



Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit

Deel 1. Een gebiedsanalyse van de Achterhoek

Yuki Fujita

Gerard H. Ros

Referaat

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.

Rapport in het kort

Voor alle landbouwbedrijven in de Achterhoek is de ruimtelijke variatie in bodemkwaliteit als ook bemestingspraktijk in kaart gebracht. Hiervoor is gebruik gemaakt van data uit zowel openbare bronnen als ook uit het landbouwkundige meetnet van Eurofins Agro. Gebruik makend van de Open Bodemindex zijn de belangrijkste bodemkundige knelpunten voor duurzame gewasproductie geïdentificeerd. Met het modelinstrumentarium INITIATOR is de ruimtelijke variatie in bemesting in kaart gebracht en vergeleken met de landbouwkundig gewenste praktijk conform de in Nederland geldende Goede Landbouwpraktijk. Ook is in kaart gebracht hoeveel nutriënten er verloren gaan naar het watersysteem. Als laatste is op basis van literatuurgegevens en gebiedskenmerken aangegeven of en welk handelings-perspectief er is om via agrarische maatregelen bij te dragen aan voldoende en schoon grond- en oppervlaktewater.

© 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
1.1 Achtergrond	3
1.2 Doelstelling	4
2 Gebiedsbeschrijving	5
2.1 Bodemtype, geohydrologie en landgebruik	5
2.2 Bodemkwaliteit	7
2.2.1 Waardering van bodemkwaliteit	7
2.2.2 Ontwikkeling bodemkwaliteitskaarten	7
2.2.3 Ruimtelijke variatie in bodemkwaliteitsmetingen	10
2.2.4 Integrale bodemkwaliteit	13
2.3 Bodembeheer, bemesting en waterkwaliteit	16
2.3.1 Mineralenbalansen: de methode	16
2.3.2 Mineralenbalansen: de resultaten	18
2.3.3 Af- en uitspoeling van nutriënten	20
3 Uitdaging en Handelingsperspectief	22
4 Conclusies	27
5 Literatuur	28
6 Bijlagen	30
Bijlage I. Overzicht bodemparameters	31
Bijlage II. Knelpunten bodemkwaliteit	33
Bijlage III. Uit- en afspoeling	35

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 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 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.

Dit rapport maakt onderdeel uit van een serie rapporten die de resultaten van dit project beschrijft. Het geeft een beschrijving van de Achterhoek qua geohydrologie en grondsoort, bodemkwaliteit, landgebruik en bemesting als ook de potentiële verliezen die optreden richting grond- en oppervlaktewater. De belangrijkste conclusies van deze studie zijn:

- De Achterhoek bestaat vooral uit humuspodzolgronden, zandgronden en dikke eerdgronden. Er is een grote variatie in grondwaterstand. Het grootste deel van het areaal wordt gebruikt voor grasland en gras-mais in wisselbouw.
- Het gehalte organische stof is veelal hoger dan 2% en de pH is veelal binnen de landbouwkundig gewenste range. De meeste percelen hebben een optimaal tot hoge P-beschikbaarheidsindex: 73% van de landbouwpercelen valt in de categorie "hoog" wat betekent dat er meer dan voldoende fosfaat beschikbaar is voor gewasgroei.
- Droogte is het grootste knelpunt voor een hoge gewasproductie. Afhankelijk van grondsoort en landgebruik zijn veel voorkomende knelpunten een lage zwavellevering en het voorkomen van ondergrondverdichting.
- De variatie in bemesting is groot, al wordt het grootste deel van de gewasbehoefte gedekt via de aanvoer van rundveedrijfmest. Ondanks de variatie in bodemkwaliteit is de ruimtelijke variatie in aangevoerde nutriënten gering; hier liggen kansen voor een hogere benutting. Dit wordt bevestigd door de mismatch tussen de landbouwkundig gewenste gift en de huidige bemestingspraktijk; de aanvoer ligt vaak hoger dan wat landbouwkundig nodig is.
- Er kunnen grote verliezen optreden via uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Via inzet van bovenwettelijke maatregelen kan de opgave voor uit- en afspoeling van N grotendeels worden gerealiseerd. De opgave voor P is met bestaande maatregelen echter niet te realiseren en vraagt inzet van extra maatregelen die ingrijpen op de transportroute naar het water.
- Om bodembeheer en bemesting zo in te vullen dat er weinig verliezen optreden van N en P naar het oppervlaktewater is vakmanschap cruciaal. Maatregelen zijn namelijk niet op elk perceel even effectief. Het is daarom aan te bevelen om te sturen op doelen in plaats van middelen, en ondernemers de mogelijkheid te bieden om zelf maatwerkpakketten samen te stellen.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

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 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., 2018; Groenendijk et al., 2017ab).

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.

1.2 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 eerste deel van het project. Dit deel geeft inzicht in:

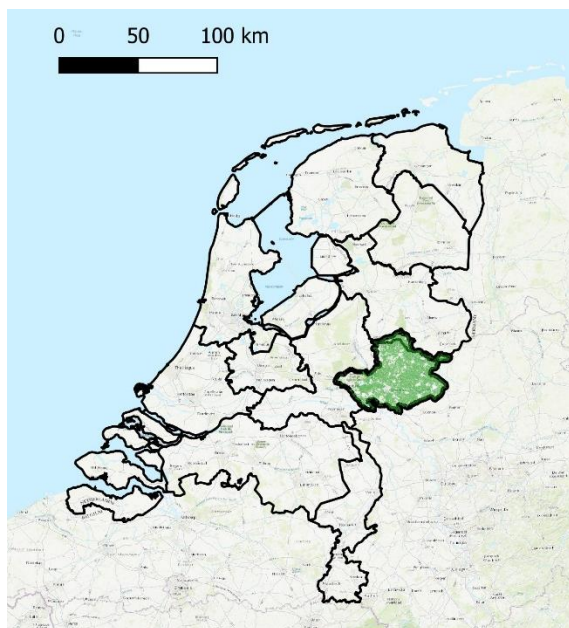
- de ruimtelijke variatie in (intensiteit van) landgebruik, uitspoelingsgevoeligheid van teelten, de erosiegevoeligheid, de mate van ondergrondverdichting, en het risico op verslapping.
- de ruimtelijke variatie in bodemkwaliteit voor wat betreft parameters die van invloed zijn op de opbrengend vermogen van het perceel als ook de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat. Dat zijn achtereenvolgens het organische stofgehalte, de zuurgraad, het N-totaalgehalte, de biologische afbreekbaarheid van de organische stof, de microbiële biomassa, de bodemtextuur, en verschillende P-fracties en pools (en de beschikbaarheid ervan) in de bodem.
- de huidige en gewenste bodemkwaliteit vanuit agronomisch en milieukundig oogpunt, ruimtelijk expliciet in kaart gebracht. Het is hiervoor gewenst de bodem agronomisch en milieukundig te beoordelen (conform de Goede Landbouw Praktijk) voor de belangrijkste bedrijfssystemen in de regio. De gewenste praktijk qua bemesting, bodembeheer en bekalking wordt vergeleken met de huidige bemestingspraktijk zoals deze afgeleid kan worden vanuit bestaande bedrijfsgegevens. Hiervoor worden zogenoemde mineralenbalansen gemaakt. Hiervoor wordt kennis ontwikkeld (om bodemmetingen integraal en robuust te beoordelen) om zo duidelijk te krijgen waar kansen liggen om samen te werken aan schoon grond- en oppervlaktewater.

Andere delen van het rapport geven inzicht in:

- De impact van bodem op ruwvoerproductie en mineralenbenutting (Ros & Fujita, 2021a)
- De ontwikkeling van de bodemkwaliteit in de Achterhoek van de laatste decennia met een focus op organische stof en fosfaat (Fujita & Ros, 2020)
- De ruimtelijke variatie in bemesting binnen de Achterhoek in relatie tot de gebruikte mestgegevens als ook de verschillen tussen deelnemers van VKA en niet deelnemende boeren (Ros & Fujita, 2021b).
- Het handelingsperspectief en maatregelen die agrarische ondernemers kunnen nemen om hun gewasproductie te verhogen en de waterkwaliteit te verbeteren (Ros & Fujita, 2021c)

2 Gebiedsbeschrijving

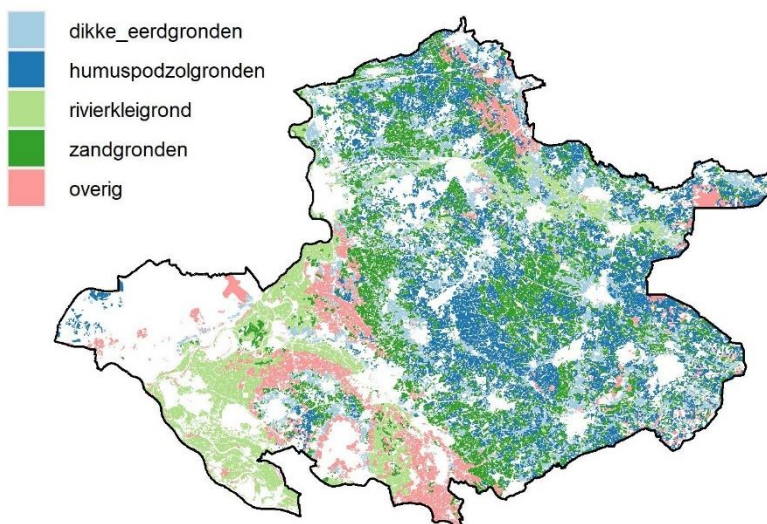
De Achterhoek is gelegen in het oostelijk deel van Nederland in de provincie Gelderland (Figuur 2-1). Binnen de Achterhoek werken de boeren al meerdere jaren samen om hun ruwvoerproductie te optimaliseren voor een gezond bedrijf als ook een gezonde leefomgeving. Om dit te bereiken is in 2014 de Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers (VKA) gestart, nadat het op initiatief van LTO Noord in 2013 was voorbereid. Vormgeven aan duurzaamheid, laten zien wat je doet, verbeteren van bodem en waterkwaliteit en betere benutting van nutriënten waren de kaders van het project. Winst voor de boer én voor het milieu. Dit hoofdstuk beschrijft de gebiedskenmerken van de Achterhoek regio met een focus op de daar aanwezige landbouwbodems.



Figuur 2-1. Ligging van het studiegebied. De landbouwpercelen van Achterhoek zijn groen gekleurd.

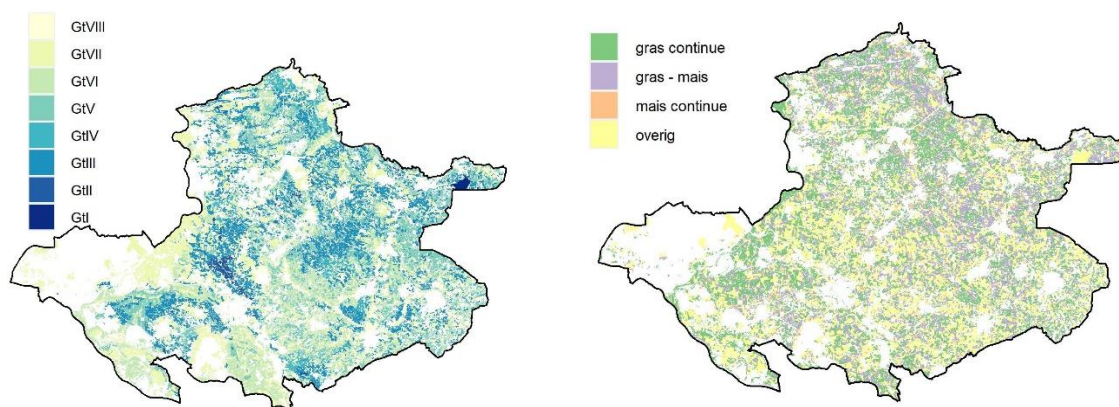
2.1 Bodemtype, geohydrologie en landgebruik

De meest voorkomende grondsoort in de Achterhoek zijn de humuspodzolgronden en de zandgronden. In totaal wordt er circa 111.400 hectare landbouwgrond beheerd door agrarische ondernemers. Circa 58% van alle landbouwpercelen ligt op deze grondsoorten. Daarnaast komen ook nog dikke eerdgronden (16%) en rivierkleigronden (12%) voor. Binnen de regio komen de humuspodzolgronden en de zandgronden vooral in het Oosten voor, terwijl in het Westen meer rivierkleigronden en overige grondsoorten aanwezig zijn (Figuur 2-2).



Figuur 2-2. Ruimtelijke verdeling van grondsoorten binnen de regio Achterhoek.

Naast het bodemtype bepaalt de grondwaterstand voor een groot deel de landbouwkundige opbrengst-potentie. Heel zichtbaar werd dat in de afgelopen jaren door het grote neerslagtekort in het groeiseizoen. Grondwateraanvulling is daardoor van grote invloed. Binnen de regio is er grote variatie in de natuurlijke variatie in grondwaterstanden (Figuur 2-3): een substantieel deel van de percelen (46%) heeft een grondwatertrap groter dan zes, wat betekent dat de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) dieper ligt dan 40 á 80 cm-mv en dat de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) dieper dan 120 cm-mv ligt. In minder dan 1% van het landbouwkundig areaal is er sprake van natte percelen waarbij de GHG binnen de eerste 40 cm-mv ligt en de GHG fluctueert binnen de eerste 80 cm-mv. Lokaal kunnen hierbij overigens grote verschillen optreden.



Figuur 2-3. Ruimtelijke verdeling van grondwatertrap (links) en landgebruik (rechts) binnen de regio Achterhoek.

De Achterhoek is één van de regio's in Nederland waar veel melkveehouders grond beheren (Figuur 2-3). Een groot deel van de aanwezige percelen (43%) wordt alleen gebruikt voor grasland: het landgebruik is continue grasland. Circa 25% van areaal en de aanwezige percelen wordt gebruikt in wisselbouw, waarbij grasland en maisland elkaar afwisselen met een variërende frequentie. Slechts 4% van het areaal wordt gebruikt voor continue maisland. De overige 30% van het areaal wordt gebruikt voor andere gewassen, regelmatig in wisselbouw met grasland of mais. Er zijn geen duidelijke ruimtelijke patronen zichtbaar; hooguit komt in het Noorden van de Achterhoek relatief meer grasland voor.

2.2 Bodemkwaliteit

2.2.1 Waardering van bodemkwaliteit

De bodem is de basis van een agrarisch bedrijf en de motor van een gezonde en productieve landbouw. Daarom is een goede en levende bodem erg belangrijk. Zeker ook om het boerenbedrijf voor toekomstige generaties in stand te houden. Om de bodem duurzaam te beheren, is het belangrijk om de bodem te kennen. In de praktijk worden dan ook regelmatig bodemon monsters geanalyseerd die informatie geven over de kwaliteit van de bodem: zijn er voldoende nutriënten beschikbaar, kan het gewas er makkelijk wortelen en is er voldoende bodemleven?

Een eenvoudig meetinstrument dat de kwaliteit van de bodem in een oogopslag weergeeft, was tot 2018 niet beschikbaar (Bünemann et al., 2018). Daarnaast weten we dat de bodem erg complex is. De bodem bepaalt hoeveel voedingsstoffen er beschikbaar zijn voor gewassen en of een plant ook gezond kan groeien. Allerlei bodemdierpjes en chemische processen in de bodem zorgen ervoor dat dat mogelijk is. Hoe krijg je als boer nu op een eenduidige en eenvoudige manier inzicht in de bodemkwaliteit? Hoe zorg je ervoor dat de bodem ook voor toekomstige generaties gezond blijft?

