



Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit

Deel 5. Op data gebaseerd handelingsperspectief

Gerard H. Ros

Yuki Fujita

Referaat

Ros GH & Y Fujita (2021). Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 5. Op data gebaseerd handelingsperspectief. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.5, 37 pp.

Rapport in het kort

Voor alle landbouwpercelen in de Achterhoek is in kaart gebracht welke kansen er zijn om via bodembeheer, bemesting en waterbeheer te sturen op een duurzame landbouwproductie waarbij verliezen van stikstof en fosfor naar het watersysteem worden beperkt. Grote variatie tussen percelen als ook de relatie van perceelskenmerken en gemeten concentraties in grond- en oppervlaktewater laten zien dat er via vakmanschap nog veel te bereiken is om verliezen van nutriënten te beperken en tegelijk voldoende ruwvoer te produceren. Gebruik makend van een recent ontwikkelde systematiek om maatwerk mogelijk te maken, zijn per perceel de top-5 maatregelen in kaart gebracht. De belangrijkste maatregelen zijn precisiebemesting en maatregelen die het vasthouden en bufferen van water in de bodem vergroten.

© 2021 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Introductie	3
2 Materiaal & methode	5
2.1 Databronnen	5
2.2 Risico op af- en uitspoeling van N en P	6
2.3 Maatregelen voor schone water	7
2.4 Statistische methoden	8
3 Resultaten & Discussie	9
3.1 Algemene trends in oppervlaktewaterkwaliteit	9
3.2 Sturende factoren voor oppervlaktewaterkwaliteit	11
3.3 Algemene trends in ondiep grondwaterkwaliteit	14
3.4 Sturende factoren voor ondiep grondwaterkwaliteit	15
3.5 Koppeling met beheersmaatregelen	16
4 Conclusie	20
5 Literatuur	21
Bijlage I. Lijst van maatregelen	22
Bijlage II. Extra figuren waterkwaliteit	30
Bijlage III. Geselecteerde maatregelen	34

Samenvatting en conclusies

Om in de Achterhoek een verbeteringslag uit te voeren qua bodembeheer, bemesting en duurzame landbouwproductie is in 2019 het project 'Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit' gestart. Binnen dit project wordt ruimtelijk expliciet inzicht te geven in de trend, toestand en waardering van landbouwbodems om zo onderbouwd sturing te geven aan maatwerkoplossingen die ingezet kunnen worden om de bodem- en waterkwaliteit te verbeteren. Hierbij ligt er een focus op inzicht gebaseerd op metingen en praktijkexpertise, en om (inhoudelijke) gebiedskennis waarmee water-beheerders en agrarische ondernemers samen kunnen werken aan oplossingen die bijdragen aan schoon grond- en oppervlaktewater. Hiervoor wordt actief samengewerkt met de Vruchtbare Kringloop Achterhoek (VKA), het waterschap Rijn en IJssel en betrokken partners als ForFarmers, Groeikracht, Eurofins Agro, Vitens en provincie Gelderland.

Om gericht te sturen op een lagere belasting van grond- en oppervlaktewater met nutriënten is maatwerk cruciaal. De voorliggende studie brengt de ruimtelijke variatie in grond- en oppervlaktewaterkwaliteit in kaart voor regio de Achterhoek, en relateert dit aan perceelskenmerken die een sturende invloed hebben op de N- en P-emissie naar het watersysteem. Op basis van perceelskenmerken zijn kansen (en risico's) in beeld gebracht in relatie tot het vasthouden en bufferen van water, het vasthouden van fosfaat (voorkomen afspoeling) en stikstof en nitraat (voorkomen uitspoeling en afspoeling). Tussen de percelen van elk bedrijf (als ook tussen bedrijven) is nog aanzienlijke variatie zichtbaar, variatie dat verklaard kan worden door verschillen in management.

Dit betekent concreet dat het actuele management van de boer (met andere woorden: de bemesting op het juiste moment, met de juiste meststof, met de juiste gift en met de juiste toedieningstechniek) een belangrijke factor is die van invloed is op de ruimtelijke variatie in N-concentraties in het oppervlaktewater. Het vakmanschap van de boer rond de toediening van bemesting is hierbij belangrijker dan de hoogte van de N-bemesting. Dit geldt in mindere mate voor fosfor omdat de bodem zelf hier een belangrijke bufferende werking heeft als ook dat het management van het verleden lang doorwerkt. Maatregelen die sturen op een lagere P-concentratie in de bodemoplossing als ook op een betere infiltratie in de bodem zorgen voor een versterkt bufferend vermogen van de bodem. En verlagen daarmee de belasting van grond- en oppervlaktewater.

In de Achterhoek ligt er veel potentie om via agrarische maatregelen te sturen op een lagere belasting van grond- en oppervlaktewater. Per perceel zijn de top-5 meest geschikte en effectieve maatregelen in beeld gebracht. De meest voorkomende maatregelen zijn gerelateerd aan precisie-bemesting als ook aan het vasthouden en beschikbaar houden van water. Daaropvolgend zijn er maatregelen die ingrijpen op het transport van N en P naar het watersysteem. Maatregelen die ingrijpen op verbetering van de bodemkwaliteit komen *relatief* weinig voor. Welke maatregel waar effectief is, hangt samen met het landgebruik, de bodemkwaliteit en de geohydrologische kenmerken van het perceel.

1 Introductie

Aanleiding

De kwaliteit van het oppervlaktewater is afhankelijk van de stoffen die in het water zitten en van de aanwezige dieren en planten en enkele voor hen cruciale factoren. Om de beoogde ecologische doelen voor de waterkwaliteit te bereiken, werken waterbeheerders met verschillende partijen samen om de verliezen van nutriënten naar het watersysteem te verkleinen. Naast de inrichting van het watersysteem speelt de agrarische landgebruiker hierin een belangrijke rol. Zijn rol is cruciaal omdat op het boerenbedrijf, en de percelen daarvan, keuzes gemaakt worden die van invloed zijn op de bodemkwaliteit (fysisch, chemisch en biologisch) en indirect ook op de waterkwaliteit (Groenendijk et al., 2018). Een goede bodem is namelijk in staat om gewasgroei maximaal te ondersteunen, nutriënten en water vast te houden en de mogelijke verliezen naar het watersysteem te beperken.

Duurzaam waterbeheer in het landelijk gebied gaat onder meer om het nemen van de juiste maatregelen op de juiste plek om zo de waterkwaliteit te verbeteren. Maatwerk staat daarbij centraal. Er zijn in Nederland wel honderd maatregelen beschikbaar om ingezet te worden voor een betere waterkwaliteit (Verloop et al., 2018). Deze maatregelen kunnen worden onderverdeeld in vijf categorieën die ingrijpen op de nutriëntenkringloop op het agrarische bedrijf, de bodemkwaliteit, de routes van nutriënten of de vastlegging dan wel verwijdering ervan in het watersysteem (Velthof et al., 2018; Ros et al., 2018). Tegelijk wordt in elke studie opgemerkt dat het de effectiviteit van een maatregel afhangt van de locatie waar het wordt uitgevoerd en de manier waarop het wordt uitgevoerd. De eigenschappen van de bodem, het bouwplan en de bemestingspraktijk zijn hierbij drie belangrijke sturende factoren. Diverse studies concluderen dan ook dat regionaal maatwerk (de juiste keuze van welke maatregel op welke plek) noodzakelijk is om agrariërs te stimuleren tot landbouwpraktijken met minimale verliezen naar het oppervlaktewater (Verhoeven & Ros, 2018ab). Om per regio effectieve maatregelen te ontwikkelen kunnen drie methoden (apart of in samenhang) worden ingezet waarbij maatregelen worden geselecteerd op basis van i) inzicht in belangrijkste hotspots en hot moments, ii) expert-kennis van landbouwadviseurs en iii) modellen die de effectiviteit van maatregelen ruimtelijk in beeld brengen (Ros et al., 2019; Groenendijk et al., 2017).

Er zijn de afgelopen jaren goede resultaten geboekt in de Achterhoek bij deelnemers van de Vruchtbare Kringloop Achterhoek (Hilhorst & Plomp, 2018). Maar dat is niet voldoende en de boeren in het gebied (voor een groot deel verenigd in de Vruchtbare Kringloop Achterhoek) moeten en kunnen blijven werken aan verbetering. Belangrijk hiervoor is dat de juiste kennis aanwezig is over i) hoe de bodemkwaliteit is, ii) hoe deze samenhangt met de uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater, en iii) hoe er perceelsgericht gestuurd kan worden op een vitale bodem en een duurzame landbouwproductie. Heel belangrijk daarbij is dat op bedrijfs- en perceelsniveau de huidige toestand als het mogelijke handelingsperspectief inzichtelijk wordt gemaakt (Verhoeven & Ros, 2018a). Daarnaast kan kennis en bijbehorende meetgegevens ook ingezet worden om goed vakmanschap te borgen en te belonen. Voor verantwoording en borging zijn betrouwbare en transparante monitoring een vereiste. Dit kan alleen als bestaande informatie bij het waterschap en op de boerderij bij elkaar worden gebracht. Gekoppeld aan proceskennis hoe deze nutriënten zich bewegen en gedragen in de bodem én hoe deze beïnvloedbaar

zijn door agrarisch management, alleen dan is het mogelijk om via maatwerk vooruitgang te boeken en een reductie van nutriënten emissie te realiseren.

Doelstelling

Om in de Achterhoek een verbeterslag uit te voeren qua bodembeheer, bemesting en duurzame landbouwproductie is in 2019 het project 'Locatie Specifiek Maatwerk in Bodem- en Waterbeheer' gestart. Binnen dit project wordt ruimtelijk expliciet inzicht te geven in de trend, toestand en waardering van landbouwbodems om zo onderbouwd sturing te geven aan maatwerkoplossingen die ingezet kunnen worden om de waterkwaliteit te verbeteren. Hierbij ligt er een focus op inzicht gebaseerd op metingen en praktijkexpertise, en om (inhoudelijke) gebiedskennis waarmee waterbeheerders en agrarische ondernemers samen kunnen werken aan oplossingen die bijdragen aan schoon grond- en oppervlaktewater. Data, kennis en praktijkervaring wordt zo ingezet in effectieve maatregelen waarmee gestuurd kan worden op een mooie gewasopbrengst, een effectieve bemestingspraktijk en weinig uitspoeling. Hiervoor wordt actief samengewerkt met de Vruchtbare Kringloop Achterhoek, het waterschap Rijn en IJssel en betrokken partners als ForFarmers, Groeikracht, Eurofins Agro, Vitens en provincie Gelderland.

Dit rapport vormt het laatste deel in een serie van vijf publicaties waarin de resultaten van dit project worden beschreven. Oorspronkelijk was het doel van deze publicatie om op basis van innovatieve statistische methoden in kaart te brengen hoe perceelskenmerken en het management invloed uitoefenen op de ruimtelijke variatie in stikstof en fosforconcentraties in het oppervlaktewater dan wel nitraatconcentraties in het ondiepe grondwater. Eerdere studies voor andere regio's binnen Nederland (Ros & Verweij, 2019ab) hebben laten zien dat het mogelijk is om zo gebiedsgericht inzicht te geven in de belangrijkste sturende factoren die verantwoordelijk zijn voor het verlies van nutriënten als ook de maatregelen die boeren kunnen nemen voor een duurzame ruwvoerteelt. Gezien recente ontwikkelingen vanuit de Kennisimpuls Waterkwaliteit (Groenendijk et al., 2021) als ook het ontwikkelde BedrijfsBodem-WaterPlan (Ros et al., 2020) is in overleg met betrokken partijen gekozen om de recent ontwikkelde methodiek van het BBWP te gebruiken om inzicht te geven in maatwerkoplossingen die passen in de Achterhoek. Dit deel geeft daarmee concreet inzicht in het handelingsperspectief voor maatregelen die agrarische ondernemers kunnen nemen om hun gewasproductie te verhogen en de waterkwaliteit te verbeteren.

Andere delen van het rapport geven inzicht in:

- de ruimtelijke variatie in landgebruik, uitspoelingsgevoeligheid van teelten en de huidige en gewenste bodemkwaliteit (chemie, fysica, biologie) voor de landbouwpercelen in de Achterhoek (Deel I).
- de impact van bodem op ruwvoerproductie en mineralenbenutting (Deel II).
- de ontwikkeling van de bodemkwaliteit van de laatste decennia met een focus op organische stof en fosfaat (Deel III).
- de impact en relevantie van duurzaam bodembeheer en bemestingspraktijk van deelnemers van de VKA. Zijn er verschillen tussen deze bedrijven, tussen deelnemers en ondernemers die geen onderdeel zijn van de VKA, wat zijn de oorzaken ervan en biedt dit inzicht kansen voor de effectieve inzet en uitrol van maatregelen in het beheergebied? (Deel IV).

2 Materiaal & methode

2.1 Databronnen

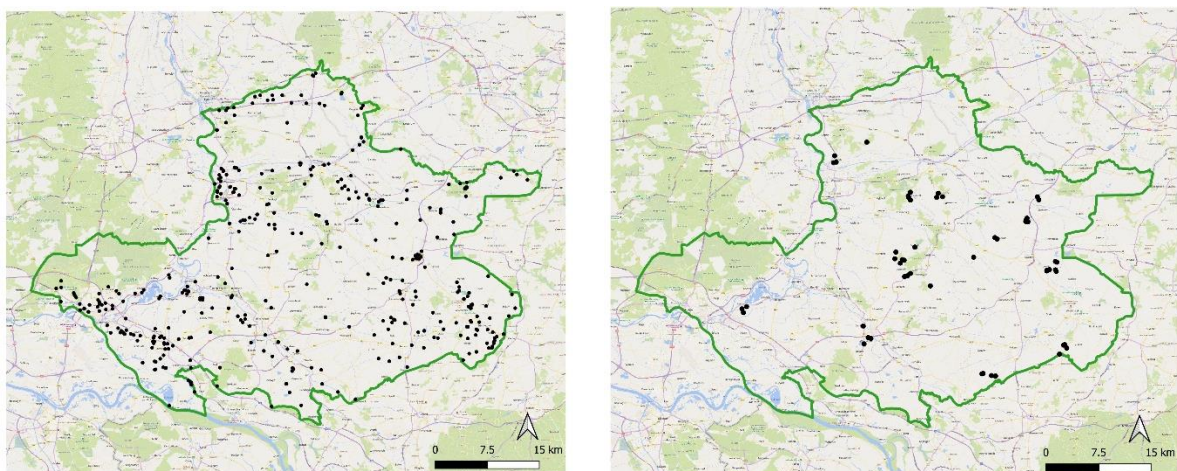
Voor het in beeld brengen van het handelingsperspectief voor agrarische maatregelen die bijdragen aan zowel een duurzame ruwvoerteelt als ook de kwaliteit van het grond- en oppervlaktwater, wordt gebruik gemaakt van diverse databronnen. Deze worden hieronder kort beschreven.

Bemesting and bodemeigenschappen

De bemestingsniveau van elk perceel is in kaart gebracht met het mestverdelingsinstrumentarium INITIATOR (voor details zie Ros et al., 2021). Daarnaast zijn een aantal bodemparameters van percelen gebruikt die routinematig via landbouwkundig onderzoek worden gemeten. Hierbij is gebruik gemaakt van zowel de metingen als de landbouwkundige beoordeling van de metingen conform de systematiek van de Open Bodemindex (Ros, 2019; Fujita & Ros, 2021).

Kwaliteit van het oppervlaktewater

De gegevens over de kwaliteit van het oppervlaktewater zijn opgehaald van het Waterkwaliteitsportaal van Informatiehuis Water (www.waterkwaliteitsportaal.nl). Binnen het WRIJ-gebied zijn metingen beschikbaar van 526 meetlocaties (Figuur 2-1 links). Voor de huidige analyse maken we gebruik van metingen van N-totaal (i.e. $\text{NO}_x + \text{NH}_4 + \text{opgeloste organische N}$), PO_4 en P-totaal voor de periode 2010 tot en met 2019. Het aantal meetpunten met ten minste één geldige meting was 521 punten voor N-totaal, 524 punten voor PO_4 en 291 meetpunten voor P-totaal. De concentraties van P-totaal en PO_4 zijn significant gecorreleerd (rangcorrelatiecoëfficiënt 0,4; $p < 0,001$; $n = 289$) (zie Figuur 5-1 in Bijlage II). De gemiddelde totale P-concentratie bedraagt $0,075 \text{ mg P L}^{-1}$, wat 2,5 maal de gemiddelde PO_4 -concentratie ($0,03 \text{ mg P L}^{-1}$) is.



Figuur 2-1. Meetlocaties van oppervlaktewater (links; $n = 526$) en ondiep grondwater (rechts; $n = 57$)

Vóór de analyse zijn uitbijters uitgesloten. De uitbijters zijn geïdentificeerd als die monsters die niet binnen het bereik tussen $Q1 - 3 \cdot \text{IQR}$ en $Q3 + 3 \cdot \text{IQR}$ vallen. $Q1$, $Q3$, en IQR zijn berekend met box-cox

getransformeerde waarden omdat de verdeling van de concentraties niet normaal verdeeld was. Vervolgens zijn voor elke locatie de mediaanwaarden van zomerperiode (maart t/m september) tussen 2010 en 2019 berekend. Deze zomergemiddelde concentraties zijn gebruikt in de huidige studie.

