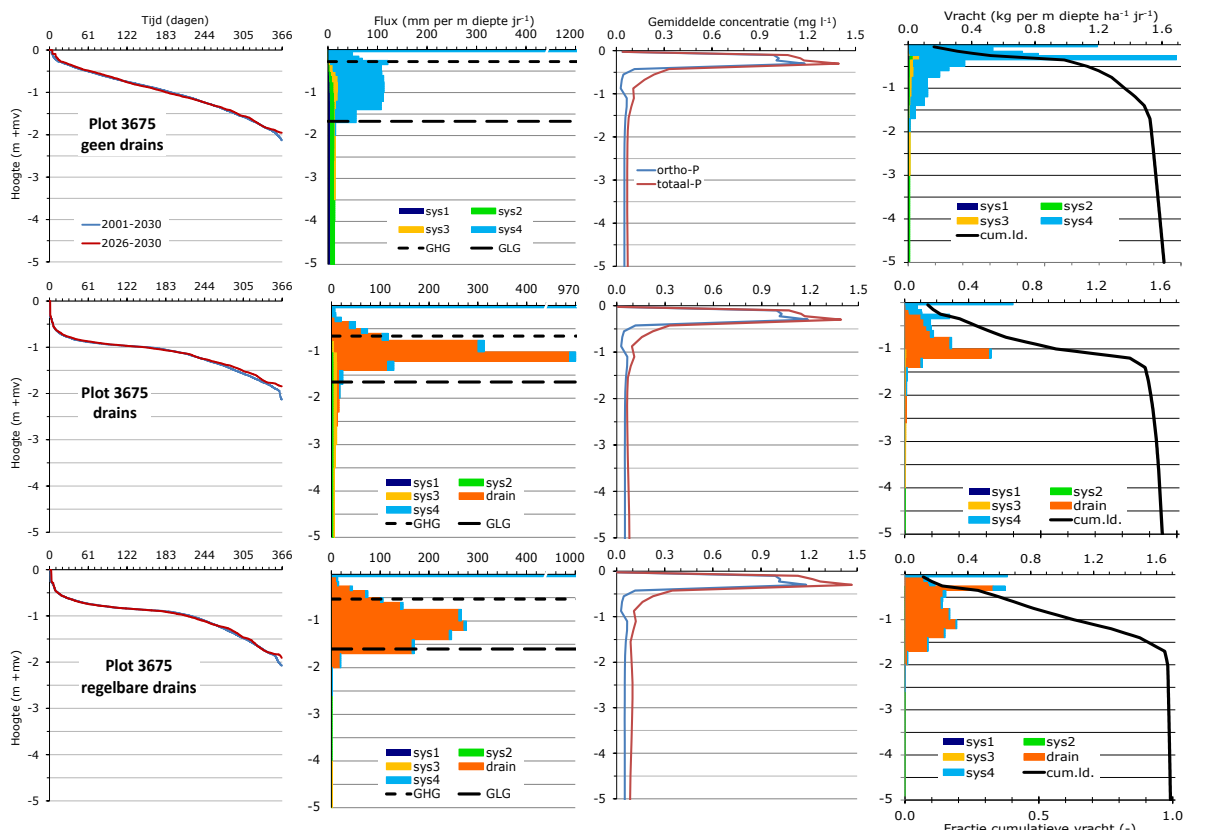
Plot: 775	Klei	Gras	Pw top 30 cm: 19	Percentiel: 48	Wel wateraanvoer					
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	7	0,04	80	20	148	2,07	0	-	1	-
drains	23	0,15	100	65	164	1,49	-0,58	0	0,72	1
regelb. drains	15	0,10	120	52	136	1,56	-0,51	0,07	0,75	1,05



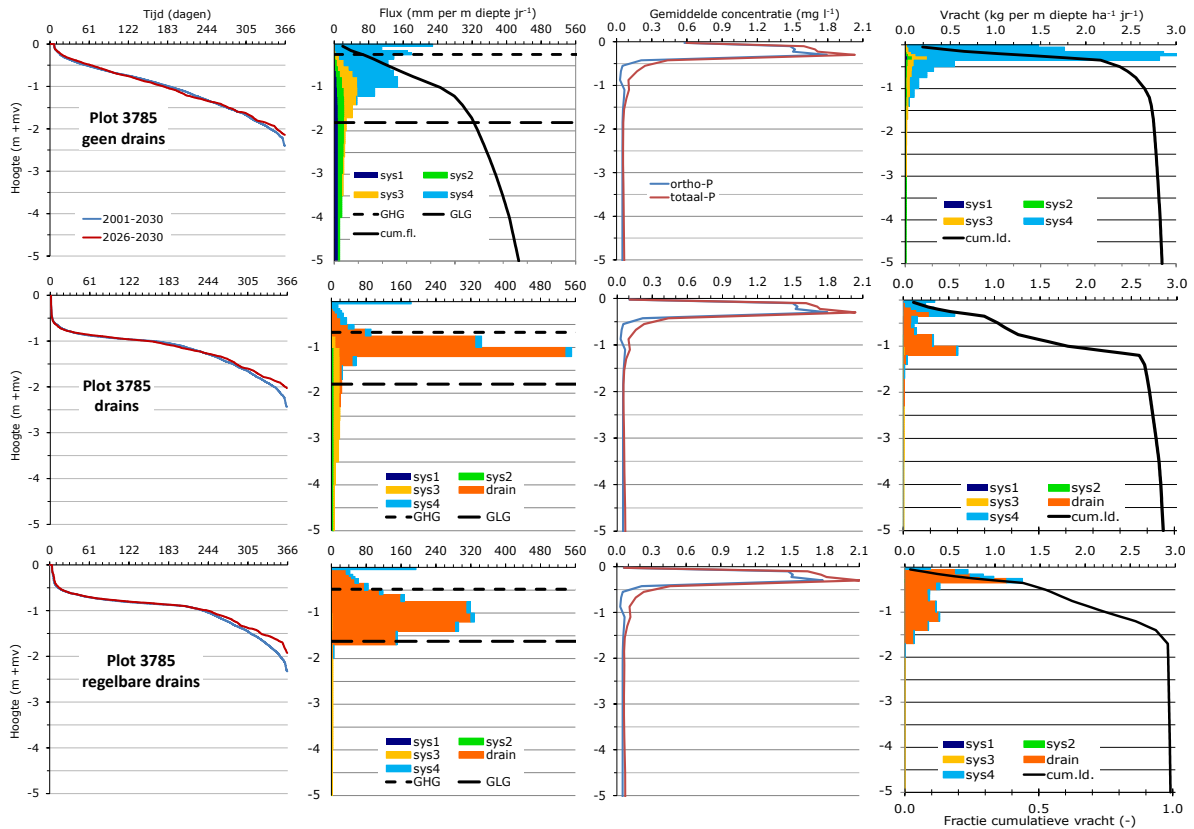
Plot: 3424		Klei	Mais	Pw top 30 cm: 30	Percentiel: 75	Wel wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	-161	-0,12	120	16	178	0,65	0	-	1	-