Meetinstrumenten kunnen daarbij helpen. Er bestaan anno 2021 veel meetinstrumenten voor de bodem (Bünemann et al., 2018; Molendijk et al., 2018) maar deze bieden veelal geen integraal inzicht in de kwaliteit van de bodem. Ook is vaak onduidelijk op welke manier de bodemkwaliteit nog verder te verbeteren is. In 2019 is daarom de Open Bodemindex ontwikkeld met alle relevante kennisintellingen en bodemdeskundigen; een open source rekensystematiek gebaseerd op de meest recente kennis van zaken (Ros, 2019). Deze index maakt gebruik van al bestaande informatie en geeft inzicht in de bodemkwaliteit van alle landbouwbodems in Nederland. Als de kwaliteit ergens tekort schiet, worden aanbevelingen gegeven voor maatregelen die de bodem weer in goede toestand kunnen brengen. Omdat een bodemindex alleen nut heeft als deze zinvolle informatie geeft voor boeren en zij het gaan gebruiken om de bodem van hun bedrijf te verbeteren dan wel goed te houden, werken ook boeren mee aan de ontwikkeling ervan.

2.2.2 Ontwikkeling bodemkwaliteitskaarten

Betrouwbare bodemanalyses staan aan de basis van een goede evaluatie van de bodemkwaliteit. De chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit bepalen samen niet alleen de opbrengstpotentie maar ook de benutting van nutriënten als ook de verliezen die optreden richting grond- en oppervlaktewater. Inzicht in de bodemkenmerken van landbouwpercelen verheldert daarnaast de belangrijkste achterliggende processen die de belasting vanuit de landbouw op het oppervlaktewater beïnvloeden en geeft ook concrete handvatten om via het agrarisch handelen de waterkwaliteit te verbeteren. Om inzicht te krijgen in de bodemkwaliteit in de Achterhoek zijn daarom gegevens verzameld van de landbouwkundige bodemkwaliteit op basis van de bodemanalyses zoals deze beschikbaar zijn bij het agrarisch laboratorium Eurofins.

Selectie van bodemparameters

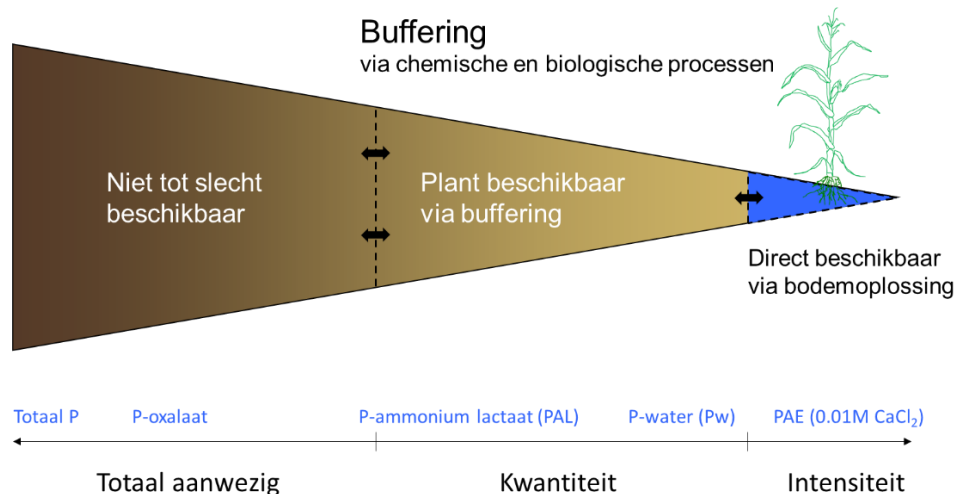
In de agrarische sector wordt frequent (minimaal om de vier jaar) een bodemanalyse uitgevoerd om te voldoen aan de wettelijke verplichtingen rond toepassing van meststoffen. Ook worden bodemanalyses uitgevoerd om de bemesting op perceelsniveau te optimaliseren. Voor elk perceel zijn daarom ook gegevens bekend van bodemeigenschappen die van invloed zijn op het vrijkomen van stikstof en fosfor uit de landbouwbodem als ook het gedrag van deze nutriënten in de bodem. Dit omvat onder andere:

- algemene bodemeigenschappen als kleigehalte, minerale samenstelling, gehalte aan organische stof, zuurgraad, kalkgehalte en de kation-uitwisselcapaciteit (CEC).
- bodemeigenschappen gerelateerd aan stikstofprocessen als het CN-gehalte van de bodem, het

N-totaal gehalte, de Ca-Mg ratio, de zuurgraad, en de afbreekbaarheid van de organische stof (anaerobe stikstofmineralisatie bij 40°C over 7 dagen).

- bodemeigenschappen gerelateerd aan fosfaatprocessen waaronder het totale P-gehalte en de P-fracties die worden bepaald door met de hoeveelheid P extraheerbaar met oxalaat (P_{ox}), ammonium-lactaat (P-AL), water (Pw) en $CaCl_2$ (P- $CaCl_2$). Bodemeigenschappen die de P-vracht beïnvloeden zijn daarnaast het gehalte aan Fe- en Al-oxalaat, en het kalkgehalte.

Er zijn veel verschillende manieren om fosfaat en stikstof in de bodem te meten. Voortbouwend op wetenschappelijk onderzoek (Van Erp, 2002; Van Rotterdam-Los, 2011; Ros, 2011; Reijneveld, 2013) zijn meetmethoden ontwikkeld gebaseerd op het concept intensiteit, buffering en kwantiteit (Figuur 2-4).



Figuur 2-4. Het intensiteit-buffering-quantiteitsconcept schematisch weergegeven, met in blauw de koppeling van meetbare fosfaatpools in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat voor gewasopname.

De “kwantiteit” geeft de hoeveelheid aan dat van een specifiek nutriënt beschikbaar is in de bodem. Voor fosfaat- en stikstofparameters worden deze gemeten via NIR-spectroscopie. Niet alles hiervan is echter direct opneembaar voor gewassen omdat gedurende het groeiseizoen allerlei chemische én biologische processen ervoor zorgen dat het desbetreffende nutriënt ook daadwerkelijk beschikbaar komt. De “intensiteit” geeft een maat voor de hoeveelheid van een specifiek nutriënt dat aanwezig is in de bodemoplossing. Deze hoeveelheid is direct beschikbaar voor gewasopname en wordt gemeten via een extractiemethode (met 0,01M $CaCl_2$) die de eigenschappen van de bodemoplossing reflecteert. De “buffercapaciteit” is de snelheid waarmee de direct beschikbare hoeveelheid nutriënten wordt aangevuld wanneer deze aan de bodemoplossing worden onttrokken. De factoren die deze buffercapaciteit beïnvloeden, verschillen per nutriënt: de buffercapaciteit van stikstof wordt voornamelijk gestuurd door de bodembiologie terwijl de buffering van fosfaat sterk afhangt van de bodemchemie. De buffercapaciteit wordt geschat door simulatie van chemische en biologische processen (mineralisatie en immobilisatie, desorptie, etc.) in afhankelijkheid van bodemparameters (als P-pools, Al- en Fe-oxiden en de mineralisatiesnelheid) en weersomstandigheden of door eenvoudige proxies die deze processen reflecteren.

De stikstof- en fosfaatbeschikbaarheid werden in het verleden gekwantificeerd via extractiemethodes waarbij een specifieke fractie uit de bodem in oplossing werd gebracht. Deze extraheerbare fractie zou beschikbaar kunnen komen voor gewasopname. In werkelijkheid is de beschikbaarheid van nutriënten echter een dynamisch proces dat niet één-op-één gerelateerd is aan een bepaalde bodemfractie. Gebruik makend van het kwantiteit-buffering-intensiteitsconcept blijkt dat een combinatie van PAL (extractie met ammoniumlactaat), P- $CaCl_2$ (PAE, extractie met $CaCl_2$) en de hoeveelheid ijzer en aluminium in een bodem (extractie met oxalaat) het mogelijk maakt om de beschikbaarheid van fosfaat

accuraat te beschrijven. Deze vernieuwde benadering die gebruikt maakt van een meting van de capaciteit en intensiteit is recent gebruikt om nieuwe fosfaatbestedingsadviezen voor gras en mais te ontwikkelen (Bussink et al., 2011; Van Rotterdam et al., 2016). Voor stikstof bleek de totale hoeveelheid stikstof in de bodem in combinatie met een biologische incubatietest een nauwkeurige schatting te kunnen geven van de stikstofbuffering bij een constant vochtgehalte en temperatuur. Aanvullende correctie op basis van weersgegevens creëerde de mogelijkheid om een accurate schatting te geven van de stikstof-beschikbaarheid gedurende het seizoen (Ros, 2011). Bovengenoemde processen en inzichten hebben een direct effect op het landbouwkundig functioneren van een bodem en sturen ook de N- en P-belasting die op kan treden richting het oppervlaktewater. Ruimtelijk inzicht in deze variabelen is dan ook cruciaal om via agrarische maatregelen te sturen op een duurzamer watersysteem.

Voor de regio Achterhoek wordt de ruimtelijke variatie in bodemparameters in kaart gebracht voor:

- De hoeveelheid fosfaat (P) in de bodem, in het bijzonder voor die bepalingen die van invloed zijn op de bemestingsruimte op agrarische bedrijven. Voor bouwland is dat het Pw-getal (fosfaat-extractie met water, mg P_2O_5 l⁻¹) en voor grasland de hoeveelheid PAL (fosfaatextractie met ammonium-lactaat, mg P_2O_5 100 g⁻¹). Daarnaast wordt ook standaard de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat gemeten via een extractie met 0,01 M $CaCl_2$.
- De hoeveelheid organische stikstof in de bodem (mg N kg⁻¹), en de afbreekbaarheid ervan zoals dat gemeten wordt via een anaerobe incubatiemethode (N-mineralisatiesnelheid, mg N kg⁻¹).
- Het landgebruik, bodemtype, grondwatertrap en morfologie van percelen omdat deze in sterke mate de transportroutes en gedrag van fosfaat in de bodem beïnvloeden (zie sectie 2.2.1).
- De P-verzadiging (%) van de bodem, dat wil zeggen de mate waarin een grond is 'opgeladen' met fosfaat en risico's oplevert voor hoge P-verliezen richting het oppervlaktewater.

De gekozen parameters geven gezamenlijk inzicht in de ruimtelijke variatie van bodemeigenschappen die van invloed zijn op de plantbeschikbaarheid en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat. Belasting van het watersysteem is naast de bodemtextuur gerelateerd aan de bodemeigenschappen zoals pH, P-toestand, en N-mineralisatiesnelheid en de mogelijkheid om deze overschotten in de bodem te bufferen (verzadigingsgraad).

Gebruikte data en modellen

Voor de ontwikkeling van ruimtelijk expliciete kaarten van de bodemkwaliteit wordt gebruik gemaakt van duizenden bodemanalyses die de afgelopen vier jaar zijn uitgevoerd in Nederland. Omdat de gegevens van de ontwikkelde bodemkaarten niet herleidbaar mogen zijn tot uitgevoerde metingen op individuele percelen, is een (geo)statistische methode toegepast (namelijk regression kriging op basis van een XGBoost machine learning model) om missende bodemparameters (van percelen die niet zijn geanalyseerd) te schatten op basis van satellietgegevens (de Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), open bodemdata (o.a. ISRIC schattingen), locatie-specifieke kenmerken als het landgebruik, het bodemtype, de eigendomssituatie (pacht of eigendom) en de grondwatertrap en bodemgegevens zoals het NMI die verzamelt binnen projecten met boeren. Al de genoemde covariabelen zijn nodig om bij de ruimtelijke interpolatie rekening te houden met specifieke perceels-kenmerken. Door gebruik te maken van machine learning technieken kunnen er relaties gevonden worden tussen bodemeigenschappen en de verklarende co-variabelen (die voor elk perceel bekend zijn). Als algoritme is gebruik gemaakt van Gradient Boosted Trees (GBT) met als implementatie XGBoost (Friedman, 2001; Chen et al., 2016). Dit algoritme is een ensemble methode en gebruikt meerdere decision trees om relaties tussen bodemparameters te vinden. Voor deze studie is daarbij aanvullend gebruik gemaakt van 37.667 bodemanalyses van agrarische percelen. Dat betekent dus dat voor vrijwel de helft van de aanwezige percelen minimaal één of meerdere bodemanalyses beschikbaar waren.

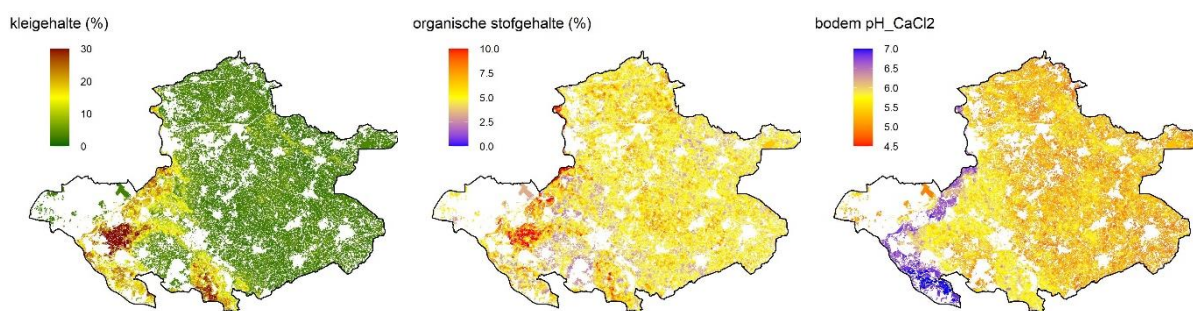
De hoogste betrouwbaarheid is te vinden voor de parameters N-totaal, P-oxalaat, Al-oxalaat, Fe-oxalaat, de CEC, pH, de afbreekbaarheid van de organische stikstof en de P-verzadigingsgraad (met meer dan 80% verklaarde variantie, en een gemiddelde modelfout kleiner dan 15%). De parameters PAL, Pw en P-CaCl₂ vertonen een grotere onzekerheid (met 50-80% verklaarde variantie en een gemiddelde modelfout rond 25%). De ruimtelijke spreiding in de modelonzekerheid wordt meegenomen in het maken van de ruimtelijke kaarten.

2.2.3 Ruimtelijke variatie in bodemkwaliteitsmetingen

De ruimtelijke variatie in bodemkenmerken is in kaart gebracht voor de bodemmetingen organische stof, pH, CEC en verschillende bodemmetingen die gerelateerd zijn aan het gedrag van fosfaat en stikstof in de bodem.

Basis bodemkenmerken

De basis bodemkenmerken zijn het organische stofgehalte, de pH en het kleigehalte (Figuur 2-5). Binnen de Achterhoek is het kleigehalte overwegend lager dan 5%; de meest voorkomende grondsoort is namelijk zand. Het organische stofgehalte varieert van 2 tot 12%, waarbij het gehalte gemiddeld hoger ligt onder grasland dan onder bouwland. De zuurgraad is redelijk constant en varieert van 4,4 tot 7,2.