Kwaliteit van ondiep grondwater

In 2018 en 2019 zijn ondiepe grondwatermonsters genomen in het midden van 57 percelen van 14 VKA-bedrijven (Figuur 2-1 rechts). De diepte van bemonstering varieerde: het monster werd genomen rond de bovenste grondwaterspiegel. In het grondwater zijn NH_4 en NO_3 -concentraties (mg L^{-1}) gemeten. Voor de analyse zijn gemiddelde waarde van 2018 en 2019 gebruikt.

2.2 Risico op af- en uitspoeling van N en P

Voor elk perceel is het risico op uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat in kaart gebracht door gebruik te maken van een aantal gemeten en karteerbare perceelseigenschappen. Voor het gedrag van fosfaat speelt de buffercapaciteit van de bodem (de mate waarin fosfaat wordt gebonden en weer vrijgelaten) als ook de P-concentratie in de bodemoplossing een belangrijke rol. Een indicator voor de binding van fosfaat aan de bodem en de buffercapaciteit is het Al- en Fe-gehalte. Voor de nog beschikbare buffercapaciteit moet rekening worden gehouden met de hoeveelheid fosfaat die inmiddels is geadsorbeerd. Met deze perceelskenmerken kan het bronrisico per perceel in kaart worden gebracht. Voor deze studie maken we daarbij gebruik van de volgende metingen:

- P-retentie via hoeveelheid Alox en Feox (mmol+ kg^{-1});
- Direct beschikbare hoeveelheid P in bodemoplossing (mg P kg^{-1});
- Fosfaatverzadigingsgraad (%);

De oppervlakte- en oppervlakkige afvoerroutes van het water leveren een relatief grote bijdrage aan de fosfaatbelasting vanuit de landbouwbodem naar het oppervlaktewater. Oppervlakkige afvoer gaat via de bodem naar maaiveldgreppels terwijl oppervlakteafvoer over het maaiveld stroomt. Omdat deze praktisch niet te scheiden zijn, worden ze in deze studie samen genomen. Het risico op oppervlakkige afvoer wordt in beeld gebracht door lage plekken in percelen te identificeren en vervolgens na te gaan of deze plekken in contact staan met waterlopen. Eerst is hiervoor vastgesteld of een perceel grenst aan een waterloop; hiervoor wordt in kaart gebracht welk deel van het perceel grenst aan het oppervlaktewater conform de methodiek beschreven in Van Gerven et al. (2018). Van elk perceel is vervolgens met behulp van AHN (2 x 2 m grid) de hoogteverdeling vastgesteld. De grids die lager liggen dan het 15-percentiel niveau noemen we lage plekken (conform van Hattum et al., 2011). De keuze voor het 15-percentiel komt voort uit de ervaring dat daarmee net maaiveldgreppels zijn te onderscheiden. Via een analyse van het voorkomen van deze lage plekken is in kaart gebracht in welke mate deze lage plekken in contact staan met de nabijgelegen watergang. Het risico neemt toe als het areaal lage plekken dat in contact staat met de watergang groter is. Het berekende risico is niet zozeer geschikt voor een kwantitatieve schatting van oppervlakkige afvoer, maar kan wel gebruikt worden om percelen onderling met elkaar te vergelijken. Omdat oppervlakkige afvoer vooral in de winter optreedt kan de score worden bepaald naar alle waterlopen tezamen (greppels en overig). Aanvullend houden we daarbij rekening met het voorkomen van ondergrondverdichting. Percelen die sterk zijn verdicht hebben een groter risico op oppervlakkige afvoer van water omdat de infiltratie van water wordt belemmerd.

Om het risico op oppervlakkige afvoer kwantitatief in beeld te brengen, maken we dus gebruik van de volgende perceelskenmerken:

- Natte omtrek perceel: dat deel van het perceel dat grenst aan het oppervlaktewater (Van Gerven et al., 2018);
- Risico op oppervlakkige afvoer op basis van de morfologie van het perceel en de connectiviteit met het oppervlaktewater (van Hattum et al., 2011), en;

- Risico op bodemverdichting (Van den Akker, 2012).

Op basis van de hierboven beschreven metingen en perceelskenmerken is voor elk perceel een geïntegreerde risico-index ontwikkeld waarmee het risico in kaart wordt gebracht voor de N- en P-verliezen die optreden richting het oppervlaktewater (Ros et al., 2020). Allereerst worden percelen gerankschikt op basis van de metingen en perceelskenmerken die gerelateerd zijn aan het risico op uit- en afspoeling. Deze gerankschikte metingen en kenmerken noemen we indicatoren. Zodra deze relatieve ranking bekend is voor elk perceel, worden deze geaggregeerd in risico's voor afspoeling van stikstof en fosfor. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een gewogen gemiddelde van de bodem-indicatoren, waarbij indicatoren met een hoog risico sterker meetellen dan indicatoren met een laag risico. Welke indicatoren gebruikt worden, wordt hieronder toegelicht.

- Het risico op afspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater is een gewogen gemiddelde van de indicatoren oppervlakkige afspoeling, de natte omtrek van het perceel, de grondwatertrap, het N-gehalte in de bouwvoor en het risico op ondergrondverdichting.
- Het risico op afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater is een gewogen gemiddelde van de indicatoren oppervlakkige afspoeling, de natte omtrek van het perceel, de grondwatertrap, de P-retentie, de direct beschikbare hoeveelheid fosfaat, de P-verzadigingsgraad en het risico op ondergrondverdichting.
- Het risico op uitspoeling van nitraat naar het grondwater is een gewogen gemiddelde van de indicatoren uitspoelingsrisico (afhankelijk van grondsoort, landgebruik en grondwatertrap) en het N-leverend vermogen.

Het overzicht van de risicoindicatoren is weergegeven in Tabel 2 van Appendix IV.

2.3 Maatregelen voor schone water

Voor elk perceel is inzicht nodig in de mogelijkheden die er op dat perceel zijn om bij te dragen aan een robuust bodem- en watersysteem. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het Kansenskaart concept zoals dat in 2018 is ontwikkeld door Verhoeven en Ros (2018ab), en zoals dat in diverse studies in Nederland al is toegepast. Concreet wordt op basis van generieke en agrarische perceelkenmerken (afgeleid van maaiveldhoogte, grondsoort, omliggende waterlopen, grondwaterdynamiek en nutriëntentoestand) in beeld gebracht wat de eventuele knelpunten en kansen zijn voor:

- het bufferen van N en P om ondiepe uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater te voorkomen;
- het bufferen van nitraat om uitspoeling naar het grondwater te voorkomen,
- het verhogen van de benutting van (toegevoegde) nutriënten in de bodem, en
- het verhogen van het watervasthoudend vermogen als ook de waterbenutting.

Om een agrarisch bedrijf dan wel de adviseur maximaal te ondersteunen, is door de kennisinstellingen in Nederland in 2020 een rekensystematiek ontwikkeld waarbij de gebruiker inzicht krijgt in de best passende maatregelen op zijn / haar bedrijf. Deze rekensystematiek houdt rekening met de perceelskenmerken (op basis van de hierboven beschreven risicoindicatoren), de effectiviteit en inpasbaarheid van de maatregelen, als ook de aanwezige gebiedsopgave voor zowel waterkwantiteit en -kwaliteit als ook het landbouwkundig functioneren. Of maatregelen nodig zijn, hangt namelijk samen met de aanwezige gebiedsopgave. De gebiedsopgave voor de Nitraatrichtlijn wordt bepaald door het risico op nitraatuitspoeling naar het grondwater. Vooralsnog wordt deze opgave versterkt toegekend aan de aanwezige grondwaterbeschermingsgebieden. Voor de gebiedsopgave voor KRW-doelen kan gebruik worden gemaakt van landelijke analyses met de KRW-ECHO of STONE-systematiek. Voor de huidige analyse wordt hiervan echter geen gebruik gemaakt; in elk stroomgebied van waterschap Rijn en IJssel ligt derhalve een identieke opgave om de N- en P-belasting van het oppervlaktewater te verlagen. Dit betekent ook dat de gebruikte methodiek meer inzicht geeft in de potentie om via agrarische

maatregelen de belasting te verlagen dan dat er ook daadwerkelijk aansluiting is gezocht bij de actuele noodzaak daarvoor. Dit kan in een later stadium eenvoudig worden toegepast via het gebruik van het BedrijfsBodemWaterPlan.

De effectiviteit van maatregelen is bepaald op basis van de kennis ontwikkeld binnen tientallen projecten die in de afgelopen jaren zijn uitgevoerd op het grensvlak van bodem en water, en is concreet gemaakt via de Kennisimpuls Waterkwaliteit. Daarbij is voortgebouwd op het initiatief van de Maatregel-Op-De-Kaart (Van Gerven et al., 2019), waarbij voor alle maatregelen op de BOOT-lijst (zie bijv., Verloop et al., 2018) een semi-kwantitatieve inschatting is gegeven van de effectiviteit en toepasbaarheidsrange van maatregelen. Dit is gebeurd voor de effectiviteit om stikstof en fosfor in de bodem te bufferen en zo de uit- en afspoeling te verminderen. Deze lijst is uitgebreid met de huidige maatregelen uit het BedrijfsWaterPlan zoals dat in Zuid-Nederland werd gebruikt om extra water vast te houden in de bodem om daarmee de grondwateraanvulling te verhogen (Ros et al., 2020). Voor alle maatregelen is aanvullend in beeld gebracht of en zo ja hoe de mineralenbenutting als ook het watervasthoudend en -bufferend vermogen van een perceel kan worden vergroot. Ook is vastgesteld onder welke omstandigheden deze wel of niet toepasbaar zijn, afhankelijk van grondsoort, landgebruik, drainagesysteem en grondwatertrap. Zie Tabel 1 in Bijlage I voor de lijst van maatregelen die in deze studie zijn opgenomen.

Voor elk perceel in de Achterhoek is vervolgens bepaald welke maatregelen het meest effectief zijn om de nitraatuitspoeling naar het grondwater als ook de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater te verlagen. Hierbij is voor elk perceel de top-5 geselecteerd.

2.4 Statistische methoden

Relatie tussen oppervlaktewater kwaliteit en perceelseigenschappen

Voor elk meetpunt waarin nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater zijn gemeten werden de aanwezige landbouwpercelen binnen een straal van 500 m geselecteerd als belangrijkste percelen die van invloed zijn op de kwaliteit van het oppervlaktewater op dat meetpunt. Voor elk meetpunt is vervolgens het gemiddelde risico op afspoeling van al deze percelen berekend als ook de som van al de risico's; beide geven een maat voor het totale risico in het gebied dat om het meetpunt heen ligt. Als er rond een meetpunt geen percelen liggen binnen een straal van 500 m, dan is de mediaanwaarde niet berekend, maar de som is berekend als 0. Voor de bemesting wordt alleen de gemiddelde overschot van stikstof en fosfaat berekend voor de percelen die binnen een straal van 500 m om het meetpunt liggen. De relatie tussen de concentratie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater en de mediaanwaarden van de omliggende percelen zijn getest met Spearman's rangcorrelatie test.

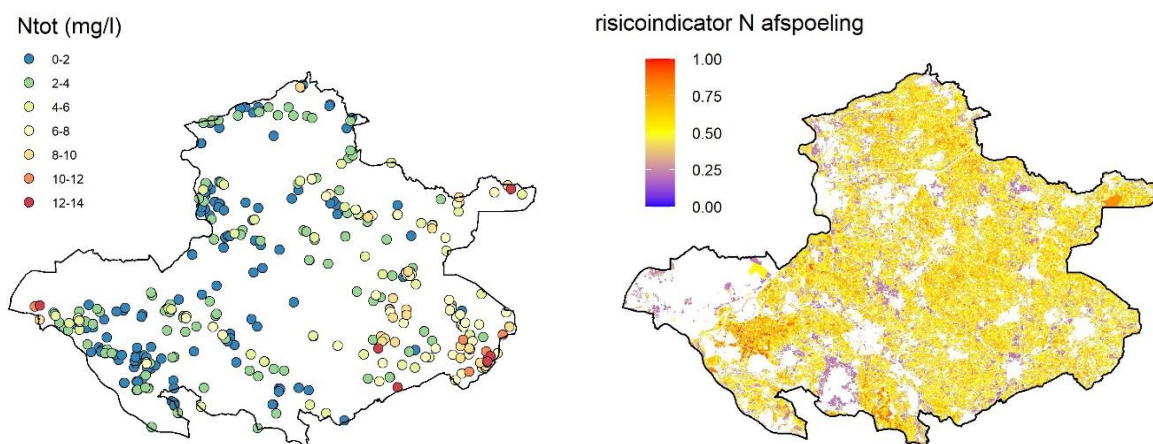
Relatie tussen ondiep grondwaterkwaliteit en perceelseigenschappen

Voor elk meetpunt van de grondwater werd de NO₃-concentratie vergeleken met de kenmerken van het perceel met Spearman's rangcorrelatie test.

3 Resultaten & Discussie

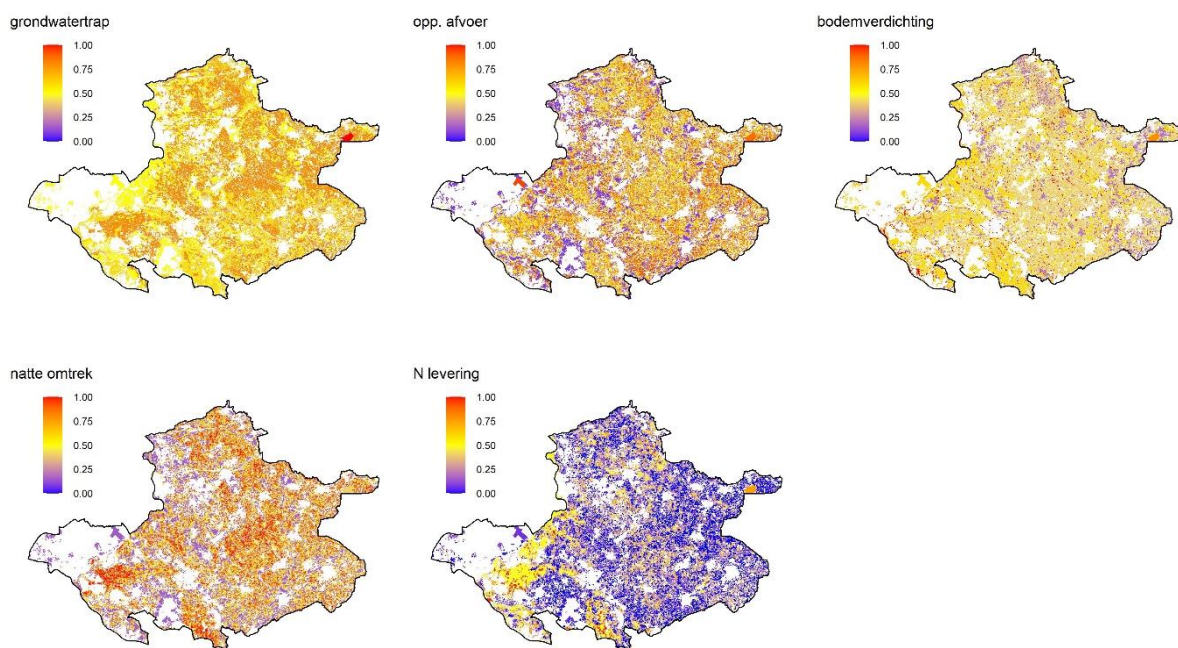
3.1 Algemene trends in oppervlaktewaterkwaliteit

De totale N-concentratie in het oppervlaktewater varieert tussen 0,5 en 26 mg N L⁻¹ en is gemiddeld 2,8 mg N L⁻¹ (Figuur 3-1 links). Er is een algemene tendens dat de concentratie hoger is op het oostelijke zandige deel. De ruimtelijke variatie van de risico-indicatorwaarden (Figuur 3-1 rechts) komt op het eerste gezicht niet duidelijk overeen met de N-concentratie in het oppervlaktewater. Hetzelfde geldt voor alle perceelskenmerken die van invloed zijn op het risico op uit- en afspoeling van stikstof naar het oppervlakte-water (Figuur 3-2).



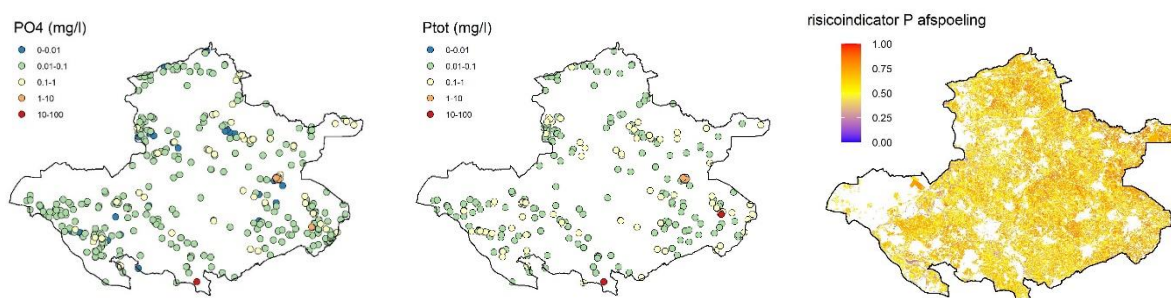
Figuur 3-1. Concentratie van N-totaal in oppervlaktewater van 521 meetpunten (links) en geïntegreerde risicoindicator op N-verliezen naar het oppervlaktewater beoordeeld op perceelsniveau (recht). Een hogere waarde van risicoindicator duidt op een hoger risico.