drains	-130	-0,09	100	62	199	0,39	-0,26	0	0,60	1
regelb. drains	-143	-0,10	120	50	185	0,47	-0,18	0,08	0,72	1,21



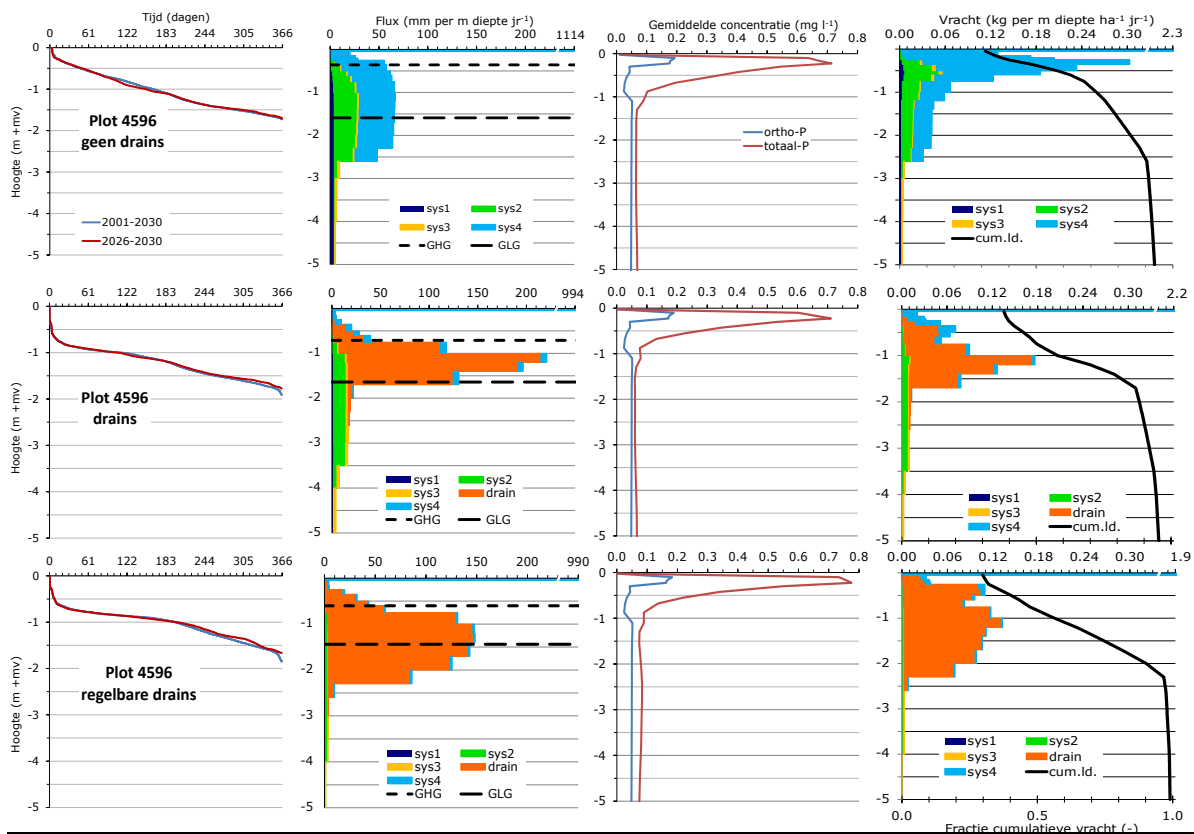
Plot: 3675		Klei	Akkerbouw	Pw top 30 cm: 79	Percentiel: 98	Geen wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	-131	-0,10	130/160	28	167	0,63	0	-	1	-
drains	-106	-0,09	100	66	166	0,38	-0,25	0	0,60	1
regelb. drains	-127	-0,10	120	53	160	0,47	-0,16	0,09	0,75	1,24



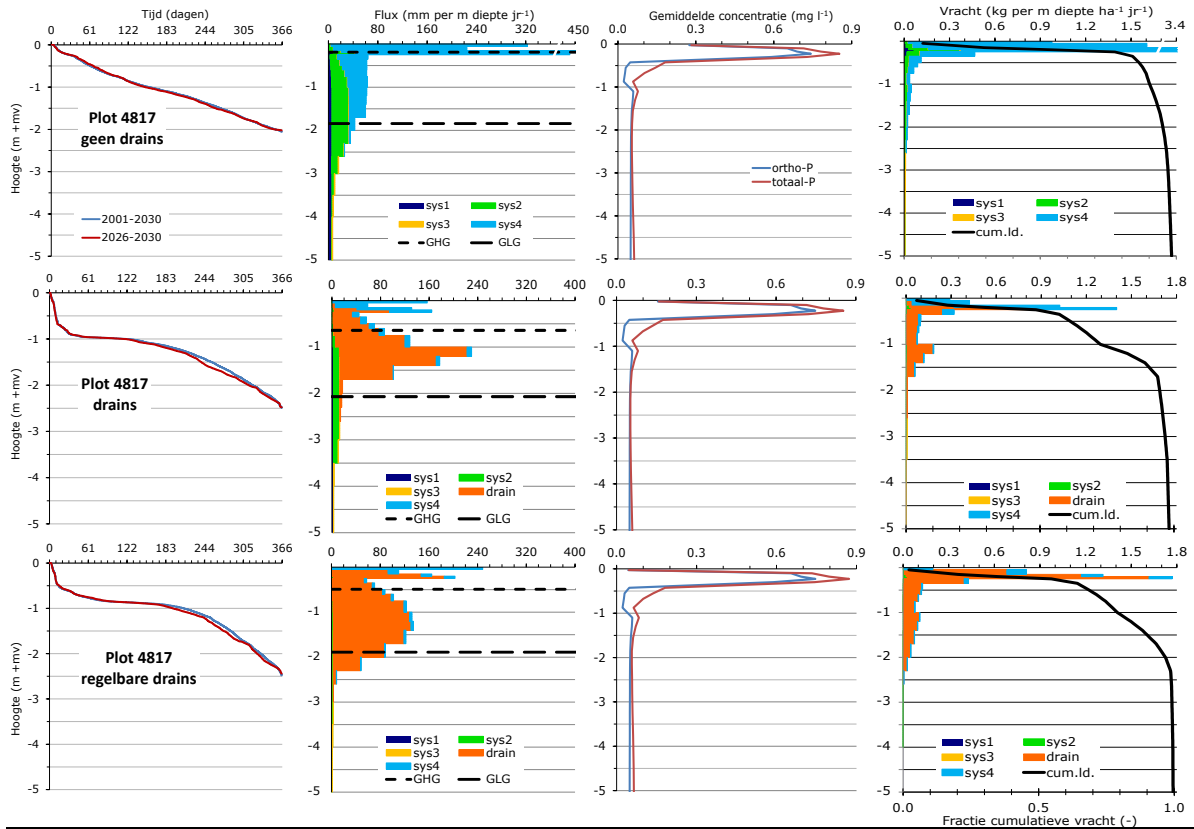