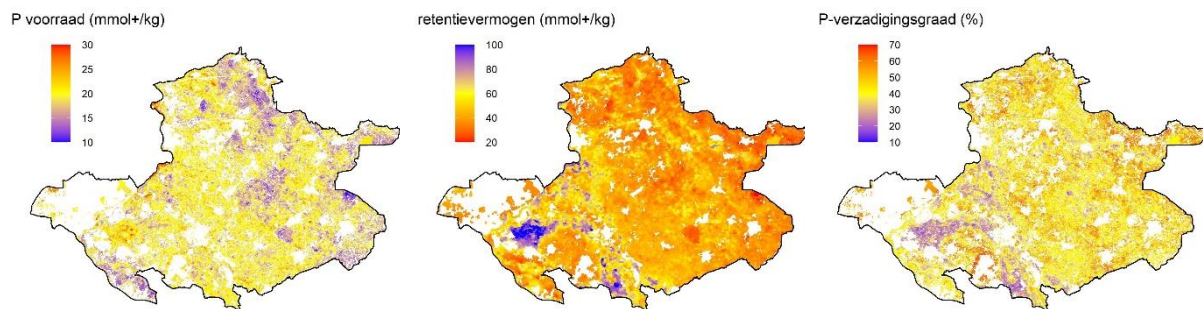
Figuur 2-5. Kleigehalte (links), organische stofgehalte (midden), en zuurgraad (rechts) in de Achterhoek.

Variatie in fosfaatmetingen

Binnen de Achterhoek is er sprake van een grote variatie in P-voorraden in de toplaag (Figuur 2-6). De hoeveelheid fosfaat (gemeten via een oxalaat-extractie) varieert van 9,0 tot 30,6 mmol kg⁻¹. Het verschilt niet veel tussen bodemsoorten, met een gemiddelde voorraad van 19,1 mmol kg⁻¹ voor zandgrond, 18,7 mmol kg⁻¹ voor kleigrond en 19,3 mmol kg⁻¹ voor veengrond. Het vermogen om fosfaat te binden in de bodem hangt sterk samen met de hoeveelheid ijzer- en aluminiumoxides in de bodem. Deze zijn het hoog in de veen- en kleigronden en het laagst in de zandgronden. Dit retentievermogen neemt toe van 40 mmol kg⁻¹ op zand tot 55 mmol kg⁻¹ op klei; er is hierbij een duidelijke gradiënt over het beheergebied waarneembaar.

Op basis van deze drie parameters kan in beeld worden gebracht in welk mate de bodem verzadigd is met fosfaat. De P-verzadigingsgraad is namelijk gedefinieerd als het deel van de P vastleggingscapaciteit (geschat via de hoeveelheid aluminium- en ijzer-oxiden) dat 'bezet' is met fosfaat. Deze parameter geeft daarmee dus een indicatie of er sprake is van fosfaatretentie in de bodem en wat het risico is op eventuele uitspoeling. Bij percelen met een hoge verzadigingsgraad is het risico op uit- en afspoeling van fosfaat groter. Fosfaatverliezen treden vooral op als de P-verzadiging hoger is dan 25% voor kleigronden en kalkarme zandgronden. Voor veengronden en kalkrijke zandgronden ligt de kritische

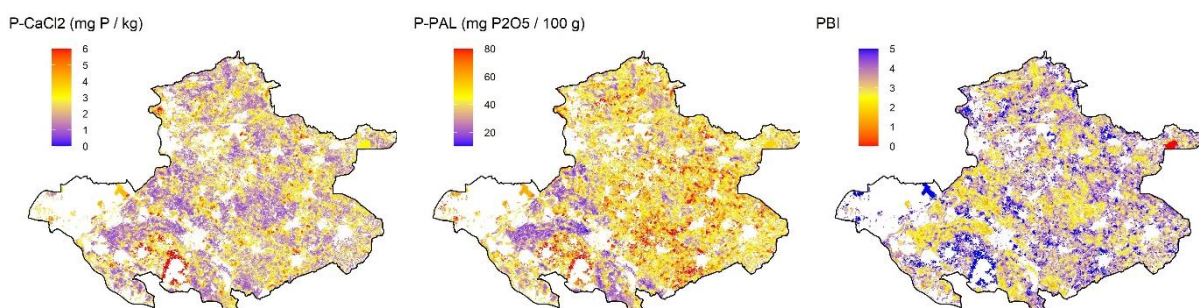
grens lager, en wel op respectievelijk 10 en 5%. De gemiddelde P-verzadigingsgraad ligt met 38% op klei en 47% op zand substantieel hoger dan de kritische grens. Daarbij is er overigens binnen elke grondsoort aanzienlijke variatie mogelijk.



Figuur 2-6. Ruimtelijke variatie in de P-voorraad in de bodem (P_{ox} , mmol+ kg^{-1}), het retentievermogen, zoals gemeten via de som van Fe- en Al-oxiden (mmol+ kg^{-1}), en de daarvan afgeleide P-verzadigingsgraad (FVG, %).

De fosfaattoestand van de bodem geeft aan of er voldoende fosfaat in de bodem zit voor een optimale gewasproductie en wordt gebruikt in zowel bemestingsadviezen als de mestwetgeving. In Nederland wordt daarvoor vanaf 2021 gebruik gemaakt van twee analysemethoden: een extractie met ammoniumlactaat (zogenoemde PAL-waarde) en een extractie met CaCl_2 ($P\text{-CaCl}_2$). Op basis van de P-kengetallen PAL en $P\text{-CaCl}_2$ kan of de directe beschikbaarheid van fosfaat of de buffering van fosfaat wordt voorspeld, maar niet beiden. De hieruit afgeleide fosfaatbeschikbaarheidsindex (PBI, Van Rotterdam & Bussink, 2016) geeft aan hoe goed een bodem in staat is de P-concentratie op evenwicht te houden, en varieert sterk binnen de graslanden. Bodems met een hoge PBI zijn gevoelig voor hoge P-verliezen.

De concentratie fosfaat die beschikbaar is in de bodemoplossing, gemeten via een extractie met 0.01M CaCl_2 , varieert tussen 0,6 en 9,8 mg P kg^{-1} (Figuur 2-7). De hoogste gemiddelde concentraties komen voor op zand (2,5 mg P kg^{-1}), gevolgd door klei (2,1 mg P kg^{-1}) en veen (2,0 mg P kg^{-1}). De PAL-waarde varieert van 10 tot 90 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$ op klei, en van 12 tot 107 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$ op zand. De gemiddelde hoeveelheid PAL ligt hoger voor zandgrond (52 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$) dan kleigrond (38 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$) en veengrond (37 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$). De fosfaatbeschikbaarheidsindex (PBI), afgeleid uit PAL en $P\text{-CaCl}_2$, geeft aan hoe goed een bodem in staat is de P-concentratie op evenwicht te houden, en varieert sterk. De PBI is gemiddeld 3,5 voor continue grasland, 4,1 for mais en 3,5 voor gras en mais in wisselbouw, en varieert van <1 tot maximaal 10.



Figuur 2-7. Ruimtelijke variatie in de P-concentratie beschikbaar in de bodemoplossing ($P\text{-CaCl}_2$), de voorraad van fosfaat (PAL), en fosfaatbeschikbaarheidsindex (PBI). De percelen gebruikt voor natuur zijn uitgesloten van de berekening van PBI.

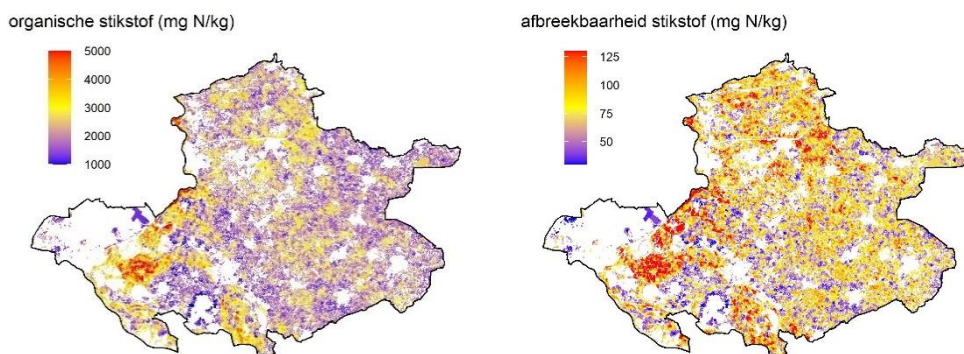
De gewenste PBI in grasland voor een optimale agronomische situatie ligt rond de 4, waarbij de optimale situatie gedefinieerd is als een situatie waarbij met de gegeven P-bemesting een P-gehalte in de eerste snede van minimaal $3,7 \text{ mg kg}^{-1}$ te realiseren is en de P-gift vergelijkbaar is met de P-onttrekking. Gronden met een PBI lager dan 2,5 vallen in de categorie 'laag' en worden gekenmerkt door een lage P-buffering terwijl een PBI hoger dan 4,8 een indicatie is dat er weinig P-bemesting nodig is voor een goede gewasproductie. Het risico op P-uitspoeling neemt toe met de PBI omdat de bodem beter in staat is om een hogere P-concentratie in de bodemoplossing te houden (en dat is het water dat uitspoelt) en omdat de P-benutting van de gegeven bemesting afneemt met de PBI. Van alle grasland percelen ligt 10% van de percelen in de categorie laag, terwijl 3% van de percelen valt in de categorie hoog. Het resterende aandeel graslandpercelen (86%) valt in de categorie optimaal en suboptimaal. Voor de wisselbouwpercelen ligt 10% percelen in de categorie laag en ligt 6% in de categorie hoog. Voor mais ligt 5% percelen in de categorie laag en 23% percelen in de categorie hoog.

Hoewel de PBI-waarde aangeeft dat de hoeveelheid beschikbare P voor de meeste percelen voldoende is om een optimale gewasproductie te ondersteunen, worden bijna alle percelen, zelfs die met een relatief lage PBI, geassocieerd met een te hoge P-verzadigingsgraad. Dit betekent dat de bodem niet voldoende gebufferd is, wat leidt tot een hoger risico op P-verlies van de landbouwgronden.

Variatie in stikstofmetingen

Stikstof is het nutriënt dat planten het meeste nodig hebben en dat veelal als eerste beperkend is voor de groei. Planten nemen stikstof op in minerale vorm als nitraat en ammonium, terwijl stikstof in de bodem echter grotendeels in organische vorm aanwezig is. De beschikbaarheid van N voor planten gedurende het groeiseizoen is daarmee afhankelijk van de omvang en snelheid van mineralisatie uit de organische stof. De stikstofbeschikbaarheid voor gewasproductie is dus zowel door de voorraad van stikstof als door de afbreekbaarheid ervan bepaald.

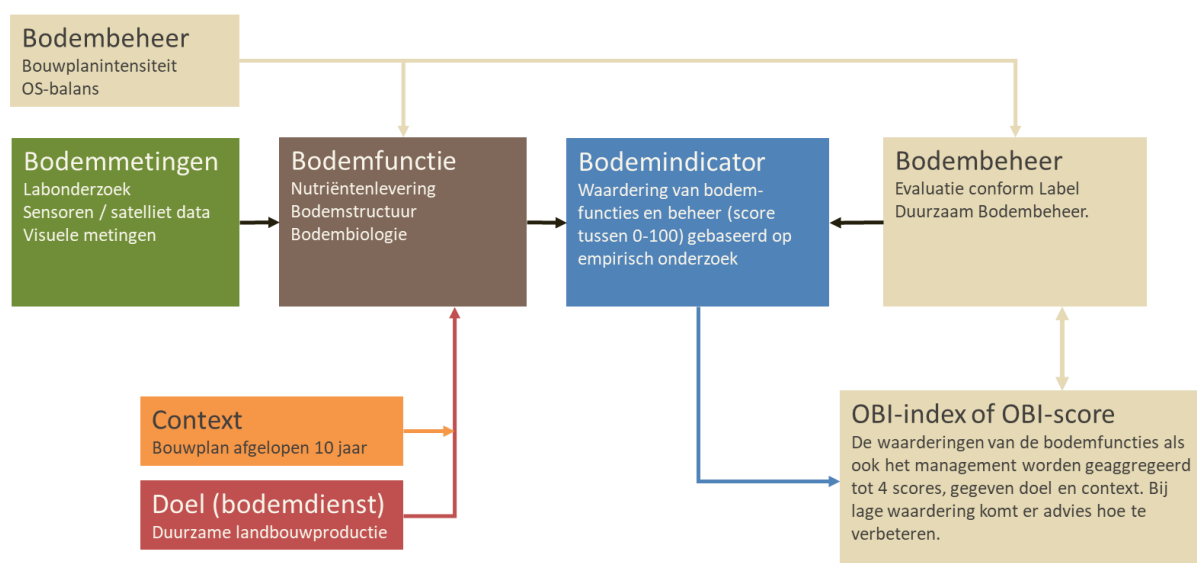
De totale hoeveelheid van stikstof in bodem varieert $0,8$ tot $5,6 \text{ g N kg}^{-1}$, waarbij de zandgronden gemiddeld een lager gehalte hebben dan de veen- en kleibodems (Figuur 2-8). De gemiddelde hoeveelheid stikstof ligt op $2,1 \text{ g N kg}^{-1}$ op zand en neemt toe tot $2,6 \text{ g N kg}^{-1}$ op klei en $2,9 \text{ g N kg}^{-1}$ op veen. De afbreekbaarheid van de organische stikstof wordt bepaald via een anaerobe incubatieproef. Deze afbreekbaarheid geeft een indicatie van de activiteit van het bodemleven, en daarmee ook van de kwaliteit van de organische stikstof in de bodem. Bodems met een hoge afbreekbare hoeveelheid stikstof worden gekenmerkt door een hoge natuurlijke N-levering, en hogere N-verliezen gedurende de winterperiode. Binnen de Achterhoek varieert deze afbreekbaarheid van 18 tot 186 mg N kg^{-1} waarbij de laagste concentraties voorkomen in zandgronden.



Figuur 2-8. Ruimtelijke variatie in de totale hoeveelheid organische stikstof (links) en in de afbreekbaarheid van organisch geboden stikstof in de bodem (rechts).

2.2.4 Integrale bodemkwaliteit

In de Open Bodemindex worden de verschillende bodemeigenschappen gewaardeerd in relatie tot een duurzame landbouwproductie. Op basis van (historisch) landbouwkundig onderzoek én in samenhang met elkaar worden de bodemparameters gebruikt om een hele set aan bodemfuncties te kwantificeren (Figuur 2-9). Deze functies kunnen worden geclusterd rondom de drie relevante aspecten van de bodem, namelijk i) chemie en nutriëntenlevering, ii) structuur en beworteling en iii) biologie en ziekteverendheid. Separaat aan deze drie aspecten – die elk sterk leunen op daadwerkelijke metingen – wordt ook het bodembeheer geëvalueerd conform het in 2016 ontwikkelde Label Duurzaam Bodembeheer (Van der Wal et al., 2016). De bijdrage die de bodem levert aan een duurzame leefomgeving (het milieu) is indirect opgenomen in de waardering van de verschillende functies dan wel het beheer en is expliciet gemaakt voor de N-buffering voor grond- en oppervlaktewater als ook voor de balans van organische stof.



Figuur 2-9. Bodemwaarderingssystematiek zoals toegepast binnen de Open Bodemindex.