Vanuit de onderzochte deelindicatoren van N afspoelingsrisico blijkt dat de verschillende perceelkenmerken sterk kunnen variëren binnen de Achterhoek. De waarden van de deelindicatoren kan variëren van geen risico (de waarde 0) tot een verhoogd risico (de waarde 1). Voor de Achterhoek ligt dit risico gemiddeld op 0,70 voor de natheid van het perceel (op basis van de grondwatertrap), op 0,56 voor het risico op oppervlakkige afspoeling (op basis van de morfologie van het perceel), op 0,60 voor het risico op bodemverdichting, op 0,43 voor natte omtrek, en op 0,12 voor N levering. Het percentage percelen met een hoog risico (percelen met een risico groter dan 0,75) werd vooral gekenmerkt door het voorkomen van hogere grondwaterstanden (46%) en het voorkomen van greppels en een maaiveld waarover het water snel afgevoerd kan worden (30%). Er zijn relatief weinig percelen die een verhoogd risico kennen puur door het voorkomen van bodemverdichting (10%) of een hoog N-leverend vermogen (3%).



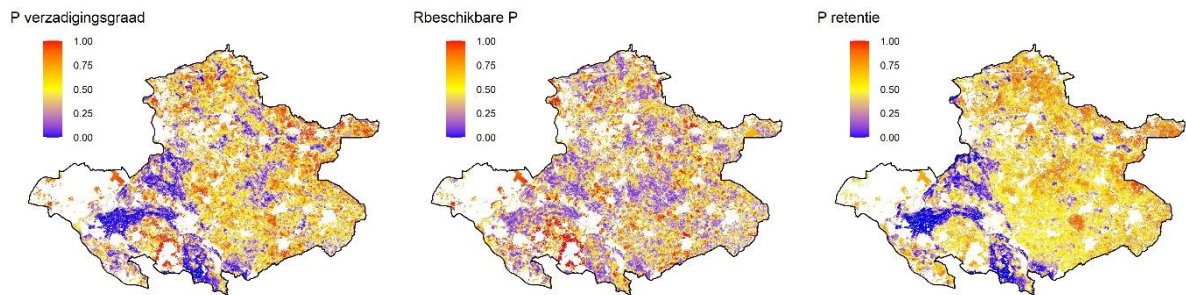
Figuur 3-2. Scores van vijf deelindicatoren waarop de geïntegreerde risicoindicator op N verliezen naar het oppervlaktewater is berekend. Dat zijn met de klok mee: de grondwatertrap, de oppervlakkige afspoeling, het risico op ondergrondverdichting, de natte omtrek van het perceel, en het N-gehalte in de bouwvoor. Een hogere waarde duidt op een hoger risico.

De PO_4 concentraties in het oppervlaktewater liggen tussen 0,01 en 69,0 $\text{mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$, met een mediaanwaarde van 0,03 $\text{mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$ (Figuur 3-2 links). De totale P-concentraties variëren tussen 0,03 en 75,0 $\text{mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$, met een mediaanwaarde van 0,08 $\text{mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$ (Figuur 3-2 midden).



Figuur 3-3. Concentratie van PO_4 ($n = 524$, links) en totaal-P ($n = 291$, midden), en de geïntegreerde risicoindicator op P-verliezen naar het oppervlaktewater beoordeeld op perceelsniveau (rechts). Een hogere waarde van risicoindicator duidt op een hoger risico.

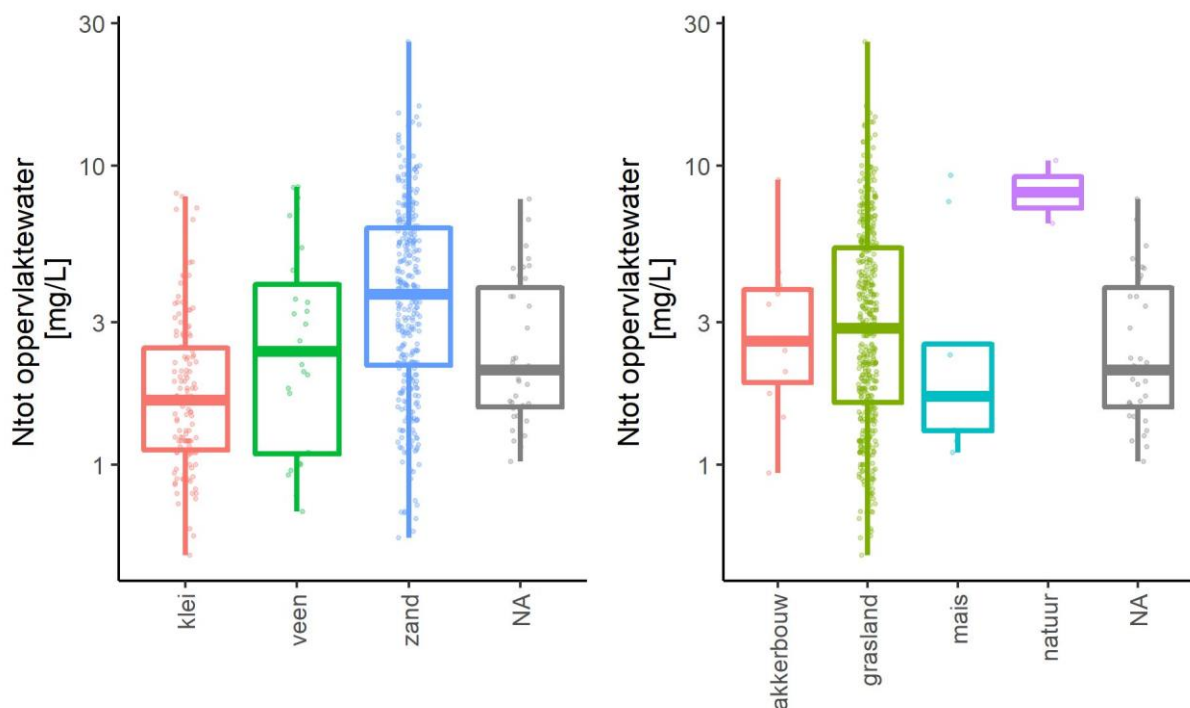
Voor het risico op oppervlakkige afspoeling van fosfaat spelen deels dezelfde factoren als voor stikstof in het bijzonder als het gaat om het voorkomen van verdichting, hoge(re) grondwaterstanden en het risico op oppervlakkige afspoeling. Binnen de Achterhoek is er daarnaast grote variatie in de mogelijkheid van percelen om fosfaat te binden als ook is er grote variatie in het voorkomen van percelen met een hoge P-concentratie in de bodemoplossing. Circa 25% van de percelen ligt in de categorie met een hoog risico op P-verliezen door ofwel een hoge P-concentratie als ook weinig P-retentie.



Figuur 3-4. Scores van drie P-deelindicatoren waarop de geïntegreerde risicoindicator op fosfor verliezen naar het oppervlaktewater is berekend. Dat zijn: de direct beschikbare hoeveelheid fosfaat, de P-retentie, en de P-verzadigingsgraad als ook de indicatoren gebaseerd op de grondwatertrap, de oppervlakkige afspoeling, het risico op ondergrondverdring, de natte omtrek van het perceel (zie Figuur 3-3). Een hogere waarde duidt op een hoger risico.

3.2 Sturende factoren voor oppervlaktewaterkwaliteit

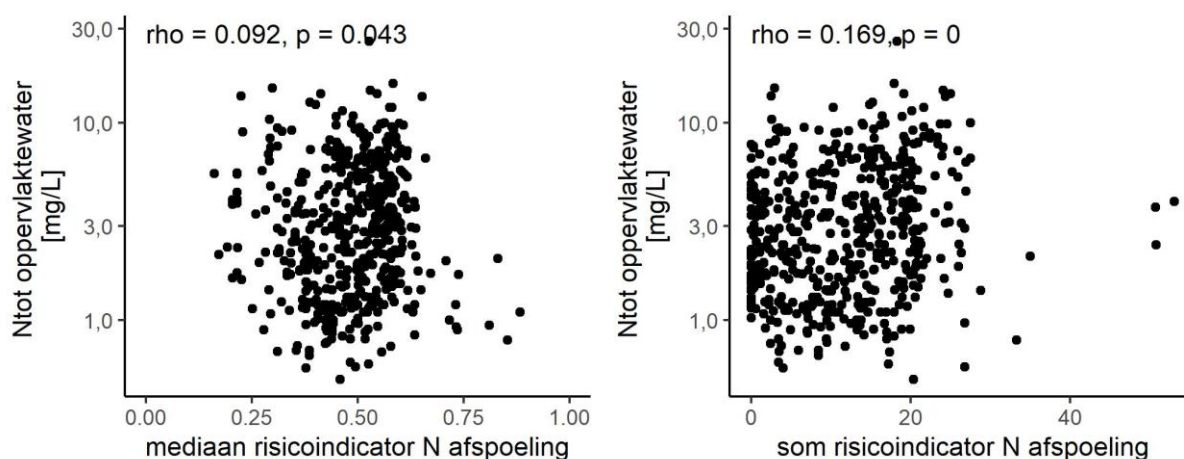
De uit- en afspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater lijkt voor hogere concentraties in het oppervlaktewater te zorgen in zandbodems dan in kleibodems (Figuur 3-5 links). Binnen verschillende teelten is er een enorme spreiding te zien in de gemeten N-concentraties (Figuur 3-5 rechts). Dit laat allereerst zien dat er tussen bedrijven grote variatie aanwezig is in het voorkomen van N-emissies naar het oppervlaktewater, maar bevestigt ook dat er maatwerk mogelijk is om gericht te sturen op verlaging van stikstofverliezen. Hoge N-concentraties komen sporadisch voor en hangen mogelijk samen met specifieke weersomstandigheden rondom het tijdstip van bemesten. Dit is in de context van deze analyse niet verder uitgezocht, omdat het maar een beperkt aantal meetpunten betrof.



Figuur 3-5. Concentratie van N-totaal in het oppervlaktewater voor verschillende bodemtypes (links) en gewassoorten (rechts) van de omliggende percelen binnen een straal van 500 m rond de meetpunten. NA betekent dat er geen percelen binnen 500 m van het meetpunt liggen. Box staat voor de mediaan, 25e percentiel en 75e percentiel.

Wanneer perceelskenmerken gebruikt worden om inzicht te geven in de ruimtelijke variatie in de gemeten N-concentraties in het oppervlaktewater, dan is er slechts een zwak positief verband met de eigenschappen van de percelen die in de directe omgeving van het meetpunt liggen. Dit geldt zowel voor het 'gebiedsgemiddelde' risico (Figuur 3-6 links) als ook de 'gesommeerde' risico (Figuur 3-6 rechts) van alle percelen in de directe omgeving van het meetpunt. Hoewel deze relatie significant is, is het percentage verklaarde variantie kleiner dan 10%. Van de perceelskenmerken zijn het vooral die kenmerken die samenhangen met het risico op oppervlakkige afvoer die een rol spelen: bodemverdichting, natte omtrek en de morfologie van het perceelsoppervlak (Figuur 5-2 A-D in bijlage II).

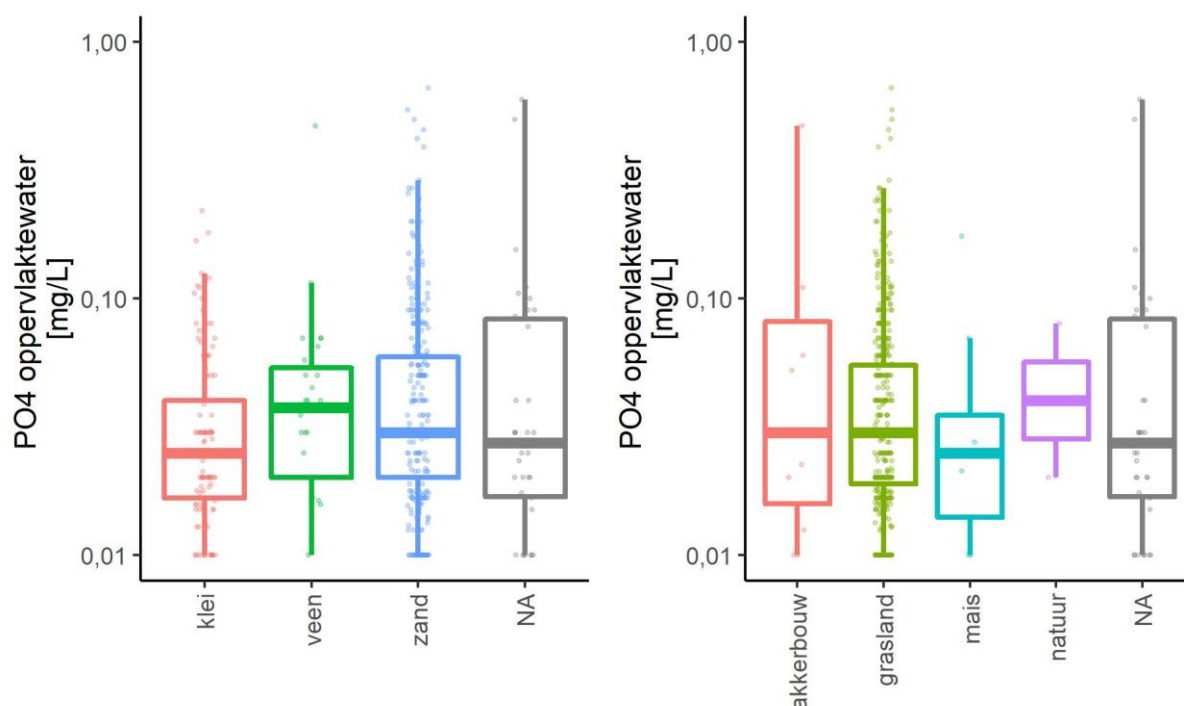
Percelen met een hoge capaciteit om stikstof te leveren hebben niet per definitie een hoger risico op een hogere N-concentratie in oppervlaktewater in de zomer. Mogelijk hangt dit samen met een hogere opbrengstpotentie gedurende het groeiseizoen. De grote variatie per grondsoort en landgebruik laat zien dat naast de bodemkwaliteit ook andere factoren relevant zijn. Voortbouwend op de mogelijke bronnen en routes van stikstof in het bodem- en watersysteem, en de kennis dat nitraat heel mobiel is in de bodem, betekent dit ook dat de bemestingspraktijk een belangrijke sturende factor is voor een hoge N-bodembenutting als ook lagere N-verliezen. Opvallend genoeg was er echter geen positief verband tussen de gemeten N-concentraties in het oppervlaktewater en de hoogte van het N-bodemoverschot, ook niet wanneer er specifiek wordt gekeken per grondsoort of type landgebruik. Dit betekent dat het actuele management van de boer (met andere woorden: de bemesting op het juiste moment, met de juiste meststof, met de juiste gift en met de juiste toedieningstechniek) een hele belangrijke factor is die de variatie in de N-concentraties kan verklaren. Het vakmanschap van de boer is hierbij belangrijker dan de hoogte van de N-bemesting. Het is mogelijk om via *machine learning* meer inzicht te geven in welke aspecten van bemesting een rol spelen als ook om de interacties tussen perceelskenmerken, weer en uitspoelingsrisico's kwantitatief te onderbouwen (zie bijv. Ros & Verweij, 2019ab), maar dit is in de context van de huidige studie niet verder onderzocht.



Figuur 3-6. Verband tussen de N-totaal concentratie in het oppervlaktewater en de risico-indicatorwaarde voor de N-afspoeling van de percelen die zich binnen 500 m van het meetpunt bevinden. Een hogere waarde van de risico-indicator (max. 1) betekent een hoger risico van afspoeling. De waarde van de risico-indicator werd uitgedrukt als mediaan van alle omliggende percelen (links, $n = 486$) binnen een straal van 500 m. De coëfficiëntwaarde (ρ) en de p -waarde van de Spearman's rangcorrelatie worden getoond.

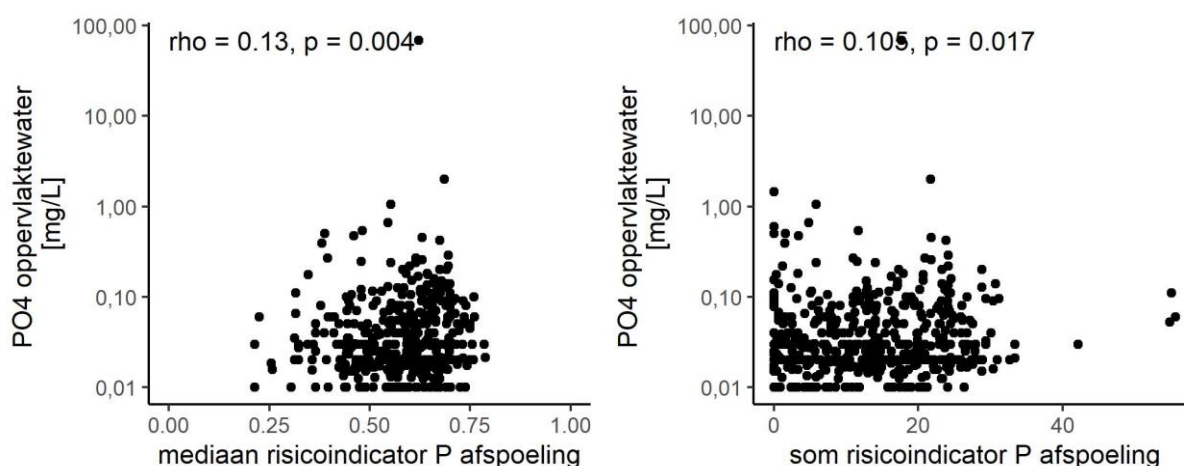
Voor het gehalte van ortofosfaat in het oppervlaktewater is er tussen grondsoorten weinig verschil zichtbaar (Figuur 3-7 links). Percelen die relatief kleirijker lijken een iets lagere concentratie te hebben, maar dit effect is klein. Ook het landgebruik heeft weinig tot geen effect (Figuur 3-7 rechts). Dit correspondeert met eerdere studies die bevestigen dat de P-concentratie in het oppervlaktewater veel sterker beïnvloedt worden door bodemeigenschappen (als ook de eigenschappen van het ontvangend

waterlichaam qua diepte, breedte en verblijftijd). De relaties tussen bodem en landgebruik enerzijds en het fosfaatgehalte anderzijds zijn ook vergelijkbaar voor totaal fosfaat (zie Figuur 5-4 in bijlage II).



