



Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit

Deel 2. De impact van bodem op ruwvoerproductie en mineralenbenutting

Gerard H. Ros

Wim Bussink

Yuki Fujita

Referaat

Ros GH, Bussink DW & Y Fujita (2021). Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 2. De impact van bodem op ruwvoerproductie en mineralenbenutting. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.2, 43 pp.

Rapport in het kort

Voor alle landbouwbedrijven die participeren binnen de Vruchtbare kringloop Achterhoek zijn relaties in kaart gebracht tussen de gewasopbrengst, het P-gehalte en de nutriëntenbenutting op bedrijfsniveau en de ruimtelijke variatie in bodemkenmerken en bemesting. Op basis van de analyse van de bedrijfsgegevens en de data uit agrarische meetnetten blijkt dat de belangrijkste knelpunten liggen rondom de het sluiten van de kringloop van fosfaat (lees: voorkom achteruitgang in bodemvruchtbaarheid en verhoog de benutting van meststoffen), het zorgen voor een goede bodemstructuur (lees: voorkom verdichting) en beschikbaarheid van water (lees: voorkom gewasschade door droogte). Er liggen kansen in de bodem voor een optimale en duurzame ruwvoerproductie via de strategieën: verbeter de kringloop, verbeter het bindend vermogen van de bodem en optimaliseer het bouwplan.

© 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	4
2.1 Databronnen	4
2.2 Statistische methode	5
2.3 Reflectie studiegroepen	5
3 Resultaten & Discussie	6
3.1 Algemene trends van ruwvoerproductie	6
3.2 Bodemkwaliteit en ruwvoer: inzichten vanuit studiegroepen	8
3.3 Bodemkwaliteit en ruwvoerproductie: trends in de hele regio	11
4 Handelingsperspectief	16
5 Literatuur	20
Bijlage I: Opbrengst en FAPAR	21
Bijlage II: Correlatie op bedrijfsniveau	23
Bijlage III: XGBoost modelresultaten	26
Bijlage IV: resultaten in detail	36

Samenvatting en conclusies

Om in de Achterhoek een verbeterslag 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. Data, kennis en praktijkervaring wordt zo ingezet in effectieve maatregelen waarmee gestuurd kan worden op een hogere (dan wel stabiele) gewasopbrengst, een effectieve bemestingspraktijk en weinig uitspoeling. 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.

In een eerdere rapportage is voor de hele Achterhoek een gebiedsbeschrijving gegeven op basis van de beschikbare meetgegevens bij boeren, overheden en kennisinstellingen. Het voorliggende rapport vormt het tweede deel, en focust op de relatie tussen bodemkwaliteit en de gewasproductie en mineralenbenutting. Het geeft daarmee antwoord op de vraag of en zo ja hoe via duurzaam bodembeheer gestuurd kan worden op een stabiele en hoge gewasproductie en tegelijkertijd op minimale verliezen naar grond en oppervlaktewater. Op basis van de analyse van de bedrijfsgegevens van de VKA-deelnemers en de data uit agrarische meetnetten blijkt dat de belangrijkste knelpunten liggen rondom de het sluiten van de kringloop van fosfaat (lees: voorkom achteruitgang in bodemvruchtbaarheid en verhoog de benutting van meststoffen), het zorgen voor een goede bodemstructuur (lees: voorkom verdichting) en beschikbaarheid van water (lees: voorkom gewasschade door droogte). Duurzaam bodembeheer in de praktijk gaat dan concreet om het werken aan organische stof en het bodemleven, gewasvolgorde en bouwplan, de waterhuishouding en bemesting en bekalking.

Zorg voor een goede bodemkwaliteit kan worden samengevat in drie strategieën:

1. Verdeel en heers: verbeter de kringloop
2. Verbeter het bindend vermogen van de bodem
3. Optimaliseer het teeltplan

De eerste strategie is gericht op het optimaliseren van de bemestingspraktijk gegeven de natuurlijke capaciteit van bodems om nutriënten te leveren en te bufferen. Dit zorgt voor een hogere P-opname in het voorjaar, een snellere gewasgroei, een hogere gewasopbrengst als ook het op peil houden van de bodemvruchtbaarheid. De tweede strategie is erop gericht de bufferende werking van de bodem voor koolstof, nutriënten en water te vergroten. De derde strategie heeft als doel om de bodemkwaliteit ook op lange termijn gezond te houden en een positieve bijdrage te leveren aan de kwaliteit van de leefomgeving. Elke strategie wordt aan de hand van concrete voorbeelden toegelicht en uitgewerkt. Er liggen daarmee kansen in de bodem voor een optimale en duurzame ruwvoerproductie.

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. 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 gaat onder meer om het nemen van de juiste maatregelen op de juiste plek om zo de waterkwaliteit te verbeteren. 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). 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, 2018ab).

In een eerdere rapportage (Fujita & Ros, 2021) is voor de hele Achterhoek een gebiedsbeschrijving gegeven op basis van de beschikbare meetgegevens bij boeren, overheden en kennisinstellingen. Het voorliggende rapport vormt het tweede deel, en focust op de relatie tussen bodemkwaliteit en de gewasproductie en mineralenbenutting. Het geeft daarmee antwoord op de vraag of en zo ja hoe via duurzaam bodembeheer gestuurd kan worden op een stabiele en hoge gewasproductie en tegelijkertijd op minimale verliezen naar grond en oppervlaktewater.

2 Materiaal & methode

2.1 Databronnen

Voor deze studie zijn gegevens gebruikt over gewasopbrengsten, bemesting en bodemkwaliteit.

Gewasopbrengsten

De gegevens over de opbrengst zijn afkomstig van de gegevens vanuit de KringloopWijzer (KLW) voor de bedrijven die deel uitmaken van de Vruchtbare Kringloop Achterhoek. Het omvat de opbrengst op bedrijfsniveau (in kg drogestof per ha), afzonderlijk voor productiegrasland, maisland, en natuurgrasland. De opbrengstgegevens voor bouwland zijn niet beschikbaar. De gegevens zijn beschikbaar voor de jaren 2017, 2018 en 2019 voor 283 bedrijven. Voor de analyse in deze studie zijn gemiddelde opbrengsten over deze 3 jaar gebruikt.

De opbrengstgegevens vanuit de KLW zijn geaggregeerd op bedrijfsniveau, waardoor de opbrengst van elk perceel onbekend is. We hebben gebruik gemaakt van satelietgegevens om de variatie in opbrengst tussen de percelen binnen een bedrijf in kaart te brengen. Hier hebben we gebruik gemaakt van FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), de fractie of efficiëntie van de geabsorbeerde PAR straling (Photosynthetic Active Radiation). Een lage FAPAR betekent dat er een lage primaire productie is, zoals aangegeven door de studie van Jung et al. (2008) voor een uitgebreide Europese dataset. Hoe de relatie is met gewasopbrengsten binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel wordt weergegeven in bijlage I.

Omdat de FAPAR een maat is voor de gewasopbrengst op elk perceel, kan deze informatie ook gebruikt worden om de bedrijfsgemiddelde opbrengst te “verdelen” over alle percelen naar rato van de fractie geabsorbeerde PAR-straling. Dit is gedaan voor elk bedrijf. De gebruikte FAPAR-waarde is de gemiddelde van alle maanden van 2014 – 2018 op 300m resolutie.

Bemesting

De gegevens over het bemestingsniveau en het nutriëntenoverschot van gras en mais van de VKA-bedrijven zijn afkomstig van de KLW-database. Het bodemoverschot aan N is hierbij gebaseerd op de totale aanvoer van stikstof (inclusief mest, depositie, enz). De benutting van N en P zoals gebruikt in deze studie is berekend als het percentage van de totale aanvoer van mest (kunstmest en dierlijke mest) dat opgenomen is door het gewas, afzonderlijk voor grasland en maisland.

De bemestingsniveau van elk perceel is berekend met het INITIATOR-instrumentarium (Ros & Fujita 2021). Hoewel INITIATOR het bemestingsniveau op regionale schaal gemiddeld goed in beeld brengt, kunnen er lokaal op bedrijfsniveau grote afwijkingen optreden. De ruimtelijke allocatie op basis van grondsoort, landgebruik en fosfaattoestand van de bodem (als relatieve maat) is daarentegen redelijk accuraat. Daarom zijn de bemestinggegevens op perceelsniveau geijkt (ofwel genormaliseerd) aan de hand van de bemestingsgegevens op bedrijfsniveau zoals deze aanwezig zijn vanuit de KringloopWijzer. Dit betekent concreet dat de gemiddelde mestgift per bedrijf overeenkomt met de gegevens uit de

KringloopWijzer, en dat de ruimtelijke variatie voortbouwt op de berekening van INITIATOR (een verdeling op basis van de P-bodemtoestand).

Bodemkwaliteit

Om de factoren die van invloed zijn op de opbrengst en de P-benutting te onderzoeken, zijn een aantal bodemparameters van percelen gebruikt zoals deze standaard via landbouwkundig onderzoek worden gemeten. Hierbij is gebruik gemaakt van zowel de metingen als de interpretatie (dan wel beoordeling) van de metingen conform de systematiek van de Open Bodemindex (Ros, 2019; Fujita & Ros, 2021d).

2.2 Statistische methode

Om meer zicht te krijgen op de factoren die van invloed zijn op de gewasproductie van gras en mais, de P-concentratie, als ook de N- en P-benutting, is gebruik gemaakt van tree learning algoritmen, en wel in het bijzonder van Random Forest (Breiman, 2001) en Gradient Boosted Trees en wel XGboost (Friedman, 2001; Chen & Guestrin, 2016). Dit zijn bijzonder krachtige algoritmen om verbanden in data te ontdekken en worden de laatste jaren veel toegepast bij het analyseren van grote databestanden (Molnar, 2018). Alle analyses zijn uitgevoerd in het opensource programma R. Achtereenvolgens zijn de volgende parameters onderzocht: opbrengst, P-gehalte en N- en P-benutting. De analyse is uitgevoerd op perceels- en bedrijfsniveau, waarbij aan de bedrijfsgegevens random ruis is toegevoegd (met een maximum van 5% van één keer de standaard deviatie) om zo beter grip te krijgen op de onderliggende verbanden (deze ruis voorkomt dat een *regression tree* verwordt tot een selectiealgorithme waarbij het model zichzelf herkent). Hierbij is gebruik gemaakt van een grote set aan bodem- en bemestingsgegevens, waaronder bodemchemische, -fysische en- biologische kenmerken. Een gedetailleerde omschrijving hiervan is opgenomen in tabel 1 in bijlage II.

Het gebruikte XGBoost model is getraind op een deel van de database (85%) en is getoetst op een onafhankelijke subset van deze database (15%). Voor de toets wordt het model vergeleken met de gemeten waarden, waarbij voor de evaluatie gebruik wordt gemaakt van het percentage verklaarde variantie als ook de RMSE (Root Mean Squared Error) als de nRMSE (normalized RMSE by mean).

Daarnaast zijn op basis van dezelfde verklarende variabelen rank correlatie tests uitgevoerd om op bedrijfs- en perceelsniveau inzicht te krijgen in de relatie tussen opbrengst, P-gehalte, N- en P-benutting enerzijds en bodemkenmerken en bemesting anderzijds. Voor de analyse op bedrijfsniveau werden de bodemkenmerken geaggregeerd naar een gemiddelde bodemkenmerk per bedrijf, daarbij rekening houdend met het landgebruik. Voor numerieke variabelen is hierbij gebruik gemaakt van de mediane waarde van alle betrokken percelen per bedrijf. Voor categoriele variabelen is gebruik gemaakt van de meest voorkomende waarde. Voor de analyse per perceel is gebruik gemaakt van de bedrijfsgegevens uit de K LW, waarbij deze over de relevante percelen per bedrijf zijn “verdeeld” (zie sectie 2.1.) gebaseerd op de ruimtelijke variatie in FAPAR (voor gewasopbrengst) en INITIATOR (voor bemesting).

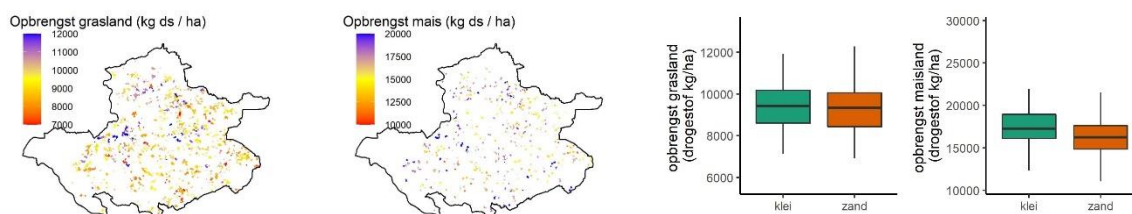
2.3 Reflectie studiegroepen

In 2020 en 2021 zijn de resultaten van dit onderzoek in verschillende studiegroepen van de VKA besproken, waarbij ingegaan werd op de belangrijkste knelpunten als ook oplossingen. Dit gebeurde binnen een 15-tal thema-bijeenkomsten met als titel “Kansen in de bodem voor een optimale ruwvoerproductie”. Per bedrijf zijn vanuit de K LW-database gegevens gebruikt van de bemesting, de gewasopname en de bodembenutting (voor gras en mais) als ook de gemiddelde bodemeigenschappen op basis van beschikbare Eurofins bodemanalyseresultaten (voor gras en mais). Opgedane inzichten vanuit deze bijeenkomsten zijn in dit rapport verwerkt.

3 Resultaten & Discussie

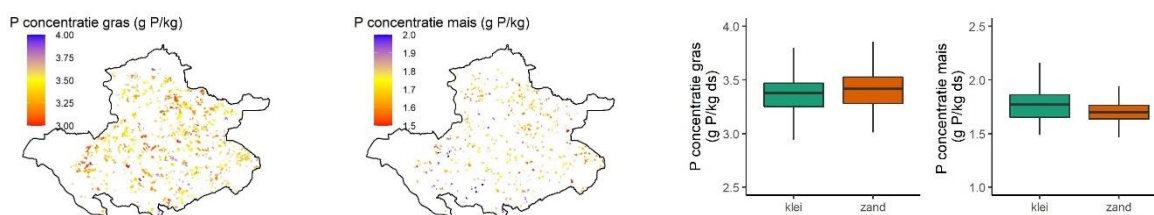
3.1 Algemene trends van ruwvoerproductie

De opbrengst varieert tussen 5,6 (extreem laag) en 13,3 ton drogestof ha⁻¹ voor productiegrasland en tussen 10 en >20 ton drogestof ha⁻¹ voor maisland (Figuur 3.1). De opbrengst van grasland is vergelijkbaar tussen klei- en zandgronden, met een gemiddelde waarde van respectievelijk 9,3 en 9,4 ton ha⁻¹. Erg hoge opbrengsten komen niet voor. De opbrengst van maisland is iets hoger voor kleigronden (gemiddeld 17,3 ton ha⁻¹) dan zandgronden (16,2 ton ha⁻¹). Opbrengsten hoger dan 20 ton mais ha⁻¹ komen alleen voor in warme jaren met voldoende vocht (uit de bodem of via beregening).



Figuur 3-1. Opbrengst van grasland ($n = 283$) en mais ($n = 259$) in kg ds per ha van onderzochte VKA-bedrijven, ruimtelijk weergegeven (links) en bedrijfsgemiddeld per dominant bodemtype (rechts). Zie bijlage IV voor figuren in meer detail.

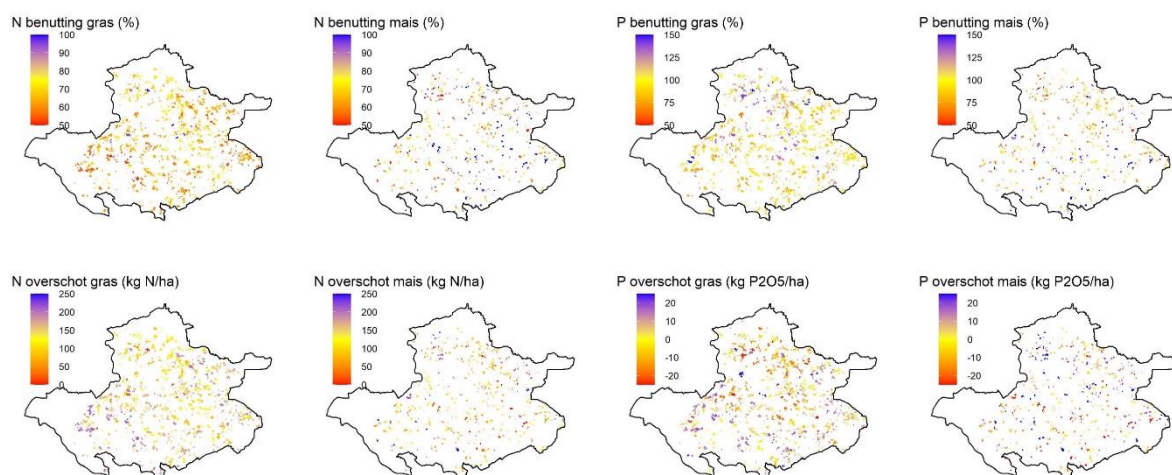
De P-concentratie in het geoogste gewas varieert jaargemiddeld tussen 2,9 en 3,9 g P kg⁻¹ voor gras en tussen 1,4 en 2,2 g P kg⁻¹ voor mais (Figuur 3.2). De gemiddelde P-concentratie van gras verschilt weinig tussen klei en zandgrond, terwijl de gemiddelde P-concentratie van mais gemiddeld iets hoger is op kleigrond (1,76 g P kg⁻¹) dan op zandgrond (1,70 g P kg⁻¹).



Figuur 3-2. Bedrijfsgemiddelde P-concentratie (g P kg⁻¹) van grasland ($n = 283$) en van mais ($n = 259$) op VKA-bedrijven, ruimtelijk weergegeven (links) en bedrijfsgemiddeld per dominant bodemtype (rechts). Zie bijlage IV voor figuren in meer detail.