Plot: 3785		Klei	Akkerbouw	Pw top 30 cm: 95	Percentiel: 99	Geen wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	1	0,00	165/195	24	181	1,15	0	-	1	-
drains	1	0,00	100	67	180	0,45	-0,70	0	0,39	1
regelb. drains	1	0,00	120	48	162	0,69	-0,46	0,24	0,60	1,53



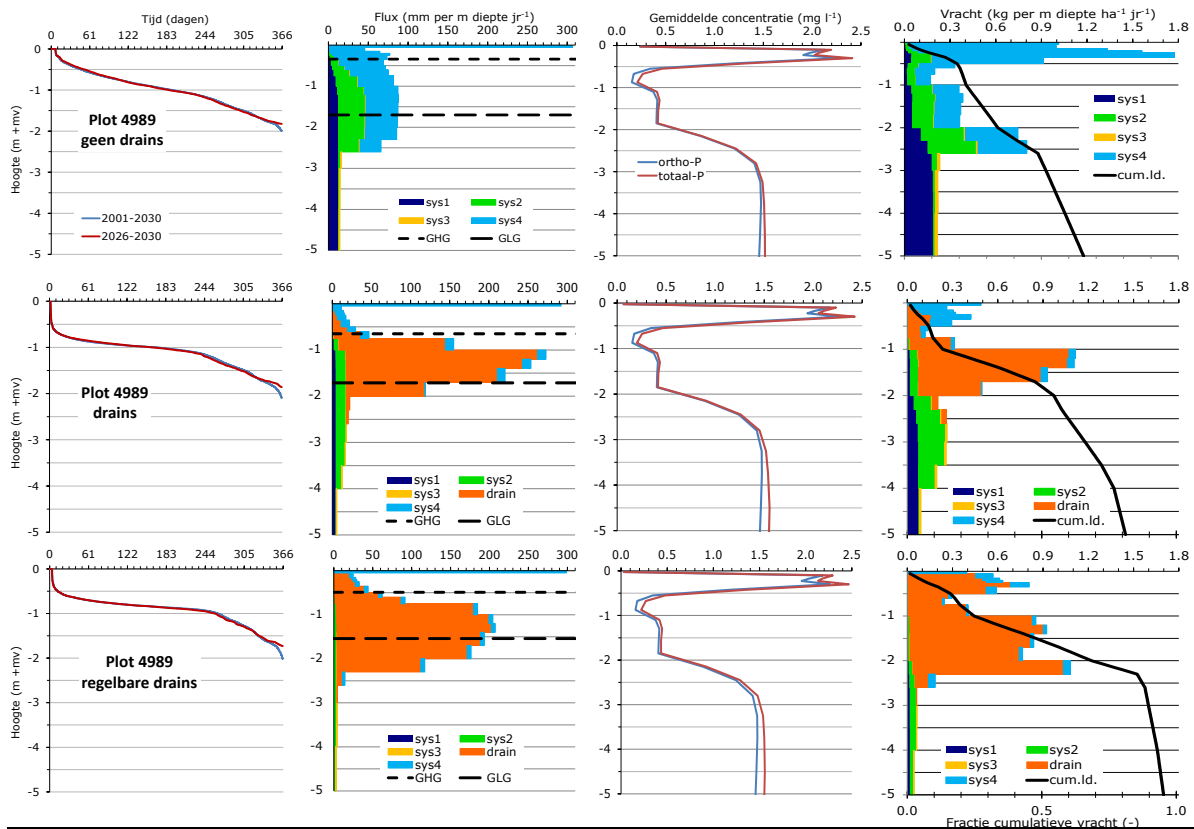
Plot: 4596		Klei	Gras	Pw top 30 cm: 10	Percentiel: 23	Wel wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	-99	-0,08	120	36	159	0,38	0	-	1	-
drains	-89	-0,07	100	71	164	0,28	-0,10	0	0,74	1