Figuur 3-7. Concentratie van PO_4 in het oppervlaktewater per bodemtype (links) en landgebruik (rechts) van de omliggende percelen. NA betekent dat er geen percelen binnen 500 m van het meetpunt liggen. De box staat voor de mediaan en de 25e en 75e percentiel. De figuren zijn om visuele redenen afgekapt op gehalten onder de 1 mg L^{-1} .

De relevantie van de bodem als sturende factor voor ruimtelijke variatie in P-concentraties in het oppervlaktewater wordt bevestigd door een positief verband met de risicoindicator van P-afspoeling (Figuur 3-8).

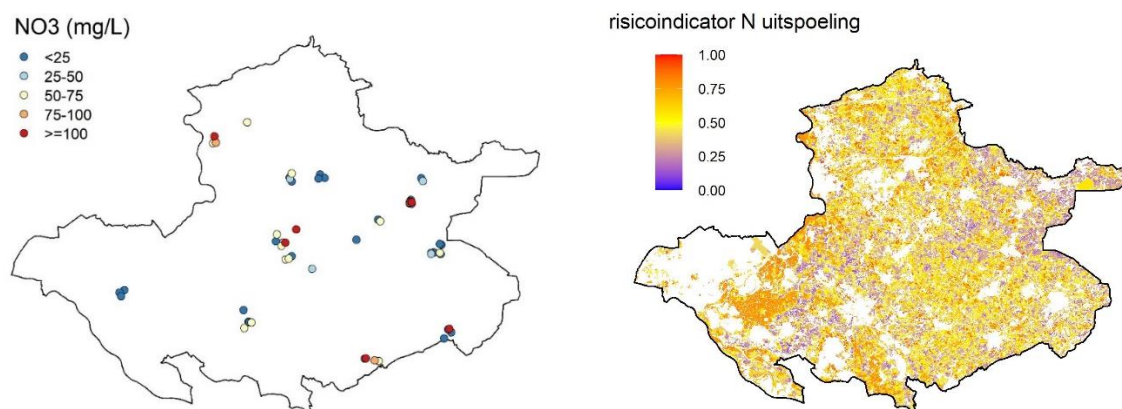


Figuur 3-8. Verband tussen de PO_4 -concentratie in het oppervlaktewater en de risico-indicatorwaarde voor de P-afspoeling van omliggende percelen. Een hogere waarde van de risico-indicator (max. 1) betekent een hoger risico van afspoeling. De waarde van de risico-indicator werd uitgedrukt als of als som. De coëfficiëntwaarde (ρ) en de p-waarde van de Spearman's rangcorrelatie worden getoond.

Elke individuele bodemeigenschap laat geen sterk verband zien (Figuur 5-3 in bijlage II), wat aangeeft dat de combinatie van informatie over het risico op oppervlakkige afspoeling én de P-concentratie van het afspoelend water nodig is om goed inzicht te krijgen in potentiële fosfaatverliezen. Dit laat daarmee ook zien dat zowel maatregelen die ingrijpen op de route van het water naar de sloot als ook maatregelen die ingrijpen op het verlagen van de P-concentratie in het bodemvocht effectief zijn om de P-concentraties in de sloot verder te verlagen.

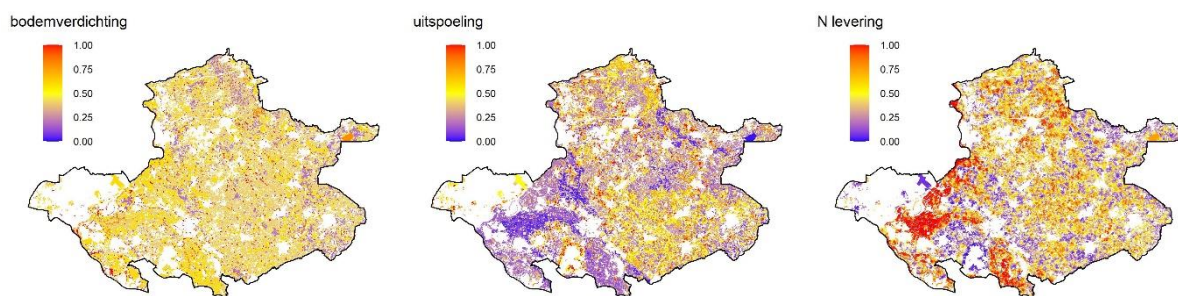
3.3 Algemene trends in ondiep grondwaterkwaliteit

De NO_3 concentratie in ondiep grondwater varieert tussen 0 en $171 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$, met een mediaanwaarde van $26 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ (Figuur 3-9 links). Er is een grote variatie binnen een kleine afstand, en deze kan niet visueel worden vergeleken met de ruimtelijke patroon van risico-indicatorwaarde van N uitspoeling (Figuur 3-9 rechts). Wel is duidelijk dat er binnen de Achterhoek grote variatie kan optreden in het risico op N-uitspoeling, en ook dat het risico per perceel sterk kan verschillen.



Figuur 3-9. Nitraatconcentratie in ondiepgrondwater ($n = 57$), gemiddeld van 2018 en 2019 (links), en de geïntegreerde risico-indicator op N-verliezen (rechts). Een hogere waarde van risicoindicator duidt op een hoger risico.

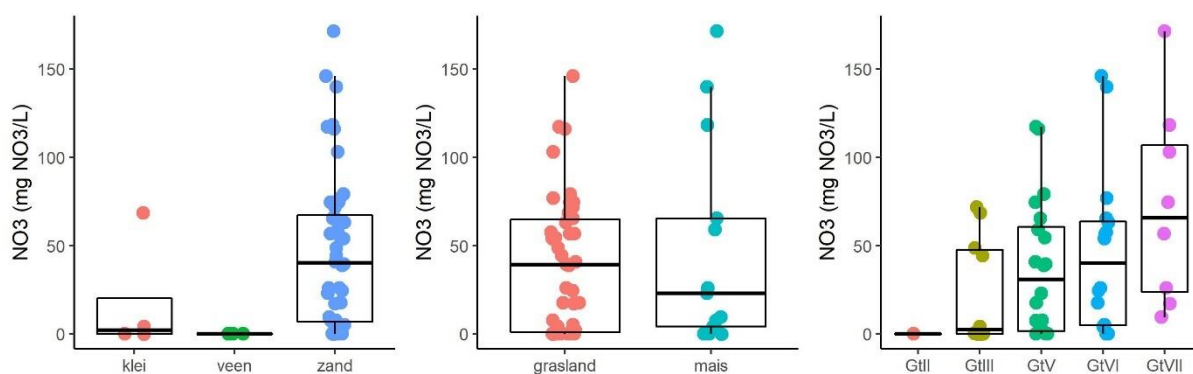
Het risico op nitraatuitspoeling naar het grondwater wordt beïnvloedt door de aanwezigheid van bodemverdichting, de combinatie landgebruik, bodemtype en grondwatertrap (samengevoegd in risico-indicator uitspoeling), het voorkomen van bodemverdichting als ook het N-leverend vermogen van de bodem. Gebruik makend van de gebiedsanalyse blijkt dat zowel het uitspoelingsrisico als het N-leverend vermogen een grotere bijdrage leveren aan de nitraatuitspoeling dan het voorkomen van ondergrondverdichting. In 16-19% van de percelen is er hierbij zelfs sprake van een substantieel verhoogd risico. Opvallend is wel dat de bodemkenmerken die sturend zijn op het voorkomen van nitraatuitspoeling niet uniform zijn verdeeld over de Achterhoek als ook dat deze risico-indicatoren elkaar deels kunnen compenseren. In het Zuidwesten van de Achterhoek is er bijvoorbeeld een hoog risico op N-verliezen omdat de bodems veel stikstof bevatten (en daarmee ook een hoger N-leverend vermogen hebben) en tegelijk een relatief laag risico op het voorkomen van uitspoeling.



Figuur 3-10. Scores van drie deelindicatoren waarop de geïntegreerde risicoindicator op stikstof verliezen naar het grondwater is berekend. Dat zijn: ondergrondverdichting (links), uitspoeling (midden), en het N-gehalte in de bouwvoor. Een hogere waarde duidt op een hoger risico.

3.4 Sturende factoren voor ondiep grondwaterkwaliteit

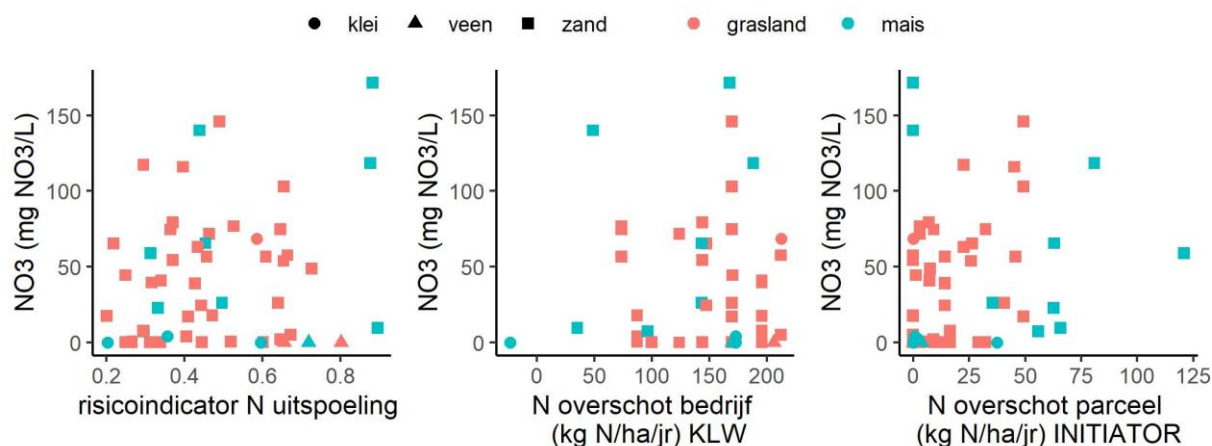
Conform eerdere studies zien we dat nitraatconcentraties in het ondiepe grondwater hoger liggen in zandpercelen dan in kleipercelen (Figuur 3-11 links), en dat deze ook hoger zijn in drogere percelen (Figuur 3-11 rechts). Opvallend is overigens ook dat er geen grote structurele verschillen zichtbaar zijn tussen grasland (een gewas dat heel efficiënt omgaat met stikstof) en maisland (een gewas dat uitspoelingsgevoelige is) (Figuur 3-11 midden).



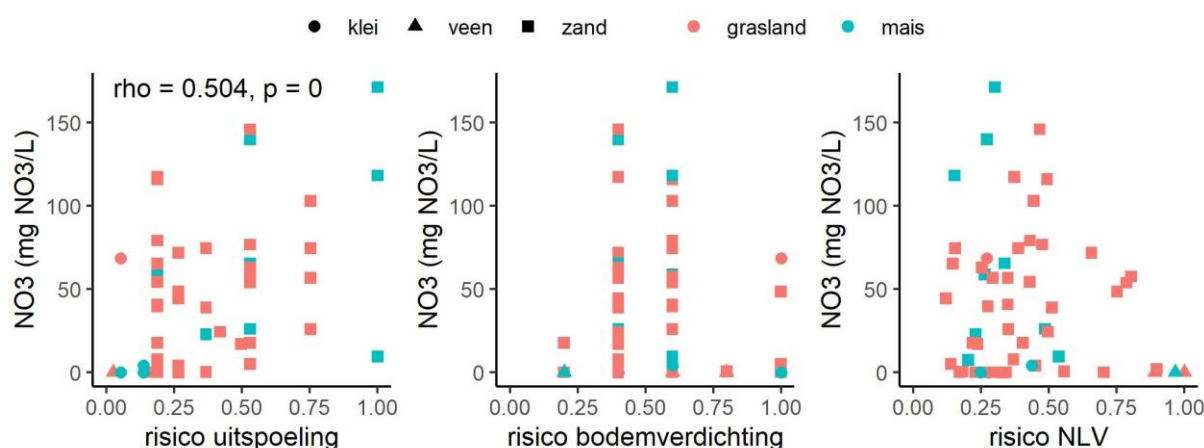
Figuur 3-11. Nitraatconcentratie in ondiepgrondwater per grondsoort (links), gewastype van 2019 (midden), en grondwatertrap (rechts). Box staat voor de mediaan, 25e percentiel en 75e percentiel

De geïntegreerde risicoindicatorwaarde voor N-uitspoeling, die werd berekend met de drie perceelskenmerken die een sturende invloed hebben op nitraatuitspoeling, is niet significant gerelateerd aan gemeten nitraatconcentraties (Figuur 3-12 links). Echter, een van de drie deelindicatoren waarop de geïntegreerde risicoindicator is gebaseerd (de combinatie van bodemtype, grondwatertrap en landgebruik) geeft wel een goede indicatie van optredende verliezen ($\rho = 0.504$, $p < 0.001$) (Figuur 3-13 links) en kan dus ook gebruikt worden om maatwerk mogelijk te maken in maatregelen die inzetbaar zijn om nitraatuitspoeling te voorkomen. Opvallend is overigens wel dat er in de huidige serie metingen geen of alleen een zwak positief verband lijkt te zijn met de hoogte van het N-bodemoverschot (zowel vanuit de KWL-database als ook het berekende N-overschot via het model INITIATOR) (Figuur 3-12 midden en rechts), een bedrijfskenmerk dat vaak gebruikt wordt als indicator voor het optreden van N-verliezen naar het grondwater. Het aantal meetpunten is hiervoor mogelijk te beperkt. Deels kan dit ook verklaard worden door de grote onzekerheid op de berekende bodemoverschotten perceel; de

voorspelling van het INITIATOR model is niet erg nauwkeurig op lokaal niveau (Ros et al., 2021), en de KLV-database bevat alleen geaggregeerde gegevens op bedrijfsniveau.



Figuur 3-12. Relatie tussen NO_3 concentratie in ondiep grondwater en geïntegreerde risicoindicator van N-uitspoeling (links), het bedrijfs N-bodemoverschot uit de KLV (midden), en het N-bodemoverschot vanuit INITIATOR (rechts).

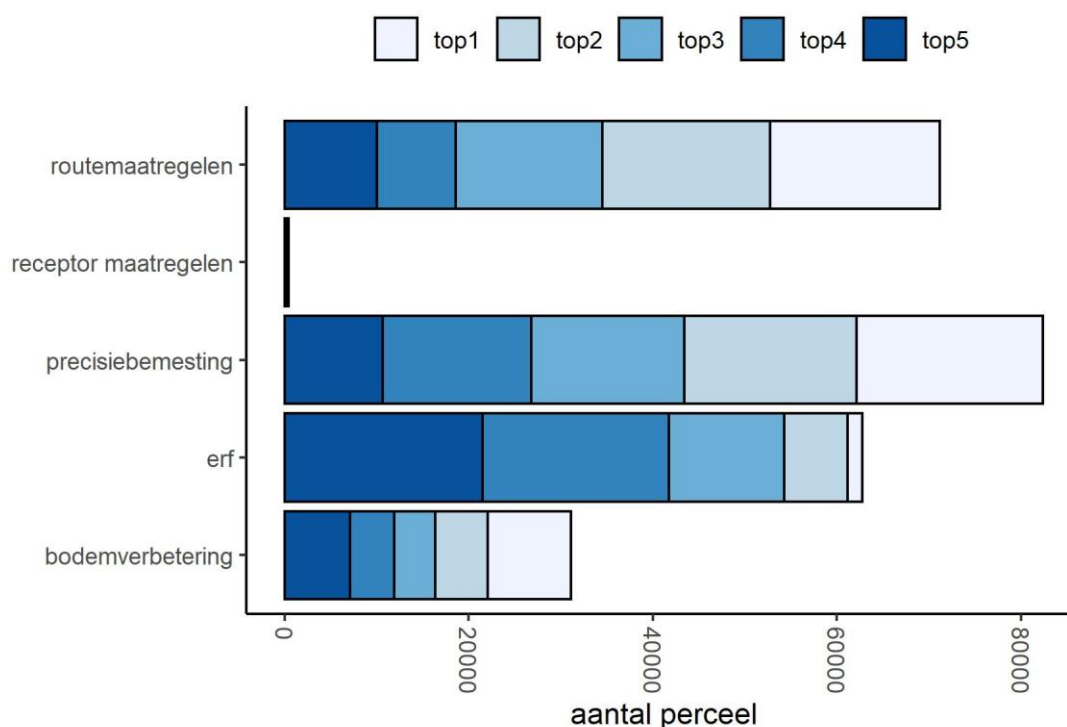


Figuur 3-13. Relatie tussen NO_3 -concentratie in ondiep grondwater en scores van drie deelindicatoren waarop de geïntegreerde risicoindicator op stikstof verliezen naar het grondwater is berekend. De coëfficiëntwaarde (ρ) en de p -waarde van de Spearman's rangcorrelatie worden getoond wanneer de relatie significant ($p < 0.05$) is.