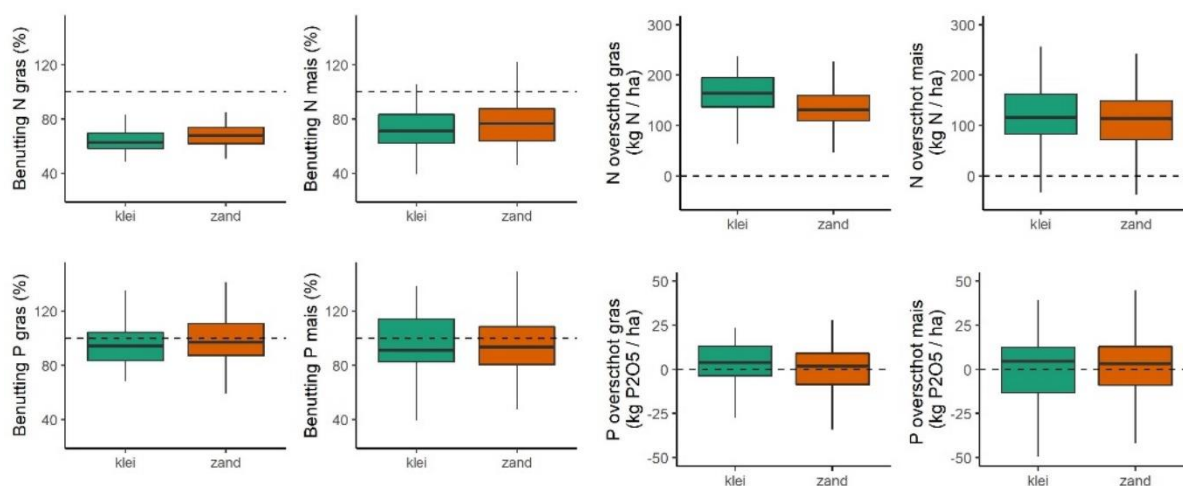
De bodembenutting (gewas opname gedeeld door totale bemestingsinput) van fosfaat is substantieel hoger dan die voor stikstof, zowel voor gras als mais (Figuur 3-3). De benutting varieert tussen 52 – 93% voor N en tussen 69 – 202% voor P. De N-benutting van grasland is gemiddeld iets hoger voor zandgrond (68%) dan voor kleigrond (65%) (Figuur 3-4). De N-benutting is gemiddeld hoger voor mais dan gras.

Voor grasland is de N-benutting in maisland gemiddeld hoger voor zandgrond (89%) dan voor kleigrond (77) (Figuur 3-4). De P-benutting is vergelijkbaar voor mais en gras, met een mediaanwaarde rond 96%. De benutting van P verschilt niet tussen de grondsoorten voor gras en voor mais (Figuur 3-4).



Figuur 3-3. Bodembenutting (%) van N (linksboven) en P (rechtsboven) in bodem voor gras en mais als ook het N-overschot (linksonder) en P-overschot (rechtsonder) op de deelnemende VKA-bedrijven.

De hogere benutting van P dan van N hangt samen met het feit dat fosfaatopname door het gewas grotendeels via de bodem verloopt; de toegediende fosfaat komt in evenwicht met de bodem waarna de chemische processen in de bodem de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing in evenwicht houden bij onttrekking door het gewas. De aanvoer van P is binnen het huidige mestbeleid gestoeld op evenwicht, waarbij de totale aanvoer vergelijkbaar is met de gewasopname. Het P-overschot is daarom laag voor gras (gemiddeld 1,0 kg P_2O_5 ha⁻¹) als ook voor maïs (gemiddeld 1,5 kg P_2O_5 ha⁻¹). In tegenstelling met fosfaat is stikstof veel mobieler en treden er in ons klimaat intrinsieke verliezen op via ammoniakvervluchtiging, denitrificatie en uitspoeling.

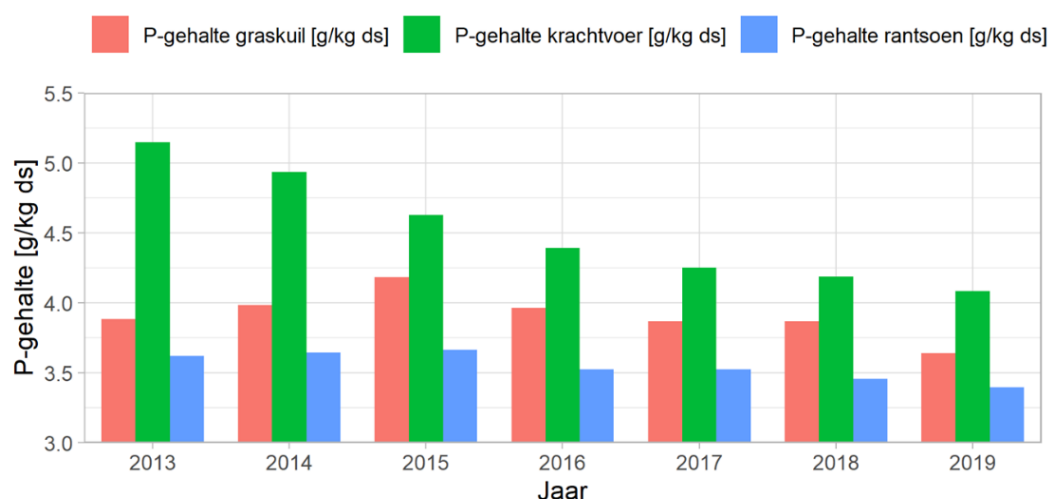


Figuur 3-4. Bodembenutting (%) van N in bodem voor gras en mais (linksboven), en benutting van P in bodem voor gras en mais (linksonder) op bedrijfsniveau van deelnemende VKA-bedrijven. De corresponderende overschotten in kg per hectare staan rechtsboven (voor stikstof) en rechtsonder (voor fosfaat). Mediaan- en quantielwaarden zijn weergegeven per dominant bodemtype van het bedrijf.

Voor beide nutriënten geldt dat een hogere gewasopname (bij een gelijkblijvende gift) zorgt voor een hogere benutting. De verschillen tussen de bedrijven zijn groot, met meer dan 200 kg N ha⁻¹ verschil voor N-overschot en 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ verschil voor P-overschot. Dat betekent dat er perspectieven liggen voor verdere verbetering en verduurzaming van de ruwvoerteelt.

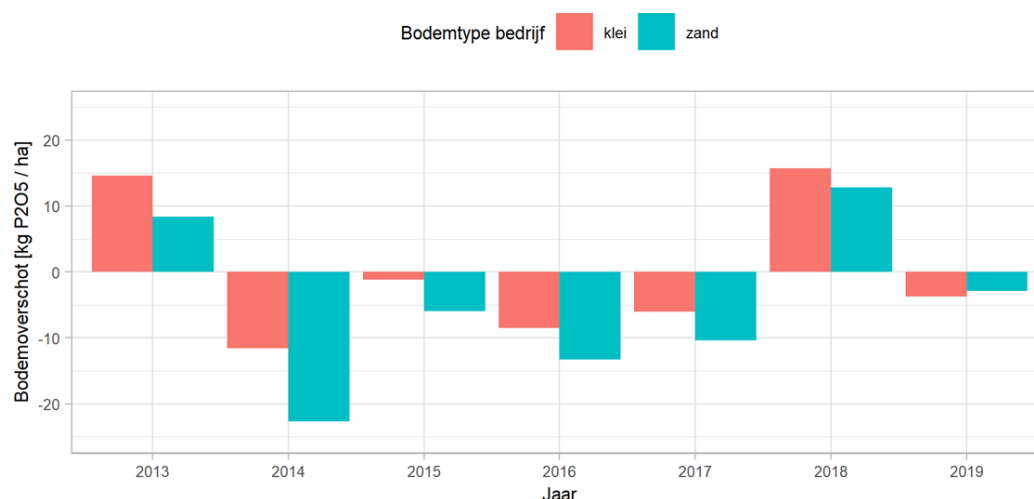
3.2 Bodemkwaliteit en ruwvoer: inzichten vanuit studiegroepen

Voor 61 bedrijven die participeerden in de studiegroepen rondom het verbeteren van de bodemkwaliteit om de ruwvoerproductie te optimaliseren is in meer detail gekeken naar de kansen die er in de bodem liggen in relatie tot het P-gehalte van de eerste snede als ook de bemestingspraktijk op mais. De reden hiervoor is dat uit de gebiedsanalyse (Fujita & Ros, 2021) en een inventarisatie binnen de VKA-deelnemers blijkt dat de grootste knelpunten rondom bodemkwaliteit te vinden zijn rond de beschikbaarheid van water en fosfaat. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van drie voorbeelden (Figuur 3-5). Allereerst blijkt uit langjarige analyses van alle VKA-deelnemers dat het P-gehalte van het krachtvoer sterk is gedaald als gevolg van de gemaakte ketenafspraken. Het P-gehalte in de graskuil (als functie van de bodem) is redelijk constant (het varieert van 3,6 tot 4,2 g kg⁻¹) al lijkt er een trend te zijn ingezet tot lagere gehalten in de recentere jaren door droogte. Het resulterende P-gehalte in het rantsoen ligt in de recentere jaren lager dan in de jaren ervoor en schommelt rond de 3.5 g kg⁻¹.



Figuur 3-5. Jaargemiddelde P-gehalten van graskuil, krachtvoer en rantsoen van deelnemende VKA-bedrijven over de jaren 2013 tot en met 2019.

Als het P-gehalte in het rantsoen daalt, en de melkproductie gelijk blijft, zal ook het P-gehalte in de mest dalen. Gemiddeld bevat een ton drijfmest circa 4 kg N en 1,5 kg P₂O₅. Bij een gebruiksnorm van 230 kg N ha⁻¹ betekent dit een gift van 58 m³ h⁻¹ en een P-gift van van 86 kg P₂O₅ ha⁻¹. Gemiddeld kan hiermee dus voldoende mest worden gegeven voor percelen met hoge P-toestand, maar onvoldoende voor alle klassen variërend van arm (120 kg P₂O₅ ha⁻¹ gewenst) tot ruim (90 kg P₂O₅ ha⁻¹ gewenst). Dit resulteert in de praktijk in een daling van het P-gehalte van de bodem tot de bodem de toestand neutraal heeft bereikt. Verdere uitmijning zal naar verwachting niet plaatsvinden gegeven het systeem van evenwichts-bemesting. Dat de P-toestanden van de bodem kunnen dalen, is ook zichtbaar in de bedrijfsgemiddelde overschotten van alle VKA-deelnemers (Figuur 3-6). Alleen in jaren met opbrengstschade (in dit geval droogte) is er sprake van een positief bodemoverschot. De continuering van de bodemkwaliteit op lange termijn is daarom een aandachtspunt maar vooralsnog niet een zorgpunt (zie ook Fujita & Ros, 2020).



Figuur 3-6. Jaargemiddelde bodemoverschotten voor fosfaat op VKA-bedrijven over de jaren 2013 tot en met 2019.

De bodemkwaliteit is natuurlijk breder dan alleen fosfaat. In 2019 hebben alle bodemdeskundigen in Nederland samen met betrokken boeren en adviseurs de Open Bodemindex ontwikkeld, waarmee voor elk perceel de aanwezige knelpunten in kaart kunnen worden gebracht. Toegepast op alle landbouwpercelen in de Achterhoek blijkt dat dat er generiek knelpunten zijn rondom de beschikbaarheid van water in het groeiseizoen als ook het voorkomen van bodemverdichting (Figuur 3.7).

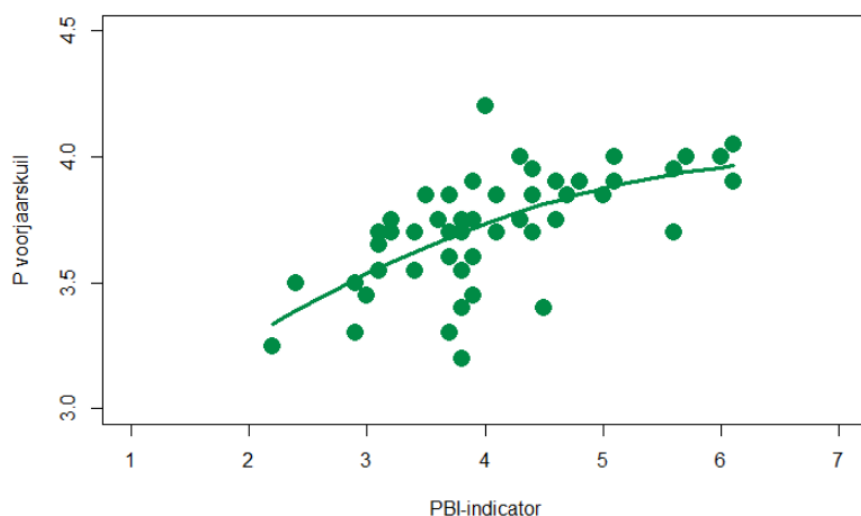
bodemfunctie	gras	gras-mais	mais	overig
N-levering			x	x
P-buffering				
K-levering				x
Mg-buffering				
S-levering	x	x	(x)	x
pH				
CEC		x	x	x
Verkruimelbaarheid				
Waterstress	x	x	x	x
Verstuifingsrisico		x	x	x
Ondergrondverdichting	x	x	x	x
Aggregaatstabiliteit				
Ziekteverendheid				
Activiteit bodemleven				

Figuur 3-7. Overzicht van de belangrijkste bodemkwaliteitsknelpunten voor een 14-tal functies in de Achterhoek, geaggregeerd per type landgebruik (continue grasland, wisselbouw, continue maisteelt en overige teelten).

Praktijkproeven laten zien dat er tot meer dan 10% meer opbrengst kan worden gerealiseerd als deze knelpunten worden opgelost. Het vasthouden van kationen via de CEC is vooral voor bouwland een uitdaging, waarbij er voor grasland extra aandacht nodig is voor de beschikbaarheid van zwavel. De teelt van mais vraagt extra aandacht voor kalium zodra het gehalte K-CaCl₂ lager is dan 60 mg kg⁻¹ en stikstof. In de praktijk is het knelpunt voor kalium niet heel groot, want bij een mestgift van 30-35 m³ per hectare

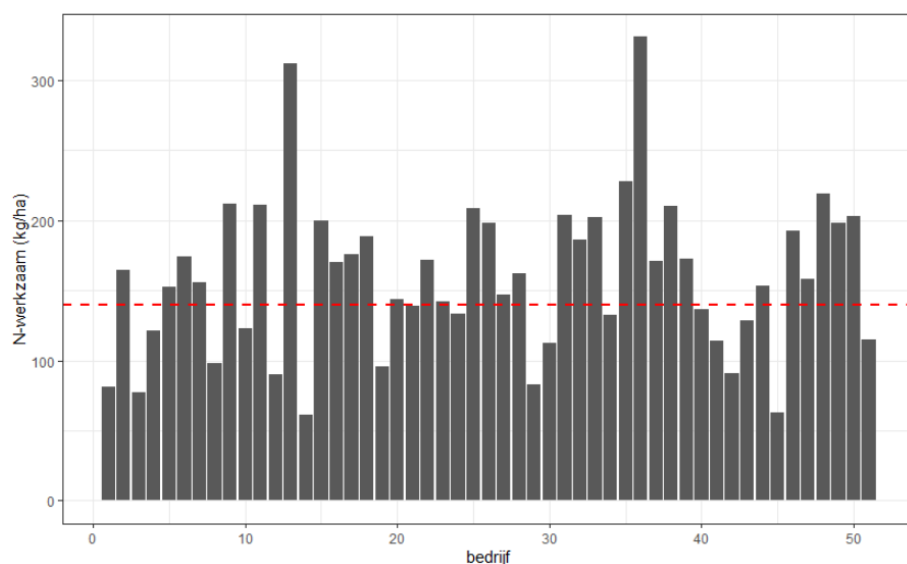
wordt voldoende kalium aangevoerd voor de mais. In de praktijk blijkt dat er voor mais extra zwavel nodig is. Opvallend is hierbij dat ondanks de daling in P-voorraden, de toestand en beschikbaarheid in de bodem nog steeds op orde is (Fujita & Ros, 2021) evenals de activiteit van het bodemleven. De belangrijkste knelpunten worden hieronder samengevat.

Wanneer we meer inzoomen op de variatie tussen bedrijven in het P-gehalte in de voorjaarskuil, dan zien we dat er een sterke relatie is met de P-beschikbaarheidsindicator (PBI) die inzicht geeft in zowel de actuele P-beschikbaarheid in de bodem als ook de capaciteit van de bodem om deze P-concentratie te bufferen (Figuur 3.8). In de praktijk wordt hier nog maar heel beperkt rekening mee gehouden, alhoewel deze PBI impact heeft op de snelheid van voorjaarsgroei, de opname van P als ook de effectiviteit van de gegeven bemesting. Hier liggen kansen voor verdere optimalisatie van de ruwvoerteelt als ook om eventuele zorgen rondom P-uitmijning te voorkomen.



Figuur 3-8. Relatie tussen de P-beschikbaarheidsindicator in de bodem en het P-gehalte van de voorjaarskuil, gemeten op 61 bedrijven in 2019 binnen de Achterhoek.

Qua verdeling van mest binnen het bedrijf is het belangrijk om zoveel mogelijk fosfaat (en drijfmest) naar grasland te brengen. Dat begint dus allereerst met het scherp sturen op de hoeveelheid drijfmest die aan mais wordt gegeven. Een vergelijking van de huidige bemesting op maisland bij 51 bedrijven laat zien dat er aanzienlijke variatie is tussen bedrijven (Figuur 3.9). Lage mestgiften kwamen vooral voor op wisselbouwpercelen conform de Goede Landbouwpraktijk: na het scheuren en onderploegen van de graszode komen er aanzienlijke hoeveelheden stikstof beschikbaar voor de volgteelt. Het advies van de CBGV is dan ook om bij grassland dat 3 jaar of ouder is geen dierlijke mest toe te dienen in het jaar van scheuren. Een kleine N-gift in de rij volstaat.