regelb. drains	-101	-0,07	120	60	144	0,32	-0,06	0,04	0,84	1,14



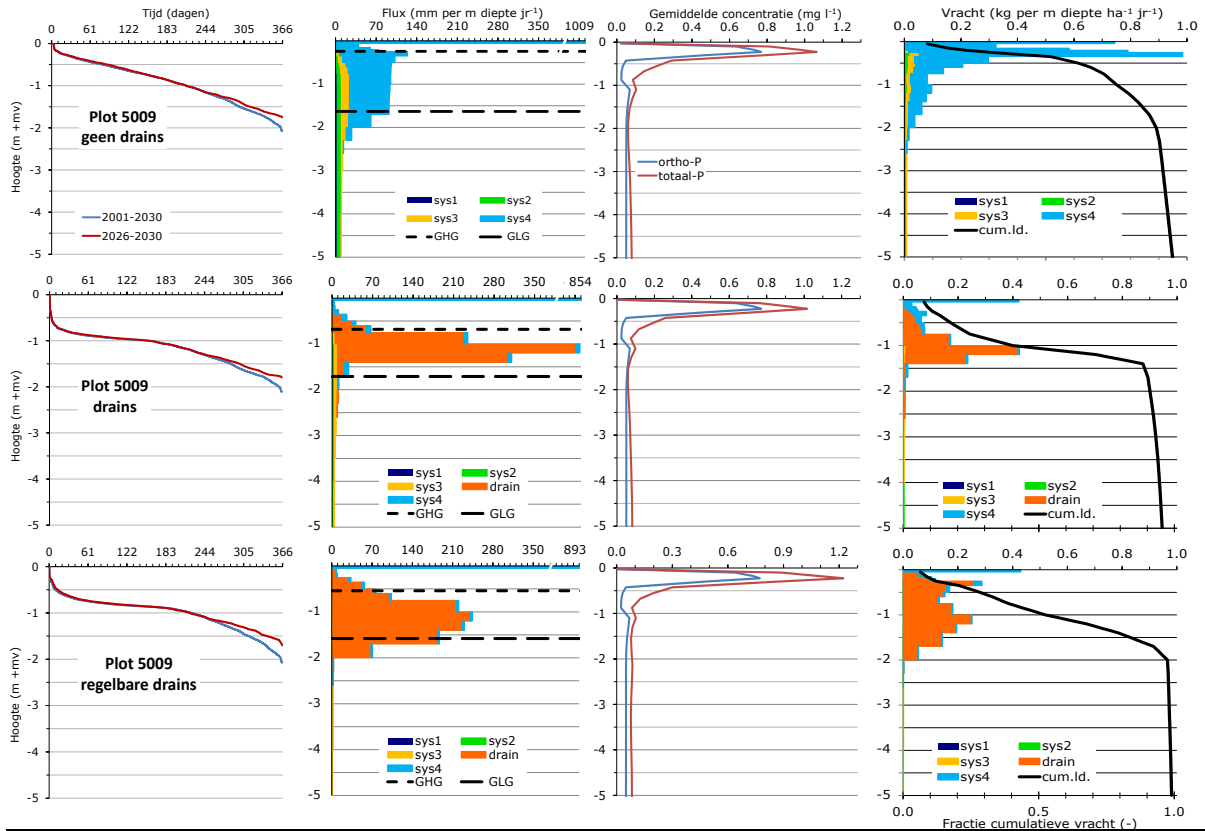
Plot: 4817		Klei	Mais	Pw top 30 cm: 59		Percentiel: 97		Geen wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	-179	-0,12		19	184	0,72	0	-	1	-
drains	-153	-0,10	100	64	207	0,37	-0,35	0	0,51	1
regelb. drains	-107	-1,41	120	49	189	0,45	-0,27	0,08	0,63	1,22



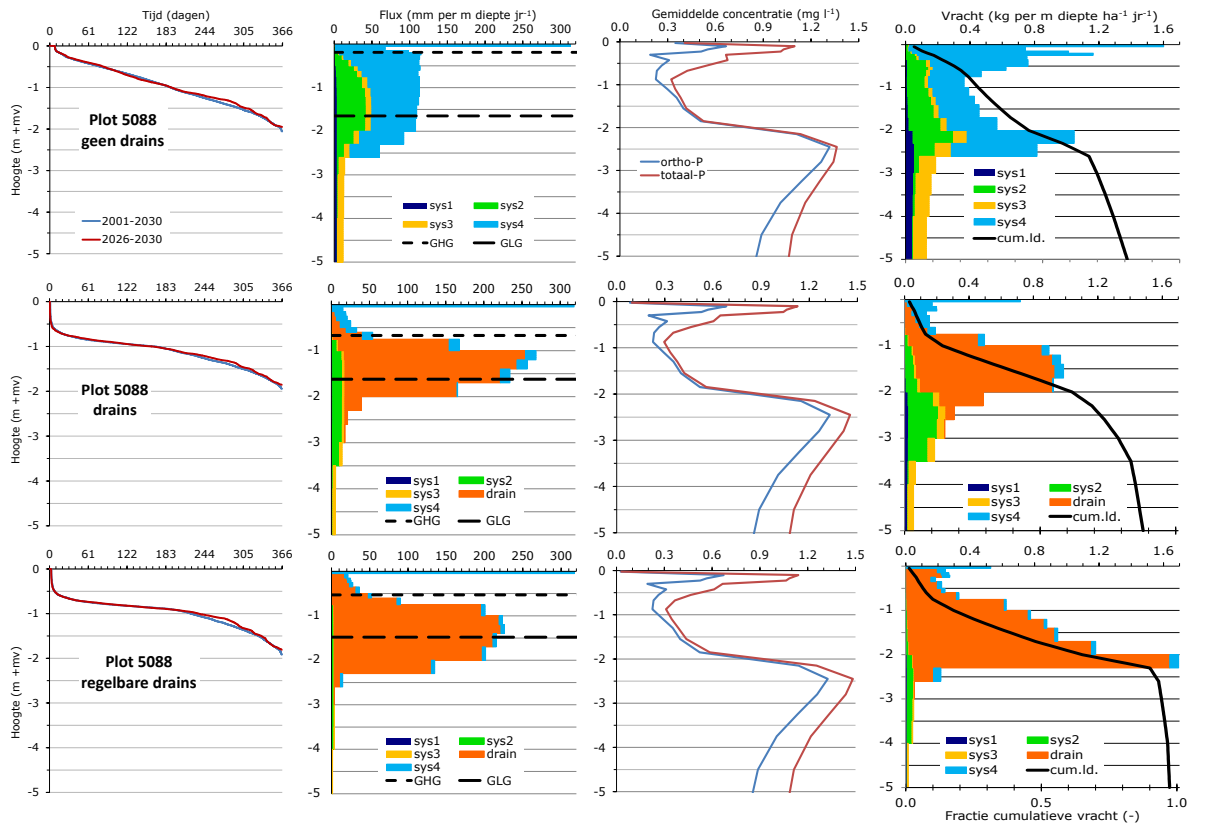
Plot: 4989		Klei	Mais	Pw top 30 cm: 108		Percentiel: 100		Wel wateraanvoer		
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	-45	-0,81	150	25	162	3,18	0	-	1	-
drains	-21	-0,47	100	65	171	2,11	-1,08	0	0,66	1
regelb. drains	-57	-0,88	120	49	154	1,92	-1,26	-0,19	0,60	0,91



Plot: 5009		Klei	Akkerbouw	Pw top 30 cm: 54	Percentiel: 97	Geen wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	-39	-0,03	90/120	25	168	0,46	0	-	1	-
drains	-7	-0,00	100	68	171	0,27	-0,19	0	0,59	1
regelb. drains	-29	-0,02	120	54	158	0,33	-0,13	0,06	0,72	1,22



Plot: 5088		Zavel	Gras	Pw top 30 cm: 50	Percentiel: 96	Wel wateraanvoer				
Scenario	Kwel water	Kwel P	Draindpt	GHG	GLG	P-belasting	Δ ongedr.	Δ drains	F ongrdr.	F drains
ongedraineerd	58	0,65	130	19	165	2,54	0	-	1	-
drains	58	0,65	100	67	162	1,87	-0,67	0	0,74	1
regelb. drains	57	0,64	120	53	148	2,03	-0,51	0,16	0,80	1,09





Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2588
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2588
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