3.5 Koppeling met beheersmaatregelen

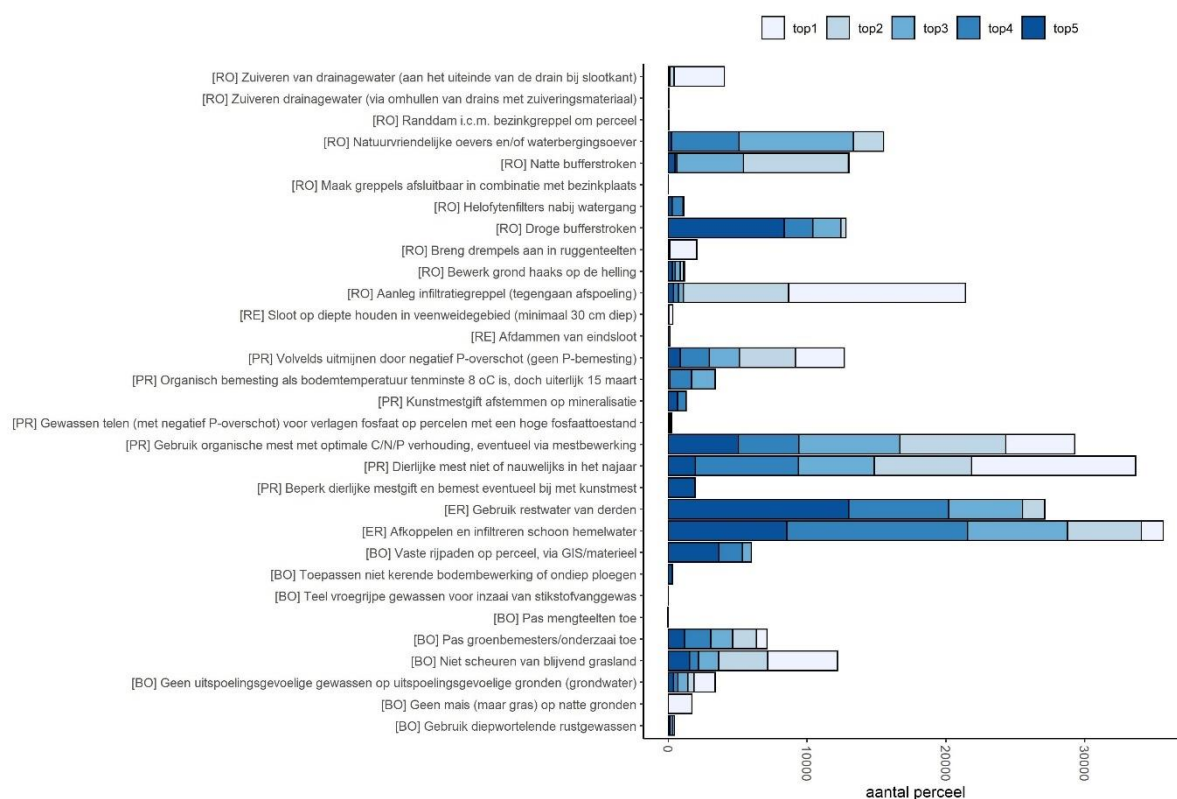
Omdat van elk perceel bekend is hoe het bijdraagt aan meer watervasthoudend vermogen, een hoge benutting van nutriënten en minder uit- en afspoeling van stikstof en fosfor, kan ook per perceel de meest geschikte maatregel worden geselecteerd. De aanname hierbij is dat de effectiviteit van een maatregel positief samenhangt met het risico als ook het aanwezige handelingsperspectief. Maatregelen verschillen daarnaast ook nog in effectiviteit afhankelijk van het onderliggend mechanisme waar de maatregel op ingrijpt. Gebruik makend van de in hoofdstuk 2 toegelichte methodiek, is voor alle percelen in de Achterhoek in kaart gebracht welke maatregel nu het meest geschikt is om de verliezen van stikstof en fosfor naar het watersysteem te beperken. Let wel, hierbij is gekeken naar het geïntegreerde risico voor zowel grond- als oppervlaktewater.

De meest voorkomende type maatregelen als we kijken naar de top-1 tot top-5 per perceel zijn maatregelen die gerelateerd zijn aan precisiebemesting (Figuur 3-14). Daaropvolgend zijn er maatregelen die ingrijpen op het transport van N en P naar het watersysteem ('routemaatregelen') als ook maatregelen die ingezet worden om water vast te houden op het bedrijf (veelal de erfmaatregelen). Maatregelen die ingrijpen op verbetering van de bodemkwaliteit komen relatief het minste voor (alhoewel $n > 30.000$).



Figuur 3-14. Type van 5 beste maatregelen geselecteerd voor elk perceel ($n = 50.549$).

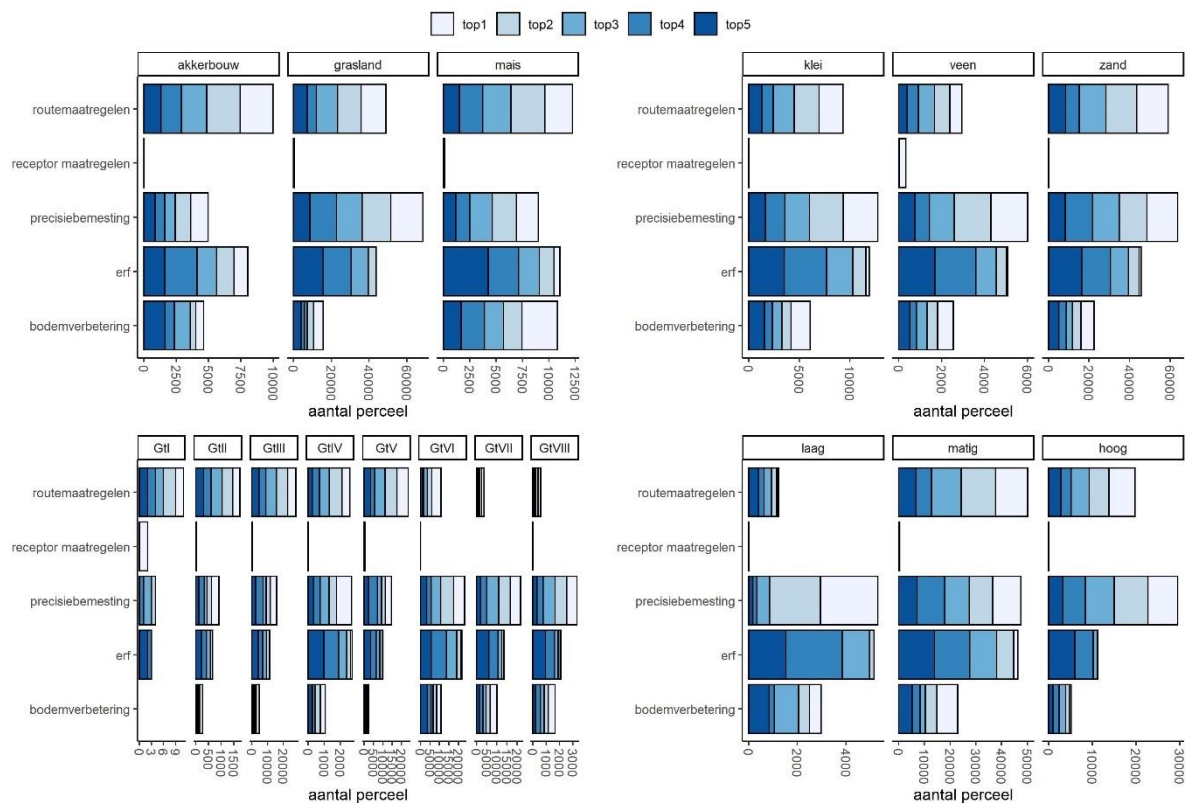
Wanneer we verder inzoomen naar de exacte maatregelen die vaak geadviseerd worden (Figuur 3-15), dan zijn dat achtereenvolgens het afkoppelen en infiltreren van schoon hemelwater, het verminderen van (te) late najaarstoediening van dierlijke mest, het gebruik van bemesting die aansluit bij de gewasbehoefte conform het in Nederland gebruikte bemestingsadvies, gebruik restwater van derden, de aanleg van infiltratiegreppels om oppervlakkige afspoeling te verminderen en de aanleg van bufferstroken. Op meer dan 15.000 percelen staan deze maatregelen in de top-5.



Figuur 3-15. De top-1 tot top-5 beste maatregelen geselecteerd voor elk perceel. Het alfabet tussen haakjes geeft het type maatregelen aan: [WA] watervasthouden, [RO] routemaatregelen, [PR] precisiebemesting, [ER] erf, en [BO] bodemverbetering.

Bodemverbeterende maatregelen als zodanig komen minder vaak voor dan maatregelen die ingrijpen op de efficiëntie van bemesting als ook het vergroten van de waterbeschikbaarheid op het bedrijf. De meest relevante bodemaanpakken zijn het verminderd scheuren van grasland, groenbemesters en onderzaai (onder en na maïs), het herverdelen van mest over het bedrijf zodra er hoge P-toestanden voorkomen (dan wel uitmijnen van deze specifieke percelen) en het zorgen voor een goede bodemstructuur.

De effectieve inzet van deze maatregelen wordt sterk gestuurd door de kenmerken van de aanwezige percelen. Op grote lijnen zien we dat er op maïsland alle soorten maatregelen voor kunnen komen, terwijl er op grasland sterk gestuurd kan worden via precisiebemesting (Figuur 3-16 linksboven). Op akkerbouwpercelen kan er sterker gestuurd worden op routemaatregelen en erfmaatregelen. Verschillen tussen grondsoorten zijn minder sterk aanwezig. Wel worden routemaatregelen relatief vaker voorgesteld op zand-gronden dan op klei- en veengronden (Figuur 3-16 rechtsboven). Daaraan gekoppeld zijn er wel grote verschillen zichtbaar in relatie tot de natheid van het perceel: op nattere gronden worden vooral routemaatregelen geadviseerd terwijl op de drogere gronden veel meer gestuurd kan worden via precisiebemesting en erfmaatregelen (Figuur 3-16 linksonder). Wanneer we specifiek kijken naar fosfaat, dan zien we dat routemaatregelen bijna niet geadviseerd worden op percelen met een lage P-verzadigingsgraad, terwijl deze vaak voorkomen bij matig en hogere verzadigingsgraden (Figuur 3-16 rechtsonder). Bodemverbetering is daarentegen vooral gewenst op percelen waarbij P-tekorten optreden.



Figuur 3-16. Type van 5 beste maatregelen geselecteerd voor elk perceel, per gewastype (linksboven), per P verzadigingheid categorie (rechtsboven), per grondwatertrap (linksonder), en per grondsoort (rechtsonder).

4 Conclusie

Om gericht te sturen op een lagere stikstof en fosforbelasting van grond- en oppervlaktewater is maatwerk cruciaal. Om die reden komt er anno 2021 zowel in het mestbeleid als ook het bodembeleid en het agrarisch natuurbeleid meer en meer aandacht voor maatregelen die effectief zijn gegeven de kenmerken van het agrarisch bedrijf. De huidige studie laat zien dat op basis van perceelskenmerken kansen (en risico's) in beeld gebracht kunnen worden in relatie tot het vasthouden en bufferen van water, het vasthouden van fosfaat (voorkomen afspoeling) en stikstof en nitraat (voorkomen uitspoeling en afspoeling). Belangrijke kenmerken hebben te maken met de morfologie van het perceel als ook de connectiviteit met het aanwezige oppervlaktewater. Wel wordt opgemerkt dat er in werkelijkheid nog aanzienlijke variatie kan optreden binnen een groep percelen met vergelijkbare eigenschappen. Denkend vanuit het gedrag van stikstof en fosfor in de bodem speelt bemesting hierbij een sleutelrol voor stikstof. Voor fosfaat is het bufferend vermogen als ook de aanwezigheid van snelle afvoerroutes belangrijk.

Dit betekent concreet dat het actuele management van de boer (met andere woorden: de bemesting op het juiste moment, met de juiste meststof, met de juiste gift en met de juiste toedieningstechniek) een belangrijke factor is die van invloed is op de ruimtelijke variatie in N-concentraties in het oppervlaktewater als ook de nitraatuitspoeling naar het grondwater. Het vakmanschap van de boer rond de toediening van bemesting is hierbij belangrijker dan de hoogte van de N-bemesting (zie ook Ros & Fujita, 2021). Dit geldt in mindere mate voor fosfor omdat de bodem zelf hier een belangrijke bufferende werking heeft als ook dat het management van het verleden (d.w.z. de historische bemesting en oplading van de bodem) lang doorwerkt.

Om gericht te sturen op effectieve maatregelen is een koppeling aangebracht tussen enerzijds de effectiviteit en toepasbaarheid van maatregelen en anderzijds de perceelskenmerken. Dit conform de systematiek zoals deze in de KennisImpuls Waterkwaliteit is ontwikkeld en zoals deze in het BedrijfsBodemWaterPlan is geïmplementeerd. Uit deze analyse blijkt dat er in de Achterhoek veel potentie ligt om via agrarische maatregelen te sturen op een lagere belasting van grond- en oppervlaktewater. De meest voorkomende geadviseerde maatregelen zijn maatregelen die gerelateerd zijn aan precisiebemesting als ook aan het vasthouden en beschikbaar houden van water. Daaropvolgend zijn er maatregelen die ingrijpen op het transport van N en P naar het watersysteem. Maatregelen die ingrijpen op verbetering van de bodemkwaliteit komen relatief het minste voor. Welke maatregel waar effectief is, hangt samen met het landgebruik, de bodemkwaliteit, en de geohydrologische kenmerken van het perceel. In deze studie is een prioritering in beeld gebracht voor percelen die variëren in landgebruik, bodemtype, grondwatertrap en P-verzadigingsgraad.

5 Literatuur

- Fujita Y & GH Ros** (2021). *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 1. Een gebiedsanalyse van de Achterhoek*, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.1, 36 pp.
- Fujita Y & GH Ros** (2020). *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 3. Tijdsreeks-analyse van organische stof en fosfaat in de Achterhoek*. NMI-rapport 1761.N.20.3, 18 pp.
- Groenendijk P, Van Gerven L, Jansen S, Buijs S, Van Loon A, Lukas S, Verhoeven F, Huismans B, Van Rotterdam D, Ros GH, Verloop K & GJ Noij** (2021) *Maatregel op de Kaart (Fase 2). Identificeren van kansrijke perceelsmaatregelen voor schoner grond- en oppervlaktewater*. Rapport Kennisimpuls Waterkwaliteit., 43 pp.
- Ros GH & SE Verweij** (2019a) *Bodem- en waterkwaliteit in het beheergebied van Wetterskip Fryslan. Een ruimtelijke gebiedsanalyse*. NMI-rapport 1726.N.17, 115 pp.
- Ros GH & SE Verweij** (2019b) *Ontwikkeling maatwerkpakketten waterkwaliteit. Deel 1. Ruimtelijke gebiedsanalyse waterschap Hunze en Aa*. NMI-rapport 1742.N.18, 47 pp.
- Ros GH, Fujita Y, Koomen A & A Buijert** (2020a) Een casestudie naar agrarisch maatwerk voor schoon oppervlaktewater. H2O-online, 9 juli 2020, 1-6.
- Ros GH, Verweij S, Quist N & N van Eekeren** (2020b). *BedrijfsBodemWaterPlan. Maatwerk voor duurzaam bodem en waterbeheer*. NMI-rapport 1805.N.20, 34 pp.
- Ros GH & Y Fujita** (2021). *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 4. Inzicht in ruimtelijke variatie bemestingspraktijk*. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.4, 18 pp.
- Ros GH, Bussink DW & Y Fujita** (2021a) *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 2. De impact van bodem op ruwvoerproductie en mineralenbenutting*. NMI-rapport 1761.N.20.2, 43 pp.
- Ros GH, Kros H & Y Fujita** (2021b) *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 4. Inzicht in ruimtelijke variatie bemestingspraktijk*. NMI-rapport 1761.N.20.4, 18 pp.
- Van den Akker JJH, de Vries F, Vermeulen GD, Hack-ten Broeke MJD & T Schouten** (2012). *Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart*. Alterra-rapport 2409, 80 pp.
- Van Gerven L, Jansen S & P Groenendijk** (2019) *Maatregel op de Kaart (Fase 1). Identificeren van kansrijke landbouwmaatregelen per perceel voor schoner grond- en oppervlaktewater*. KIWK-notitie, 16 pp.
- Van Hattum et al.** (2011) *P-reducerende maatregelen in het stroomgebied van de Hunze; inventarisatie van de meest kosteneffectieve P-reducerende maatregelen in het stroomgebied van de Hunze*. Alterra-rapport 2183, 84 pp.
- Verloop et al.** (2018) *Achtergronden bij informatie in de BOOT-lijst factsheets*. WPR-rapport 842, 133 pp.
- Verhoeven F & GH Ros** (2018a) *Kansenkaart Waterkwaliteit: slimme combinaties*. V-Focus februari 2018.
- Verhoeven F & GH Ros** (2018b) *Kansenkaart 1.0: slimme combinaties*. V-Focus oktober 2018.
- .