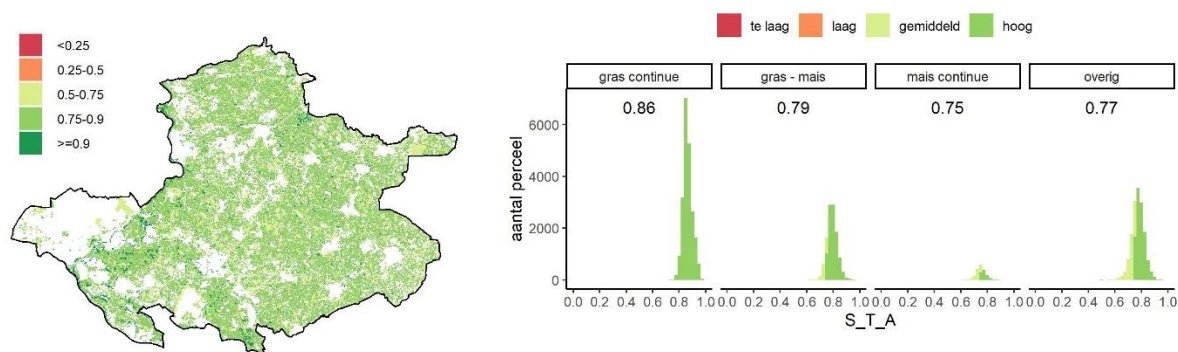
Zodra van elke bodemfunctie ook een waardering beschikbaar is, kan dit vertaald worden in een integrale beoordeling van de bodem als geheel. Bij deze integratie wordt expliciet rekening gehouden met de huidige en gewenste (dan wel haalbare) bodemkwaliteit. Dit betekent ook dat de gewenste situatie rekening houdt met bodemsoort en gebruiksdoel van de bodem.

Chemie & nutriënten	Structuur & Water	Bodembiologie	Beheer	Milieu
- N-levering - S-levering - K-beschikbaarheid - P-beschikbaarheid - Mg-beschikbaarheid - Cu-beschikbaarheid - Zn-beschikbaarheid - pH - kationbuffering	- verkruijmelbaarheid - verslompingsgevoeligheid - stuifgevoeligheid - ondergrondverdichting - aggregaatstabiliteit - waterbeschikbaarheid - droogte- en natschade - bodem-conditie-score (7 visuele metingen voor structuur en beworteling)	- bodemweerbaarheid - microbiële activiteit - wormen - nematoden	- EOS balans - Inzet label Duurzaam Bodembeheer rond o.a. maatregelen als bouwplanintensiteit, leeftijd grasland, rust- en vanggewassen, drainage, preventie verdichting	- N-buffering voor grondwater - N-buffering voor oppervlaktewater - Organische stofbalans - P-bufferindex

Figuur 2-10. Uitgewerkte bodemfuncties / indicatoren zoals deze zijn ingebed binnen de OBI, versie 0.11. De cursief weergegeven functies / indicatoren zijn kwalitatief beschreven, en daarom (nog) niet opgenomen in de berekening van de integrale bodemindex.

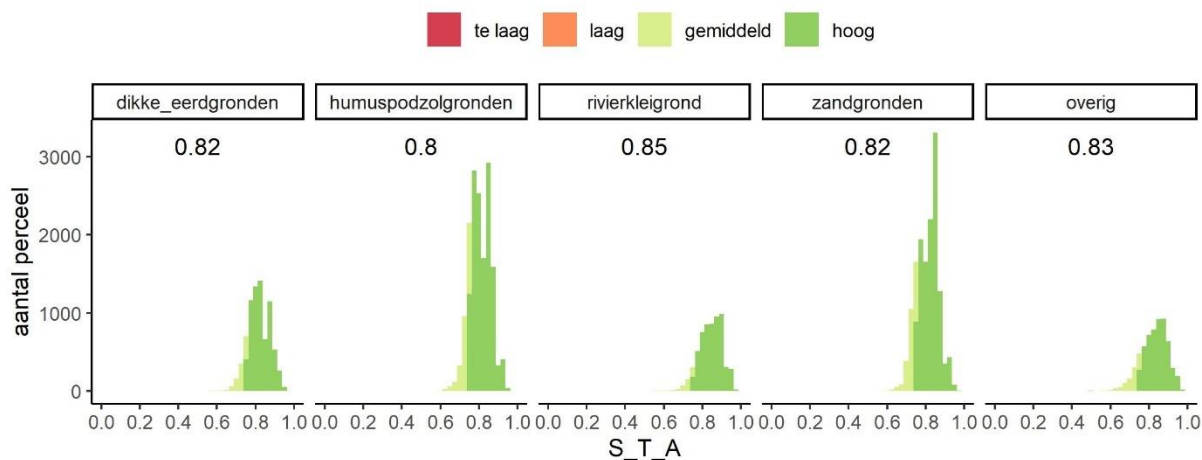
Variatie in integrale bodemkwaliteit

Allereerst is de integrale bodemkwaliteit in kaart gebracht voor alle landbouwpercelen in de Achterhoek (Figuur 2-11). Uit deze analyse blijkt dat het merendeel van de landbouwpercelen een goede kwaliteit heeft voor de teelt van gras en mais. De bodemkwaliteit varieert van <0,5 tot maximaal 0,98, waarbij de maximale waarde (een score van 1) betekent dat er geen enkele knelpunten aanwezig zijn en de minimale waarde (een score van 0) betekent dat er serieuze knelpunten zijn om op het desbetreffende perceel een succesvol gewas te laten groeien. Graslandpercelen hebben daarbij de hoogste kwaliteit: de gemiddelde OBI-score is 0,86 en ligt daarmee 10% hoger dan gras en mais in wisselbouw en ook continue maisland. De betere kwaliteit op grasland wordt veroorzaakt door het feit dat de levering en buffering van nutriënten hoger is dan op bouwlandpercelen met mais. Ook het risico op ondergrondverdichting is lager onder grasland, terwijl de verschillen in de microbiele activiteit vergelijkbaar waren.



Figuur 2-11. Ruimtelijke variatie in bodemkwaliteit binnen de Achterhoek (links) en de variatie in de bodemkwaliteitscore per type landgebruik (rechts). Het cijfer toont de mediaanwaarde van elk landgebruikstype aan.

De totaalscore voor de bodemkwaliteit was iets hoger op rivierklei dan op zand, maar het effect is minimaal. De variatie binnen de grondsoorten was groter dan de verschillen tussen de grondsoorten. De gemiddelde bodemkwaliteit lag voor alle grondsoorten rond de 0,8 (Figuur 2-12).



Figuur 2-12. Variatie in de bodemkwaliteitscore per type grondsoort (rechts). Het cijfer toont de mediaanwaarde van elk landgebruikstype aan.

Knelpunten in integrale bodemkwaliteit

Op basis van de onderliggende evaluatie van de 21 chemische, fysische en biologische bodemfuncties blijkt dat er binnen de Achterhoek nog verschillende mogelijkheden liggen tot verbeteringen van de bodemkwaliteit. Er zijn ook een paar intrinsieke kenmerken die het daarnaast ingewikkeld maken. Deze worden hier achtereenvolgens per landgebruik en bodemtype besproken. Hierbij wordt gefocust op serieuze knelpunten waarbij de waardering van de bodemfunctie een waarde heeft lager dan 0,5.

Landgebruik

Voor grasland liggen de knelpunten bij een lage zwavellevering (97%, vooral in het voorjaar), het voorkomen van ondergrondverdichting (58%) en voor een klein deel van de percelen (6%) bij een te lage P-buffering. Alle andere bodemfuncties zijn redelijk dan wel uitstekend op orde. Voor percelen met wisselbouw van gras en mais spelen dezelfde knelpunten een rol, met daarnaast een verhoogd risico op een lage buffercapaciteit (12% van de percelen) en een te lage beschikbaarheid van kalium (9% van de percelen). Voor continue mais zijn er zorgpunten rond een lage N-levering (82%), een te lage K-levering (68%), een te lage buffercapaciteit en S-levering (27%) en een hoog risico op verstuing in droge perioden (81%). Op de overige percelen speelt een mix van deze knelpunten. De beschikbaarheid van water speelt in vrijwel de hele Achterhoek: er is een serieus risico op opbrengstschade door te droge omstandigheden in het groeiseizoen. Een gedetailleerde uitsplitsing per bodemfunctie en landgebruik is opgenomen in de bijlage II (Tabel II-1).

Bodemtype

Voor de meest voorkomende humuspodzolgronden speelt naast de beschikbaarheid van water vooral een lage S-levering en ondergrondverdichting een rol; deze zorgen voor knelpunten voor een duurzame ruwvoerproductie binnen de Achterhoek. Meer dan 73% van alle humuspodzolgronden ervaren deze bodemfuncties als knellend. In 10% van de percelen spelen daarnaast knelpunten gerelateerd aan de N-levering, de K-levering en een lage buffercapaciteit om kationen vast te houden in de bodem. Dikke eerdgronden laten een vergelijkbaar beeld zien, al is hier het risico op verdichting substantieel kleiner (17% van de percelen) en is op meer percelen de zuurgraad onder het landbouwkundig optimum. Op de rivierkleigronden zijn de belangrijkste knelpunten een te lage S-levering en het voorkomen van ondergrondverdichting. In contrast met de andere grondsoorten spelen hier ook de meeste problemen rond een te lage beschikbaarheid en buffering van fosfaat. Zandgronden worden het meest gekenmerkt door knelpunten rond ondergrondverdichting en S-levering. In circa 8% van de percelen is er daarnaast risico op een te lage stikstof-, fosfaat- en kaliumlevering. Een gedetailleerde uitsplitsing per bodemfunctie en bodemtype is opgenomen in de bijlage II (Tabel II-2).

Droogte en natschade

Omdat de beschikbaarheid van water een knelpunt is dat generiek voorkomt in de Achterhoek, wordt dit hieronder expliciet benoemd (Tabel 2-1). De grootste problemen zijn zichtbaar op de humuspodzolgronden waarbij 67% van de percelen het risico loopt van 10-20% opbrengstschade door droogte. Voor de overige grondsoorten is het risico overwegend kleiner dan 10%, maar kan nog steeds een substantieel deel (25-30%) van de percelen opbrengstschade oplopen die groter is dan 10%. Natschade treedt minder vaak op, en als het optreedt is dat vooral in de rivierkleigronden.

Tabel 2-1. Percentage van perceel voor elke categorie van droogte- en natschade (geschat als percentage van het opbrengstderving) voor verschillende grondsoorten.

grondsoort	droogteschade (% opbrengstderving)				Natschade (% opbrengstderving)			
	0-10%	10-20%	20-30%	>30%	0-10%	10-20%	20-30%	>30%
Dikke eerdgronden	65	28	7	<1	100	<1	<1	<1
Humuspodzolgronden	28	67	2	3	87	13	<1	<1
Rivierkleigrond	53	34	13	<1	70	22	7	2
Zandgronden	82	12	6	<1	40	58	<1	2
Overig	85	8	5	3	61	31	2	6

Fosfaat

In de praktijk leven er in de Achterhoek veel zorgen rondom de beschikbaarheid van fosfaat in landbouw-bodems. Mede door de steeds strakker wordende gebruiksnormen en de situatie dat er netto sprake is van uitmijning op veel landbouwbedrijven. De situatie in 2020 laat zien dat de beschikbaarheid van fosfaat in de meeste percelen goed op orde is: 73% van de landbouwpercelen valt in de categorie “hoog” wat betekent dat er meer dan voldoende fosfaat beschikbaar is voor gewasgroei, ook bij een situatie van een netto negatief bodemoverschot. De gemiddelde P-beschikbaarheidsindex varieert van 3,4 op wisselbouw-percelen tot 3,9 op continue maisland. In de praktijk varieert deze P-index van 2,2 tot 6,5 in het overgrote merendeel van de landbouwpercelen. De P-voorraden zijn overwegend hoog met gemiddelde waarden tussen 46 en 60 mg P₂O₅ 100g⁻¹ en P-CaCl₂ waarden die variëren van 2,1 tot 2,7 mg kg⁻¹. De hoogste PBI-scores komen voor op de dikke eerdgronden, gevolgd door de humus-podzolgronden, de zandgronden en de rivierkleigronden. Binnen elke grondsoort komen individuele percelen voor die extra aandacht behoeven in verband met een te lage P-beschikbaarheid. Zolang er binnen het bedrijf ook percelen voorkomen met hoge P-beschikbaarheid, zijn er mogelijkheden om via slimme mestverdeling over de percelen én recht te doen aan de verschillen in bodemkwaliteit én de benutting van fosfaat op het bedrijf te vergroten.

2.3 Bodembeheer, bemesting en waterkwaliteit

In de voorliggende sectie wordt inzicht gegeven in de aanvoer van nutriënten via bemesting, en de verliezen die optreden door uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater. Een inhoudelijke analyse hoe bodem en bemesting van invloed is op het voorkomen van deze verliezen wordt beschreven in Ros & Fujita (2021c). De inhoudelijke analyse hoe deze bemestingspraktijk gerelateerd is aan een duurzame ruwvoerproductie wordt verder uitgewerkt in Ros & Fujita (2021a).

2.3.1 Mineralenbalansen: de methode

Berekening mineralenbalansen voor de Achterhoek

Mineralenbalansen op gebiedsniveau zijn berekend met het model INITIATOR (Integrated Nitrogen Impact Assessment Tool on a Regional Scale, Kros et al., 2019). Dit model simuleert de verdeling van mest en houdt rekening met aanvoer van dierlijke mest (van het eigen bedrijf of via mesttransport) en kunstmest, wettelijke gebruiksnormen, het gewas en de bodemeigenschappen. INITIATOR is een relatief eenvoudig en flexibel model dat alle belangrijke fluxen van nutriënten op regionale schaal berekent,

waaronder de aanvoer van N en P in de vorm van kunstmest, dierlijke mest en depositie en daarnaast nog N-binding, N- en P-opname door het gewas, emissie van stikstofgassen, te weten ammoniak (NH_3), lachgas (N_2O) en stikstofoxiden (NO_x) naar de atmosfeer en uit- en afspoeling van nitraat, ammonium en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater. Daarnaast berekent het model ook de emissies van het broeikasgas methaan, de verandering in de voorraad aan bodemkoolstof en de bijbehorende emissie of vastlegging van CO_2 uit bodems en de accumulatie en uitspoeling van basen (verzuring) en zware metalen (lood, cadmium, koper en zink). Voor een uitgebreide beschrijving van INITIATOR wordt verwezen naar De Vries et al. (2018) en Kros et al. (2019).

Het model maakt gebruik van gedetailleerde ruimtelijke gegevens die grotendeels afkomstig zijn uit beschikbare nationale GIS-datasets zoals de geografisch expliciete landbouwtellinggegevens, met het aantal dieren per vestiging (GIAB-plus). Door deze koppeling is het mogelijk om op een hoge ruimtelijke resolutie de N- en P-excretie, stal- en opslagemissies, mest- en kunstmest- verdeling, bodememissie, uit- en afspoeling en N-depositie in beeld te brengen. In welke mate de gebruikte mestverdelingsmodule van INITIATOR aansluit op de bedrijfsgegevens binnen de Achterhoek (zoals deze verzameld zijn op basis van de KringloopWijzer) wordt beschreven in een aparte publicatie (Ros & Fujita, 2021b).