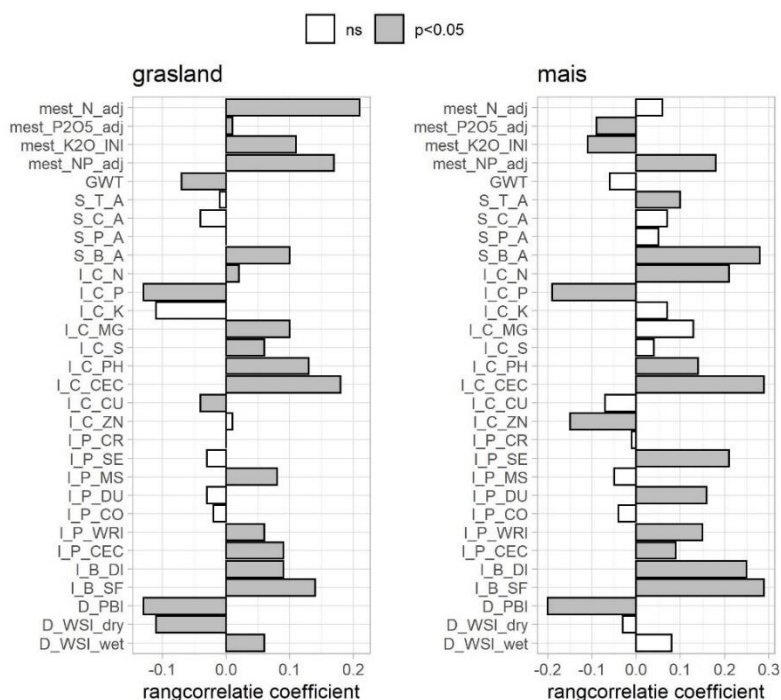
Figuur 3-9. Variatie in de aanvoer van werkzame stikstof voor de maisteelt bij 51 VKA-bedrijven in 2019.

Mais heeft genoeg aan 140 kg werkzame N per hectare, wat betekent dat er circa 30 tot 35 m³ gegeven hoeft te worden. Er kan indien nodig 30 kg N extra in de rij worden gegeven met kunstmest. De bedrijfsgegevens uit 2019 laten zien dat voor bijna 30% van de bedrijven veel hogere N-giften worden gegeven, oplopend tot mestgiften hoger dan 300 kg werkzame N ha⁻¹. Ook hier liggen nog mogelijkheden voor verdere verduurzaming van de ruwvoerteelt.

3.3 Bodemkwaliteit en ruwvoerproductie: trends in de hele regio

Gewasproductie

Wanneer we weer verder uitzomen naar de hele Achterhoek, dan zien we dat het niet zo eenvoudig is om generieke uitspraken te doen over hoe de bodemkenmerken invloed hebben op de gewasproductie. De grootste bottleneck hierbij is namelijk dat gewasopbrengsten vooralsnog alleen bekend zijn op het niveau van het bedrijf en er nog geen goede metingen / schattingen beschikbaar zijn per perceel. Desondanks kunnen we een aantal trends zichtbaar maken die aangeven wat de rol van de bodem is binnen het totaal van bodembeheer, berekening en bemesting binnen de Achterhoek. Allereerst is er voor de opbrengst van grasland een positief verband met N-bemesting, K-bemesting, en de vruchtbaarheid van de bodem (reflecterend in de hoogte van de CEC, het kationomwisselcomplex) (Figuur 3.10 links). Opbrengsten dalen met een toenemende gevoeligheid voor droogte- en natschade en het grondwater-peil. Deze resultaten worden bevestigd voor zowel de analyse van bedrijfsgegevens als voor de geschatte opbrengsten per perceel. Opvallend is daarnaast dat er weinig invloed lijkt te zijn van de generieke bodemvruchtbaarheidsparameters op de opbrengst zoals deze met het Bemestingsonderzoek worden gemeten. Hiervoor zijn een aantal mogelijke verklaringen te geven. Dit komt allereerst omdat het grootste deel van de graslandpercelen qua bodemchemie redelijk tot goed op orde zijn (zie Fujita & Ros, 2021) waardoor deze bodemkenmerken niet meer beperkend zijn voor de productie van grasland. Dit betekent niet dat hier geen aandacht voor nodig is, maar dat er geen grote wijzigingen nodig zijn van de huidige praktijk van bekalken en bemesten. Ten tweede kan dit ook verklaard worden door hele sterke ruimtelijke variatie waarbij elk perceel een ander knelpunt kan hebben. Een analyse van de bodemanalyses vanuit Eurofins Agro voor de Achterhoek (Fujita & Ros, 2021) ondersteunt dit maar heel beperkt. Een relevante verklaring hiervoor is dat het tekort aan water in het groeiseizoen de aanwezige verschillen in bodemkwaliteit overruilt.



Figuur 3-10. Bivariate rangcorrelatie van perceelkenmerken (bemesting en bodemkwaliteit) met opbrengst van gras (links) en mais (rechts) gebaseerd op een analyse van 3967 percelen voor grasland en 821 percelen voor maisland. Een grijze balk betekent dat de correlatie significant was ($p < 0,05$). Zie Tabel 1 in Bijlage 2 voor de omschrijving van de parameters.

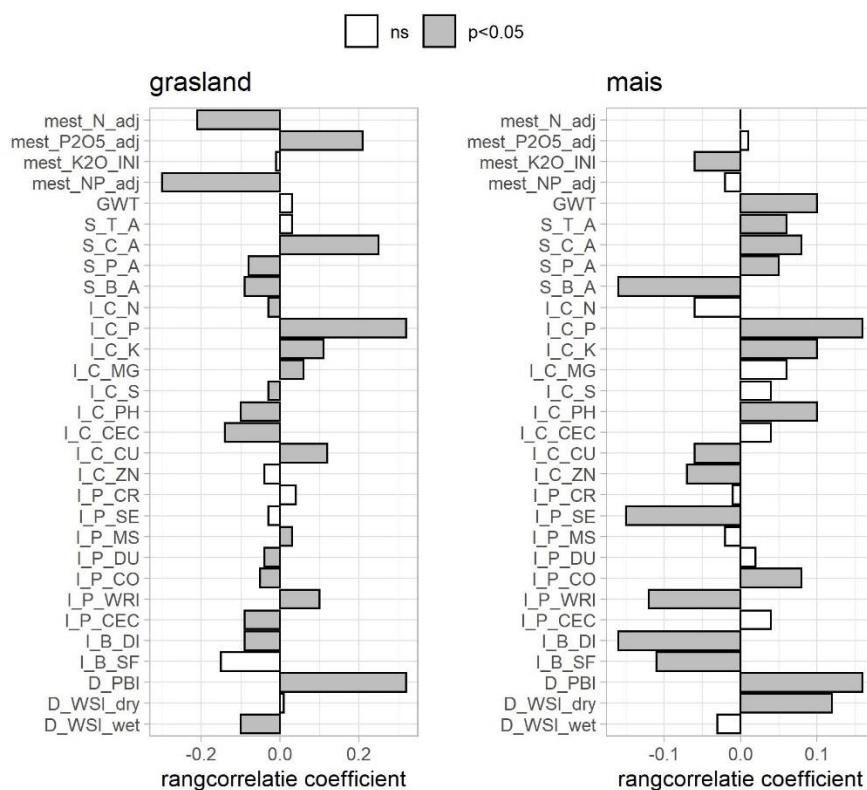
Voor de opbrengst van mais is er een duidelijk positief effect zichtbaar van bodemeigenschappen en -functies die samenhangen met het gehalte aan organische stof zoals het N-leverend vermogen, de ziekteverweendeheid en de microbiele activiteit (Figuur 3.10 rechts). Wanneer er wordt ingezoomd naar het niveau van percelen (gebruik makend van gewogen opbrengsten per perceel op basis van satellietgegevens) zijn vergelijkbare resultaten zichtbaar. In vergelijking met grasland heeft de hoogte van de bemesting een veel kleinere rol dan de kenmerken van de bodem. Dit hangt mogelijk samen met de gangbare praktijk van hoge mestgiften, waardoor er überhaupt weinig variatie aanwezig is tussen bedrijven qua bemesting. Van de onderzochte bodemeigenschappen en -functies is er niet één die er als grootste bottleneck uitkomt voor het realiseren van een hoge en stabiele gewasopbrengst.

Via de gebruikte XGBoost random forest regression trees is onderzocht hoe bodemkenmerken en bemesting invloed uitoefenen op de ruimtelijke variatie in opbrengst van grasland en mais. De gemiddelde opbrengst voor gras en mais kon redelijk goed worden voorspeld op basis van de perceelskenmerken: de afwijking varieert tussen 14 tot 17%. Naast gewasstype (en dat is logisch gezien het verschil in gewasopbrengst) is de gemiddelde stikstof- en fosfaatbemesting de belangrijkste factor om de ruimtelijke variatie in gewasopbrengst te verklaren. De hoogte van de gegeven N-bemesting is daarbij de belangrijkste sturende factor. Naast de bemesting is een hoge aggregaatsstabiliteit (afgeleid van grondsoort, en CEC-bezetting) een belangrijke sturende variabele. Alle andere bodemkenmerken hebben daarnaast wel invloed op de gewasopbrengst, maar hun effect is vergelijkbaar. Dit geeft aan dat er geen algemene conclusies te trekken zijn over bodemgerelateerde problemen (naast waterbeschikbaarheid en verdichting) die generiek van invloed zijn op de gewasopbrengst. Toepassing van een systematiek als de Open Bodemindex biedt daarbij mogelijkheden om per bedrijf onderzoek te doen naar de daar aanwezige knelpunten. Voor de toekomst is meer inzicht in de gewasopbrengst per perceel nodig om ook generieke (en kwantitatieve) uitspraken te kunnen doen voor bodemverbeterende maatregelen voor de Achterhoek.

P-gehalte

Het P-gehalte van gemaaid gras hangt positief samen met de P-beschikbaarheidsindex en wordt negatief beïnvloed door de hoogte van de N-gift als ook de verhouding tussen de hoeveelheid stikstof- en fosfaatbemesting. Een hoog P-gehalte komt voor op bodems met een hoge PBI en wanneer er bij een gegeven P-gift niet een te hoge N-gift wordt gegeven (Figuur 3.11 links). Deze bevindingen zijn zichtbaar in zowel de gegevens op bedrijfsniveau als op perceelsniveau. Het P-gehalte in mais is relatief constant met concentraties die variëren tussen 1.5 en 2.0 g k⁻¹ en wordt maar heel zwak beïnvloed door zowel bodemkenmerken als bemestingsniveau's (Figuur 3.11 rechts). Ook hier was er een positief verband met de P-beschikbaarheidsindex. Het P-gehalte in mais is lager in bodems met veel organische stof en microbiële activiteit, waarbij dat laatste vooral komt door het feit dat bodems met veel organische stof ook een hogere activiteit hebben van het bodemleven. Dit suggereert dat de plant fysiologische kenmerken voor mais een belangrijkere rol spelen dan bemesting en bodemkenmerken.

Gebruik makend van XGBoost regressie is het mogelijk om op basis van bodemkenmerken en de gegeven bemesting een accurate schatting te geven van het P-gehalte in het ruwvoer. De gemiddelde fout varieerde van 5 á 6% in grasland tot 7 á 10% in mais. Het P-gehalte in grasland is altijd hoger dan het P-gehalte in mais. De bodemkenmerken die de grootste invloed hebben op het P-gehalte zijn de beschikbaarheid van fosfaat (gemeten via de P-beschikbaarheidsindicator), de aggregaatstabiliteit (gerelateerd aan grondsoort en CEC-bezetting) en de hoogte van de P-bemesting. P-gehaltes zijn met name hoog bij hoge P-toestanden in de bodem als ook bij metgiften hoger dan 75 kg P₂O₅ ha⁻¹. In deze analyse is het jaar-effect niet meegenomen (het gaat om het meerjarig gemiddelde). In de praktijk is dat een belangrijke sturende variabele waarbij lage concentraties vooral voorkomen in droge jaren.

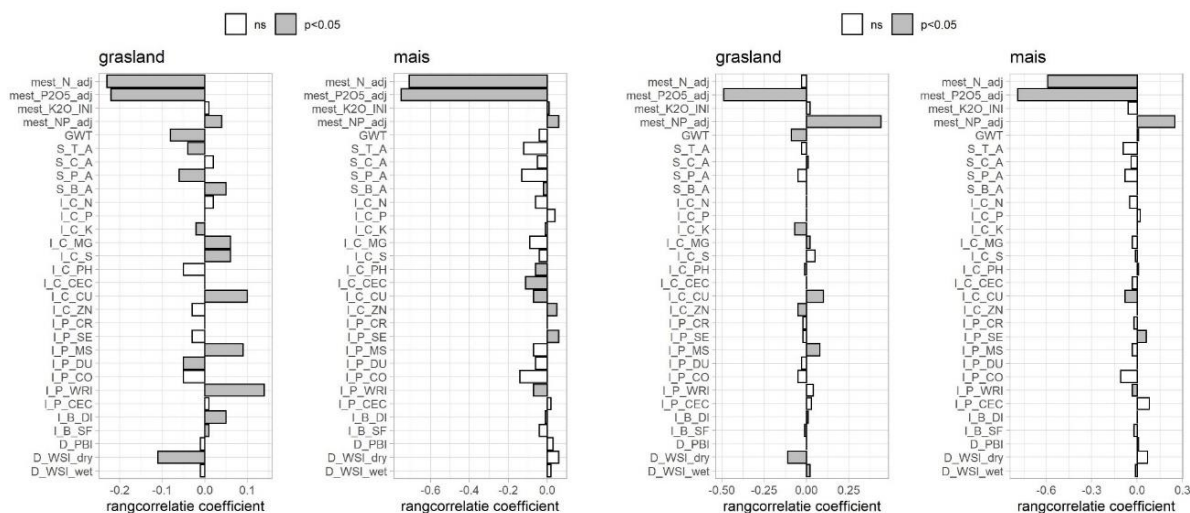


Figuur 3-11. Bivariate rangcorrelatie van perceelkenmerken met P-gehalte in gras (links, n = 3967) en mais (rechts, n = 821) op perceelniveau. Zie Tabel 1 in Bijlage voor de omschrijving van de parameters.

De N- en P-benutting

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van de gegeven bemesting als ook de druk op de leefomgeving wordt in de KringloopWijzer een bodemoverschot berekend. Het bodemoverschot/tekort is het verschil tussen de aanvoer van stikstof en fosfaat via bemesting en de afvoer ervan via gewasopname, waarbij (in de huidige studie) geen rekening gehouden wordt met de nalevering vanuit de bodem. In een situatie van evenwichtsbemesting is het overschot nul. Let wel, in de vakliteratuur én in de praktijk zijn er veel verschillende definities van het bodemoverschot¹. In de huidige context van dit rapport is het bodemoverschot gelijk aan een bemestingsoverschot; het deel van de gegeven bemesting dat niet opgenomen wordt door het gewas.

Op grasland is de N-benutting negatief gecorreleerd met de hoogte van de gegeven bemesting, de grondwatertrap en het voorkomen van droogteschade (Figuur 3.12 links). Met andere woorden: percelen met een hoge bemesting of met een diepe grondwaterstand en veel droogteschade (lees: minder opbrengst) worden ook gekenmerkt door een hoger bodemoverschot. En daarmee ook met hogere uitspoelings-verliezen. Deze factoren worden duidelijk zichtbaar als we kijken naar zowel de bedrijfscijfers als de gegevens op perceelsniveau. Ook voor maisland is er een duidelijk negatief verband met de hoogte van de gegeven N- en P-bemesting (Figuur 3.12 links). In tegenstelling tot grasland lijken bodemkenmerken weinig tot geen invloed te hebben op de N-benutting van maisland. Gebruik makend van XGBoost regressiemodel werd duidelijk dat 81% van de ruimtelijke variatie in N-benutting verklaard kan worden op basis van de gegeven bemesting en de kenmerken van de percelen, met een gemiddelde fout (nRME) van 12% voor grasland en 24% voor mais. In tegenstelling tot de analyse voor opbrengst en het P-gehalte heeft het gewastype geen grote rol voor de N-benutting, maar zijn het vooral de gegeven bemesting en de aggregaatstabiliteit van de bodem. De N-benutting daalt met toenemende N- en P-bemesting en zeker als er relatief meer N wordt bemest dan P.



Figuur 3-12. Bivariate rangcorrelatie van perceelkenmerken met N-benutting bodem (%) op perceelniveau voor gras en mais (links) als ook de P-benutting (%) voor gras en mais (rechts). $N = 3967$ percelen voor gras, $N = 824$ percelen voor mais. Zie Tabel 1 in Bijlage voor de omschrijving van de parameters.

¹ In de minimale variant van deze definitie (zoals gebruikt in deze studie) wordt alleen rekening gehouden met de aanvoer van nutriënten via bemesting en de afvoer van nutriënten via het gewas. In de maximale variant van deze definitie wordt ook rekening gehouden met de aanvoer via andere bronnen als depositie, mineralisatie, en N-binding (en heel af en toe ook de aanvoer via kwel).

De P-benutting op grasland neemt af met de hoogte van de P-gift en neemt toe als er per eenheid fosfaat meer stikstof wordt bemest (Figuur 3.12 rechts). Dit laat zien dat percelen met een relatief lagere P-bemesting een hogere P-benutting kennen. In vergelijking met de N-benutting is de P-benutting sterker gestuurd door bemesting (correlatiecoëfficiënt > 0.5). De P-benutting op mais vertoont een vergelijkbaar patroon met die van grasland. Circa 79% van de ruimtelijke variatie in de P-benutting kon worden verklaard via bemesting; de invloed van bodemkenmerken is daarbij klein. Let wel, dit geldt voor het meerjarig gemiddelde; wanneer er ook rekening wordt gehouden met het weerjaar, dan is aanzienlijke variatie aanwezig als gevolg van de beschikbaarheid van vocht (en daarmee samenhangende gewasgroei). Relevante bodempercelen die een invloed uitoefenen op de P-benutting zijn de CEC (indicatie van hoeveelheid klei en organische stof) en de beschikbaarheid van kalium en in mindere mate ook de waterbeschikbaarheid.

4 Handelingsperspectief

Binnen de Achterhoek liggen er kansen om via goed bodembeheer te sturen op een duurzame ruwvoerproductie. Op basis van de analyse van de bedrijfsgegevens van de VKA-deelnemers en de data uit agrarische meetnetten blijkt dat de belangrijkste knelpunten liggen rondom de het sluiten van de kringloop van fosfaat (lees: voorkom achteruitgang in bodemvruchtbaarheid en verhoog de benutting van meststoffen), het zorgen voor een goede bodemstructuur (lees: voorkom verdichting) en beschikbaarheid van water (lees: voorkom gewasschade door droogte). Duurzaam bodembeheer in de praktijk gaat dan concreet om het werken aan organische stof en het bodemleven, gewasvolgorde en bouwplan, de waterhuishouding en bemesting en bekalking.

Een goede bodemkwaliteit is belangrijk, waarbij aandacht nodig is voor zowel de bodemchemie, de bodembioïologie en de bodemstructuur. De eerste gebiedsanalyse als ook de huidige analyse van de mineralenkringlopen op de VKA-bedrijven laat zien dat er op het gebied van chemie geen grote knelpunten zijn rondom de beschikbaarheid van nutriënten. Uit gesprekken met VKA-deelnemers blijkt dat de P-toestand gemiddeld vaak goed is, maar dat er bij veel bedrijven wel degelijk percelen zijn met een lage fosfaattoestand. Vaak zijn dat de percelen die lang nat blijven in het voorjaar.

Wel zijn er zorgen of de bodemkwaliteit ook voldoende op orde blijft door de trend dat in de meeste jaren sprake is van een situatie waarbij er iets meer fosfaat van de bodem wordt afgevoerd dan er wordt aangevoerd. Er is structureel sprake van een licht negatieve fosfaatbalans. Vanwege de historische hoge P-toestanden levert dat tot op heden nog geen grote knelpunten op. Ook voor de toekomst is dat niet te verwachten omdat het huidige mestbeleid (als ook het bemestingsadvies) erop gericht is om een toestand van (ruim) voldoende te realiseren. Een goede bodemkwaliteit betekent ook dat het gewas goed moet kunnen wortelen en er voldoende water is voor gewasgroei. De eerdere gebiedsanalyse en de praktijk van de laatste droge weerjaren laten zien dat hier nog aanzienlijke knelpunten liggen. Een goede bodem wordt gekenmerkt door een hoog vochtbergend vermogen; een bodem die meer werkt als een spons waarbij het opnemen en afgeven van nutriënten en water beter wordt gereguleerd. Dit vraagt om een bodembeheer waarbij aandacht is voor voldoende aanvoer van organische stof (en met variatie in kwaliteit van organische stof) en een goede bodemstructuur. Om het organische stofgehalte op peil te houden is blijvend aandacht nodig voor een goede vruchtwisseling (dan wel slimme doorzaai van grasland om de kwaliteit op orde te houden), het achterlaten van gewasresten (bij mais), en de aanvoer van dierlijke mest, compost en (bewerkte of onbewerkte) reststromen uit de omgeving. Het gebruik van vanggewassen na mais is in de praktijk een aandachtspunt (bij voorkeur zo vroeg mogelijk zaaien).

Naast deze algemene sturing op een goede bodemkwaliteit kan voor de Achterhoek de belangrijkste maatregelen om te werken aan een duurzame bodem worden samengevat in drie strategieën:

1. Verdeel en heers: verbeter de kringloop
2. Verbeter het bindend vermogen van de bodem
3. Optimaliseer het teeltplan

De eerste strategie is gericht op het optimaliseren van de bemestingspraktijk gegeven de natuurlijke capaciteit van bodems om nutriënten te leveren en te bufferen. Dit zorgt voor een hogere P-opname in het voorjaar, een snellere gewasgroei, een hogere gewasopbrengst als ook het op peil houden van de

bodemvruchtbaarheid. De tweede strategie is erop gericht de bufferende werking van de bodem voor nutriënten en water te vergroten. De derde strategie heeft als doel om de bodemkwaliteit ook op lange termijn gezond te houden.

Verdeel en heers: verbeter de kringloop

Qua verdeling van mest over het bedrijf is het belangrijk om zoveel mogelijk fosfaat (en drijfmest) vroeg naar grasland te brengen. Dit omdat de benutting ervan op grasland hoger is en ook omdat mais gewoonweg veel minder nodig heeft dan gras. Dit betekent dus concreet dat een duurzaam bemestingspraktijk begint met het scherp sturen op de hoeveelheid drijfmest die aan mais wordt gegeven. Mais heeft genoeg aan 140 kg N ha^{-1} , wat betekent dat er circa 30 tot 35 m^3 drijfmest voldoende is bij een geslaagd vanggewas. Veelal volstaat dan een aanvulling met kunstmeststikstof van 30 kg N ha^{-1} in de rij. Vaak zal dit een NS-meststof zijn omdat veel percelen ook een kleine S-aanvulling nodig hebben. Met de mestgift wordt de P-behoefte volledig gevuld gegeven de hoge fosfaatoestanden op mais; meer is niet nodig. Indien er maispercelen zijn met een lage P-toestand dan is deze te verhogen via de inzet van compost (waarbij de fosfaat maar voor de helft meetelt, en het vasthoudend vermogen van de bodem voor fosfaat wordt vergroot). Op scheurgrond kan de stikstofgift zelfs verder naar beneden; als het grasland een paar jaar oud is, is een kleine startgift voldoende (zie bemestingsadvies.nl, Tabel 1-17, Korting op de N-gift van bouwlandgewassen na het scheuren van grasland).

Om mest over grasland te verdelen zijn er twee belangrijke richtlijnen. Die hebben te maken met de P-toestand en het op peil houden van het N-leverend vermogen. Kijk daarom eerst naar de P-toestand conform de nieuwe landbouwkundige indeling die gebaseerd is op de combinatie van PAL en P-beschikbaar. Deze nieuwe indeling maakt daarbij gebruik van de P-beschikbaarheidsindex, waarbij de hoogte van deze index aangeeft of de bodem voldoende fosfaat kan leveren om voldoende gras te produceren met een P-gehalte van 3,5 tot $3,7 \text{ g P kg}^{-1}$. Als er op basis van de bodemanalyse twee groepen zijn te onderscheiden variërend in P-beschikbaarheid, geef dan extra drijfmest op de percelen met toestand laag (bijvoorbeeld $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in drie giften) en minder op de percelen in de overige klassen (geef daar dan bijvoorbeeld $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in twee giften). Als er weinig tot geen variatie is in de P-toestand binnen het bedrijf, verdeel dan de mest conform het N-leverend vermogen van de bodem. Maak daarbij drie klassen waarbij elke klasse meer dan 50 kg N ha^{-1} van elkaar verschilt. Geef dan de percelen in klasse laag $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ meer drijfmest en de percelen in klasse hoog $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ minder. Via deze aanpak is het mogelijk om zowel te werken aan een goede gewasgroei (vooral in het voorjaar), voldoende fosfaat in de maaisneden, en de hoeveelheid fosfaat in de bodem als ook de activiteit van het bodemleven. Diverse praktijkproeven bevestigen dat deze werkwijze ook voordelen heeft voor de N- en P-benutting van de gegeven mest. De in deze studie uitgevoerde analyse bevestigt dit. De meerjarig gemiddelde gewasopbrengst en P-concentratie van mais wordt maar heel beperkt gestuurd door de ruimtelijke variatie in bodemkenmerken. De variatie in gewasopbrengst en N- en P-opname in mais is vele malen kleiner dan de variatie in bemesting. Hier liggen dus kansen voor een hogere N- en P-benutting van de aanwezige drijfmest en kunstmest; te hoge giften zorgen netto alleen maar voor hogere verliezen en niet in een hogere gewasopbrengst.

Verbeter het bindend vermogen

Om het duurzaam landbouwkundig gebruik van de bodem te stimuleren en de bodemkwaliteit ook voor de toekomst te behouden is het belangrijk om het bufferend en bindend vermogen van de bodem te vergroten. De natuurlijke buffercapaciteit van de bodem is door intensieve bodembewerking, door afname van het organische stofgehalte in continue maisteelt (wat in de praktijk maar in een beperkt aantal percelen voorkomt door de hoge aanvoer via drijfmest en gewasresten) en door versnelde afvoer van water door verbetering van de ontwatering op veel plaatsen de afgelopen decennia aantoonbaar afgenomen. Door het veranderende klimaat komen daarnaast steeds vaker perioden van

droogte en perioden met extreme neerslag voor. Een goede spons- en bufferwerking van bodems wordt daarom steeds belangrijker.

Bodem als buffer voor water en nutriënten is een strategie van vasthouden. Een bodem met een hoog bufferend vermogen kan de uitwisseling van water tussen bodem en oppervlaktewater vertragen. Een groot bufferend vermogen zorgt er ook voor dat een tijdelijk neerslagoverschot wordt opgeslagen om later in een periode met neerslagtekort benut te worden voor gewasgroei. Wanneer er veel neerslag valt zal de bodem tevens langzamer het water afvoeren en daarmee ook wateroverlast verminderen.

Om dit te realiseren, zijn er de volgende vuistregels:

- Zorg voor voldoende (variatie in) aanvoer van organische stof. Voldoende organische stof in de bodem stimuleert het bodemleven, verbetert de bodemstructuur en waterhuishouding, verlaagt de emissie van broeikasgassen (op zand) en zorgt daarnaast ook nog voor vastlegging van koolstof. Bij variatie kan naast drijfmest ook worden gedacht aan compost, organische reststromen of natuurmaaisel uit de omgeving, gewasresten en tijdig zaai van een vanggewas (en of onderzaai) in combinatie met vroege maisrassen (half september rijp)
- Houdt de zuurgraad als ook de levering van nutriënten vanuit de bodem op peil. Een (te) zure grond is niet gunstig voor het bodemleven en verlaagt de benutting van nutriënten. Dit betekent ook dat een regelmatige bodemanalyse nodig is om te beoordelen of de toestand voor alle macro, meso en micronutriënten nog op orde is, conform de beoordelingssystematiek van de Goede landbouwpraktijk (zoals bijvoorbeeld geïmplementeerd in de Open Bodemindex).
- Zorg voor een goede bodemstructuur en beworteling. Een goede timing van werkzaamheden, het gebruik van de juiste machinerie (lichtere machines, bandenspanning, sleepslangen) en werkwijzes (rijpaden, juiste werkvolgorde) dragen bij aan het voorkomen en beperken van structuurschade. Werk een vanggewas voor 1 april in om de vertering te bespoedigen en te voorkomen dat het gewas bodemvocht benut wat voor de mais nodig is. Via variatie in organische stofaanvoer wordt ook de populatie regenwormen positief beïnvloed waardoor er meer pendelaars aanwezig zijn die de bodemstructuur verbeteren. In bijzondere situaties kan ook overgegaan worden op een bedrijfssysteem met minimale tot beperkte bodembewerkingen (bijv. directzaai). Niet-kerende bodembewerking vermijdt het intensief keren of mengen van de grond waardoor meer gewasresten aan het oppervlak achterblijven zodat de bodem beter beschermd is tegen erosie of verslemping in natte periodes en tegen uitdroging. Een minder intensieve grondbewerking stimuleert daarnaast het bodemleven en vermindert het risico op verdichting van de grond.
- Zorg voor voldoende water. Door te zorgen voor een goede bodemstructuur en voldoende organische stof kan er meer water in de bouwvoor worden vastgehouden. Daarnaast kan via slim gebruik van drainagesystemen (ondiep, peilgestuurd), de aanleg van boerenstuwen, het verondiepen van waterlopen de mogelijkheden worden vergroot om water vast te houden en op te slaan in de bodem. Een slechte ontwatering brengt structuurschade, zuurstofloze condities, verlies van stikstof door denitrificatie, verlies van bodemleven en meer kans op ziektes. In extreme situaties kan ook beregening worden ingezet om droogteschade te voorkomen.

Welke maatregel of werkwijze waar werkt hangt sterk samen met de huidige bodemkwaliteit op het bedrijf. Deze variatie is groter dan alleen verschillen in grondsoort. De analyse in dit rapport laat zien dat de opbrengst van gras sterk beïnvloed wordt door zowel bemesting als bodemkenmerken. Met uitzondering van de P-beschikbaarheidsindicator waren er geen bodemkenmerken die generiek beperkend zijn; dat laat zien dat maatwerk nodig is per bedrijf.

Optimaliseer het teeltplan

Het landgebruik stuurt de zes pijlers van bodemkwaliteit: organische stof, structuur, beworteling, bodemleven, waterhuishouding en bodemchemie. Meerjarig onderzoek in België heeft laten zien dat het bouwplan van een melkveebedrijf een extreem groot effect heeft op al deze aspecten van de bodem. Na 36 jaar continue maisland is er ten opzichte van continue grasland als ook wisselbouw sprake van een netto achteruitgang van organische stof, de structuur van de bodem, de activiteit en diversiteit van het bodemleven als ook de beschikbaarheid van nutriënten. In contrast daarmee waren de verschillende bodemkwaliteitsaspecten onder continue grasland juist verbeterd. Een bodem in wisselbouw heeft een variërende kwaliteit en ligt gemiddeld tussen deze twee uitersten in qua kwaliteit.

Kiezen voor wisselbouw dient een wel overwogen keuze te zijn en is zeker niet voor elke situatie de beste oplossing. Aspecten die meespelen zijn bediscussieerd op de themadag van de CBGV in 2020. Indien voor vruchtwisseling wordt gekozen dan is de beste keuze een bouwplan dat bestaat uit 80% grasland (waarvan 60% blijvend en 20% in vruchtwisseling met grasklaver) en 20% bouwland (met snijmais in vruchtwisseling). Dit bouwplan verbetert de bodem, verhoogt het N-leverend vermogen van de bodem onder mais, en kan een hogere gewasopbrengst en meer eiwit van eigen land geven. Het risico op nitraatverliezen is daarentegen hoger bij de teelt van mais (zeker na scheuren van grasland) en mogelijk een hogere biodiversiteit (Van Eekeren et al., 2016).

Grasklaver is in staat grote hoeveelheden stikstof te binden uit de lucht; een eenvoudig manier om meer stikstof in de kringloop te krijgen. De bespaarde stikstof op dit perceel kan als winst in de zak gestoken worden door besparing op kunstmest. Anderzijds kan de bespaarde stikstof ingezet worden op de hoogproductieve maaipercelen. Bij een opbrengst van 11 ton per hectare met een ruw ewitgehalte van 170 g kg^{-1} , wordt 300 kg stikstof onttrokken aan de bodem. Bij een N-gebruiksruimte van 250 kg N ha^{-1} betekent ook dat de productie sterk afhankelijk wordt van de natuurlijke capaciteit van de bodem om stikstof te leveren. Reden genoeg om de bespaarde stikstof van de grasklaverpercelen hier in te zetten. Grasklaver teelt wordt in de praktijk nog wel eens gezien als een lastige teelt, in die zin dat de gras/klaververhouding moeilijk te beheersen is. In een rotatieteelt van bijvoorbeeld 3 jaar, krijg je echter vaker de kans om het grasklaver perceel opnieuw te zaaien. Maisland profiteert daarbij van de stikstofnalevering en de opbouw van organische stof. Mais in continue teelt heeft namelijk een negatieve organischestof balans als het vanggewas onvoldoende organische stof produceert. In de huidige praktijk valt deze negatieve balans wel mee.