Bijlage I. Lijst van maatregelen

Tabel 1. Lijst van maatregelen om waterkwaliteit te verbeteren. Categories zijn: [WA] watervasthouden, [RO] routemaatregelen, [PR] precisiebemesting, [ER] erf, [BO] bodemverbetering.

id	categori e	Korte beschrijving	uitgebreide beschrijving
G1	BO	Beweiden optimaliseren (bijv. strip grazen, kort omweiden, nieuw NL weiden)	Draagkracht in de zode is belangrijk voor een goede benutting van weidegras. Beweidingsonderzoek laat zien dat de draagkracht hoger is bij het beweidingsstelsel kurzrasen gevolgd door de beweidingsstelsels roterend standweiden en stripgrazen.
G3	BO	Niet scheuren van blijvend grasland	Door de leeftijd van grasland te verlengen blijft het organische stofgehalte en het stikstofleverend vermogen (NLV) in de bodem behouden of neemt toe. Vanwege dit hogere gehalte aan organische stof en NLV is, met de huidige bemestingsnormen, oud grasland even productief of nog productiever dan jong grasland, mits de botanische samenstelling goed is.
G20	BO	Vaste rijpaden op perceel, via GIS/materieel	Rijpadenteelt is erop gericht om een zo klein mogelijke oppervlakte te berijden. Hiervoor wordt steeds over dezelfde (smalle) sporen gereden.
G40	BO	Betere grasbedekking door maai- en/of graaslengte van 5 naar 7 cm te brengen	Het vergroten van de graslengte zorgt voor snellere hergroei waardoor het mogelijk is om op jaarbasis 5 tot 10% meer opbrengst te realiseren en het stikstof- en fosfor bodemoverschot kan worden verlaagd. Dit zorgt voor een betere waterkwaliteit.
G43	BO	Optimaliseer Ph- en Ca/Mg verhouding voor gewasproductie	pH bepaalt grotendeels de beschikbaarheid van nutriënten. De juiste pH is daarmee onmisbaar voor optimale gewasgroei.
G46	BO	Plant mais in ruitverband	Mais in ruitverband telen kan mogelijk zorgen voor een hogere gewasopbrengst. Het effect op waterkwaliteit is nog onduidelijk.
G49	BO	Pas sleepslangbemesting toe	Het toepassen van sleepslangbemesting vermindert de bodemdruk en vermindert daarmee structuurschade.
G50	BO	Toepassen niet kerende bodembewerking of ondiep ploegen	Bij Niet Kerende Grondbewerking (NKG) wordt de bodem niet dieper dan 12 centimeter bewerkt. Men vermengt gewasresten dus alleen oppervlakkig met de bodem.
G51	BO	Voorkom insporing door gebruik lichtere machines met lagere bandenspanning	De juiste bandenspanning (<0,8 bar) vermindert structuurschade door het tegengaan van verdichting.
G53	BO	Gebruik diepwortelende grassoorten	Wanneer grasland dieper wortelt, wordt het beschikbare water en nutriënten zoals stikstof (N) beter benut.
G53	BO	Gebruik diepwortelende rustgewassen	Wanneer grasland dieper wortelt, wordt het beschikbare water en nutriënten zoals stikstof (N) beter benut.

G55	BO	Teel vroegrijpe gewassen voor inzaai van stikstofvanggewas	Het telen van vroegrijpe gewassen maakt de inzaai van vanggewassen en groenbemesters goed mogelijk. Daarnaast verkleint het risico op structuurschade omdat je vaker onder droge omstandigheden werkt.
G56	BO	Egaliseer laagtes in percelen (natte delen opheffen)	Het egaliseren van een perceel, mits goed gedaan, verhoogt de productiecapaciteit door het opheffen van natte plekken.
G57	BO	Hergebruik gewasresten (stro, blad) op het bedrijf	Door een hoger organischstofgehalte kunnen meer nutriënten worden gebonden, waardoor het risico op uit- en afspoeling van nutriënten wordt beperkt.
G58	BO	Voeg compost of andere OS verhogende bronnen toe	Organische stof heeft een positieve invloed op het bodemleven, de levering van nutriënten, de bodemstructuur en de vochtlevering, en daarmee productie.
G58	BO	Voeg compost of andere OS verhogende bronnen toe	Organische stof heeft een positieve invloed op het bodemleven, de levering van nutriënten, de bodemstructuur en de vochtlevering, en daarmee productie.
G58	BO	Voeg compost of andere OS verhogende bronnen toe	Organische stof heeft een positieve invloed op het bodemleven, de levering van nutriënten, de bodemstructuur en de vochtlevering, en daarmee productie.
G59	BO	Pas groenbemesters/onderzaai toe	Door een vanggewas of groenbemester onder of na het maïsgewas te zaaien worden nutriënten en met name stikstof vastgelegd.
G60	BO	Hou het perceel lang bedekt en voorkom braakligging	Een bodem die bedekt is met een gewas is minder kwetsbaar voor weersinvloeden zoals extreme neerslag, droogte, UV straling of stuiven door wind. Dankzij bedekking van de bodem is er minder kans op veronkruiding, is er voedselaanbod voor het bodemleven, vinden insecten een habitat en gaat er geen grond of organische stof verloren door afspoeling of stuiven.
G63	BO	Pas mengteelten toe	Bepaalde teeltcombinaties halen hogere opbrengsten in vergelijking met hun monocultuur equivalent. Denk hierbij aan grasklaver of tarwe/veldboon.
G65	BO	Geen uitspoelingsgevoelige gewassen op uitspoelingsgevoelige gronden (grondwater)	Gewassen met een hoog stikstofbodemoverschot zijn risicoteelten in uitspoelingsgevoelige gebieden.
G66	BO	Geen uitspoelingsgevoelige gewassen op uitspoelingsgevoelige gronden (grondwater)	Goed zicht op de bodemkwaliteit en de eigenschappen van percelen is de basis voor een duurzaam bodembeheer
G66	BO	Geen mais (maar gras) op natte gronden	Goed zicht op de bodemkwaliteit en de eigenschappen van percelen is de basis voor een duurzaam bodembeheer
G66	BO	Geen mais (maar gras) op natte gronden	Goed zicht op de bodemkwaliteit en de eigenschappen van percelen is de basis voor een duurzaam bodembeheer
	BO	Najaarsbeweiding beperken, begin gelijk in het voorseizoen al te weiden	Door vroeg te starten met beweiding, wordt de N-benutting van urine en weidemest verhoogd
G9BWP8	ER	Opslag hemelwater in bassin, vijver of plas	Opslag geeft ruimte om te beregenen uit een eigen opgevangen waterbassin.
BWP5	ER	Afkoppelen en infiltreren schoon hemelwater	Hemelwater wordt niet direct afgevoerd op een leggerwatergang.
BWP9	ER	Gebruik restwater van derden	Het (her)gebruiken van (rest)water van derden dat anders via het oppervlaktewatersysteem zou zijn afgevoerd.

G22	PR	Organisch bemesting als bodemtemperatuur tenminste 8 oC is, doch uiterlijk 15 maart	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G22	PR	Organisch bemesting als bodemtemperatuur tenminste 8 oC is, doch uiterlijk 15 maart	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G23	PR	Uitrijdperiode dierlijke mest verkorten en later in voorjaar	Laat (in het voorjaar) toedienen van mest (eind maart) vermindert het risico van N- en P-afspoeling vooral in natte gebieden.
G25	PR	Dierlijke mest niet of nauwelijks in het najaar	Bij warm en vochtig weer in augustus kan 2 tot 4 weken eerder gestopt worden met bemesten van grasland.
G27	PR	Gebruik organische mest met optimale C/N/P verhouding, eventueel via mestbewerking	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G27	PR	Gebruik organische mest met optimale C/N/P verhouding, eventueel via mestbewerking	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G27	PR	Gebruik organische mest met optimale C/N/P verhouding, eventueel via mestbewerking	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G29	PR	Uitrijden van met water verdunde drijfmest	Verdunnen van mest gaat ammoniakemissie tegen en kan, als het goed wordt uitgevoerd, het risico op afspoeling van mest doen afnemen.
G31	PR	Beperk dierlijke mestgift en bemest eventueel bij met kunstmest	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G33	PR	Gewassen telen (met negatief P-overschot) voor verlagen fosfaat op percelen met een hoge fosfaattoestand	Bij bodems met een hoge P-beschikbaarheid is fosfaatbemesting niet nodig. In die situatie is het mogelijk om de P-toestand van de bodem te verlagen door gewassen te kiezen die veel fosfaat opnemen. Dit verlaagt in potentie de P-verliezen naar het watersysteem. Effecten op gewasopbrengst zijn beperkt.
G34	PR	Pas minder uitspoelingsgevoelige N-meststoffen toe	Gebruik in het voorjaar minerale meststoffen met een hoog ammoniumgehalte (>75%). Dat verlaagt het uitspoelingsrisico van N en geeft hogere grasopbrengsten.
G35	PR	Bijmesten met vloeibare N-meststoffen	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G36	PR	Kunstmestgift afstemmen op mineralisatie	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G37	PR	Bemesten met kunstmest bij temperatuursom boven de 180 oC-dagen	Het optimaal bemesten van gewassen door de mestgift zodanig te regelen dat op ieder tijdstip de gewenste hoeveelheid meststoffen voor het gewas beschikbaar is.
G57	PR	Hergebruik fosfor en stikstof uit slootbagger (baggerpomp)	Door een hoger organischstofgehalte kunnen meer nutriënten worden gebonden, waardoor het risico op uit- en afspoeling van nutriënten wordt beperkt.
G68	PR	Volvelds uitmijnen door negatief P-overschot (geen P-bemesting)	Bij bodems met een hoge P-beschikbaarheid is fosfaatbemesting niet nodig. In die situatie is het mogelijk om de P-toestand van de bodem te verlagen en daarmee de verliezen naar het watersysteem te beperken. Effecten op gewasopbrengst zijn beperkt.

	PR	Bijvoeding vee afstemmen op grasopname in de weide	Door het rantsoen van koeien af te stemmen op de hoeveelheid eiwitopname gedurende beweiding zorgt u voor minder ammoniakuitstoot en een andere mestkwaliteit. Hiermee stuurt u op een hogere bodembenutting van N en P.
G5	RE	Onderbemaling toepassen in veenweidegebied	Door het toepassen van onderbemaling staat de grondwaterstand lager, en wordt er extra fosfaat vastgelegd. Veenafbraak wordt echter versneld.
G11aBWP 3	RE	Aanleg nieuwe regelbare/peilgestuurde drainage	Door de peilhoogte te variëren kan de intensiteit van de drainage worden ingesteld. In droge perioden wordt water vastgehouden; bij een overschot aan water kan versneld worden ontwaterd.
G11bBWP 3	RE	Vervang bestaande drainage met regelbare/peilgestuurde drainage	Door de peilhoogte te variëren kan de intensiteit van de drainage worden ingesteld. In droge perioden wordt water vastgehouden; bij een overschot aan water kan versneld worden ontwaterd.
	RE	Slootmaaisel van perceels- en kavelsloten verwerken en afvoeren	Door na het slootschonen het maaisel te verwerken en af te voeren, lopen er minder nutriënten de sloot in, en kunt u het (laten) omzetten naar compost of bokashi
	RE	Slootkanten ecologisch maaien en onderhouden	Door slootkanten ecologisch te maken en te onderhouden, versterkt u de diversiteit van dieren en planten in de sloot. Dit is het belangrijkste doel van een schone en levendige boerensloot
	RE	Tegengaan van oeverafkalving door vee in het veenweidegebied	Oeverafkalving zorgt voor verlies van waardevolle grond en zorgt voor hoge P-belasting van het oppervlaktewater. Zorgt voor een stabiele oever door de oever te beschermen.
	RE	Sloot op diepte houden in veenweidegebied (minimaal 30 cm diep)	Door sloten op diepte te houden verbetert u de kansen voor planten en dieren om zich te ontwikkelen. Slootdiepte is een van de belangrijkste sturende variabelen om de ecologische waterkwaliteit te verbeteren.
	RE	Afdammen van eindsloot	Door het afdammen van een eindsloot houdt u extra water vast en vergroot u de kansen voor de ontwikkeling van een diverse vegetatie in de sloot.
G4	RO	Drinkbakken plaatsen midden in perceel	Het gebruik van drinkbakken bevordert dat urineplekken midden op het perceel aanwezig zijn en beperkt oeverafkalving, met name in veengronden. Dit heeft positieve effecten voor de waterkwaliteit
G19	RO	Zuiveren drainagewater (via omhullen van drains met zuiveringsmateriaal)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
G19	RO	Zuiveren drainagewater (via omhullen van drains met zuiveringsmateriaal)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
G19	RO	Zuiveren drainagewater (via omhullen van drains met zuiveringsmateriaal)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
G19	RO	Zuiveren drainagewater (via omhullen van drains met zuiveringsmateriaal)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
G19	RO	Zuiveren drainagewater (via omhullen van drains met zuiveringsmateriaal)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.

G19	RO	Zuiveren drainagewater (via omhullen van drains met zuiveringsmateriaal)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
G14	RO	Droge bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G14	RO	Droge bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G14	RO	Droge bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G14	RO	Droge bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G14	RO	Droge bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G14	RO	Droge bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G15	RO	Natuurvriendelijke oevers en/of waterbergingsoever	De aanleg van natuurvriendelijke oevers vergroot de biodiversiteit in de sloot en vermindert de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat.
G15	RO	Natuurvriendelijke oevers en/of waterbergingsoever	De aanleg van natuurvriendelijke oevers vergroot de biodiversiteit in de sloot en vermindert de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat.
G15	RO	Natuurvriendelijke oevers en/of waterbergingsoever	De aanleg van natuurvriendelijke oevers vergroot de biodiversiteit in de sloot en vermindert de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat.
G16	RO	Natte bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G16	RO	Natte bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G16	RO	Natte bufferstroken	Een strook grond (bufferstrook) tussen een landbouwperceel en het daarnaast gelegen oppervlaktewater om het water te beschermen tegen meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen.
G17	RO	Helofytenfilters nabij watergang	Een helofytenfilter zuivert het water dat via drains uit de bodem naar de sloot spoelt. De efficiëntie van het filter kan sterk variëren afhankelijk van perceel en slootkenmerken.

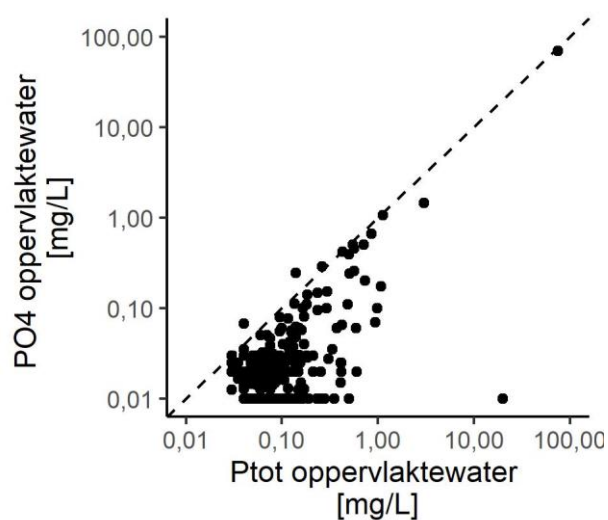
G17	RO	Helofytenfilters nabij watergang	Een helofytenfilter zuivert het water dat via drains uit de bodem naar de sloot spoelt. De efficiëntie van het filter kan sterk variëren afhankelijk van perceel en slootkenmerken.
G17	RO	Helofytenfilters nabij watergang	Een helofytenfilter zuivert het water dat via drains uit de bodem naar de sloot spoelt. De efficiëntie van het filter kan sterk variëren afhankelijk van perceel en slootkenmerken.
G18	RO	Aanleg infiltratiegreppel (tegengaan afspoeling)	Een infiltratiegreppel kan bij hoge neerslag intensiteit de afspoeling van oppervlaktewater met bodemdeeltjes en nutriënten afvangen voordat het in de sloot stroomt.
G18	RO	Aanleg infiltratiegreppel (tegengaan afspoeling)	Een infiltratiegreppel kan bij hoge neerslag intensiteit de afspoeling van oppervlaktewater met bodemdeeltjes en nutriënten afvangen voordat het in de sloot stroomt.
G18	RO	Aanleg infiltratiegreppel (tegengaan afspoeling)	Een infiltratiegreppel kan bij hoge neerslag intensiteit de afspoeling van oppervlaktewater met bodemdeeltjes en nutriënten afvangen voordat het in de sloot stroomt.
G18	RO	Aanleg infiltratiegreppel (tegengaan afspoeling)	Een infiltratiegreppel kan bij hoge neerslag intensiteit de afspoeling van oppervlaktewater met bodemdeeltjes en nutriënten afvangen voordat het in de sloot stroomt.
G18	RO	Aanleg infiltratiegreppel (tegengaan afspoeling)	Een infiltratiegreppel kan bij hoge neerslag intensiteit de afspoeling van oppervlaktewater met bodemdeeltjes en nutriënten afvangen voordat het in de sloot stroomt.
	RO	Zuiveren van drainagewater (aan het uiteinde van de drain bij slootkant)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
	RO	Zuiveren van drainagewater (aan het uiteinde van de drain bij slootkant)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
	RO	Zuiveren van drainagewater (aan het uiteinde van de drain bij slootkant)	Drainagewater kan een belangrijke bron zijn van fosfaat en nitraat naar het oppervlaktewater. Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om deze nutriënten uit het drainagewater te verwijderen voordat ze in het oppervlaktewater terechtkomen.
G21	RO	Terrassen aanleggen	Door de aanleg van terrassen vermindert het risico op oppervlakkige afstroming en gaat minder van de vruchtbare grond, de nutriënten en de gewasbeschermingsmiddelen verloren.
G21	RO	Terrassen aanleggen	Door de aanleg van terrassen vermindert het risico op oppervlakkige afstroming en gaat minder van de vruchtbare grond, de nutriënten en de gewasbeschermingsmiddelen verloren.
G21	RO	Terrassen aanleggen	Door de aanleg van terrassen vermindert het risico op oppervlakkige afstroming en gaat minder van de vruchtbare grond, de nutriënten en de gewasbeschermingsmiddelen verloren.
G47	RO	Breng drempels aan in ruggenteelten	Drempels in ruggenteelten laten regenwater infiltreren op de plaats waar het valt en verminderen plasvorming en afspoeling naar sloten.