Voor de gebiedsanalyse van de mineralenbalans in de Achterhoek wordt gebruik gemaakt van INITIATOR versie 5 en zijn de berekeningen uitgevoerd voor het jaar 2017. Voor elk perceel is daardoor inzicht in de balansen van stikstof, fosfaat, calcium, magnesium, kalium, natrium, chloride en zwavel. Gebruik makend van aannames over de gemiddelde samenstelling van dierlijke mest is ook de aanvoer in kaart gebracht voor koper, zink, borium, cobalt en molybdeen.

De landbouwkundig gewenste praktijk

Voor inzicht in de gewenste bemesting conform een Goede Landbouwpraktijk zijn er in Nederland diverse handboeken die gegevens van meerjarige veldproeven vertalen richting adviezen voor een duurzaam bodembeheer en bemestingspraktijk (CBGV, 2021; CBAV, 2021). Op basis van deze Goede Landbouwpraktijk kan beoordeeld worden in welke mate de huidige aanvoer van meststoffen ook aansluit bij de gewenste situatie. Hoe ziet de Goede Landbouwpraktijk er concreet uit?

Om de natuurlijke bodemvruchtbaarheid op lange termijn in stand te houden heeft de bodem behoefte aan organische stof en nutriënten. De agronomische behoefte is daarmee gebaseerd op de behoefte van het gewas, waarbij rekening is gehouden met de bodemvruchtbaarheid. De adviezen uit het bemestingsadvies zijn er namelijk op gericht om een economisch optimale opbrengst te realiseren (het gewasgericht advies) én de bodemkwaliteit in een optimale toestand ('de streeftoestand') te brengen voor gewasproductie (het bodemgericht advies). De optimale bodemkwaliteit is hierbij afgeleid van meerjarige veldproeven. In de praktijk komt dit neer op een systeem van evenwichtsbemesting. Evenwichtsbemesting betekent concreet dat de hoeveelheid nutriënten dat via bemesting aangevoerd mag worden gelijk moet zijn aan de afvoer van nutriënten via het gewas, rekening houdend met onvermijdbare verliezen. Afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid wordt daarom een correctie aangebracht op de mestgift: bodems die veel nutriënten bevatten mogen minder bemest worden dan bodems die arm zijn aan nutriënten. Het onderliggende concept van evenwichtsbemesting is gevisualiseerd in figuur 2-13.



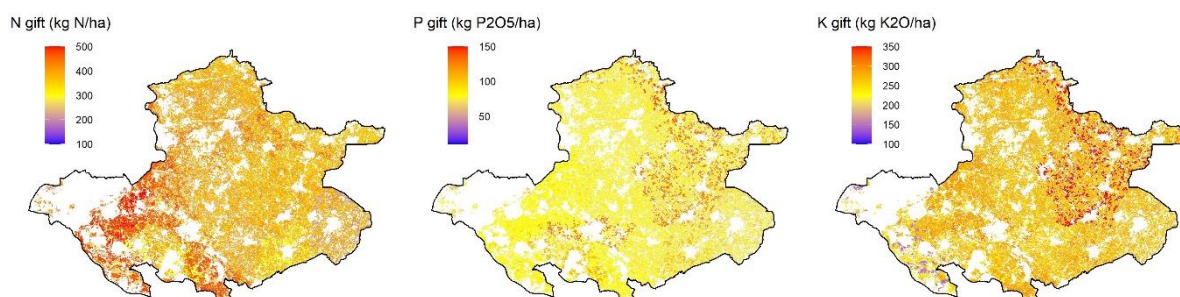
Figuur 2-13. Variatie in de bodemkwaliteitscore per type grondsoort (rechts). Het cijfer toont de mediaanwaarde van elk landgebruikstype aan.

Naast de hoeveelheid beschikbare nutriënten wordt de bodemkwaliteit in belangrijke mate beïnvloed door de hoeveelheid organische stof in de bodem. Organische stof (OS) is namelijk van belang voor de natuurlijke nutriëntenlevering, voor de stimulering van het bodemleven, de bodemstructuur en het vasthouden van bodemvocht. Onvoldoende aanvoer van OS leidt op den duur dan ook tot een verminderde bodemvruchtbaarheid. Organische stofbeheer heeft alles te maken met bemesting en met het beperken van uitspoelen van mineralen. Organische stof kan worden aangevoerd door het telen van een groenbemesters, achterlaten van stro en gewasresten, en aanvoer van mest en organische producten als zuiveringsslib, zwarte grond en compost.

De adviezen voor een Goede Landbouwpraktijk zijn afkomstig uit twee bronnen: de Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen' (CBAV, 2021) en de Adviesbasis bemesting van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (CBGV, 2017). De onderliggende systematiek wordt hier niet verder toegelicht, maar we verwijzen graag naar bovengenoemde publicaties voor meer achtergrondinformatie.

2.3.2 Mineralenbalansen: de resultaten

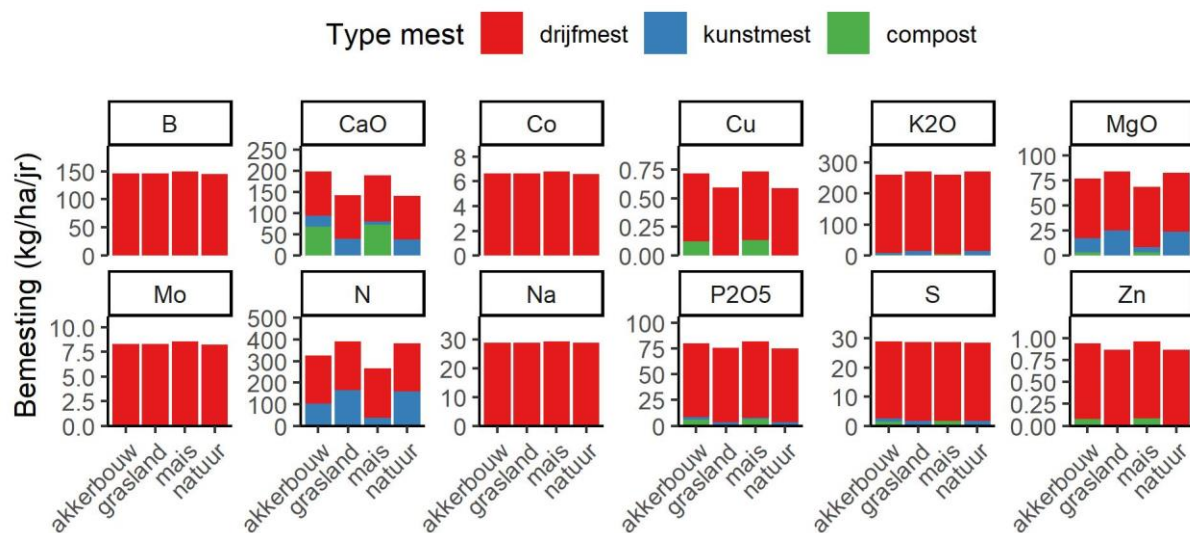
Binnen de Achterhoek is er beperkte variatie in de hoeveelheid aangevoerde nutriënten via bemesting (Figuur 2-14). De gemiddelde N-gift via kunstmest, drijfmest en compost varieert van 198 tot 513 kg N ha⁻¹ (gemiddeld 376 kg N ha⁻¹), de totale P-gift van 61 tot 143 kg P₂O₅ ha⁻¹ (gemiddeld 82 kg P₂O₅ ha⁻¹) en de totale K-gift uit drijfmest van 136 tot 415 kg K₂O ha⁻¹ (gemiddeld 272 kg K₂O ha⁻¹).



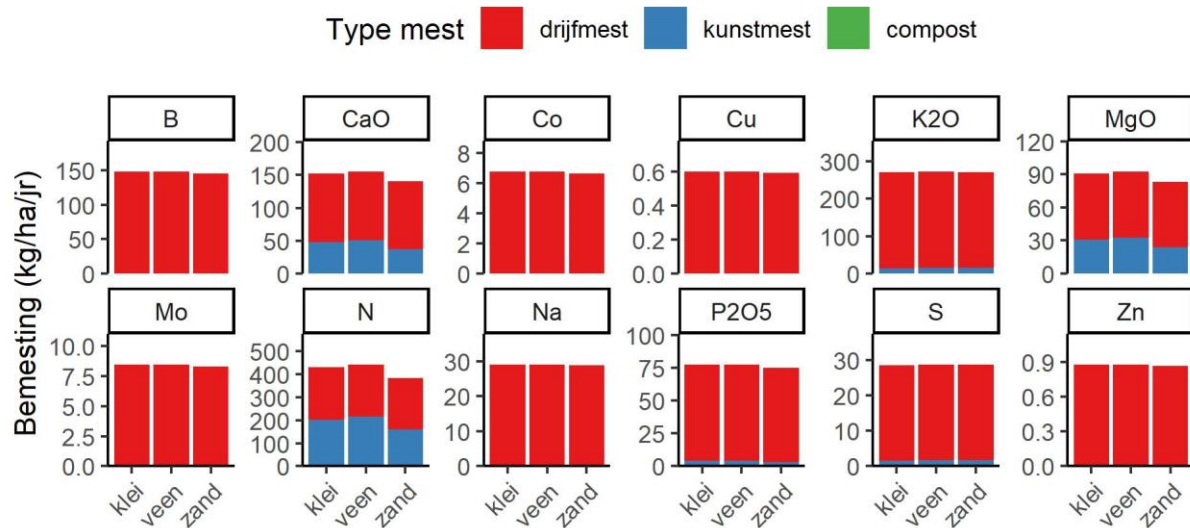
Figuur 2-14. Ruimtelijke variatie in de stikstof, fosfaat en kaliumaanvoer via bemesting (drijfmest + kunstmest + compost) in de Achterhoek. De gegevens zijn gebaseerd op INITIATOR-output.

De hoogte van de bemesting is gemiddeld 84 kg N ha⁻¹ hoger in grasland dan in mais, terwijl die van P en K vergelijkbaar is tussen de verschillende soorten landgebruik. Voor de aanvoer van CaO met kalk zijn helaas geen gegevens bekend.

Ondanks de variatie in bodemkwaliteit is de ruimtelijke variatie in aangevoerde nutriënten gering (Figuur 2-15). De belangrijkste factor die samenhangt met deze variatie is het landgebruik. De belangrijkste bron van nutriënten is drijfmest. Dit sluit aan bij de gangbare praktijk dat de samenstelling van drijfmest redelijk goed aansluit bij de gewasbehoefte van grasland. Daardoor is weinig tot geen extra kunstmest nodig, met uitzondering voor stikstof.



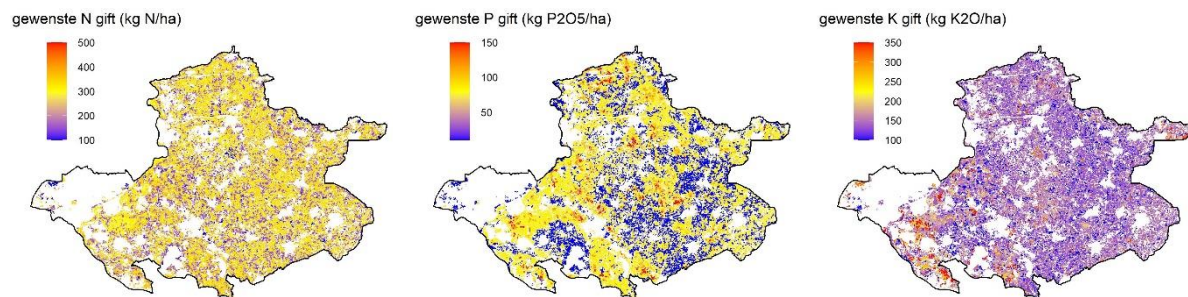
Figuur 2-15. Berekende mediane waarden van mestgift per element en per type landgebruik.



Figuur 2-16. Berekende mediane waarden van mestgift per element en per type grondsoort.

Als we in beeld brengen wat er landbouwkundig gewenst is, dan zien we een sterke variatie in de hoeveelheid gewenste bemesting (Figuur 2-17). De gemiddelde totale gewenste werkzame N-gift loopt op tot 376 kg N ha⁻¹ (gemiddeld 284 kg N ha⁻¹), de gewenste P-gift tot 500 kg P₂O₅ ha⁻¹ (gemiddeld 54 kg P₂O₅ ha⁻¹) en de gewenste K-gift uit drijfmest tot 750 kg K₂O ha⁻¹ (gemiddeld 146 kg K₂O ha⁻¹). In vergelijking met de landbouwkundig gewenste mestgift is de huidige bemesting gemiddeld 92 kg N ha⁻¹ hoger voor N, 28 kg P₂O₅ ha⁻¹ hoger voor P en 126 kg K₂O ha⁻¹ hoger voor K. Dit betekent dat er in de

praktijk een mismatch bestaat tussen de aangevoerde en gewenste hoeveelheid nutriënten. Om de OS-balans positief te houden, is jaarlijks 1295 kg ha⁻¹ Effectieve Organische Stof nodig (niet weergegeven).



Figuur 2-17. Ruimtelijke variatie in landbouwkundig gewenste hoeveelheid werkzame stikstof (links), fosfaat (midden) en kalium (rechts) via bemesting (in kg ha⁻¹ jaar⁻¹) in de Achterhoek.