5 Literatuur

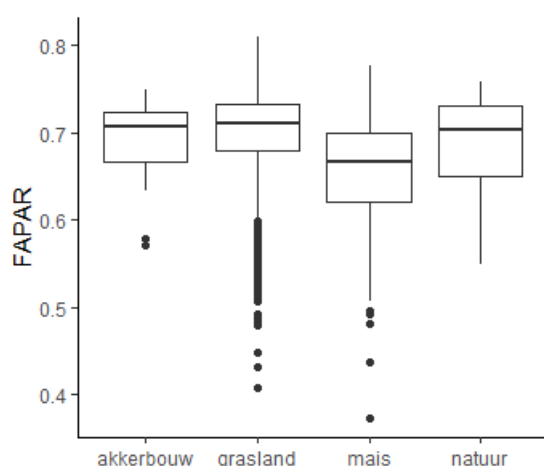
- Breiman L** (2001). *Random forests*. Machine Learning, 45(1), 5–32.
- Chen T & C Guestrin** (2016). *XGBoost: A Scalable Tree Boosting System*. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - KDD '16 (pp. 785–794). New York, New York, USA: ACM Press.
- Friedman JH** (2001). *Greedy function machine: A gradient boosting machine*. The Annals of Statistics, 29(5), 1189–1232.
- Fujita Y & GH Ros** (2020) *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit. Deel 3. Tijdreeksanalyse van OS en P in de Achterhoek*. NMI-rapport 1761.N.20.3, 18 pp.
- 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.
- Hilhorst & Plomp, 2018
- Jung, M., Verstraete, M., Gobron, N., Reichstein, M., Papale, D., Bondeau, A., Robustelli, M., and Pinty, B.** (2008) Diagnostic assessment of European gross primary production, Global Change Biology, 14, 1–16, doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01647.x
- Molnar C** (2018). *Interpretable Machine Learning. A guide for Making Black Box Models Explainable*. Open source publicatie, beschikbaar via <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/>
- Ros GH** (2019) *De open Bodemindex 0.11*. OBI rapportage, 183 pp.
- Ros GH & Y Fujita** (2021a). *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 & Y Fujita** (2021b) *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit. Deel 5. Op data gebaseerd handelingsperspectief*. NMI-rapport 1761.N.20.5, in prep.
- Van Eekeren E, Philippsen B, Bokhorst J & C ter Berg** (2019). *Bodemsignalen grasland; Praktijkgids voor optimaal bodemmanagement op melkveebedrijven*. Roodbont Publishers, ISBN 9789087402433, 112 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: Opbrengst en FAPAR

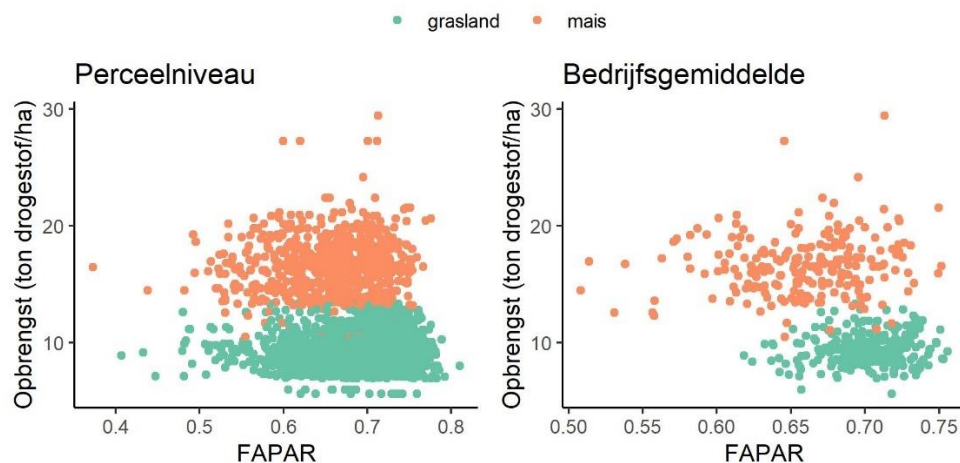
FAPAR wordt beschouwd als een geschikte parameter om de primaire productiviteit van vegetatie weer te geven en wordt daarom gebruikt als invoerparameter voor een aantal productiviteitsmodellen. Jung et al. (2008) hebben aangetoond dat de jaarlijkse som van de FAPAR in groeiseizoen sterk correleert met de jaarlijkse bruto primaire productie in Europa.

Met onze dataset waren de FAPAR-waarden van de percelen vergelijkbaar tussen verschillende landgebruik (Figuur 5-1), ondanks het feit dat de opbrengst volgens de K LW-dataset blijkbaar verschilt tussen landgebruik (d.w.z. dat de opbrengst hoger is voor mais dan voor productiegrasland). Binnen elk landgebruik, op perceel niveau, zijn de FAPAR-waarden positief (maar zwak) gerelateerd aan de opbrengst voor grasland (rangcorrelatie coefficient $\rho = 0,036$, $p < 0,05$) en mais ($\rho = 0,095$, $p < 0,01$) (Figuur 5-2). De correlatie wordt niet beter als ze op bedrijfsniveau zijn vergeleken (Figuur 5-2).

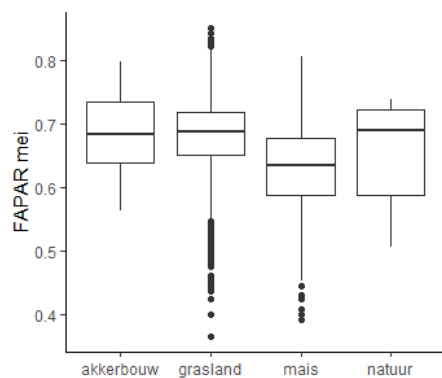
De correlatie wordt nog slechter als alleen de FAPAR-waarden in de periode van de eerste snee (maand mei) zijn gebruikt (Figuur 5-3, Figuur 5-4). Daarom gebruiken we voor dit project de FAPAR-gegevens van de hele maand om de opbrengstgegevens op perceelniveau te corrigeren. De correctie op basis van FAPAR is alleen gemaakt om het verschil tussen de percelen binnen een bedrijf af te stemmen.



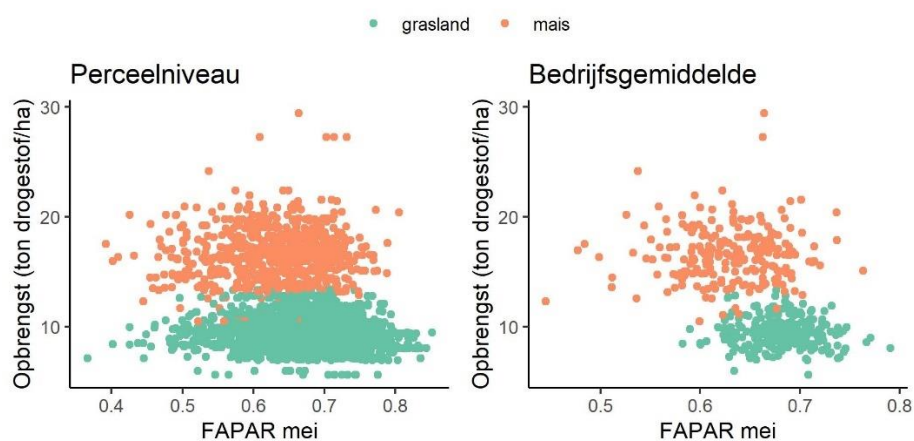
Figuur 5-1. Mediaan en quantiel waarden van FAPAR van perceel, voor verschillende landgebruik. FAPAR is de mediaan waarde van alle maanden in 2014 – 2018 met 300-m resolutie.



Figuur 5-2. FAPAR versus opbrengst van grasland en maisland, op perceel niveau (links) en bedrijfsniveau (recht). FAPAR is de mediaan waarde van alle maanden in 2014 – 2018 met 300-m resolutie. Opbrengst is de gemiddelde waarde van 2017-2019 van KLV dataset.



Figuur 5-3. Mediaan en quantiel waarden van FAPAR van perceel, voor verschillende landgebruik. FAPAR is de mediaan waarde van mei in 2014 – 2018 met 300-m resolutie.



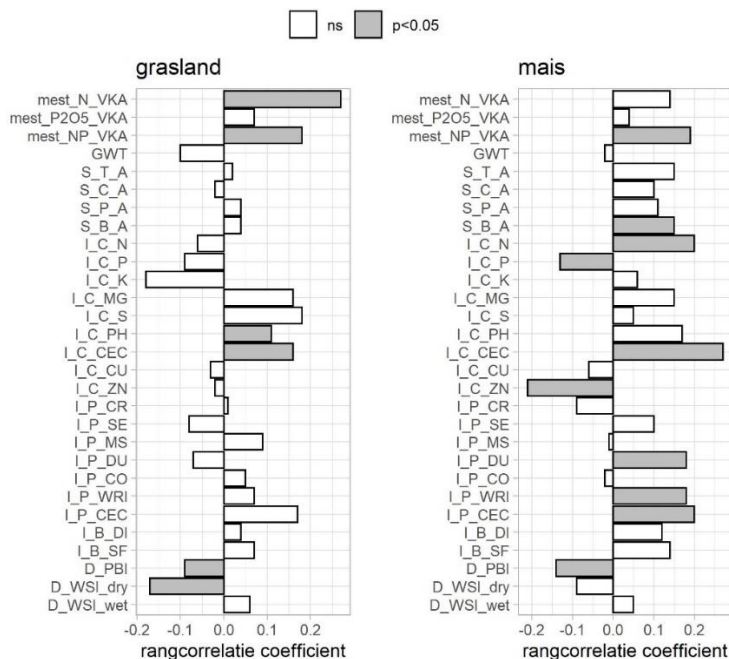
Figuur 5-4. FAPAR versus opbrengst van grasland en maisland, op perceel niveau (links) en bedrijfsniveau (recht). FAPAR is de mediaan waarde van mei in 2014 – 2018 met 300-m resolutie. Opbrengst is de gemiddelde waarde van 2017-2019 van KLV dataset.

Bijlage II: Correlatie op bedrijfsniveau

Tabel 1. Omschrijving van parameters gebruikt voor statistische analyse

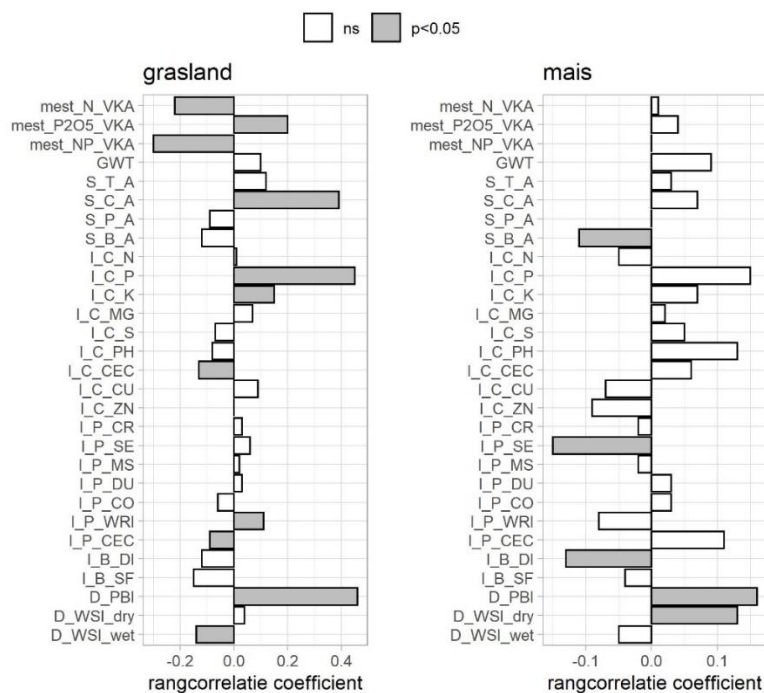
parameters	omschrijving
mest_N_adj	perceelniveau N bemesting (kg N/ha/jaar)
mest_P2O5_adj	perceelniveau P2O5 bemesting (kg P ₂ O ₅ /ha/jaar)
mest_NP_adj	ratio perceelniveau N en P2O5 bemesting (ratio)
mest_K2O_INI	perceelniveau K2O bemesting (kg K ₂ O/ha/jaar)
mest_N_VKA	bedrijfsniveau N bemesting (kg N/ha/jaar)
mest_P2O5_VKA	bedrijfsniveau P2O5 bemesting (kg P ₂ O ₅ /ha/jaar)
mest_NP_VKA	ratio bedrijfsniveau N en P2O5 bemesting (ratio)
S_T_A	Totaal score OBIC (0-1)
S_C_A, S_P_A, S_B_A	Chemische, fysische en biologische score OBIC (0-1)
I_C_N	Indicator N beschikbaarheid (0-1)
I_C_P	Indicator P beschikbaarheid (0-1)
I_C_K	Indicator K beschikbaarheid (0-1)
I_C_MG	Indicator Mg beschikbaarheid (0-1)
I_C_S	Indicator S beschikbaarheid (0-1)
I_C_PH	Indicator Bodem pH (0-1)
I_C_CEC	Indicator Kationbuffering (0-1)
I_C_CU	Indicator Cu beschikbaarheid (0-1)
I_C_ZN	Indicator Zn beschikbaarheid (0-1)
I_P_CR	Indicator Verkruijmelbaarheid (0-1)
I_P_SE	Indicator Verslemping (0-1)
I_P_MS	Indicator waterstres (0-1)
I_P_DU	Indicator Verstuifingsrisico (0-1)
I_P_CO	Indicator Ondergrondverdichting (0-1)
I_P_WRI	Indicator plant beschikbaar water (0-1)
I_P_CEC	Indicator Aggregatiestabiliteit (0-1)
I_B_DI	Indicator Ziektewerendheid (0-1)
I_B_SF	Indicator Activiteit bodemleven (0-1)
D_PBI	P beschikbaarheid index (0-1)
D_WSI_dry, D_WSI_wet	Opbrengstderving door droogtestres (%) of natschade (%)
GWT	Grondwatertrap(I – VIII)

Rankcorrelatie bedrijfskenmerken in relatie tot gewasopbrengst



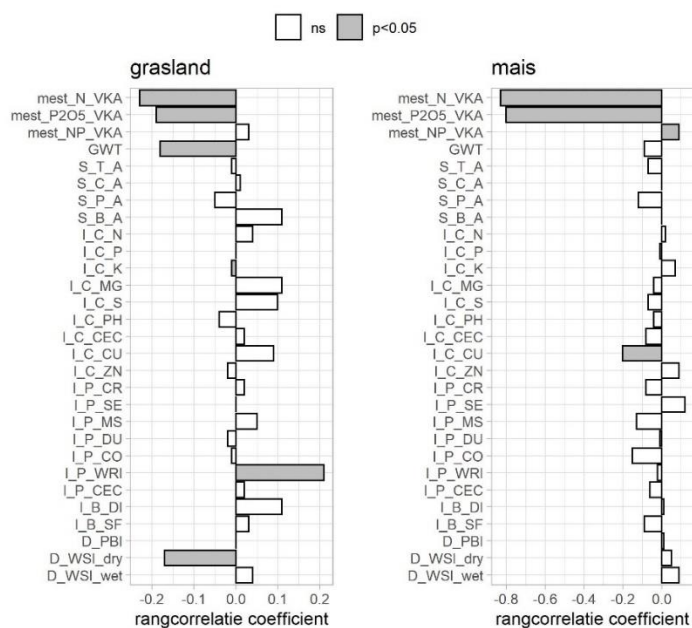
Figuur 5-5. Bivariate rangcorrelatie van bedrijfskenmerken met opbrengst van gras (links) en mais (rechts). Geteste bedrijfskenmerken zijn bemestingsniveau (van KWL database) en bedrijf-gemiddelde bodemparameters. Grijs balk betekent dat de correlatie significant was ($p < 0,05$). $N=256$ bedrijven voor gras, $N=241$ bedrijven voor mais.

Rankcorrelatie bedrijfskenmerken in relatie tot P-gehalte



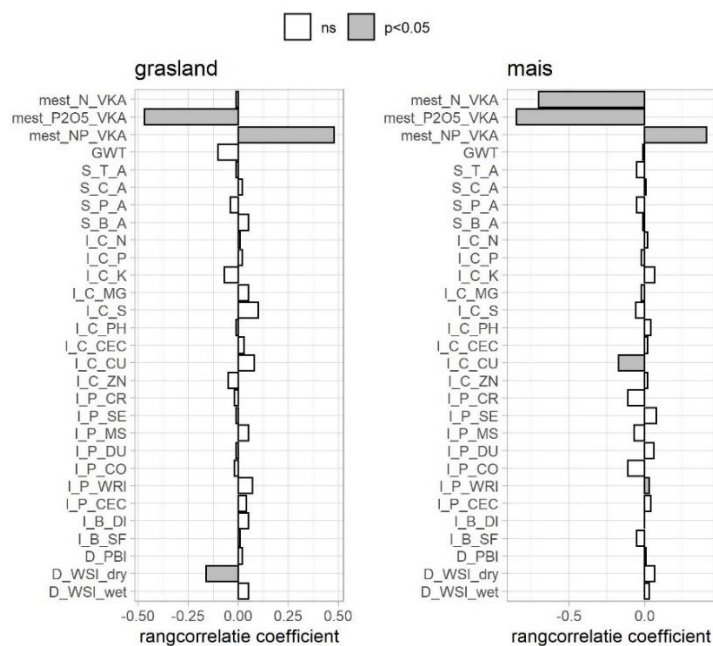
Figuur 5-6. Bivariate rangcorrelatie van bedrijfskenmerken met P concentratie in opbrengst op bedrijfsniveau. $N=256$ bedrijven voor gras, $N=241$ bedrijven voor mais.

Rankcorrelatie bedrijfskenmerken in relatie tot N-bodembenutting (%)



Figuur 5-7. Bivariate rangcorrelatie van bedrijfskenmerken met N-benutting bodem (%) op bedrijfsniveau. N=256 bedrijven voor gras, N=241 bedrijven voor mais.

Rankcorrelatie bedrijfskenmerken in relatie tot P-bodembenutting (%)



Figuur 5-8. Bivariate rangcorrelatie van bedrijfskenmerken met P-benutting bodem (%) op bedrijfsniveau. N=256 bedrijven voor gras, N=241 bedrijven voor mais.

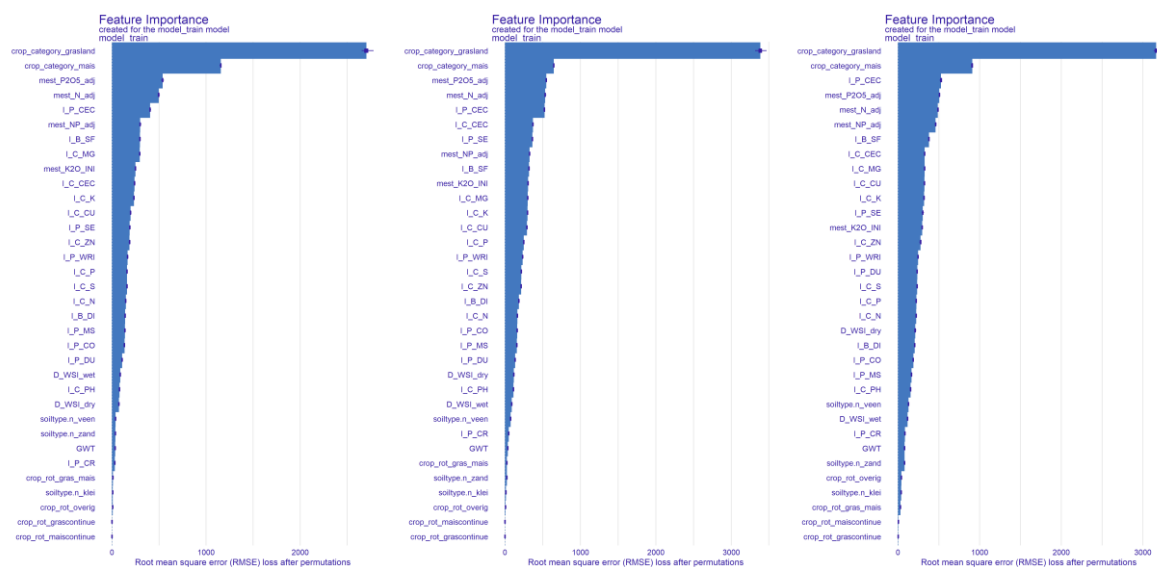
Bijlage III: XGBoost modelresultaten

Modelcalibratie en validatie: opbrengst

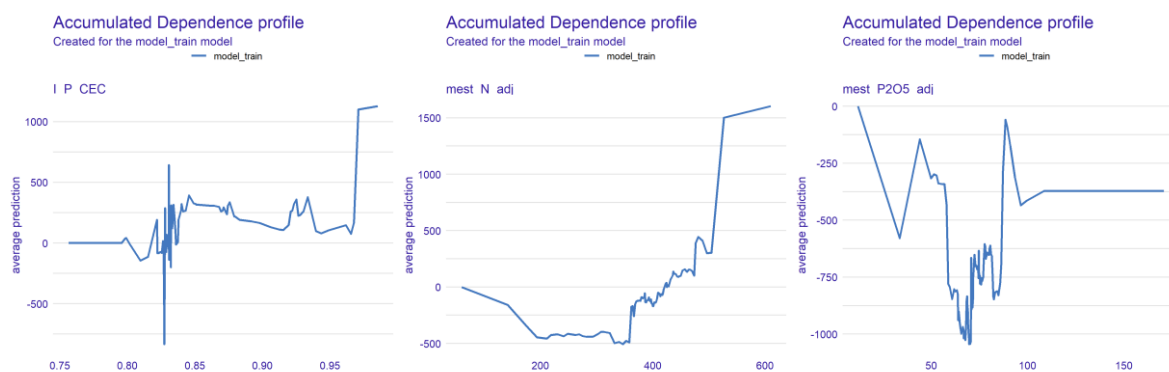
Model performance

seed	R ² training set	RMSE training set	R ² testing set	RMSE testing set	nRMSE testing set (mais)	nRMSE testing set (gras)
100	0.999	92.82	0.709	1853.66	17%	16%
101	1	52.8	0.745	1714.53	17%	15%
102	0.999	123.33	0.72	1673.63	17%	14%

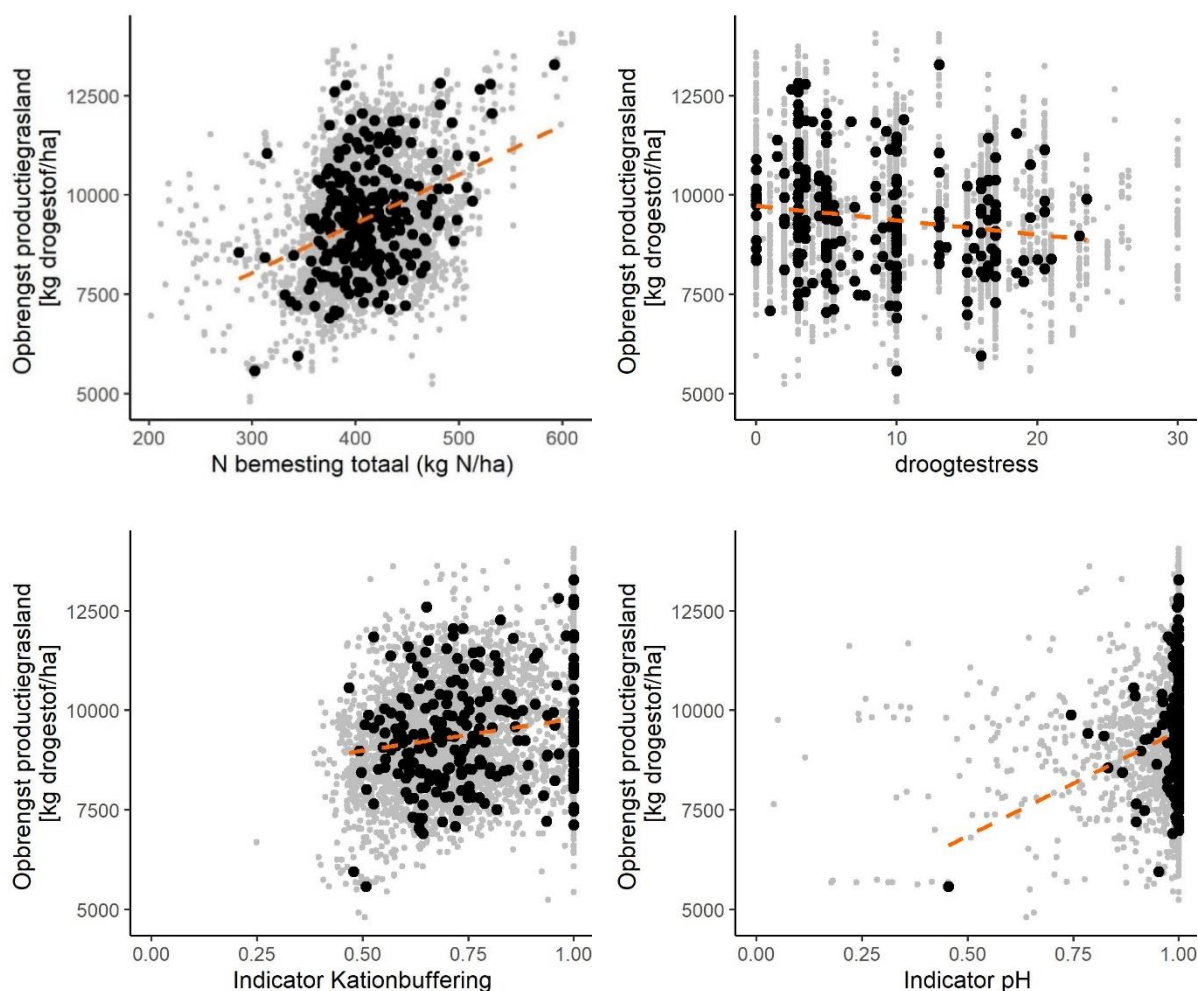
Feature importance



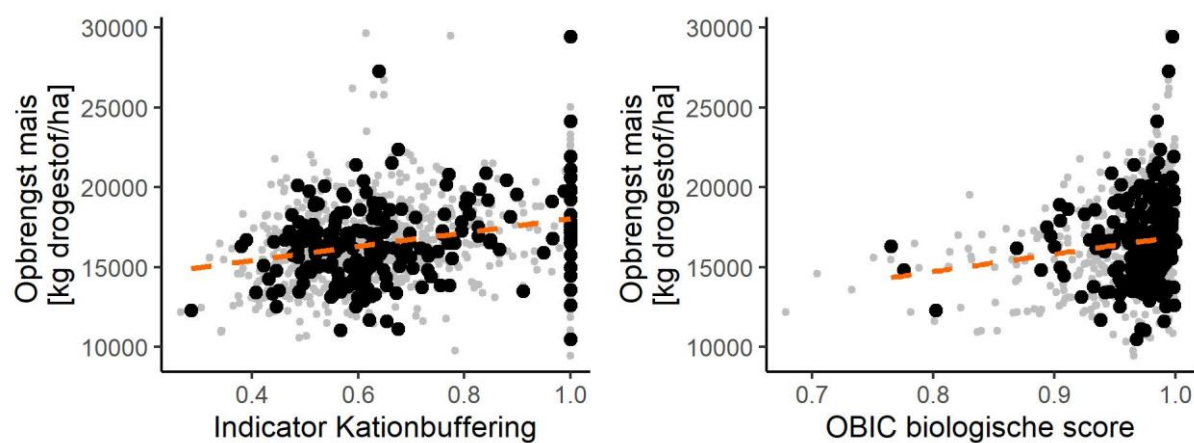
Accumulated dependence profile



Relatie opbrengst met perceelskenmerken



Figuur 5-9. Parceeieigenschappen die verband houden met de opbrengst van gras. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=256), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=3967). Gebroken rode lijnen tonen het lineaire regressiemodel van de bedrijfsgemiddelde gegevens.



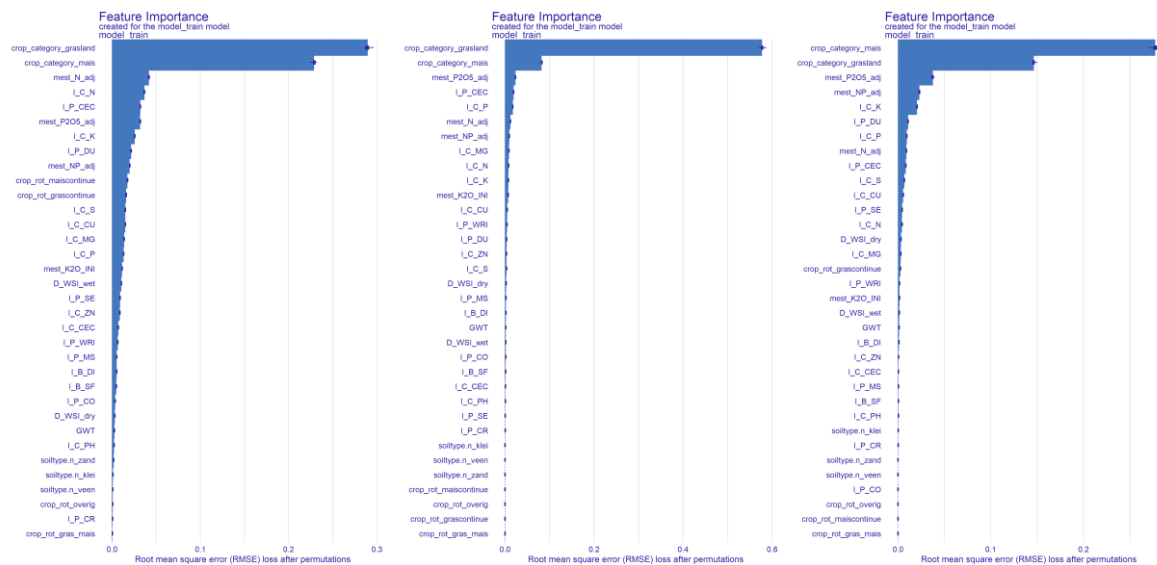
Figuur 5-10. Parceeigenschappen die verband houden met de opbrengst van mais. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=241), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=860). Gebroken rode lijnen tonen het lineaire regressiemodel van de bedrijfsgemiddelde gegevens.

Modelcalibratie en validatie: fosfaatgehalte

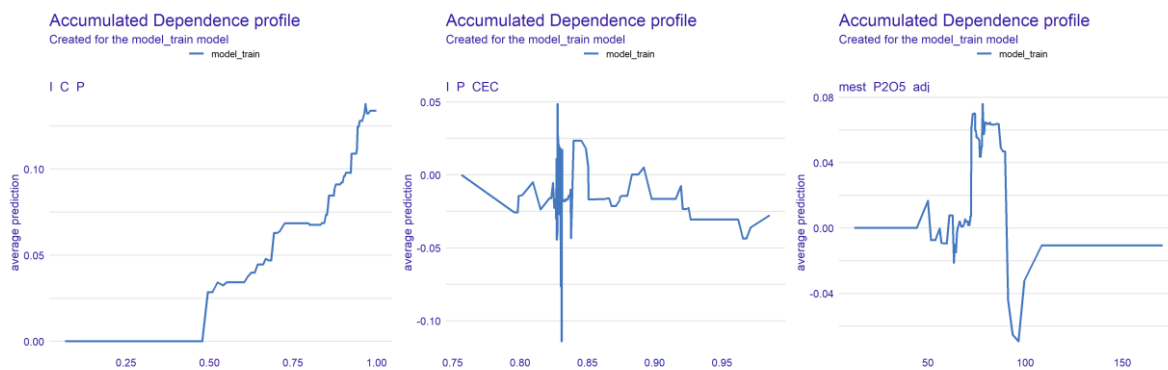
Model performance

seed	R ² training set	RMSE training set	R ² testing set	RMSE testing set	nRMSE testing set (mais)	nRMSE testing set (gras)
100	0.99	0.06	0.913	0.2	9%	6%
101	0.976	0.1	0.939	0.16	7%	5%
102	0.955	0.14	0.929	0.17	10%	5%

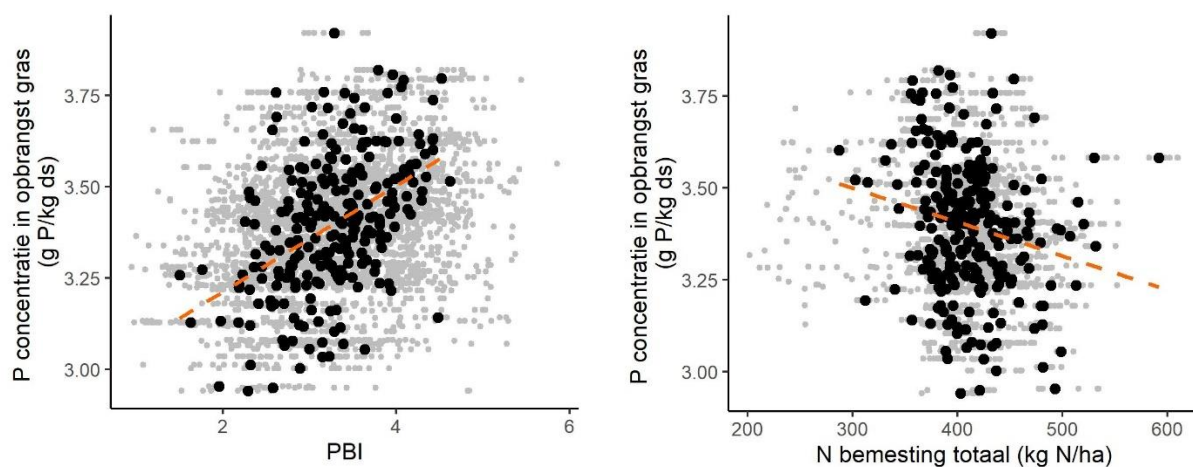
Feature importance



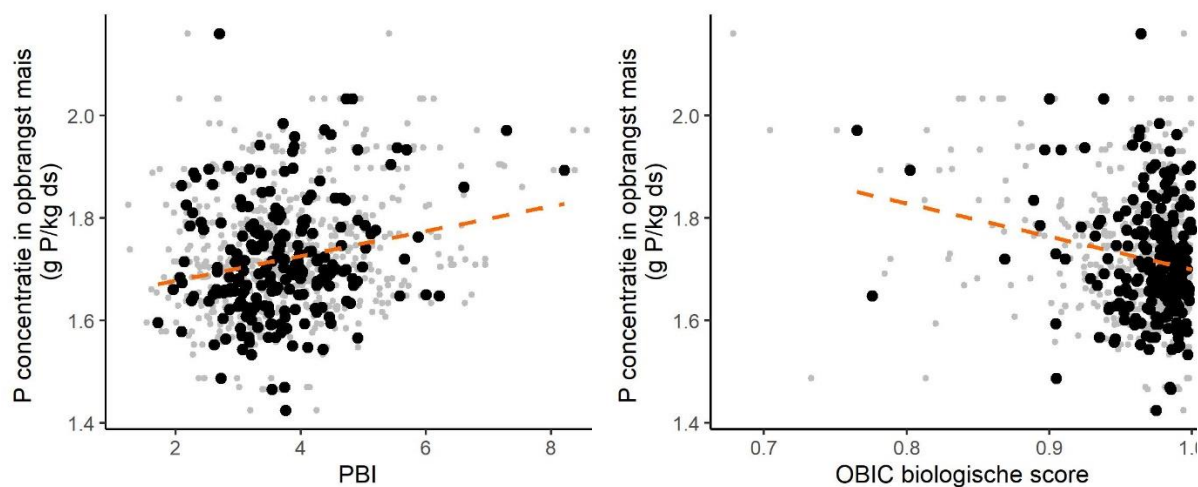
Accumulated dependence profile



Relatie P-gehalte met enkele perceelskenmerken



Figuur 5-11. Parceeigenschappen die verband houden met de P concentratie van gras. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=256), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=3967). Gebroken rode lijnen tonen het lineaire regressiemodel van de bedrijfsgemiddelde gegevens.



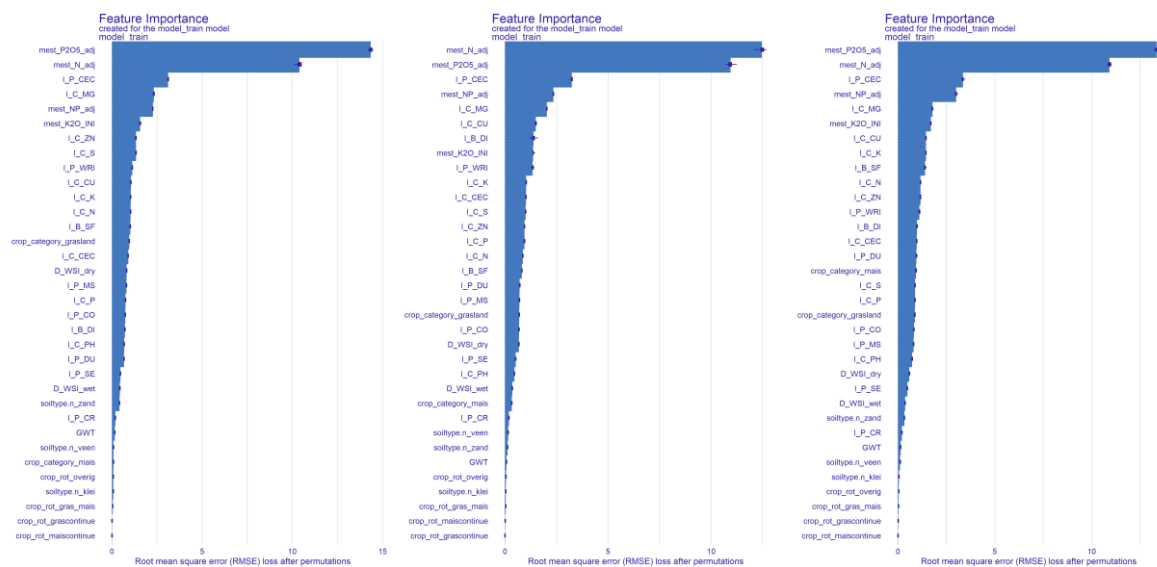
Figuur 5-12. Parceeigenschappen die verband houden met de P concentratie van mais. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=241), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=860). Gebroken rode lijnen tonen het lineaire regressiemodel van de bedrijfsgemiddelde gegevens.

Modelcalibratie en validatie: N-benutting

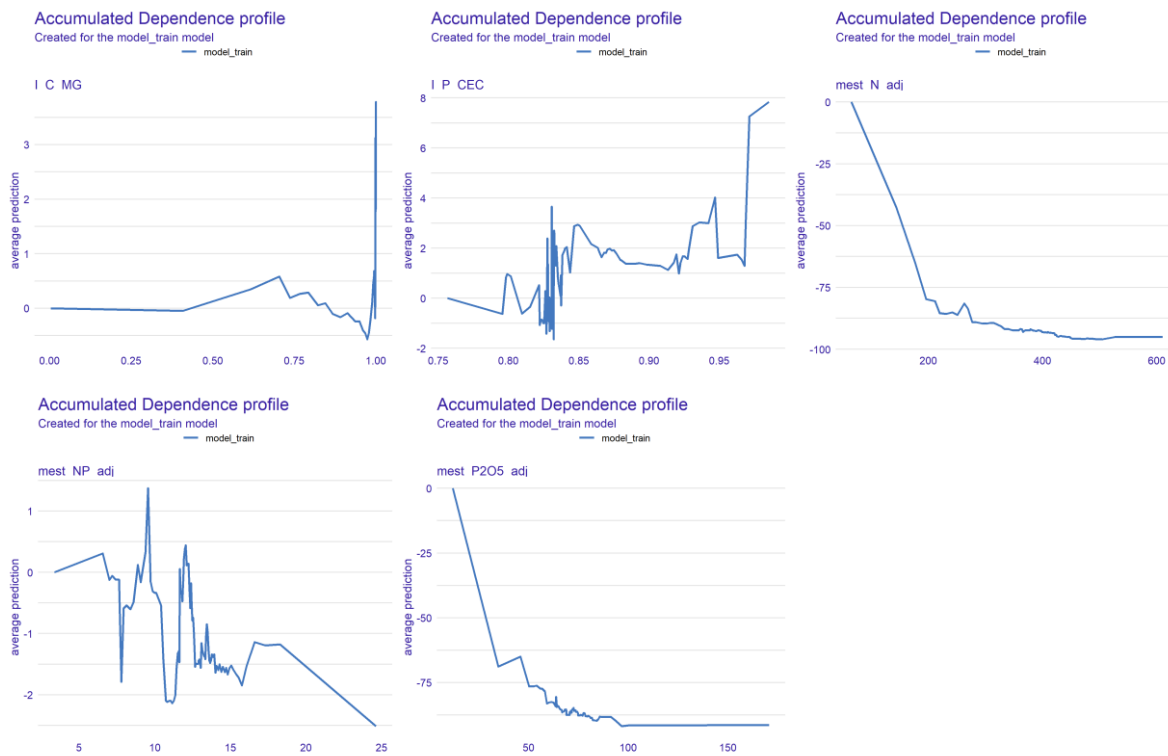
Model performance

seed	R ² training set	RMSE training set	R ² testing set	RMSE testing set	nRMSE testing set (mais)	nRMSE testing set (gras)
100	0.998	0.85	0.549	14.3	34%	14%
101	0.998	0.84	0.808	11.53	24%	12%
102	1	0.26	0.497	10.72	21%	14%

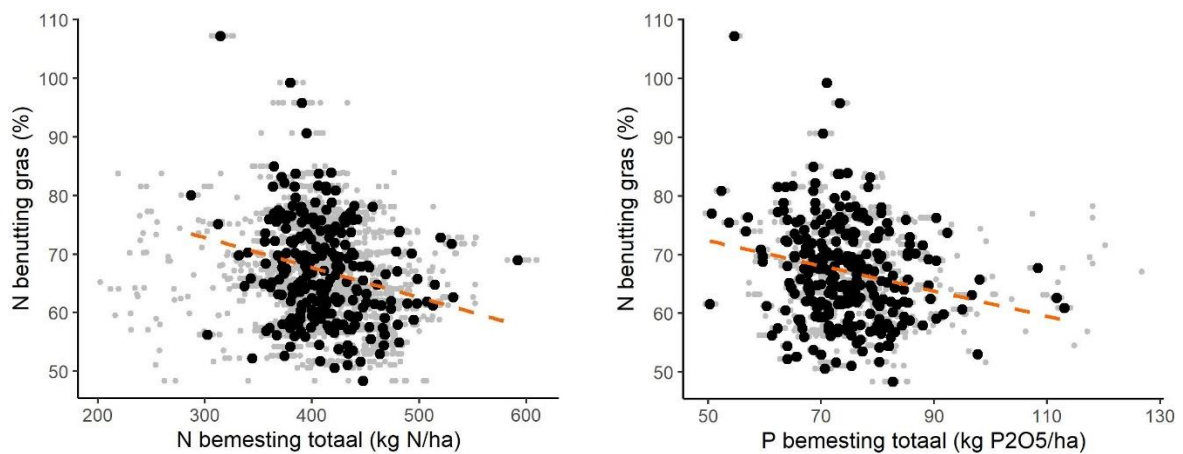
Feature importance



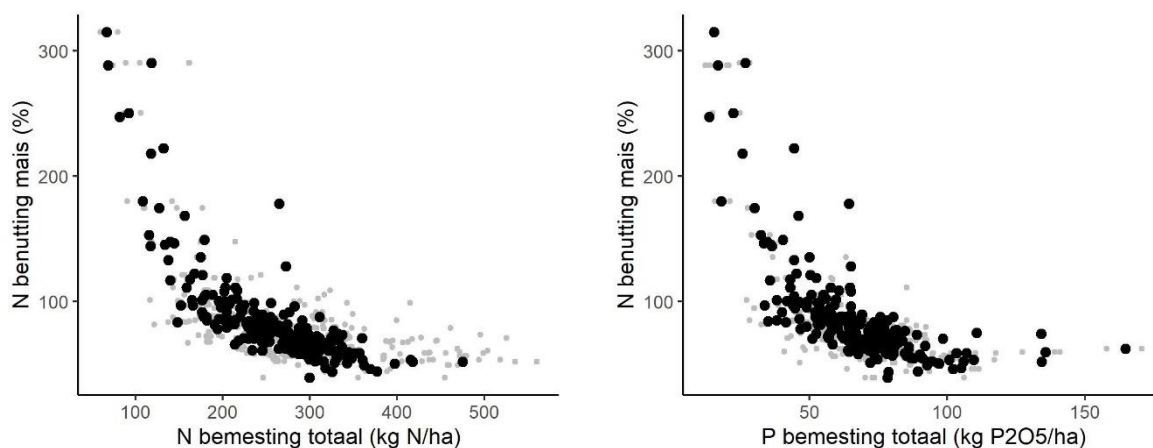
Accumulated dependence profile



Relatie N-benutting met perceelskenmerken



Figuur 5-13. Parceeieigenschappen die verband houden met de N-benutting van grasland. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=256), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=3967). Gebroken rode lijnen tonen het lineaire regressiemodel van de bedrijfsgemiddelde gegevens.



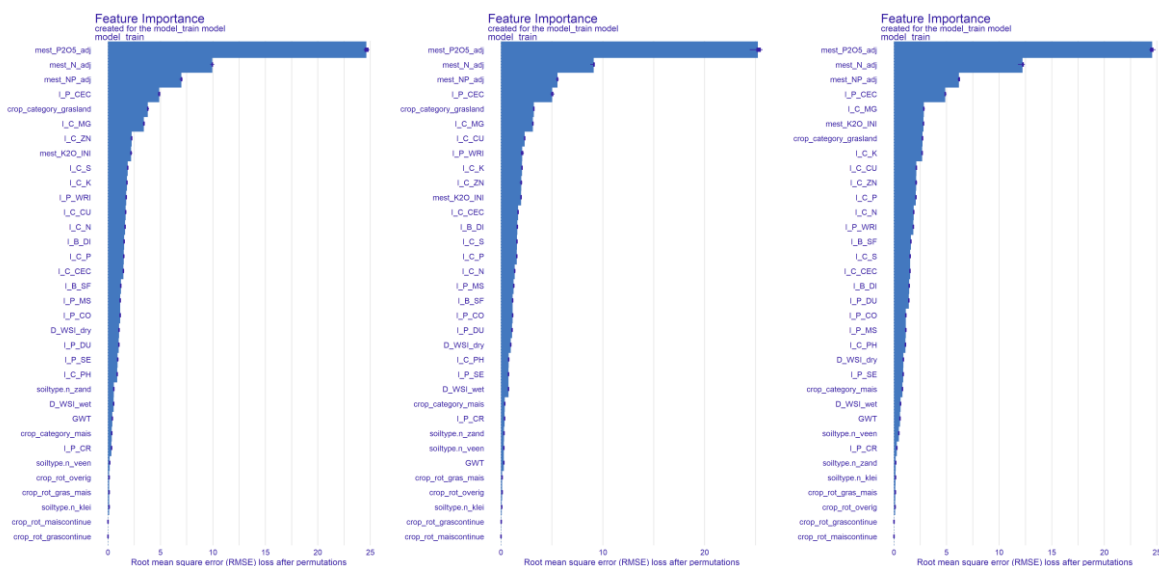
Figuur 5-14. Parcee-eigenschappen die verband houden met de N benutting van mais. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=241), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=863).

Modelcalibratie en validatie: P-benutting

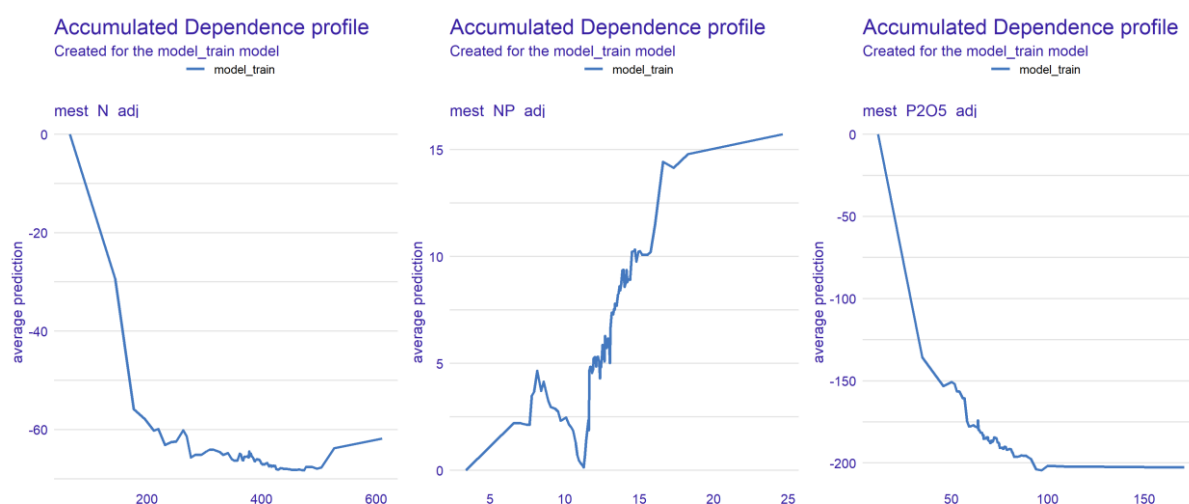
Model performance

seed	R ² training set	RMSE training set	R ² testing set	RMSE testing set	nRMSE testing set (mais)	nRMSE testing set (gras)
100	0.998	1.19	0.632	19.64	30%	17%
101	0.998	1.13	0.79	16.91	23%	15%
102	0.999	0.73	0.511	19.36	28%	17%

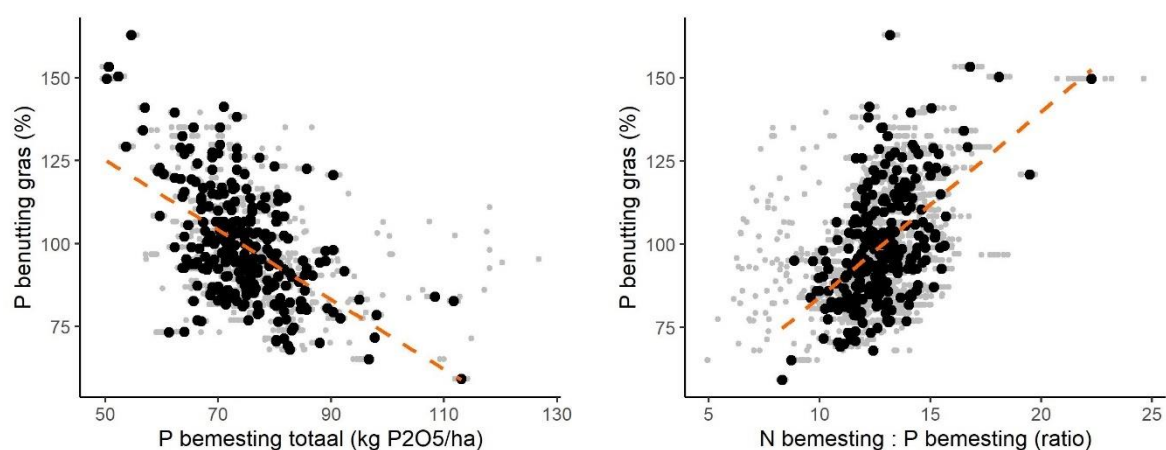
Feature importance



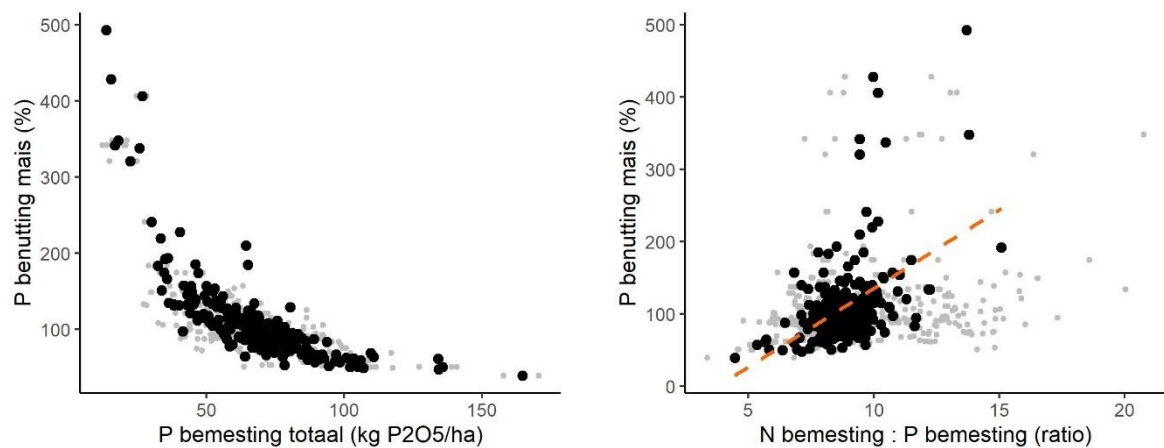
Accumulated dependence profile



Relatie P-benutting met perceelskenmerken



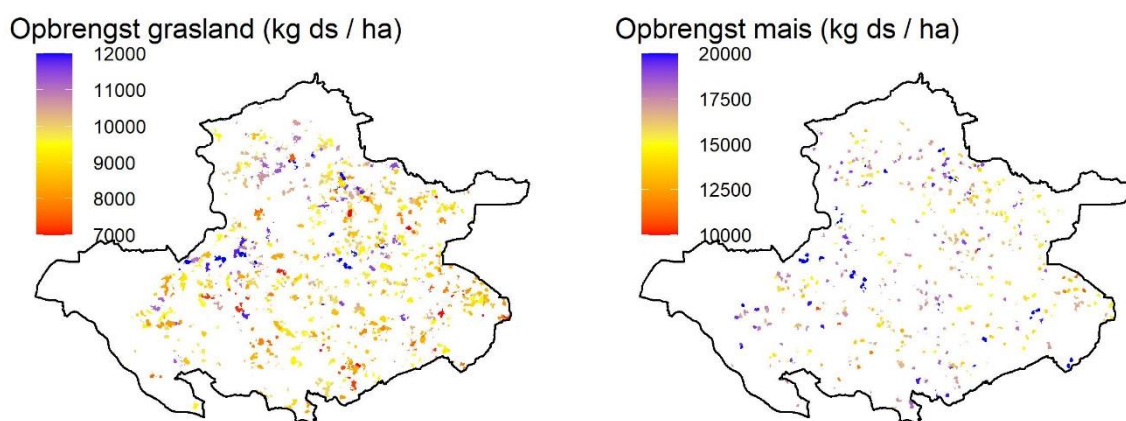
Figuur 5-15. Parceeigenschappen die verband houden met de P-benutting van grasland. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=256), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=3967). Gebroken rode lijnen tonen het lineaire regressiemodel van de bedrijfsgemiddelde gegevens.



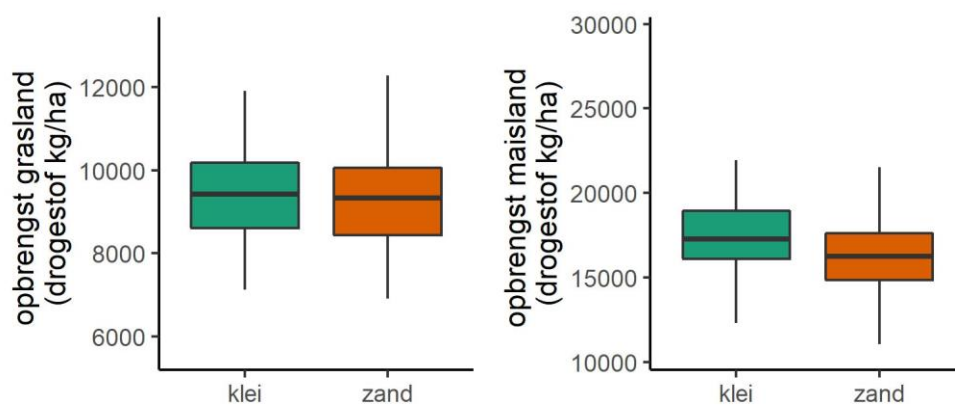
Figuur 5-16. Parceeigenschappen die verband houden met de P-benutting van mais. Zwarte punten geven de bedrijfsgemiddelde waarden weer (N=241), terwijl de grijze punten de perceelsniveau waarden weergeven (N=863).

Bijlage IV: resultaten in detail

Opbrengst grasland en maisland



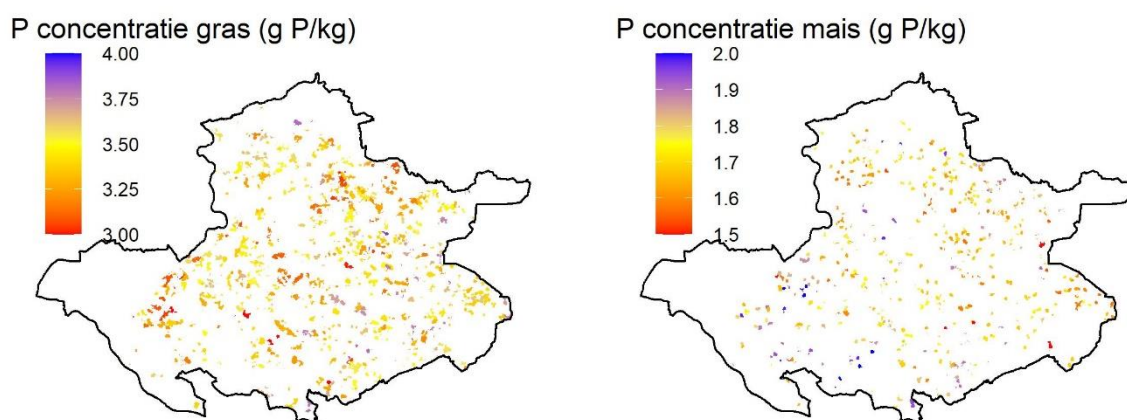
Figuur IV-1. Opbrengst van grasland (links, n = 283) en mais (rechts, n = 259) in kg ds per ha van VKA-bedrijven.



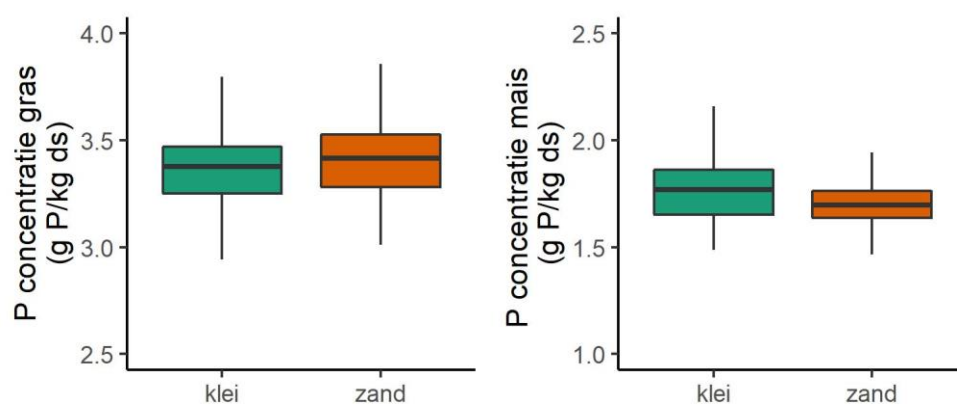
Figuur IV-2. Opbrengst van grassland (links) en maisland (rechts) op bedrijfsniveau. Mediaan- en quantielwaarden zijn weergegeven per dominant bodemtype van het bedrijf.

P-concentratie geoogst grasland en maisland

Meerjarig gemiddelde

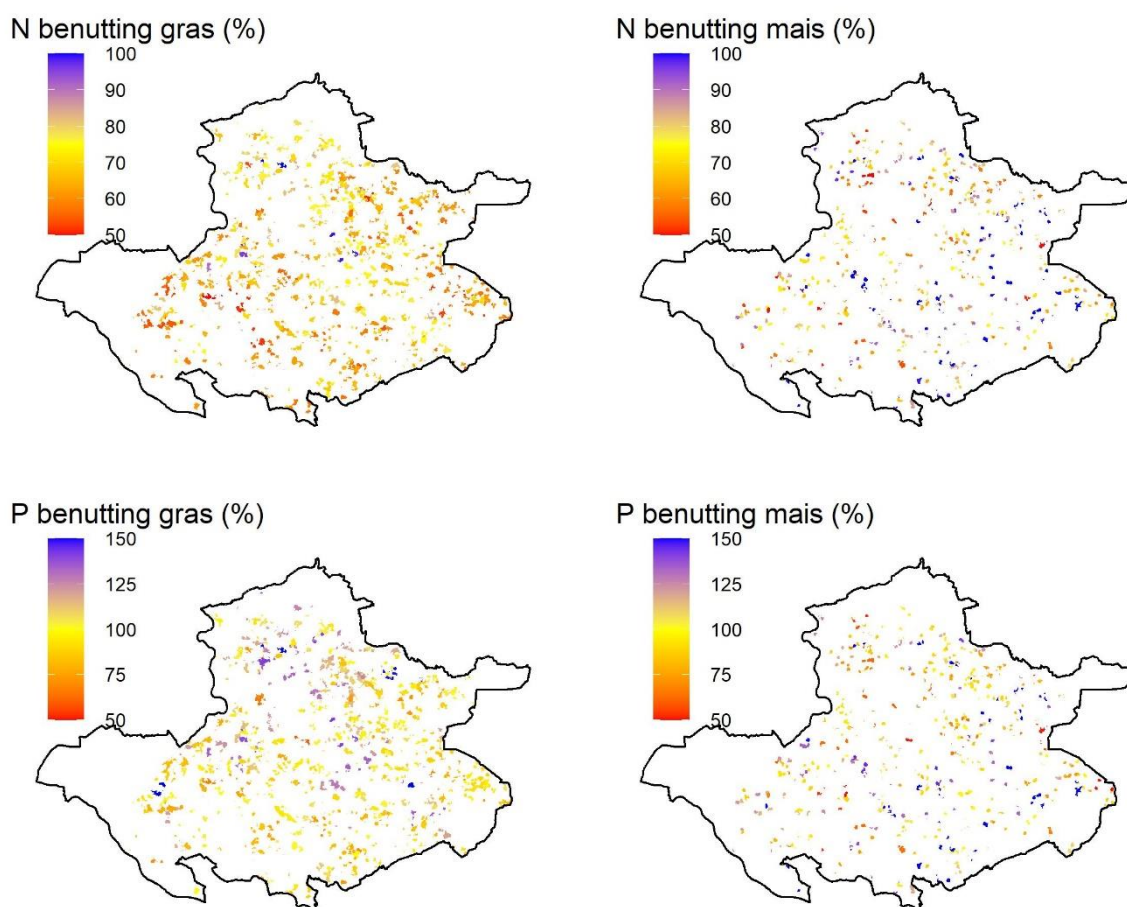


Figuur IV-3. Bedrijfsgemiddelde P-concentratie (g P kg^{-1}) van gras (links, $n = 283$) en van mais (rechts, $n = 259$).

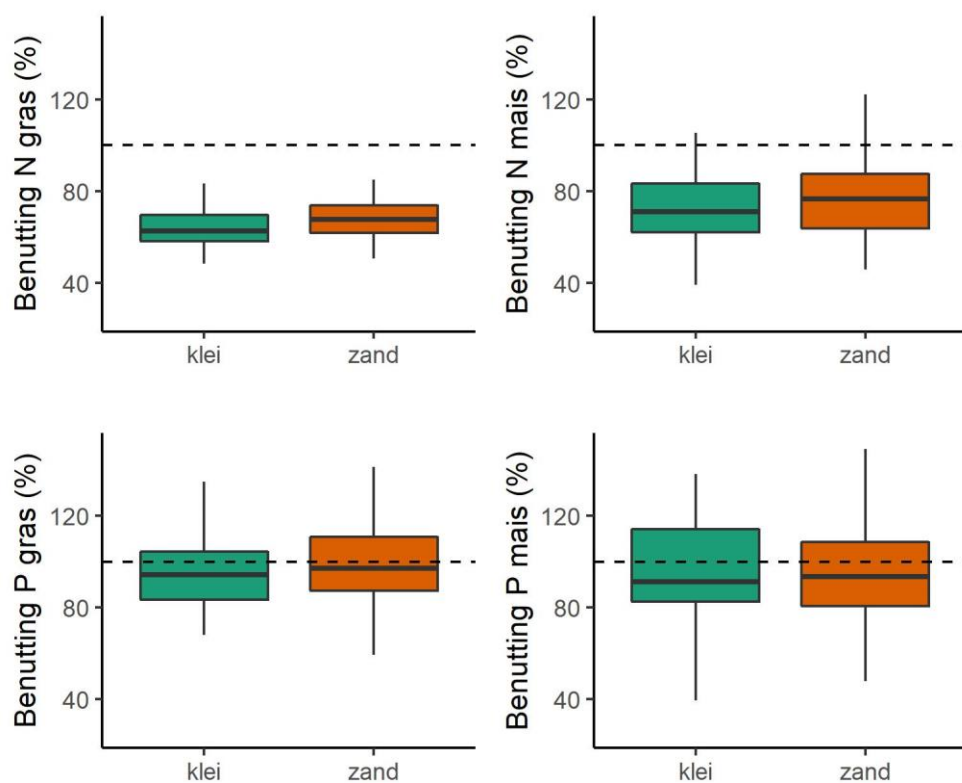


Figuur IV-4. P-concentratie in opbrengst van grasland (links) en maisland (rechts) op bedrijfsniveau. Mediaan- en quantielwaarden zijn weergegeven per dominant bodemtype van het bedrijf.

Meerjarig gemiddelde N- en P-benutting grasland en maisland

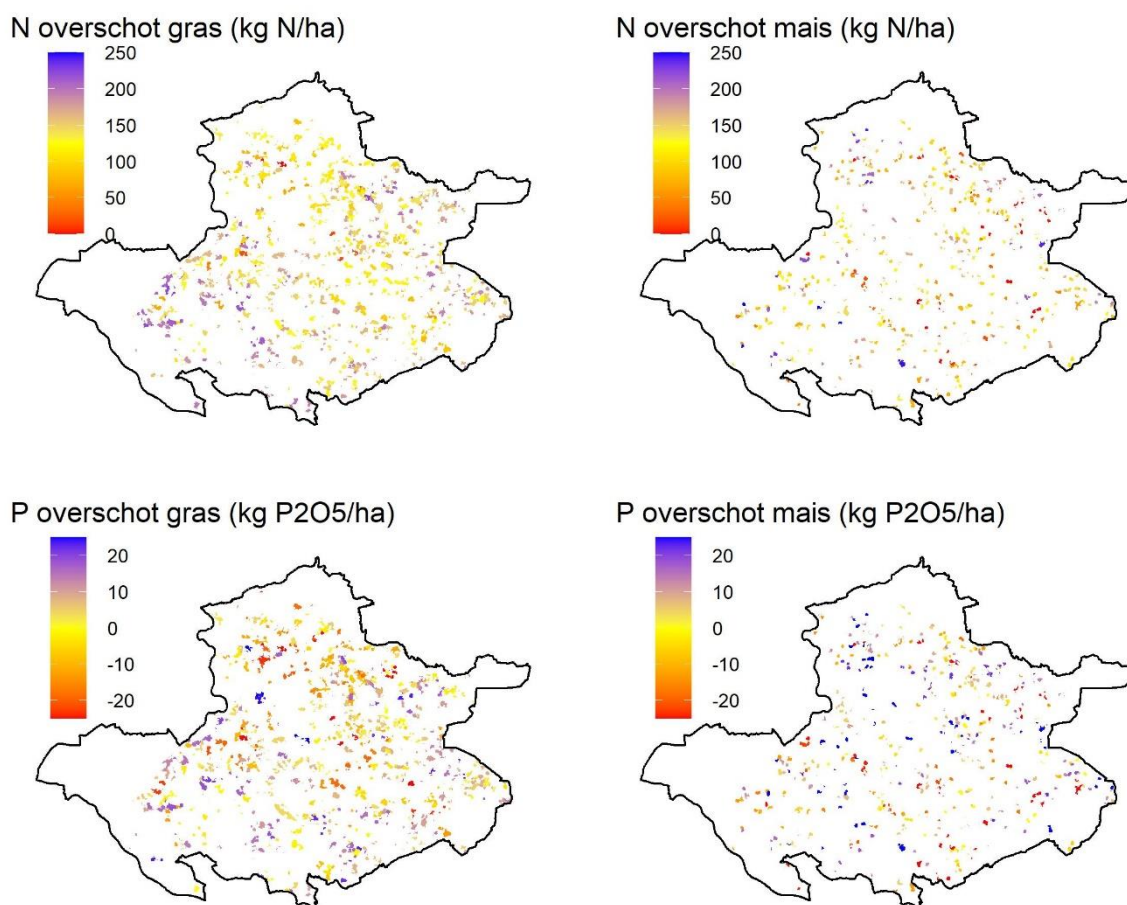


Figuur IV-5. Benutting (%) van N in bodem voor gras (linksboven) en mais (rechtsboven), en benutting van P in bodem voor gras (linksonder) en mais (rechtsonder). Gegevens zijn beschikbaar voor 283 VKA-bedrijven voor gras en 259 VKA-bedrijven voor mais.

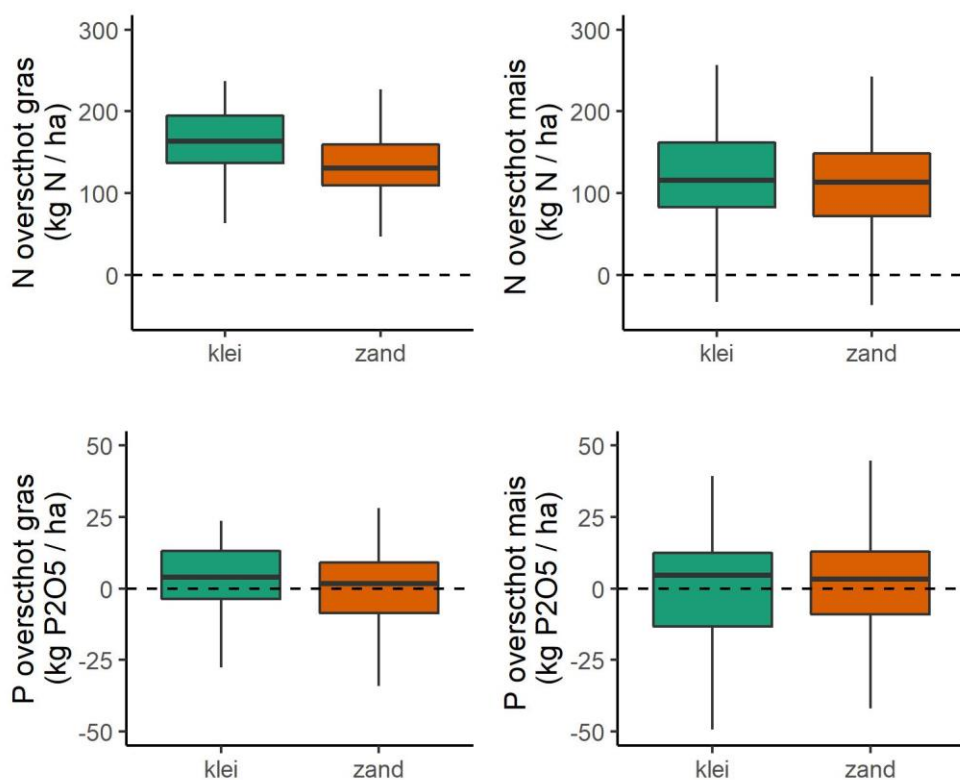


Figuur IV-6. Benutting van N in bodem voor gras (linksboven) en mais (rechtsboven), en benutting van P in bodem voor gras (linksonder) en mais (rechtsonder) op bedrijfsniveau. Mediaan- en quantielwaarden zijn weergegeven per dominant bodemtype van het bedrijf.

Meerjarig gemiddelde N- en P-overschot grasland en maisland



Figuur IV-7. Bodem N-overschot (kg N/ha/jaar) van gras (linksboven) en mais (rechtsboven), en bodem P-overschot (kg P₂O₅/ha/jaar) van gras (linksonder) en mais (rechtsonder), geregistreerd op bedrijfsniveau. Gegevens zijn beschikbaar voor 283 VKA-bedrijven voor gras en 259 VKA-bedrijven voor mais.



Figuur IV-8. Bodem N-overschot (boven) en bodem P-overschot (onder) op bedrijfsniveau, voor gras (links) en mais (rechts) afzonderlijk. Mediaan- en quantielwaarden zijn weergegeven per dominant bodemtype van het bedrijf.



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