G47	RO	Breng drempels aan in ruggenteelten	Drempels in ruggenteelten laten regenwater infiltreren op de plaats waar het valt en verminderen plasvorming en afspoeling naar sloten.
G47	RO	Breng drempels aan in ruggenteelten	Drempels in ruggenteelten laten regenwater infiltreren op de plaats waar het valt en verminderen plasvorming en afspoeling naar sloten.
	RO	Bewerk grond haaks op de helling	Contourbewerking vermindert het risico op oppervlakkige afstroming en gaat minder van de vruchtbare grond, de nutriënten en de gewasbeschermingsmiddelen verloren.
	RO	Bewerk grond haaks op de helling	Contourbewerking vermindert het risico op oppervlakkige afstroming en gaat minder van de vruchtbare grond, de nutriënten en de gewasbeschermingsmiddelen verloren.
	RO	Bewerk grond haaks op de helling	Contourbewerking vermindert het risico op oppervlakkige afstroming en gaat minder van de vruchtbare grond, de nutriënten en de gewasbeschermingsmiddelen verloren.
G64	RO	Maak greppels afsluitbaar in combinatie met bezinkplaats	Door greppels af te sluiten wordt meer water vastgehouden op het perceel waar het kan infiltreren, en het verlaagt de afspoeling van stikstof en fosfor. Beide kunnen erg hoog zijn na intensieve buien.
G64	RO	Maak greppels afsluitbaar in combinatie met bezinkplaats	Door greppels af te sluiten wordt meer water vastgehouden op het perceel waar het kan infiltreren, en het verlaagt de afspoeling van stikstof en fosfor. Beide kunnen erg hoog zijn na intensieve buien.
G64	RO	Maak greppels afsluitbaar in combinatie met bezinkplaats	Door greppels af te sluiten wordt meer water vastgehouden op het perceel waar het kan infiltreren, en het verlaagt de afspoeling van stikstof en fosfor. Beide kunnen erg hoog zijn na intensieve buien.
G69BWP6	RO	Randdam i.c.m. bezinkgreppel om perceel	Een grondwal rondom het perceel in het winterhalfjaar voorkomt dat water, bodemdeeltjes en nutriënten oppervlakkig afstromen.
G69BWP6	RO	Randdam i.c.m. bezinkgreppel om perceel	Een grondwal rondom het perceel in het winterhalfjaar voorkomt dat water, bodemdeeltjes en nutriënten oppervlakkig afstromen.
G69BWP6	RO	Randdam i.c.m. bezinkgreppel om perceel	Een grondwal rondom het perceel in het winterhalfjaar voorkomt dat water, bodemdeeltjes en nutriënten oppervlakkig afstromen.
G6BWP1	WA	Water vasthouden in kavelsloot door LOP-stuw / verhogen duiker / slootbodembodem / dempen sloot	Door het plaatsen van (kleine) stuwtjes kan water langer vastgehouden worden. Hierdoor ontstaat een dynamisch peilbeheer.
G6BWP1	WA	Water vasthouden in kavelsloot door LOP-stuw / verhogen duiker / slootbodembodem / dempen sloot	Door het plaatsen van (kleine) stuwtjes kan water langer vastgehouden worden. Hierdoor ontstaat een dynamisch peilbeheer.
G6BWP2	WA	Water vasthouden in kavelsloot door een afsluiter op een duiker	Water vasthouden in een kavelsloot door; een klep- of schuif afsluiter die aangesloten zit op een duiker in de sloot
G6BWP2	WA	Water vasthouden in kavelsloot door een afsluiter op een duiker	Water vasthouden in een kavelsloot door; een klep- of schuif afsluiter die aangesloten zit op een duiker in de sloot
G7	WA	Onderwaterdrainage	Bij onderwaterdrainage worden de drains 10 tot 20 cm onder het slootpeil aangelegd. Hierdoor kan in droge perioden slootwater via de drains in het perceel infiltreren.

G7	WA	Onderwaterdrainage	Bij onderwaterdrainage worden de drains 10 tot 20 cm onder het slootpeil aangelegd. Hierdoor kan in droge perioden slootwater via de drains in het perceel infiltreren.
G7	WA	Onderwaterdrainage	Bij onderwaterdrainage worden de drains 10 tot 20 cm onder het slootpeil aangelegd. Hierdoor kan in droge perioden slootwater via de drains in het perceel infiltreren.
G8BWP4	WA	Opnieuw benutten van drainagewater	Drainagewater opnieuw benutten door bijvoorbeeld water opnieuw op een droger perceel te laten infiltreren
G12BWP1 0	WA	Zuinig beregenen door beregeningssignaal, druppelbevloeiing of vergelijkbaar	Zuinig beregenen door het structureel toepassen van: beregeningssignaal of druppelbevloeiing/vergelijkbare zuinige technieken.
G12BWP1 1	WA	Zuinig beregenen door computergestuurde beregeningshaspel	Een computergestuurde beregeningshaspel, voorzien van variabele oprolsnelheid, in te stellen zones, voor- en naberegening. Hiermee is de watergift efficiënt en effectief, de watergeift over het perceel is zoals ingesteld.
G12BWP1 2	WA	Zuinig beregenen door m.b.v. vochtsensoren, zoals tensiometers.	Met tensiometers informatie verzamelen over het bodembocht op verschillende dieptes in de wortelzone. Pas bij het bereiken van een bepaalde bodemvochtwaarde is beregening noodzakelijk.
BWP13	WA	Accepteren van hogere stuwpeilen in de categorie A oppervlaktewaterlichamen	Het accepteren van een hogere slootwaterstand heeft een positief effect op de grondwaterstand in de omgeving en er blijft meer water in het gebied.
BWP7	WA	Verhogen van het watervasthoudend vermogen van de bodem	Organische stof heeft een positieve invloed op het bodemleven, de levering van nutriënten, de bodemstructuur en de vochtlevering.

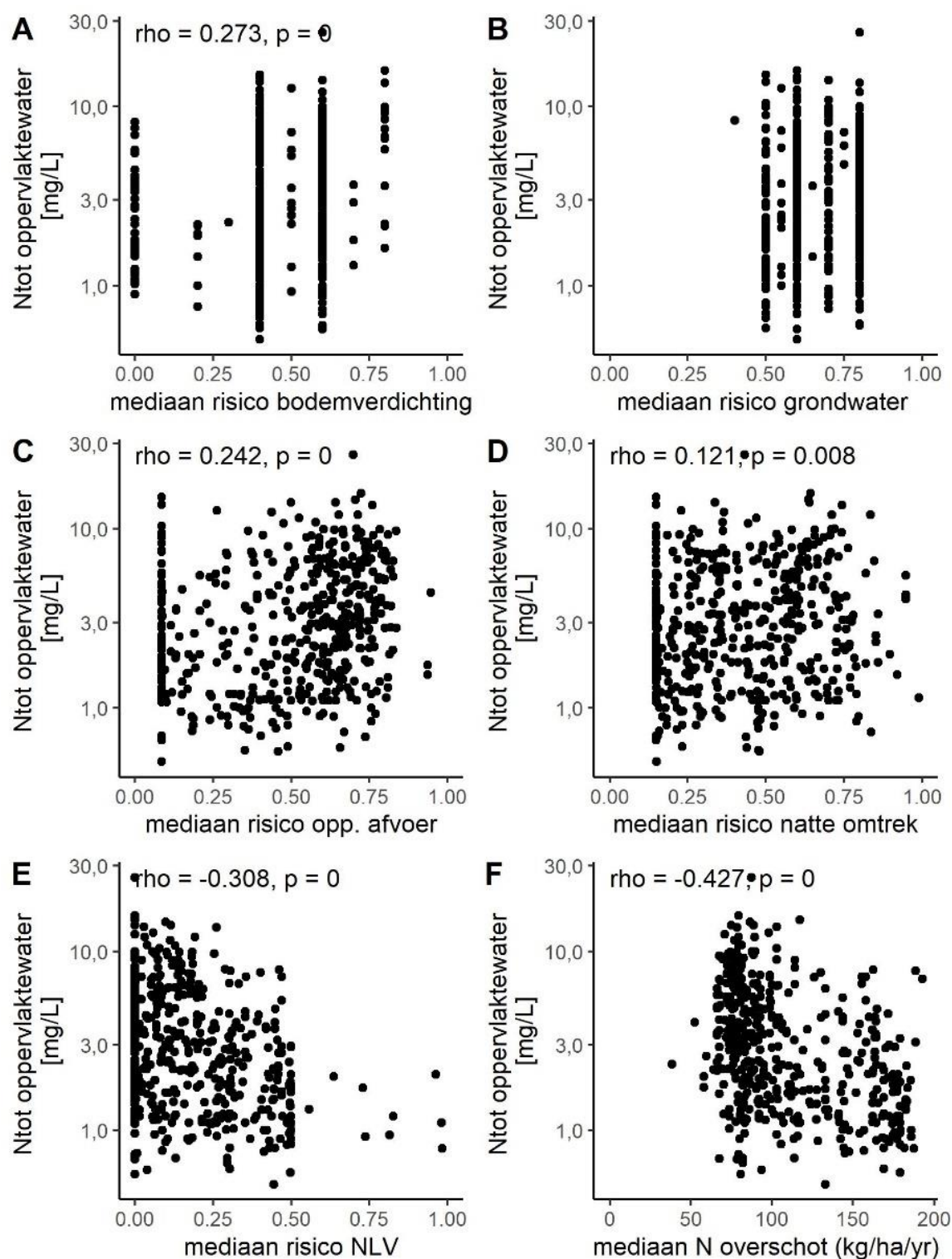
Bijlage II. Extra figuren waterkwaliteit

Relatie tussen P-totaal concentratie en PO_4 concentratie in oppervlaktewater



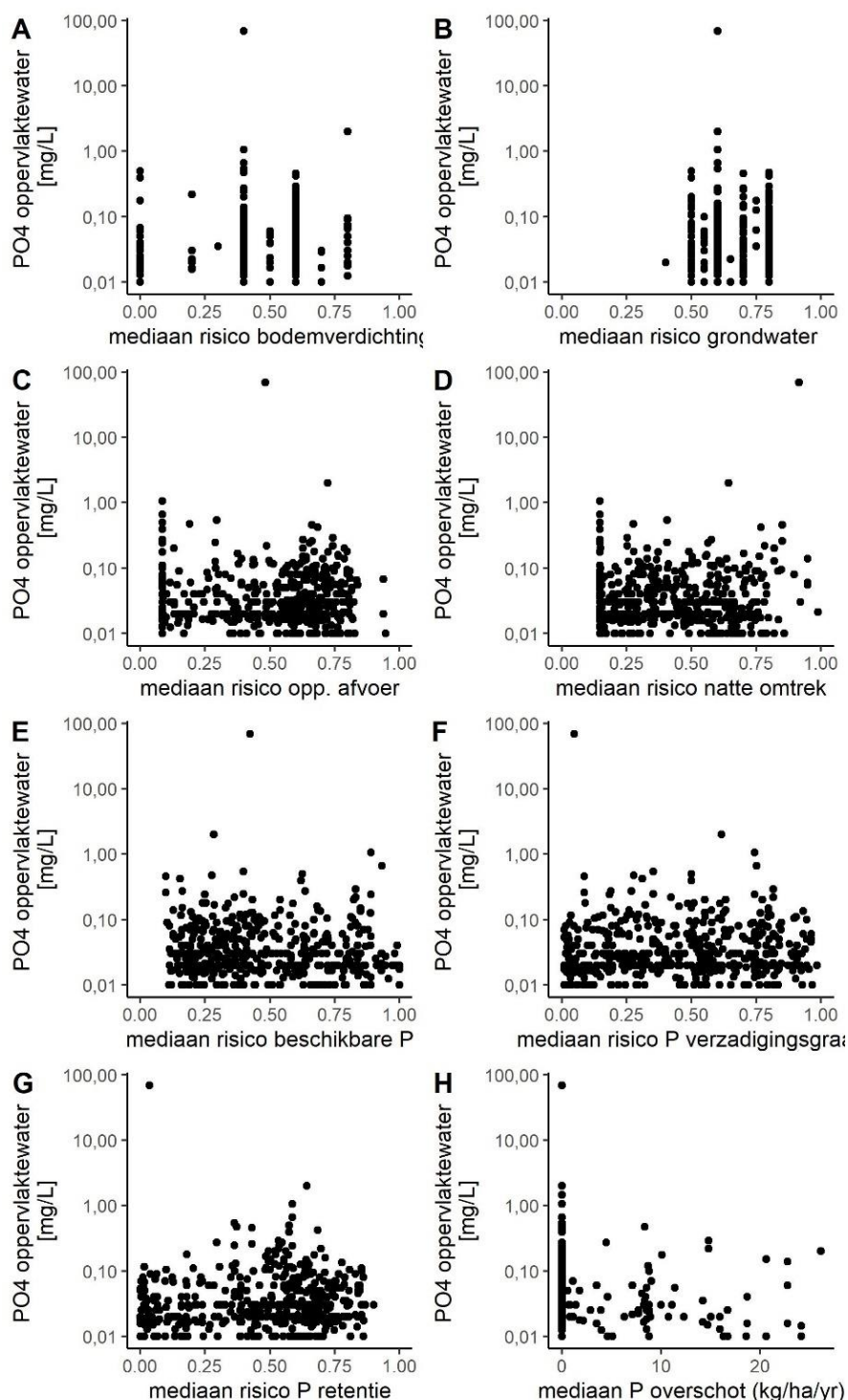
Figuur 5-1. Relatie tussen P-totaal concentratie en PO_4 concentratie in het oppervlaktewater, voor de meetpunten waarvoor beide gegevens beschikbaar zijn ($n = 298$). De stippenlijn is 1:1 lijn.

Relatie tussen N-totaal concentratie in oppervlaktewater en deelindicatoren voor N-afspoelingsrisico



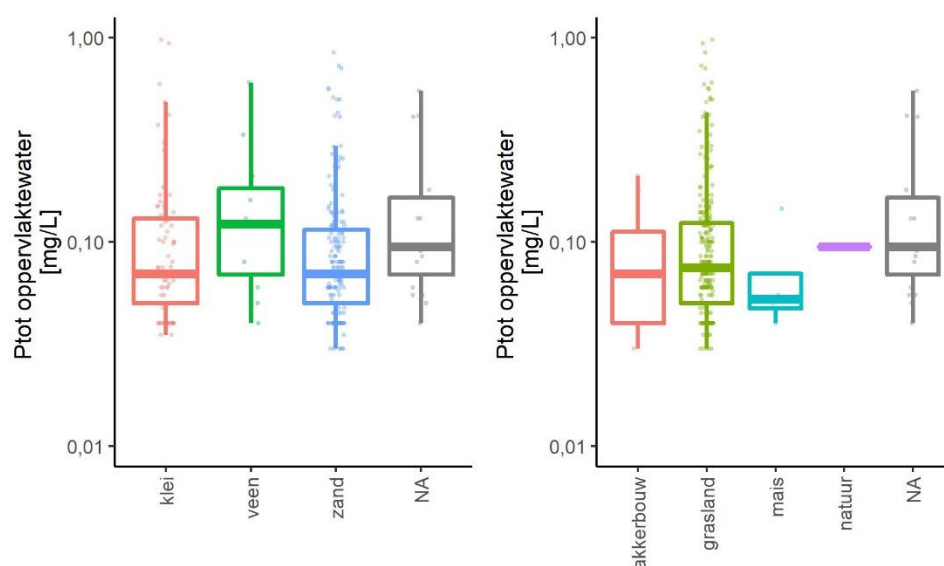
Figuur 5-2. Relatie tussen totale N concentratie in oppervlaktewater en eigenschappen van de percelen binnen een straal van 500 m rond de meetpunten. De eigenschappen zijn de mediaanwaardes van 5 indicatoren waarop de berekening van de risicoindicator op stikstof afspoeling naar het oppervlaktewater is berekend (A-E), en N overschot (F). De 5 risicoindicatoren zijn: A) het risico op ondergrondverdichting, B) de grondwatertrap, C) de oppervlakkige afspoeling, D) de natte omtrek van het perceel, en E) het N-gehalte in de bouwvoor. Een hogere waarde duidt op een hoger risico. N overschot was berekend door INITIATOR model. De coëfficiëntwaarde (ρ) en de p-waarde van de Spearman's rangcorrelatie worden getoond wanneer de relatie significant ($p < 0.05$) is.