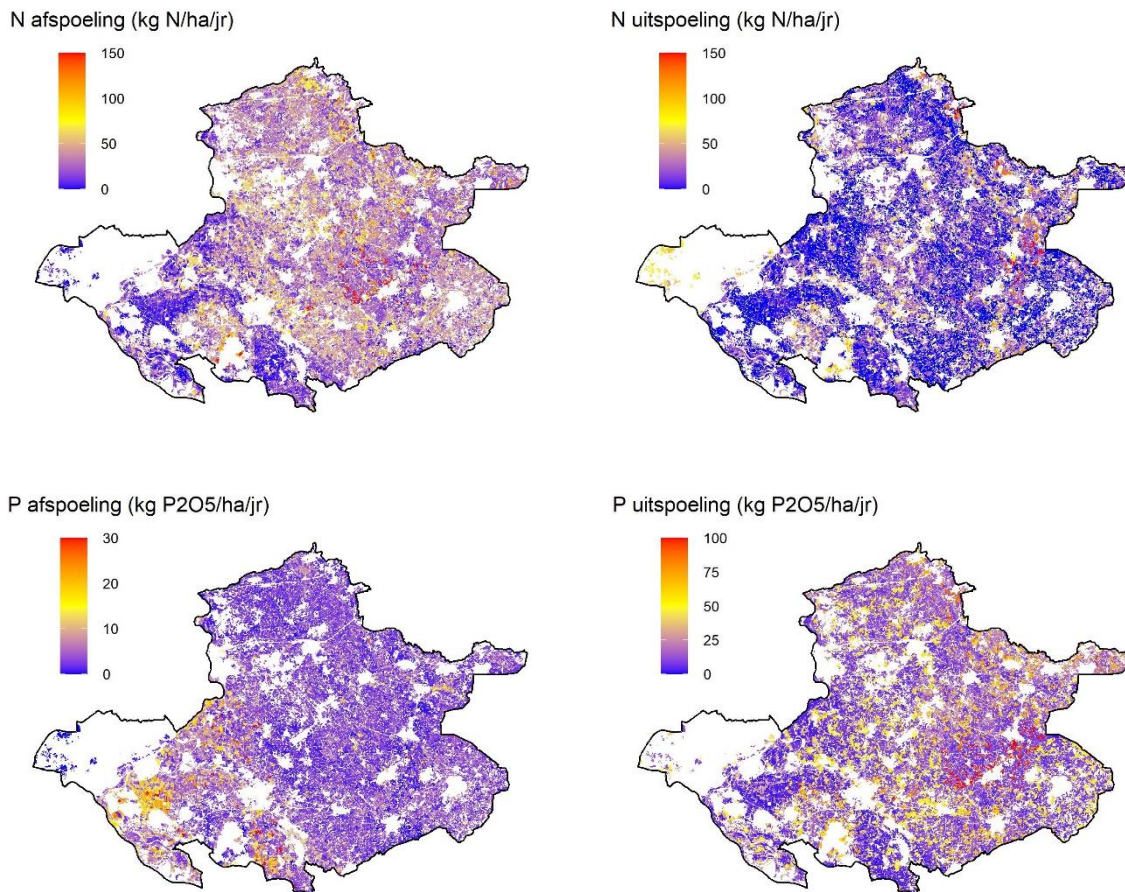
2.3.3 Af- en uitspoeling van nutriënten

Af- en uitspoeling van stikstof en fosfaat kan sterk variëren tussen percelen en hangt samen met de landgebruik, het bodemtype, de aanwezigheid van drainage en de beschikbaarheid dan wel uitspoelingsgevoeligheid van deze nutriënten in de bouwvoor. Stikstof is daarbij erg mobiel en de niet opgenomen stikstof uit bemesting zal ofwel uitspoelen ofwel worden omgezet naar N₂ via denitrificatie. Dit laatste gebeurt vooral onder natte omstandigheden. Op droge zandgronden zal het grootste deel van het niet opgenomen stikstof echter uitspoelen naar het grondwater. De hoogte van het bodemoverschot speelt hierin een sleutelrol. Een groter bodemoverschot betekent in de praktijk een groter risico op verliezen richting het watersysteem. De daadwerkelijke uit- en afspoeling hangt daarbij af van de belangrijkste verliesroutes richting het watersysteem en de mogelijkheid van denitrificatie. In tegenstelling tot stikstof is fosfaat een nutriënt waarvan de uitspoeling sterk bepaald wordt door de bodemeigenschappen (de mogelijkheid van P-vastlegging dan wel mobilisatie) en de grondwaterstand. Directe verliezen vanuit actuele bemesting treden heel beperkt op omdat de wetgeving en de praktijk uitgaat van een systeem van evenwichtsbemesting (m.u.v. toedieningsverliezen bij ondeskundig gebruik).

De hoeveelheid stikstof dat uitspoelt naar het grondwater varieert van 0 tot 195 kg N ha⁻¹, met de gemiddelde waarde van 17 kg N ha⁻¹. Gegeven de gemiddelde N-aanvoer van 376 kg N ha⁻¹ betekent dit dat jaarlijks circa 5% uitspoelt. Door de geohydrologische situatie spoelt er relatief veel af richting het oppervlaktewater: de belasting is gemiddeld over het gebied 34 kg N ha⁻¹. Voor stikstof is er een duidelijke relatie met het landgebruik (Figuur 2-18 links). De hoogste verliezen naar zowel grond- als oppervlaktewater treden op onder maisland (gemiddeld 44 kg N ha⁻¹ afspoeling, 31 kg N ha⁻¹ uitspoeling) in vergelijking met grasland (~30 kg N ha⁻¹ afspoeling, ~12 kg N ha⁻¹ uitspoeling). Verschillen tussen de grondsoorten is kleiner, al is de af- en uitspoeling groter op de drogere zandgronden dan de natte kleigronden en het beperkt aanwezige veen (Figuur 2-18 rechts). De verliezen nemen toe met oplopende grondwatertrap.

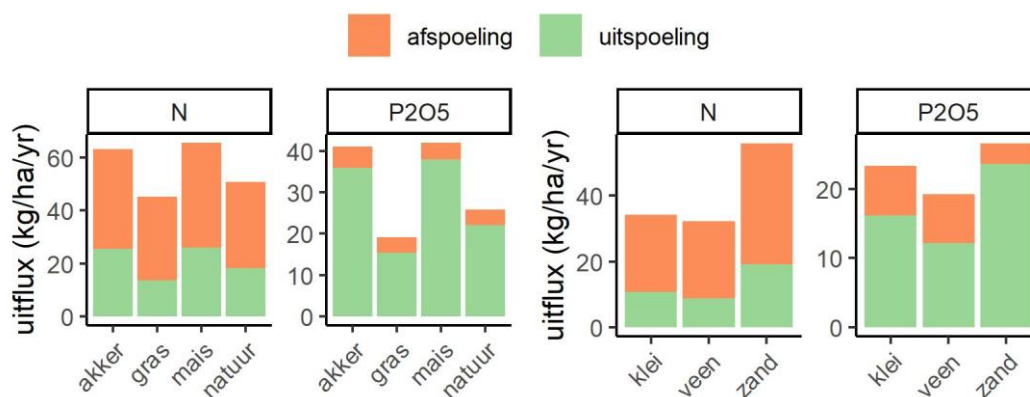
Voor P is er sprake van een tegenovergestelde situatie: de P-belasting van het oppervlaktewater varieert van 0 tot 46 kg P₂O₅ ha⁻¹ (gemiddeld 4 kg P₂O₅ ha⁻¹) en de uitspoeling richting het grondwater kan oplopen tot 124 kg P₂O₅ ha⁻¹ (gemiddeld 21 kg P₂O₅ ha⁻¹). Ook hier zien we een vergelijkbaar patroon in relatie met bodemtype en landgebruik (Figuur 2-18). De grootste verliezen treden op onder mais (gemiddeld 53 kg P₂O₅ ha⁻¹).

Af- en uitspoeling van andere nutriënten zijn weergegeven in Bijlage III.



Figuur 2-18. Ruimtelijke verdeling van N afspoeling (linksboven), N-uitspoeling (rechtsboven), P-afspoeling (linksonder) en P-uitspoeling (rechtsonder), gesimuleerd met het INITIATOR model.

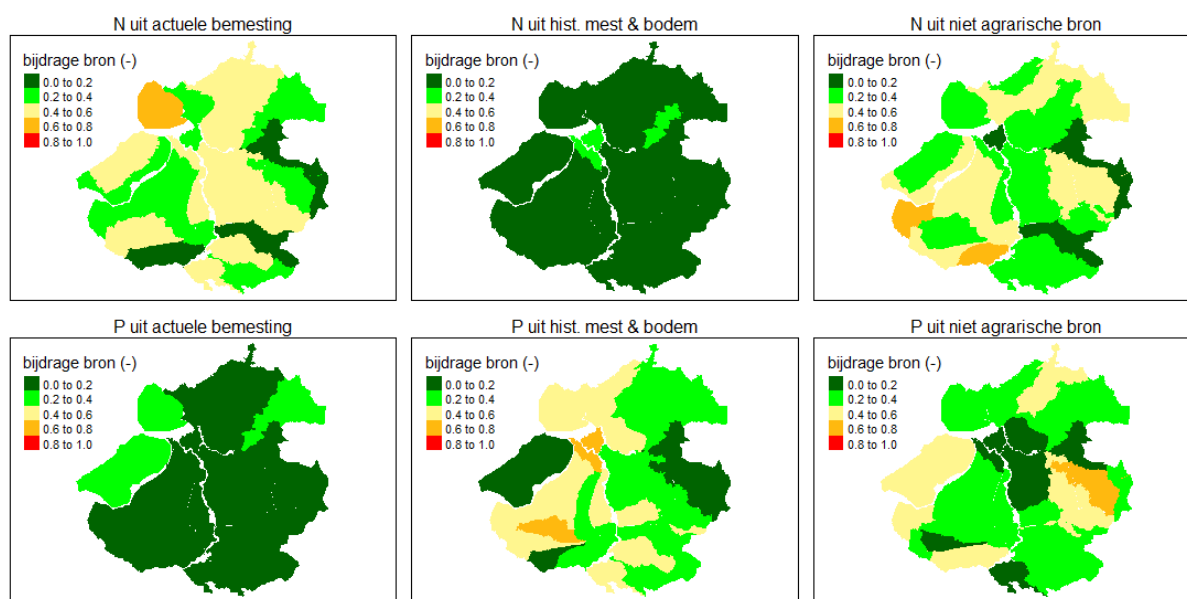
Hieronder worden de gemiddelde verliezen voor N en P weergegeven per type landgebruik en per grondsoort.



Figuur 2-19. Mediane waarden van de percelniveau verliezen van N en P naar het watersysteem, afzonderlijk weergegeven voor het type landgebruik (links) als ook de grondsoort (rechts) van het perceel. De verliezen zijn uitgesplitst in afspoeling en uitspoeling. De gegevens zijn gebaseerd op de INITIATOR-output.

3 Uitdaging en Handelingsperspectief

Agrarische ondernemers in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel staan voor de uitdaging om de waterkwaliteit te verbeteren door de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater te verlagen. Maatwerk is hierbij cruciaal. De laatste evaluatie van het mestbeleid (Van Grinsven & Bleeker, 2017) concludeert namelijk dat het huidige generieke beleid zinvol is geweest voor het grondwater maar dat er nog een grote opgave ligt om via bovenwettelijke maatregel de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren. Een gebiedsspecifieke aanpak is nodig om de doelen van de KRW te realiseren. Voor de waterschappen in Rijn-Oost is in 2016 de opgave in kaart gebracht door gebruik te maken van het STONE-instrumentarium (Groenendijk et al., 2016). Hieruit blijkt dat de belangrijkste bronnen afkomstig zijn uit het buitenland, de RWZI's en diffuse belasting uit de landbouw (Figuur 3-1). Hierbij wordt voortgebouwd op de eerdere studie van Ros et al. (2018).

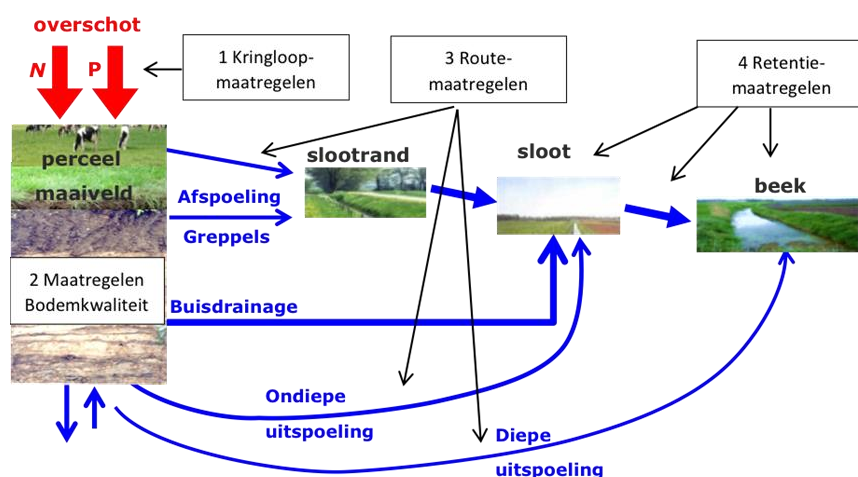


Figuur 3-1. Bijdrage van actuele en historische bemesting en niet-agrarische bronnen (als fractie) aan de N-belasting (boven) en P-belasting (onder) van het oppervlaktewater in Rijn-Oost (2010-2013). Bron: Groenendijk et al. (2016).

De actuele bemesting heeft een grotere invloed op de N-belasting dan op de P-belasting van het oppervlaktewater, terwijl voor fosfor de grootste bijdrage afkomstig is uit de bodem en de historische bemesting. Naast de landbouwgerelateerde belasting is er sprake van externe aanvoer via RWZI's en het buitenland. De bijdrage van deze externe bronnen kan oplopen tot 75% van de totale belasting van het oppervlaktewater, maar varieert tussen 28 en 45% voor stikstof en tussen 20 en 41% voor fosfor. De bijdrage van de actuele bemesting kan oplopen tot 61% voor stikstof en tot 40% voor fosfor.

Naast de actuele bemesting, hangt de belasting vanuit de landbouw voor een groot deel af van de aanwezige dan wel opgebouwde nutriëntenvoorraden in de bodem, in het bijzonder voor fosfaat. In modelmatige studies wordt daarom onderscheid gemaakt tussen de bronnen actuele bemesting, historische bemesting en de bodem. Historische bemesting is hierbij gedefinieerd als de gegeven bemesting vanaf een gegeven jaar (vaak 1940) tot op het moment dat er maatregelen worden genomen. Het begrip historische bemesting is geïntroduceerd om aan te geven dat een deel van het probleem is ontstaan in het verleden. Dit geldt vooral voor fosfaat; door hoge mestgiftten in het verleden is de bodem opgeladen en het kan jaren duren voordat deze voorraad daalt. De bijdrage van de bodem zelf (los van bemesting) weerspiegelt de belasting vanuit het 'natuurlijke' bodemsysteem: deze is vooral hoog op klei en veen. In termen van stuurbaarheid heeft een agrariër meer mogelijkheden om te sturen op de actuele dan op historische bemesting en mineralisatie vanuit de bodem, in het bijzonder voor stikstof.

De mogelijke reductie in N- en P-belasting die te realiseren is via bodemverbeterende maatregelen of maatregelen die ingrijpen op de efficiëntie van bemesting varieert tussen klei en zandgronden waarbij de effecten voor stikstof groter zijn dan die voor fosfaat. Via inzet van bovenwettelijke maatregelen kan de opgave voor uit- en afspoeling van stikstof grotendeels worden gerealiseerd. De opgave voor fosfor is met de bestaande maatregelen echter niet te realiseren (Van Grinsven & Bleeker, 2017; Groenendijk et al., 2016) en vraagt inzet van extra maatregelen die ingrijpen op de transportroute naar, dan wel de retentie in het waterlichaam. Er zijn honderden maatregelen bekend die de belasting kunnen verlagen. Deze maatregelen grijpen in op het nutriëntenoverschot (bron), de efficiëntie van bemesting¹ (maatregelen bodemkwaliteit), de verliesroutes dan wel het ontvangende waterlichaam (Figuur 3-2).



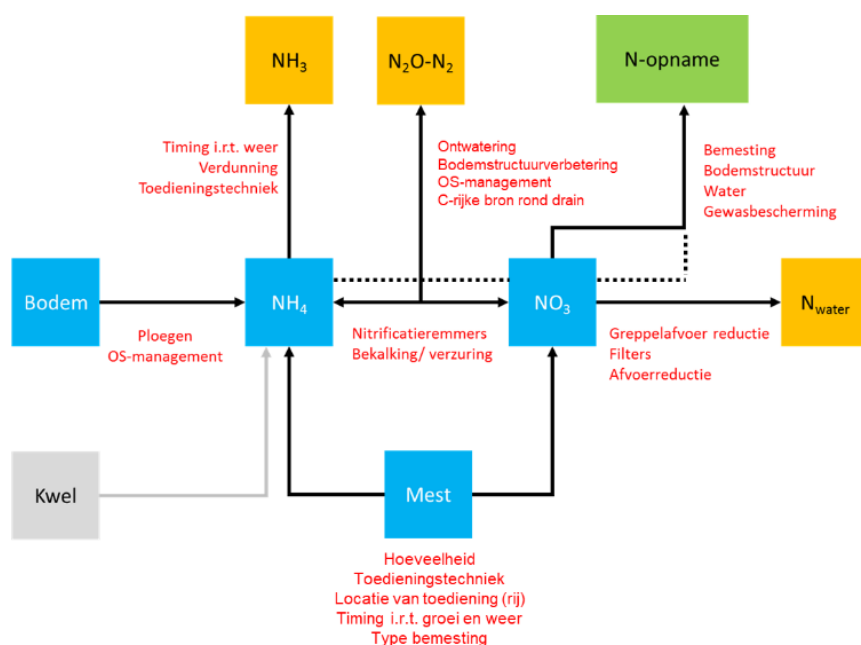
Figuur 3-2. Indeling van maatregelen voor het verlagen van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater naar aangrijpingspunt: kringloop, bodem, route en retentie (Rozemeijer et al., 2016).

Het mestbeleid in Nederland was tot 2016 vooral op gericht om de aanvoer van mest naar de bodem te verlagen (reductie overschot). Dit gebeurde via gewasspecifieke gebruiksnormen voor werkzame N, fosfaatnormen afhankelijk van de bodemtoestand, en gebruiksvorschriften wanneer mest wel of niet toegediend mag worden. In het laatste Nitraatactieprogramma wordt met enige aanpassingen van

¹ Het onderscheid tussen historische en actuele bemesting heeft als zodanig geen relatie met te nemen maatregelen om de P-belasting te verlagen. Maatregelen die ingrijpen op het bodemoverschot zijn veelal brongericht, terwijl maatregelen die de efficiëntie verhogen de agrariër in staat stelt om beter gebruik te maken van aanwezige nutriënten in de bodem.

gebruiksvoorschriften meer dan voorheen aandacht besteedt aan maatregelen die ingrijpen op de transportroutes richting het oppervlaktewater (routemaatregelen). Uit eerdere studies blijkt dat deze aanvullende acties essentieel zijn om de doelen van de KRW te bereiken (Van Grinsven & Bleeker, 2017). Anno 2018 krijgt dat vooral vorm via het bovenwettelijke spoor binnen het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW). In het kader van het DAW is in 2017 de zogenoemde BOOT-lijst² uitgebreid met allerlei maatregelen die de diffuse belasting naar het oppervlaktewater verlagen. De nieuwe BOOT-lijst is 7 juni 2017 in het Bestuurlijk Overleg Open Teelt (BOOT) vastgesteld. Het grootste deel van deze maatregelen focust op kringloopmaatregelen en bodemkwaliteit. Maatwerk staat daarbij centraal.

Op technisch vlak is er nog veel mogelijk om de uit- en afspoeling van N en P te verlagen. Maatregelen die passen binnen het thema kringlooplandbouw en technologische ontwikkelingen rond kringlooplandbouw verbeteren de waterkwaliteit omdat ze gericht sturen op verlaging van bodemoverschotten (Holster et al., 2014; Groenendijk et al., 2017ab). Door verbetering van de bodemkwaliteit en drainage kan er meer water vast worden gehouden in de bodem, groeit het gewas beter en spoelt er daardoor minder stikstof en fosfor naar het grond- en oppervlaktewater. Maatregelen zoals bufferstroken en akkerranden grijpen direct in op specifieke routes waarlangs nutriënten in het oppervlaktewater komen (zie Figuur 3-3 voor een illustratie voor stikstof).



Figuur 3-3. Selectie van maatregelen op de BOOT-lijst in relatie tot de processen van de bodem N-kringloop waarop ze ingrijpen om netto de N-vracht naar het watersysteem te verminderen

Als laatste zijn er ook landschappelijke keuzes te maken rond bouwplan (geen uitspoelingsgevoelige gewassen op uitspoelingsgevoelige percelen) om uit- en afspoeling te verminderen. De grote variatie in bodembenutting die aanwezig is tussen bedrijven (Hilhorst, 2016; Holster et al., 2014) illustreert dat hier handelingsperspectief ligt voor verbetering van de waterkwaliteit. De studie van Van Grinsven & Bleeker

² In het Bestuurlijk Overleg Open Teelt en Veehouderij (BOOT) is in 2015 een eerste lijst opgesteld met maatregelen die – beoordeeld op basis van expert-judgement – bijdragen aan een betere waterkwaliteit. De nieuwe BOOT-lijst is 7 juni 2017 in het Bestuurlijk Overleg Open Teelt (BOOT) vastgesteld, en gepubliceerd op agrarischwaterbeheer.nl

(2017) bevestigt dat bovenop bestaand mestbeleid deze aanvullende maatregelen nodig zijn om de doelen van de KRW te realiseren.

Bodembeheer en bemesting is niet een simpele optelsom van gewasbehoefte en aanwezige meststoffen. In de landbouwpraktijk wordt de belasting vanuit de landbouw beïnvloedt door de bodemkwaliteit, het weer, het waterbeheer, de mestmarkt en de financiële speelruimte die een bedrijf heeft om investeringen te doen in maatregelen die de waterkwaliteit verbeteren. Om bodembeheer en bemesting zo in te vullen dat er weinig verliezen optreden van nutriënten naar het oppervlaktewater is vakmanschap cruciaal. Maatregelen zijn namelijk niet op elk perceel even effectief en als zodanig is het ongewenst om generieke maatregelen over een hele regio uit te rollen. Het is daarom aan te bevelen om in een nutriëntenstrategie te sturen op doelen in plaats van middelen, en ondernemers de mogelijkheid te bieden om zelf maatwerkpakketten samen te stellen. In 2020 hebben ZLTO, provincie Brabant en de Brabantse waterschappen daarom een BedrijfsBodemWaterPlan (BBWP) laten ontwikkelen dat boeren faciliteert en stimuleert tot het nemen van maatregelen (Ros et al., 2020ab). Het BBWP integreert bestaande kennis vanuit de Nationale Wateranalyse, provinciale bodemkwaliteitsprojecten, de GLB-pilot Noord-Holland en inzichten vanuit de Kennisimpuls (de Maatregel-Op-De-Kaart, Fase 1 en 2) in een eenvoudig advies- en monitorings-instrument. Kort samengevat, op basis van de gebiedsopgave en kenmerken van het perceel, worden kansen (en risico's) in beeld gebracht in relatie tot het vasthouden en bufferen van water, het verhogen van de efficiëntie van bemesting, het vasthouden van fosfaat (voorkomen afspoeling) en stikstof en nitraat (voorkomen uitspoeling en afspoeling). Gegeven de effectiviteit van maatregelen op deze vijf aspecten wordt per bedrijf aanbevelingen gedaan voor de vijf meest effectieve maatregelen die inpasbaar zijn op het bedrijf. De implementatie ervan wordt gemonitord en biedt mogelijkheden voor nieuwe verdienmodellen.

Bij invulling van de landbouwkundige opgave door vermindering van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater kunnen vier sporen worden onderscheiden (Van Grinsven & Bleeker, 2017).

- Het eerste traject is inzet van maatregelen, zoals hierboven beschreven, als onderdeel van de Goede Landbouwpraktijk (GLP). Dat wil zeggen dat boeren kunnen blijven bemesten, voeren en ontwateren / beregenen conform het landbouwkundig advies. GLP betekent niet alleen dat meststoffen in de juiste hoeveelheid en vorm en op het juiste tijdstip en de juiste plaats worden toegediend, maar ook dat maatregelen worden genomen om verliezen te beperken, zoals vanggewassen of afzien van bemesting vlakbij de sloot. De kern van GLP is dat alle maatregelen op termijn geen extra kosten voor de landbouw met zich brengen.
- Een tweede traject is dat van een verbeterde GLP waar de Goede Landbouwpraktijk zich ontwikkelt door verbetering van kennis en vaardigheden en uitval van milieukundig en economisch minder presterende bedrijven. Verbetering van GLP kan versneld worden als daar de juiste prikkels voor worden gegeven, zoals de aanscherping van normen, communicatie-trajecten, en subsidiering van innovatie technologieën of blauwe diensten.
- Een derde traject is behoud van de hoofdfunctie landbouw, maar met een dusdanige aanpassing van de landbouwpraktijk dat er structureel extra kosten zijn. Maatregelen in dit traject zijn bijvoorbeeld (bovenwettelijk) uitmijnen van fosfaat, bemesten onder het bemestingsadvies, mestvrije bufferstroken, en extensivering van bouwplannen. De extra kosten zijn een gevolg van lagere landbouwopbrengsten, omdat het mest- of waterkwaliteitsbeleid direct of indirect dusdanige beperkingen oplegt aan de agrarische bedrijfsvoering dat het niet mogelijk is om hetzelfde bedrijfsinkomen te realiseren als bij het werken volgens het landbouwadvis.
- Als het derde traject leidt tot disproportioneel hoge kosten, rest als vierde en laatste traject het vertalen van de hoofdfunctie landbouw of versoepeling van milieudoelen.

In al deze vier trajecten is regionaal maatwerk essentieel omdat het effect van maatregelen afhankelijk is van de lokale situatie (Groenendijk et al., 2016; Westerhof et al., 2016). Dit wordt in de studie van Ros & Fujita (2021c) concreet gemaakt voor de Achterhoek.

Veranderingen in de bodem als gevolg van maatregelen door de boer laten zich vaak pas op lange termijn in resultaten zien. Veel maatregelen brengen kosten met zich mee die zich niet zomaar vanuit de markt laten vergoeden. Bij het uitvoeren van maatregelen is dus sprake van een financieel risico en soms is het een langetermijninvestering. Zolang de marktprijs voor de producten niet dekkend is voor de benodigde investeringen in duurzaam bodembeheer zijn er twee mogelijkheden om dit te stimuleren (Erisman et al., 2020): of de overheid doet aan marktprijsregulering of de boer krijgt vergoedingen voor de werkzaamheden of prestaties op het gebied van ecosysteemdiensten. Van marktprijsregulering zal voorlopig geen sprake zijn. Een alternatief spoor is het belonen via het bieden van beleidsruimte in het kader van beregeningsbeleid, het mestbeleid (denk in dit kader aan het spoor van equivalentie in gebruiksnormen of flexibelere gebruiksvoorschriften bij bewezen kundigheid), de toegang tot pachtgronden, of de toegang tot investeringssubsidies.

4 Conclusies

Om in de Achterhoek een verbeteringslag 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. Dit rapport vormt het eerste deel van het project en geeft een beschrijving van de Achterhoek qua geohydrologie en grondsoort, bodemkwaliteit, landgebruik en bemesting als ook de potentiële verliezen die optreden richting grond- en oppervlaktewater. De belangrijkste conclusies van deze studie zijn:

- De Achterhoek bestaat vooral uit humuspodzolgronden, zandgronden en dikke eerdgronden.
- Er is een grote variatie in grondwaterstand en het grootste deel van het areaal wordt gebruikt voor grasland en gras-mais in wisselbouw.
- Het gehalte organische stof is veelal hoger dan 2% en de pH is veelal binnen de landbouwkundig gewenste range. De meeste percelen hebben een optimaal tot hoge P-beschikbaarheidsindex. 73% van de landbouwpercelen valt in de categorie "hoog" wat betekent dat er meer dan voldoende fosfaat beschikbaar is voor gewasgroei.
- Droogte is het grootste knelpunt voor een hoge gewasproductie. Afhankelijk van grondsoort en landgebruik zijn veel voorkomende knelpunten een lage zwavellevering en het voorkomen van ondergrondverdichting.
- De variatie in bemesting is groot, al wordt het grootste deel van de gewasbehoefte gedekt via de aanvoer van rundveedrijfmest. Ondanks de variatie in bodemkwaliteit is de ruimtelijke variatie in aangevoerde nutriënten gering; hier liggen kansen voor een hogere benutting. Dit wordt bevestigd door de mismatch tussen de landbouwkundig gewenste gift en de gemiddelde bemestingspraktijk; de aanvoer ligt in een groot deel van de percelen hoger dan wat landbouwkundig nodig is.
- Er kunnen grote verliezen optreden via uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Via inzet van bovenwettelijke maatregelen kan de opgave voor uit- en afspoeling van stikstof grotendeels worden gerealiseerd. De opgave voor fosfor is met de bestaande maatregelen echter niet te realiseren en vraagt inzet van extra maatregelen die ingrijpen op de transportroute naar het oppervlaktewater.
- Om bodembeheer en bemesting zo in te vullen dat er weinig verliezen optreden van N en P naar het oppervlaktewater is vakmanschap cruciaal. Maatregelen zijn namelijk niet op elk perceel even effectief. Het is daarom aan te bevelen om te sturen op doelen in plaats van middelen, en ondernemers de mogelijkheid te bieden om zelf maatwerkpakketten samen te stellen.

5 Literatuur

- Bünemann et al.** (2018) *Soil quality – A critical review*. Soil Biology & Biochemistry 120, 105-125.
- Bussink et al.** (2011) *Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 2 grasland*. NMI-rapport 1246.2, Nutriënten Management Instituut, Wageningen.
- CBGV** (2020) *Bemestingsadvies Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen*. Beschikbaar via www.bemestingsadvies.nl.
- CBAV** (2020) *Bemestingsadvies Commissie Bemesting Akkerbouw en Vollegrondsgroentegewassen*. Beschikbaar via www.handboekbodemenbemesting.nl.
- 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.
- De Vries W, Kros J, Oenema I & J de Klein** (2003) *Uncertainties in the fate of nitrogen II: a quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands*. Nutr. Cycl. Agroecosyst 66, 71-102.
- De Vries W, Kros J, Voogd JCH, Van Duijvendijk K & GH Ros** (2018) *Kansen voor het sluiten van de mineralenbalansen in Noord-Nederland; effecten op regionale schaal en bedrijfsschaal*. WEnR-rapport 2925, 72 pp.
- Erisman JW, Koopmans C, Zanen M, Van Eekeren N & J Wagenaar** (2020) *Prestatie-indicatoren voor landbouwbodems*. Landschap 2020/4, 223-229.
- 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. Tijdreeks-analyse van organische stof en fosfaat in de Achterhoek*. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.3, 18 pp.
- Groenendijk et al.** (2016) *Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren; het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden*. WEnR-rapport 2749, 150 pp.
- Groenendijk et al.** (2017a) *Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit*. WEnR-rapport 2811, 132 pp.
- Groenendijk et al.** (2017b) *Milieueffectrapportage van maatregelen zesde Actieprogramma Nitraat-richtlijn; op Planniveau*, WEnR-rapport 2842, 110 pp.
- Hilhorst G** (2016) *Vruchtbare Kringloop Overijssel. Resultaten KringloopWijzers 2014 en 2015. Vergelijking met Vruchtbare Kringloop Achterhoek / Liemers*. 44 pp.
- Hilhorst & Plomp** (2018) *Resultaten KringloopWijzer 2013-2017*. VKA-rapport 1-40.
- Holster et al.** (2014) *Kringlooplandbouw in Noord-Nederland. Van marge naar mainstream*. Wageningen UR, 68 pp.
- Kros J, van Os J, Voogd JC, Groenendijk P, van Bruggen C, te Molder R & GH Ros** (2019) *Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie; beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5*. WEnR-rapport 2939, 96 pp.
- Molendijk L, de Wolf P & M Wesselink** (2018) *Instrumenten voor Duurzaam Bodembeheer. Een overzicht*. WPR-rapport 740.

- Reijneveld A** (2013) *Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in the Netherlands*. PhD thesis Wageningen University.
- Ros GH** (2011) *Predicting soil nitrogen supply; relevance of extractable soil organic matter fractions*. PhD thesis Wageningen University.
- Ros GH, Groenendijk P & J Rozemeijer** (2018) *Advies Nutrientenvisie Rijn-Oost. Inventarisatie van knelpunten en oplossingen*. NMI-rapport 1589.N.18.21, 33 pp.
- Ros GH** (2019) *De open Bodemindex 0.11*. OBI rapportage, 183 pp.
- Ros GH, Verweij SE, Quist N & N van Eekeren** (2020a) *BedrijfsBodemWaterPlan. Maatwerk voor duurzaam bodem- en waterbeheer*. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1805.N.20, 34 pp.
- Ros GH, Van Gerven L, Groenendijk P, Damen S, De Haan M & K Verloop** (2020b). *Strategisch plan voor ontwikkeling van DAW-tools voor bewustwording en advies aan agrariërs om de waterkwaliteit te verbeteren*, Rapport KennisImpuls Waterkwaliteit – deelproject Nutriënten-maatregelen, en Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1589.N.20, 62 pp.
- Ros GH & Y Fujita** (2021a) *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, in prep.
- Ros GH & Y Fujita** (2021b) *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** (2021c) *Locatie Specifiek Maatwerk voor Water- en Bodemkwaliteit; Deel 5. Op data gebaseerd handelingsperspectief*. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.5, in prep.
- Rozemeijer et al.** (2016) *Expertbeoordeling van landbouwmaatregelen voor oppervlaktewaterkwaliteit*. H2O / 28 november 2016, 6 pp.
- Van der Wal A, De Lijster E & W Dijkman** (2016) *Ontwerp Label Duurzaam Bodembeheer*. CLM-rapport 910, 56 pp.
- Van Erp P** (2002) *The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01M CaCl₂ in nutrient management*. PhD thesis Wageningen University, 237 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 Grinsven H & Bleeker A** (2017) *Evaluatie Meststoffenwet 2016: synthesesrapport*. PBL-rapport 2258, 196 pp.
- Van Rotterdam – Los AMD** (2011) *The potential of soils to supply phosphorus and potassium, processes and predictions*. PhD thesis Wageningen University, 144 pp.
- Van Rotterdam AMD & DW Bussink** (2016) *Fosfaatstreeftoestand in de bodem voor mais en gras*, CBGV-notitie, Commissie Bemesting Grasland & Voedergewassen.
- Velthof et al.** (2018) *Wettelijk instrumentarium voor landbouwmaatregelen om waterkwaliteit te verbeteren. Realisatie van nutriëntendoelstellingen uit de Kaderrichtlijn Water*. WOt-rapport 129, 118 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.
- Verloop et al.** (2018) *Achtergronden bij informatie in de BOOT-lijst factsheets*. WPR-rapport 842, 133 pp.
- Westerhof et al.** (2016) *Nutriënten op hun plek. Arrangementen van waarde voor voedselproductie, bodem en water*. ORG-ID, 71 pp

6 Bijlagen

Bijlage I. Overzicht bodemparameters

Tabel I-1. Overzicht van bodemparameters. De parameters gebruikt voor de berekening van de OBIC-score worden in de kolom OBIC als 1 gemarkeerd. De parameters gebruikt voor de berekening van de agronomisch vereiste nutriënten (die in het rapport deel 4 zijn gebruikt) zijn in de kolom FANS als 1 gemarkeerd.

Variabele	beschrijving	eenheid	bron	OBIC	FANS
A_N_PMN	Microbiele activiteit (N afbreekbaarheid)	mg N/kg	EF	1	
A_CEC_CO	CEC	mmol+/kg	EF	1	1
A_P_VG	P-verzadigingsgraad *1	%	EF		
A_N_TOT	N-totaal	mg N/kg	EF	1	1
A_OS_GV	Organische stof	%	EF	1	1
A_P_PAE	P-plantbeschikbaar (P-CaCl ₂)	mg P/kg	EF	1	1
A_P_PAL	P-bodemvoorraad	mg P ₂ O ₅ /100 g	EF	1	1
A_PH_CC	zuurgraad (pH-CaCl ₂)	-	EF	1	1
A_AL_OX	AL-oxalaat	mmol +/kg	EF		
A_P_OX	P-oxalaat	mmol +/kg	EF		
A_FE_OX	Fe-oxalaat	mmol +/kg	EF		
A_CLAY_MI	Klei	%	BS	1	1
A_SAND_MI	zand	%	BB	1	1
A_SILT_MI	silt	%	BB	1	1
A_P_WA	P-water	mg P ₂ O ₅ /l	BS	1	1
A_S_TOT	S-totaal	mg S/kg	BB	1	1
A_CN_RAT	C:N ratio	-	BB	1	
A_K_KG	K-getal		BB		1
A_KALK_MI	Koolzure kalk	%	BB	1	1
A_K_CO	Exchangeable K (K-CoHex)	mmol+/kg	BB		
A_K_CEC	K-bezetting CEC	%	BB	1	
A_K_HCL	Extraheerbaar K (in HCL)	mg K ₂ O/100g	BB		
A_MG_CO	Exchangeable Mg (Mg-CoHex)	mmol+/kg	BB		
A_MG_CEC	Mg-bezetting CEC	%	BB	1	
A_CA_CO	Exchangeable Na (Na-CoHex)	mmol+/kg	BB		
A_CA_CEC	Ca-bezetting CEC	%	BB	1	
A_NA_CO	Exchangeable Na (Na-CoHex)	mmol+/kg	BB		
A_K_CC	Beschikbaar K (K-CaCl ₂)	mg K / kg	BB		1
A_MG_CC	Beschikbaar Mg (Mg-CaCl ₂)	mg Mg / kg	BB		1
A_NA_CC	Beschikbaar Na (Na-CaCl ₂)	mg Na / kg	BB		1

A_CU_CC	Beschikbaar Cu (Cu_CaCl2)	ug Cu/ kg	BB	1	
A_CU_HNO3	Beschikbaar Cu (Cu_HNO3)	mg Cu / kg	BB		1
A_CO_CC	Beschikbaar Co (Co_CaCl2)	mg Co / kg	BB		
A_CO_AA	Beschikbaar Co (azijnzuur)	mg Co / kg	BB		1
A_ZN_CC	Beschikbaar Zn (Zn_CaCl2)	ug Zn/ kg	BB	1	1
A_B_HW	Beschikbaar B (hot water)	mg B / kg	BB		1
A_B_CC	Beschikbaar B (B_CaCl2)	mg B / kg	BB		
A_MN_CC	Beschikbaar Mn (Mn_CaCl2)	ug Mn/ kg	BB	1	1
A_MO_CC	Beschikbaar Mo (Mo_CaCl2)	ug Mo / kg	BB		1
A_SE_CC	Beschikbaar Se (Se_CaCl2)	ug Se / kg	BB		
A_FE_CC	Beschikbaar Fe (Fe_CaCl2)	ug Fe / kg	BB		
A_NMIN_CC_D30	Inorganische N 0-30cm	kg N / ha	*2		1
A_NMIN_CC_D60	Inorganische N 0-60cm	kg N / ha	*2		1

EF: regression kriging model prediction, gebaseerd op Eurofins gegevens op perceelniveau van 2016-2020

BS: voorspelde waarde van geostatistisch model "Bodemschat" (accuraat op niveau van percelen)

BB: voorspelde waarde van geostatistisch model "Bodembedrijf" (accuraat op niveau van bedrijven)

*1: $P\text{-verzadigingsgraad} = P\text{-ox} / (2 * (Fe\text{-ox} + AL\text{-ox}))$

*2: geschat op basis van het type gewas van de laatste 2 jaar

Bijlage II. Knelpunten bodemkwaliteit

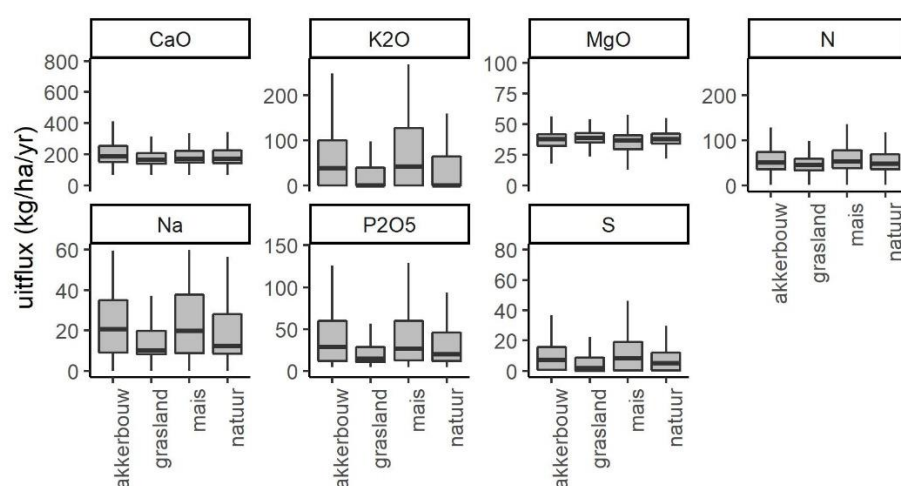
Tabel II-1. Knelpunten van bodemfuncties per gewasrotatietype. Percentage perceel waar de bodemfunctie slecht (<0.5) scoort is weergegeven.

bodemfunctie	gras	gras-mais	mais	overig
N-levering	0	5	82	13
P-buffering	6	6	2	6
K-levering	2	9	68	15
Mg-buffering	3	3	6	3
S-levering	97	80	27	59
pH	2	2	5	5
CEC	7	12	27	20
Verkruimelbaarheid	0	0	0	0
Verslemping	0	0	0	0
Waterstress	39	46	49	44
Verstuifingsrisico	0	2	81	26
Ondergrondverdichting	58	66	56	57
Aggregaatstabiliteit	0	0	0	0
Ziektewerendheid	0	0	1	2
Activiteit bodemleven	0	0	0	0

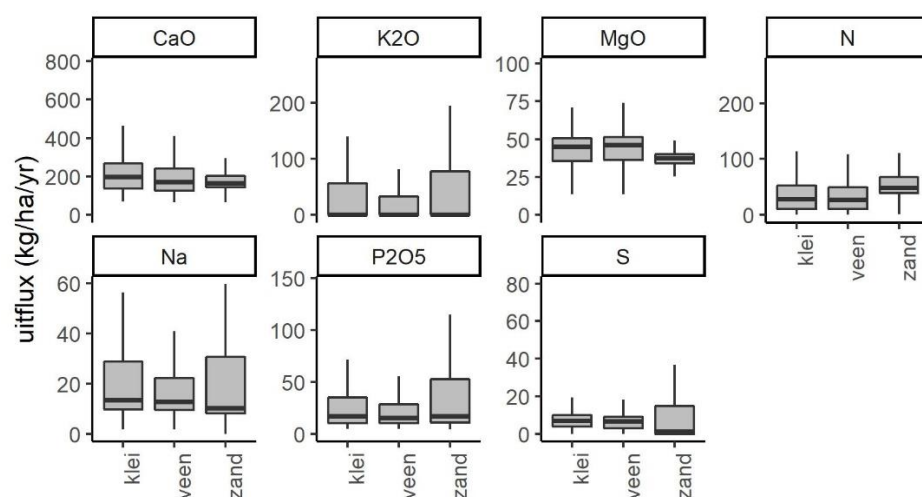
Tabel II-2. Knelpunten van bodemfuncties per grondsoorten. Percentage perceel waar de bodemfunctie slecht (<0.5) scoort is weergegeven.

bodemfunctie	Dikke eerdgrond	Humus- podzolgrond	Rivierklei- grond	Zandgrond	Overig
N-levering	13	10	2	8	5
P-buffering	1	3	14	7	10
K-levering	12	11	13	8	8
Mg-buffering	3	2	9	2	3
S-levering	75	79	76	81	81
pH	6	2	2	1	5
CEC	16	17	0	14	10
Verkruimelbaarheid	0	0	0	0	0
Verslemping	0	0	0	0	0
Waterstress	26	50	34	47	38
Verstuifingsrisico	19	15	1	11	6
Ondergrondverdichting	17	73	37	80	48
Aggregaatstabiliteit	0	0	0	0	0
Ziektewerendheid	1	0	1	0	2
Activiteit bodemleven	0	0	0	0	0

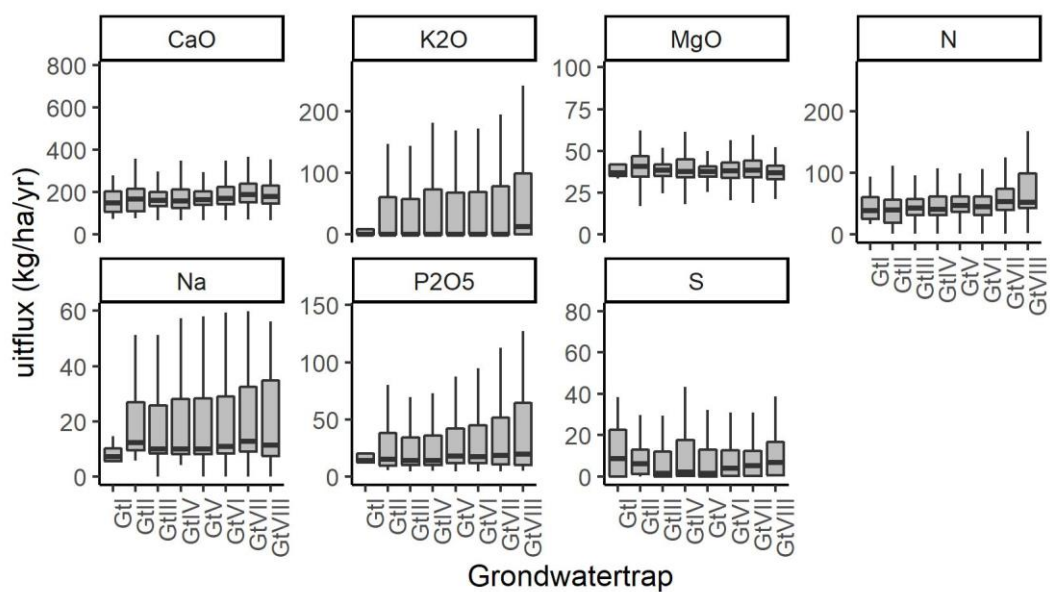
Bijlage III. Uit- en afspoeling



Figuur III-1. Mediane waarden van de uitflux van verschillende elementen op perceelsniveau, afzonderlijk weergegeven per type landgebruik. Box toont het bereik tussen 25e kwantiel en 75 kwantiel. De uitflux is som van afspoeling en uitspoeling. De gegevens zijn gebaseerd op de INITIATOR-output.



Figuur III-2. Mediane waarden van de uitflux van verschillende elementen op perceelsniveau, afzonderlijk weergegeven per grondsoort. Box toont het bereik tussen 25e kwantiel en 75 kwantiel. De uitflux is som van afspoeling en uitspoeling. De gegevens zijn gebaseerd op de INITIATOR-output.



Figuur III-3. Mediane waarden van de uitflux van verschillende elementen op perceelsniveau, afzonderlijk weergegeven per grondwatertrapklasse. Box toont het bereik tussen 25e kwantiel en 75 kwantiel. De uitflux is som van afspoeling en uitspoeling. De gegevens zijn gebaseerd op de INITIATOR-output.



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