Relatie tussen PO₄ concentratie in oppervlaktewater en deelindicatoren voor P-afspoelingsrisico



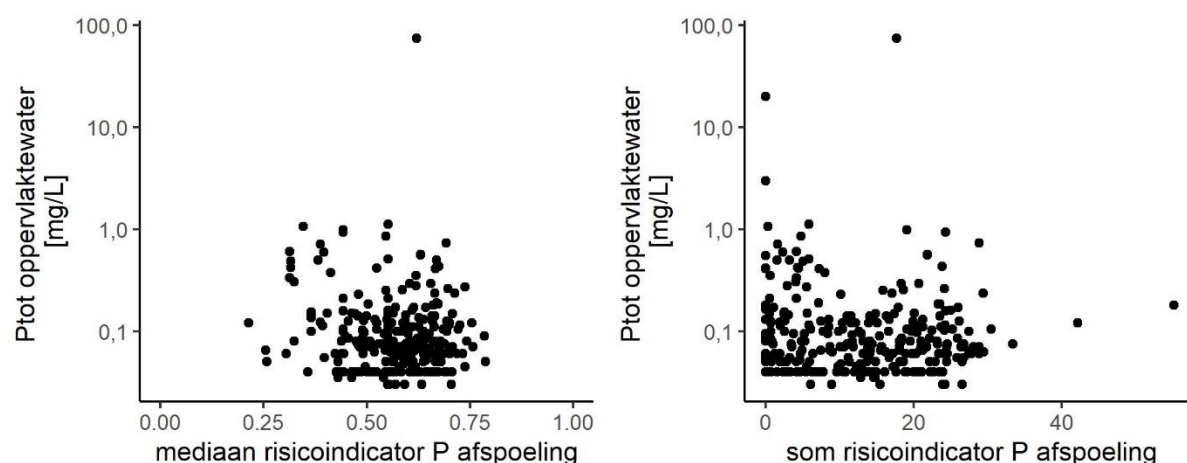
Figuur 5-3. Relatie tussen PO₄ concentratie in oppervlaktewater en eigenschappen van de percelen binnen een straal van 500 m rond de meetpunten. De eigenschappen zijn de mediaanwaarden van 7 deelindicatoren waarop de berekening van de risicoindicator op stikstof afspoeling naar het oppervlaktewater is berekend (A-G), en P overschot (F). De 7 risicoindicatoren zijn: A) het risico op ondergrondverdichting, B) de grondwatertrap, C) de oppervlakkige afspoeling, D) de natte omtrek van het perceel, en E) de direct beschikbare hoeveelheid fosfaat, F) de P-verzadigingsgraad, en G) de P-retentie. Een hogere waarde duidt op een hoger risico. P overschot was berekend door INITIATOR model. De coëfficiëntwaarde (ρ) en de p-waarde van de Spearman's rangcorrelatie worden getoond wanneer de relatie significant ($p < 0.05$) is.

Totale P concentratie in oppervlaktewater



Figuur 5-4. Concentratie van totale P in het oppervlaktewater voor verschillende bodemtypes (links) en gewassoorten (rechts) van de omliggende percelen. De meest voorkomende bodemtypes of gewassoorten van percelen binnen een straal van 500 m rond de meetpunten werden genomen. NA betekent dat er geen percelen binnen 500 m van het meetpunt liggen. Box staat voor de mediaan, 25e percentiel en 75e percentiel. De figuren zijn om visuele redenen afgekapt op concentraties onder de 1 mg/l

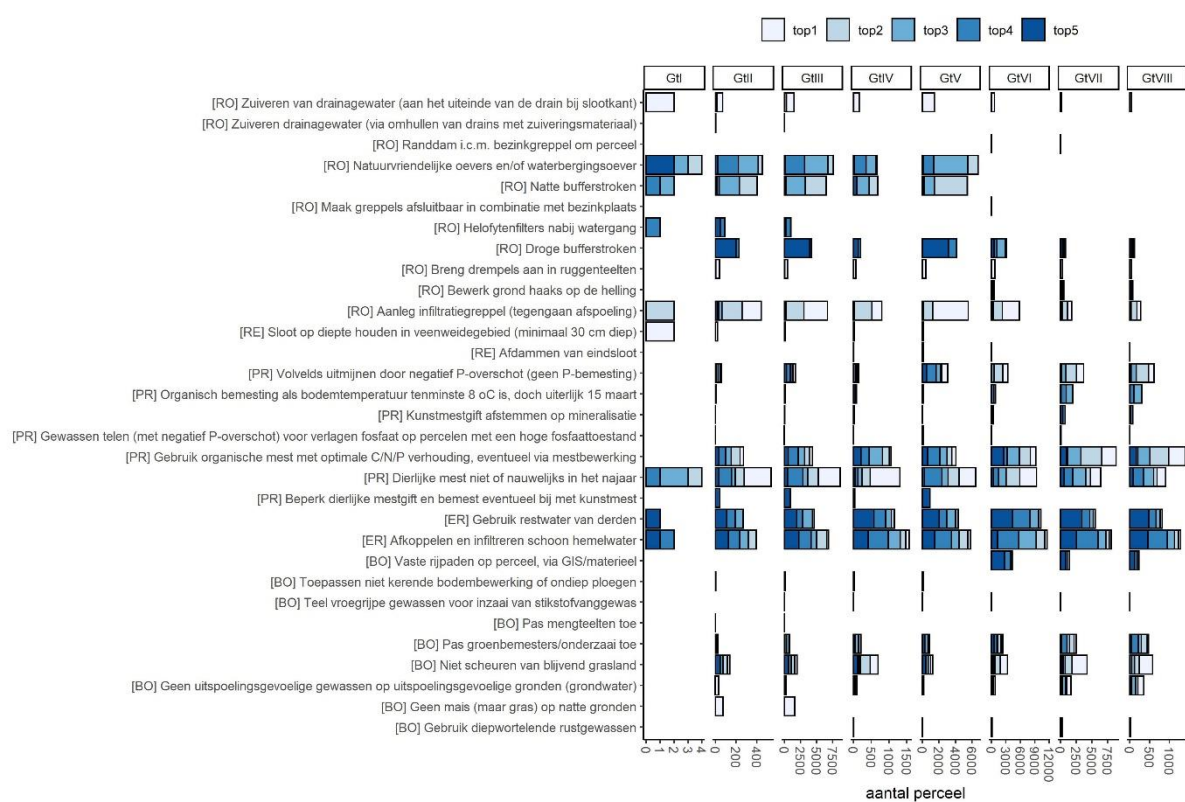
Relatie tussen totale P concentratie in oppervlaktewater en P afspoelingsrisicoindicator



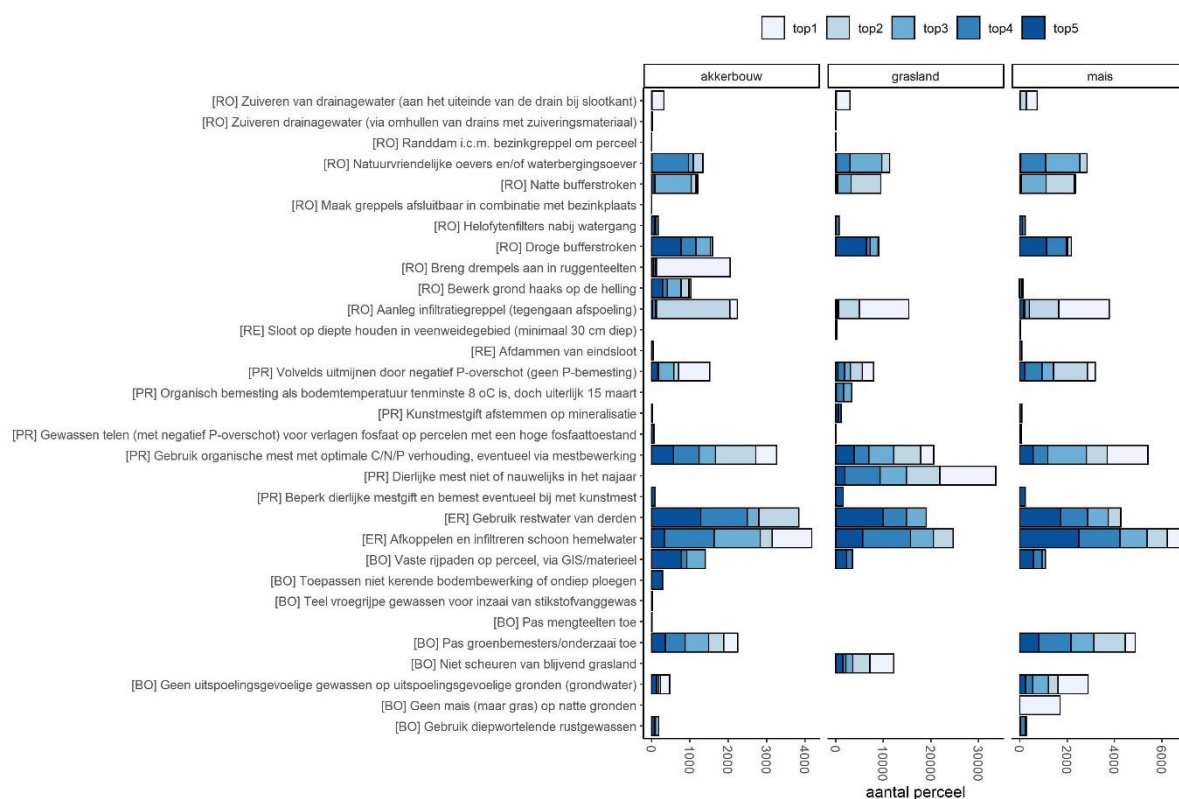
Figuur 5-5. Verband tussen de totale P-concentratie in het oppervlaktewater en de risico-indicatorwaarde voor de P-afspoeling van de percelen die zich binnen 500 m van het meetpunt bevinden. Een hogere waarde van de risico-indicator (max. 1) betekent een hoger risico van afspoeling. De waarde van de risico-indicator werd uitgedrukt als mediaan van alle omliggende percelen (links) of als som (rechts, $n = 521$). De coëfficiëntwaarde (ρ) en de p -waarde van de Spearman's rangcorrelatie worden getoond wanneer de relatie significant ($p < 0.05$) is.

Bijlage III. Geselecteerde maatregelen

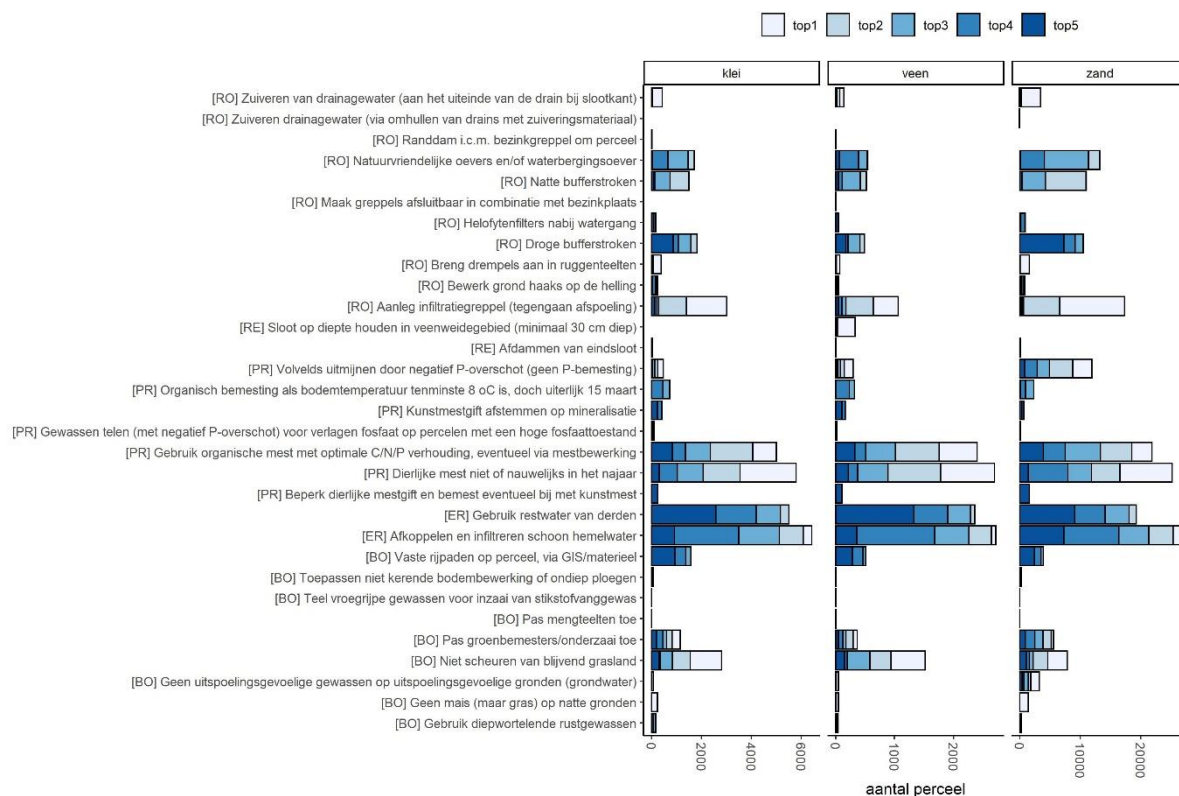
Beste maatregelen per grondwatertrap



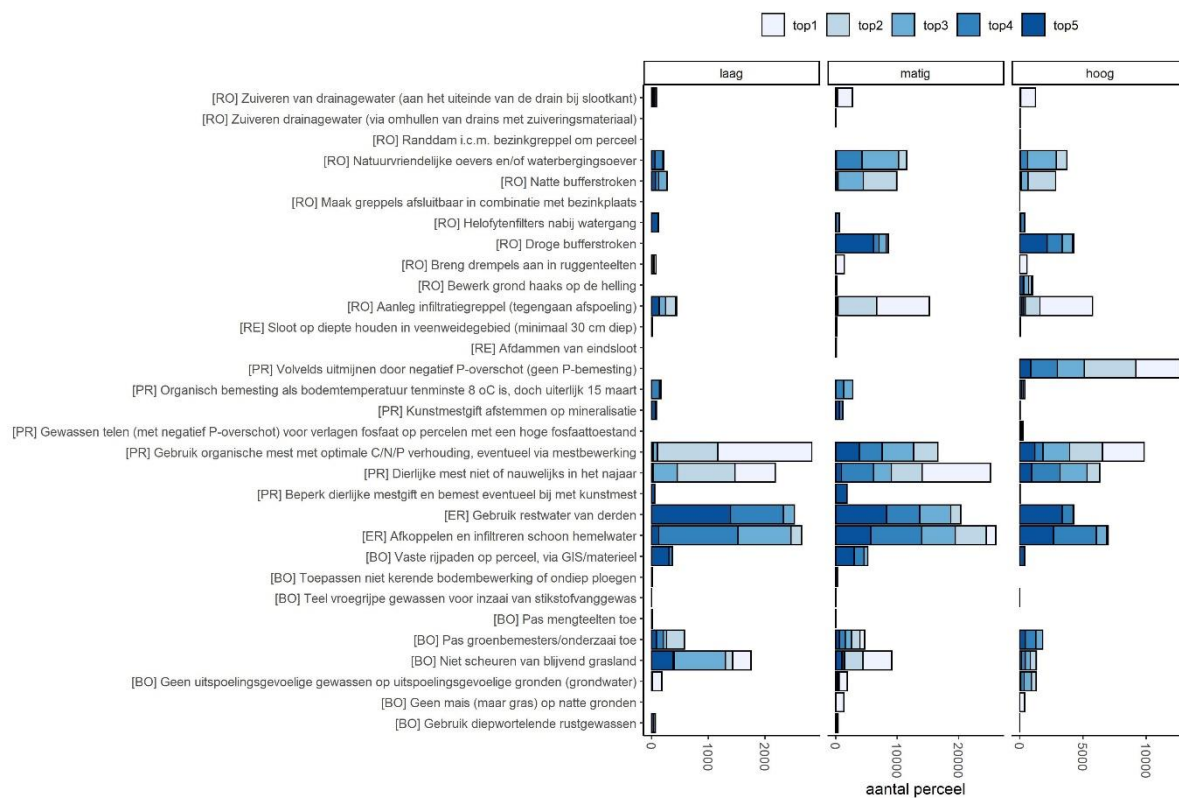
Beste maatregelen per gewastype



Beste maatregelen per grondsoort



Beste maatregelen per P-verzadigingsgraad



Bijlage IV. Risicoindicatoren

Tabel 2. Indicators en deelindicators van risico op N uitspoeling, N afspoeling en P afspoeling.

Variabele	Beschrijving
D_RISK_NGW	Risicoindicator op N uitspoeling
D_RISK_NSW	Risicoindicator op N afspoeling
D_RISK_PSW	Risicoindicator op P afspoeling
ngw_scr	Risico op N uitspoeling door bodemverdichting
ngw_lea	Risico op N uitspoeling door uitspoeling
ngw_nlv	Risico op N uitspoeling door N levering
nsw_scr	Risico op N afspoeling door bodemverdichting
nsw_gwt	Risico op N afspoeling door grondwaterstand
nsw_ro	Risico op N afspoeling door oppervlakkige afvoer
nsw_ws	Risico op N afspoeling door natte omtrek
nsw_nlv	Risico op N afspoeling door N levering
psw_scr	Risico op P afspoeling door bodemverdichting
psw_gwt	Risico op P afspoeling door grondwaterstand
psw_ro	Risico op P afspoeling door oppervlakkige afvoer
psw_ws	Risico op P afspoeling door natte omtrek
psw_pcc	Risico op P afspoeling door beschikbare P
psw_pvg	Risico op P afspoeling door P-verzadigingsgraad
psw_pret	Risico op P afspoeling door P retentie



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl