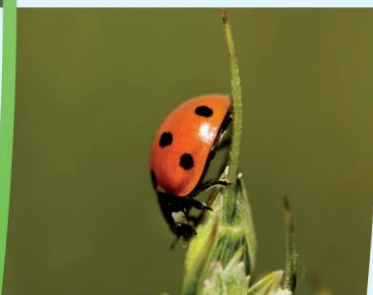


Soil for life

Report 1659.N.16

Update en Evaluatie
Nitraatuitspoelingsmodel



Rapport

Update en Evaluatie Nitraatuitspoelingsmodel

Auteur(s) : **Gerard H. Ros (NMI)**
 Job de Pater (NMI)
 Ellen Kusters (AgriConnection)
 Sjef Crijns (Delphy)
 Frans Vaessen (WML)

© 2017 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.

Verspreiding

Waterleiding Maatschappij Limburg (WML), Delphy, AgriConnection

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	3
1.1 Achtergrond en aanleiding	3
1.2 Doelstelling	3
2 Modelbeschrijving	4
2.1 Uitgangssituatie	4
2.2 Model update	5
3 Data en methoden	8
3.1 Gebruikte gegevens	8
3.2 Verbeteringen en toetsing	9
3.3 Gevoeligheid- en onzekerheidsanalyse model	12
4 Resultaten	13
4.1 Model gevoeligheid	13
4.2 Model onzekerheid	15
4.3 Perceelsparametrisatie	16
4.4 Bedrijfstoetsing	20
5 Discussie & Aanbevelingen	22
6 Literatuur	27
Bijlage A. Modelbeschrijving	28
A.1 Rekenregels huidig model	28
A.2 Rekenregels werkzame N-balans	30
Bijlage B. Gevoeligheidsanalyse	34
Bijlage C. Onzekerheidsanalyse	35
Bijlage D. Parametrisatie uitspoelingsfracties	36
D.1 Parametrisatie per gewas	36
D.2 Parametrisatie per gewasgroep	43
D.3 Parametrisatie voor andere clusterings	47
Bijlage E. Toetsing	53

Samenvatting en conclusies

Binnen het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG) wordt door Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) al meerdere jaren actief samengewerkt met de agrarische sector om de emissie van stikstof naar het grondwatersysteem te verlagen. In 2015 is een nitraatuitspoelingsmodel ontwikkeld om het effect van bouwplan en bemesting op het nitraatgehalte in het bodemvocht in beeld te brengen. In de voorliggende publicatie wordt dit model beschreven en geëvalueerd op basis van bedrijfs- en perceelsgegevens die in de periode 2008 tot 2015 zijn verzameld. Ook worden er verschillende opties beschreven en getoetst om meer recht te doen aan de processen in de bodem en de variatie tussen bedrijven. Het overkoepelende doel is de ontwikkeling van een robuust en betrouwbaar nitraatuitspoelingsmodel om:

- het nitraatgehalte in het bodemvocht te voorspellen in relatie tot bemesting en bodem;
- inzicht te geven in de factoren die het nitraatgehalte positief dan wel negatief beïnvloeden en;
- agrariërs onderbouwd handelingsperspectief te bieden welke maatregelen zinvol zijn om het nitraatgehalte te verlagen en ingezet kunnen worden als onderbouwing voor equivalentie.

Het huidige nitraatuitspoelingsmodel is gebaseerd op een balansmethodiek voor totaal-N. Bemesting en gewasopname hebben een lineair effect op nitraatuitspoeling via gewasafhankelijke uitspoelingsfracties. Het model onderschat de werkelijke nitraatgehalten in het bodemvocht en is maar beperkt in staat om de daadwerkelijke variatie tussen bedrijven in beeld te brengen. Dit hangt deels samen met de gekozen modelsystematiek maar ook met de variatie die tussen percelen (bij vergelijkbare opbrengsten en bemestingsniveaus) wordt gemeten.

Gebruik makend van de meetgegevens uit het DSG-meetnet is het mogelijk om voor de belangrijkste gewassen een schatting te geven van de uitspoelingsfractie. Dit maakt het mogelijk om gebiedsspecifiek een relatie te leggen tussen het N-overschot en het nitraatgehalte in het bodemvocht. Op basis van een uitgebreide modelanalyse en –toetsing (inclusief gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse) worden de volgende aanbevelingen gegeven:

1. Het gebruik van een balansbenadering voor *werkzame* stikstof sluit beter aan bij de processen in de bodem én de agrarische praktijk dan een balansbenadering voor *totaalstikstof*.
2. Als bedrijfsinformatie wordt gebruikt voor een schatting van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte is het gewenst om rekening te houden met de verdeling van mest over de gewassen.
3. Toevoegen van een generieke schatting van de N-levering uit de bodem doet recht aan aanwezige variatie tussen bedrijven.
4. Het nitraatuitspoelingsmodel moet rekening houden met jaar én teeltoverstijgende effecten.
5. Onderbouw de gebruikte N-gewasgehalten met metingen, en voeg indien nodig een interactie tussen bemesting en gewasopname toe aan het nitraatuitspoelingsmodel.
6. Bereken een perceelsgemiddelde nitraatgehalte via rekenmethoden waarbij uitschieters minder invloed hebben om het nitraatuitspoelingsmodel robuuster te maken.
7. In de communicatie richting gebruikers is het verstandig rekening te houden met minimaal een onzekerheid van 10 mg NO₃ l⁻¹ op het geschatte nitraatgehalte.

Het nitraatuitspoelingsmodel brengt effecten van bemesting en gewasopbrengsten kwantitatief in beeld en levert daardoor een stimulans om via management het nitraatgehalte te verlagen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Binnen het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG) wordt door Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) al meerdere jaren actief samengewerkt met de agrarische sector om de emissie van stikstof naar het grondwatersysteem te verlagen. In 2015 is binnen het project een nitraatuitspoelingsmodel ontwikkeld om het effect van bouwplan en bemesting op het nitraatgehalte in het bodemvocht in beeld te brengen. Dit model wordt ingezet binnen het DSG-project en het project “Slim Bemesten”. Door een bedrijfsspecifieke aanpak op het gebied van bemesting willen ondernemers ruimte krijgen voor maatwerk én voldoen aan de doelstelling van de Nitraatrichtlijn.

Het model is ontwikkeld om:

- het nitraatgehalte in het bodemvocht te voorspellen in relatie tot bemesting en bodemeigenschappen;
- inzicht te geven in de factoren die het nitraatgehalte positief dan wel negatief beïnvloeden en;
- agrariërs onderbouwd handelingsperspectief te bieden welke maatregelen zinvol zijn om het nitraatgehalte te verlagen en ingezet kunnen worden als onderbouwing voor equivalentie.

Het huidige mestbeleid is mede gebaseerd op een vergelijkbaar simulatiemodel waarbij het nitraatgehalte wordt berekend als vaste fractie van het N-overschot. Deze zogenoemde uitspoelingsfractie varieert per landgebruik (bouwland vs. grasland) en grondwatertrap en is gebaseerd op gegevens uit het Landelijk Meetnet Mestbeleid (LMM). Binnen het kader van het DSG-project wordt getwijfeld aan de toepasbaarheid van deze rekensystematiek. Het ministerie van EZ heeft de mogelijkheid opengelaten om met een goed onderbouwd alternatief te komen.

Het prototype model uit 2015 is daarom in de zomer van 2016 besproken met experts van WML, Delphy, AgriConnection, PPO en NMI. Uit dit overleg bleek dat het prototype op een aantal punten verbeterd kan worden om aan de hierboven beschreven doelen te voldoen. In het voorliggende rapport wordt zowel het prototype als de verbeterde versie van het nitraatuitspoelingsmodel beschreven en geëvalueerd.

1.2 Doelstelling

De verdere ontwikkeling, parametrisatie en validatie van een gebiedseigen nitraatuitspoelingsmodel (gebaseerd op bedrijfsresultaten vanuit het DSG-meetnet) dat gebruikt kan worden om het nitraatgehalte in het bodemvocht te voorspellen op basis van bedrijfskenmerken (bodem, locatie, landgebruik en bemesting) en weersomstandigheden.

2 Modelbeschrijving

2.1 Uitgangssituatie

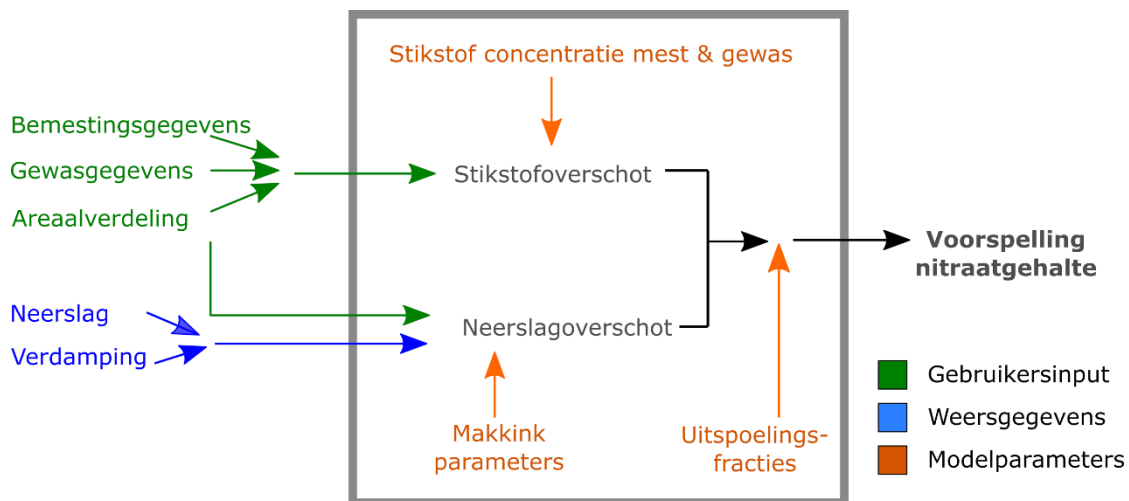
Het huidige nitraatuitspoelingsmodel is een eenvoudige bedrijfsbalans die bestaat uit vier onderdelen:

1. vaststellen van het N-overschot op bedrijfsniveau (kg N), voor N-totaal
2. berekenen van het N-overschot op de bodem (kg N ha⁻¹), voor N-totaal
3. berekenen van het neerslagoverschot op de bodem (m³ ha⁻¹)
4. berekenen van het nitraatgehalte in het diepe grondwater na twee jaar (mg NO₃ l⁻¹)

Het model is gebaseerd op de balansmethode. Hierbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid nitraat die uitspoelt op lössgronden evenredig is met het N-overschot op bedrijfsniveau. De fractie van het overschot dat uitspoelt wordt ook wel de uitspoelingsfractie genoemd.

$$NO_3^- [mg/L] = \text{Uitspoelingsfractie} \times N \text{ overschot } [kg/jaar] / \text{Neerslagoverschot } [m^3/jaar]$$

Hierin is de uitspoelingsfractie de evenredigheidsconstante, het N-overschot de totale hoeveelheid N die niet wordt benut door het gewas (zowel organisch als mineraal) en het neerslagoverschot de hoeveelheid water dat uitspoelt naar het grondwater. De rekenregels van het model zijn te vinden in Bijlage A.



Figuur 2.1. Schematisatie van het nitraatuitspoelingsmodel.

De parameters in het huidige model zijn gebaseerd op de literatuur en/of praktijkmetingen¹. De stikstofconcentraties van het gewas en van de mest bepalen hoeveel stikstof er wordt aan- en afgevoerd. De uitspoelingsfracties zijn gewasafhankelijk en worden bepaald door o.a. de lengte van het groeiseizoen, de wortelingsdiepte en de stikstofefficiëntie gedurende de N-opnameperiode. De onderliggende aanname is dat de uitspoelingsfractie gelijk blijft over de reeks van voorkomende N-overschotten in de bemestingspraktijk. De Makkink-parameters zijn empirische gewasfactoren die gebruikt worden om de standaard referentieverdamping² (conform Makkink-methode) om te zetten naar de potentiële verdamping die optreedt gedurende het groeiseizoen.

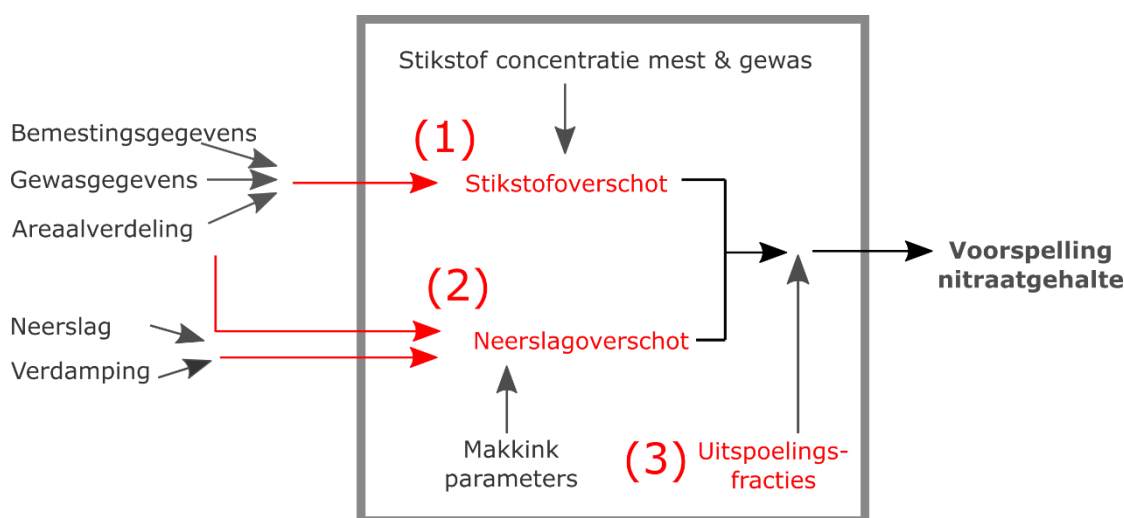
¹ Waaronder het stikstofonderzoek dat in Wijnandsrade is uitgevoerd.

² De formele definitie van de referentie verdamping is als volgt (KNMI, 2005): "de referentie gewasverdamping is de evapotranspiratie van een uitgebreid uniform, bodembedekkend, van buiten droog grasoppervlak met een hoogte van 8 tot 15 cm, dat voldoende van water is voorzien".

Naast deze modelparameters is er bedrijfsinformatie nodig wat betreft de aan- en afvoer van meststoffen, het bouwplan, gewasopbrengsten en de lokale weersomstandigheden. In meer detail, de gebruikersinput bestaat uit de hoeveelheid en soort aangevoerde mest (drijfmest/ kunstmest/ type organische mest met bijbehorend N-gehalte), het bouwplan en het areaal per gewas (voor zowel hoofd- als nateelt). De weersgegevens komen van het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation en bestaan uit de neerslaghoeveelheid de referentieverdamping per dag.

2.2 Model aanpassingen in 2017

In de huidige studie is het model op een aantal punten aangepast. De grootste verandering is het feit dat de N-balans niet meer gebaseerd is op N-totaal maar op werkzame stikstof. Om dat te realiseren wordt er rekening gehouden met de actuele N-werking én eenjarige nawerking van meststoffen en groenbesters. Daarnaast zijn de uitspoelingsfracties per gewas geschat op basis van gebiedseigen metingen die zijn uitgevoerd binnen het DSG-project. De wijzigingen kunnen worden gegroepeerd onder drie thema's: de berekening van het N-overschot, de berekening van het neerslagoverschot en de geparametriseerde uitspoelingsfracties (Figuur 2.2). Bijbehorende rekenregels zijn te vinden in Bijlage A.2.



Figuur 2.2. Schematisatie van het nitraatuitspoelingsmodel. In rood de modelonderdelen die zijn gewijzigd.

2.2.1 Stikstofoverschot

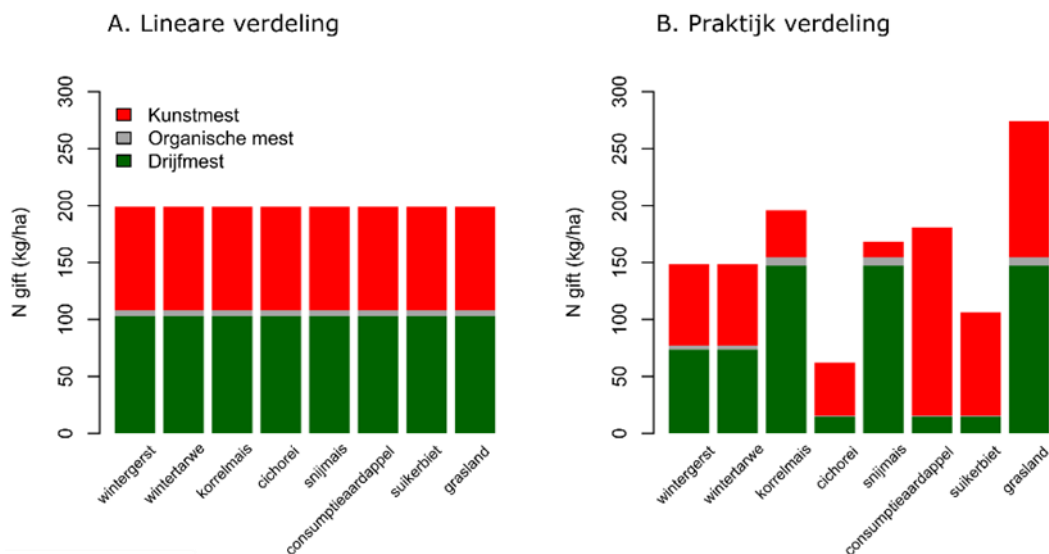
Om een balans op te stellen van de werkzame stikstof in de bodem worden meerdere aspecten meegenomen. Dit zijn achtereenvolgens:

- **de nawerking van drijfmest en overige organische mest.** Een bepaald gedeelte van de mest wordt vastgelegd in de bodem en komt in de daaropvolgende jaren vrij via mineralisatie. Het huidige model bevat een schijnbare dubbeltelling: de N-aanvoer via drijfmest werd additioneel verhoogd om rekening te houden met de N-nawerking. Omdat de N-balans nu gebaseerd is op werkzame stikstof, wordt deze dubbeltelling voorkomen.
- **de nawerking van groenbesters.** De N-opname van groenbesters wordt niet alleen meegenomen als uitgaande post (op de N-balans) maar wordt ook deels meegenomen in de N-aanvoer in het volgende jaar.
- **de N-levering van de bodem (NLV).** De hoeveelheid stikstof die jaarlijks vrijkomt uit de totale bodemvoorraad is te schatten op basis van het organische stof gehalte, het kleigehalte en de totale hoeveelheid stikstof. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het in Nederland ontwikkelde

model MINIP (Janssen, 1996). Om dit zo generiek mogelijk toepasbaar te laten zijn, wordt gebruik gemaakt van postcodegemiddelde bodemgegevens van Eurofins Agro.

- **differentiatie in N-opname groenbemesters.** Omdat de opbrengst en stikstofconcentratie verschilt per groenbemester wordt in deze update rekening gehouden met deze verschillen tussen gewassen. Dit heeft consequenties voor N-aanvoer (via N-binding) en N-levering door mineralisatie in het huidige en opvolgende jaar na onderwerken. Er wordt aangenomen dat de groenbemester zich goed heeft ontwikkeld¹.

Een meer generiek aspect is het **mestverdelingsvraagstuk** op bedrijfsniveau. Het huidige model vertaalt de bedrijfsbalansen in gewasbalansen door de aanwezige mest lineair te verdelen over de aanwezige gewasarealen (met andere woorden: elk gewas krijgt evenveel). Omdat zowel de gift van drijfmest als kunstmest sterk samenhangt met het gewas, is een mestverdelingsmodule geïntroduceerd waarmee beter recht kan worden gedaan aan de huidige praktijk. Dit is gedaan door de introductie van gewasafhankelijke wegingsfactoren die aangeven welk gewas bij voorkeur een drijfmestgift ontvangt. *De totale aanvoer van stikstof op bedrijfsniveau is daarbij leidend.* De wegingsfactoren verdelen deze aanvoer vervolgens over de aanwezige gewassen. Concreet betekent dit dat de drijfmest (zoveel als mogelijk) wordt toegediend aan alle gras en maïspercelen, aan 50% van de percelen met graangewassen en aan 80% van het areaal met groenbemesters. De totale hoeveelheid beschikbare N-kunstmest wordt verdeeld over de gewassen conform de N-gebruiksnorm², gecorrigeerd voor de aanvoer van werkzame N via drijfmest. Daarbij wordt tevens rekening gehouden met de praktijk dat *cash crops* relatief meer mest toegediend krijgen dan andere gewassen. Een hypothetische illustratie van de consequenties hiervan wordt weergegeven in Figuur 2.3.



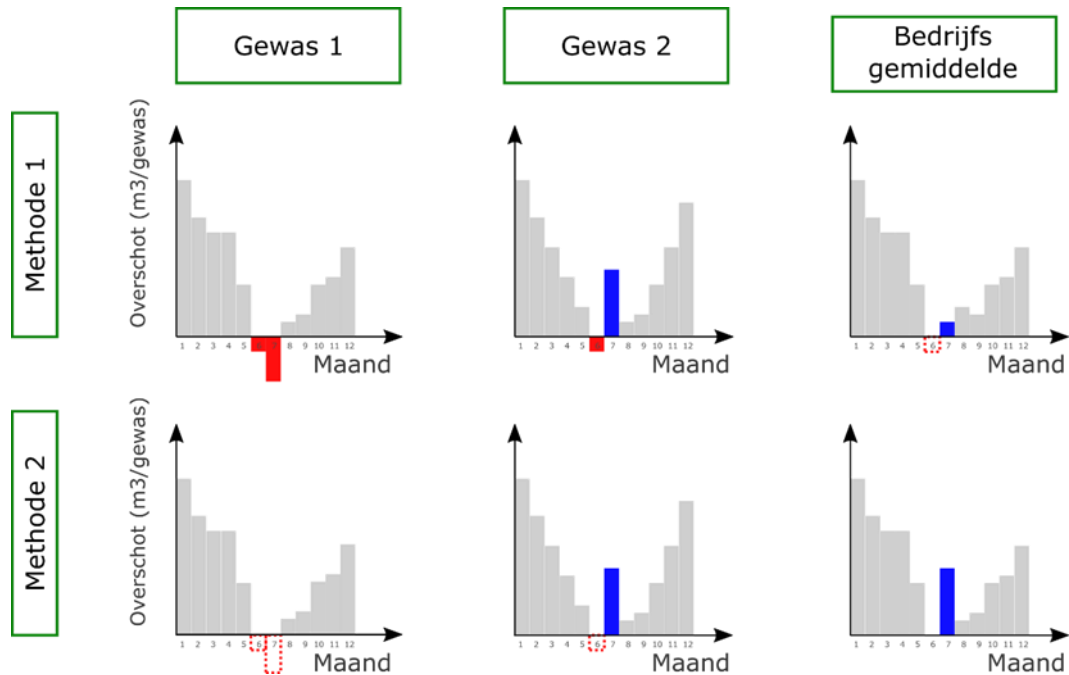
Figuur 2.3. Hypothetisch voorbeeld mestverdeling voor beide methodes. Methode A gaat uit van een lineaire verdeling van de bedrijfsgiften over alle percelen. Methode B houdt rekening met variatie tussen gewassen.

¹ Het is bekend dat de daadwerkelijke productie en N-opname sterk kan variëren afhankelijk van management en zaaitijdstip. Om het model eenvoudig te houden, wordt deze gebruikersinformatie (vooralsnog) niet opgevraagd.

² Let wel: de N-gebruiksnorm wordt niet maximaal opgevuld. De aanwezige werkzame N op bedrijfsniveau wordt over de gewassen verdeeld conform de N-gebruiksnorm: gewassen met een grotere behoefte krijgen daarmee een groter aandeel van de totale N-kunstmest.

2.2.2 Neerslagoverschot (optioneel)

In het huidige model wordt het neerslagoverschot op bedrijfsniveau in beeld gebracht. Hiervoor worden alle geschatte neerslag- en verdampingshoeveelheden (in m³ per gewas) gesommeerd tot een bedrijfs-gemiddelde neerslagoverschot (in m³ per hectare), waarbij de aanname is dat er op bedrijfsniveau geen negatieve overschotten mogen voorkomen. In werkelijkheid kan een neerslagtekort bij het ene gewas niet gecompenseerd worden door een neerslagoverschot bij een ander gewas. Omdat het neerslag-overschot rechtstreeks invloed heeft op het geschatte nitraatgehalte wordt in het aangepaste model rekening gehouden met de neerslagoverschotten per gewas (in m³ per hectare). Ter illustratie is het verschil tussen beide methodieken weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4. Twee manieren om het bedrijfsgemiddelde neerslagoverschot te berekenen. Methode 1 neemt negatieve neerslagoverschotten op perceelsniveau mee en corrigeert alleen voor negatieve neerslag-overschotten na middelen op bedrijfsniveau. Methode 2 corrigeert voor negatieve overschotten voor elk gewas. Zie maand 7 voor een duidelijk verschil tussen beide methoden.

2.2.3 Uitspoelingsfracties

De gebruikte uitspoelingsfracties in het huidig model zijn gebaseerd op literatuurgegevens van een kleine set aan veldproeven uit de periode 2008 tot 2016. Gebruik makend van de verzamelde gegevens binnen het DSG-project, worden de uitspoelingsfracties opnieuw geparametriseerd.

3 Data en methoden

Het nitraatuitspoelingsmodel is aangepast en getoetst met data van bedrijven op lössgrond die afgelopen jaren hebben deelgenomen aan het project *Duurzaam Schoon Grondwater (DSG)*. Van deze bedrijven zijn de mineralenbalansen verzameld, en het nitraatgehalte in bodemvocht op 150 cm-mv 250 cm-mv is gemeten. De gebruikte methodiek hiervoor is beschreven in Ros et al. (2014). In dit hoofdstuk worden de gebruikte gegevens beschreven, evenals de uitgevoerde data-correcties en de statistische analyse voor de parametrisatie van uitspoelingsfracties, de gevoeligheidsanalyse en de onzekerheidsanalyse.

3.1 Gebruikte gegevens

Het huidige nitraatuitspoelingsmodel (in Excel, model versie 3/31/2016) maakt gebruik van de volgende aannames en modelparameters:

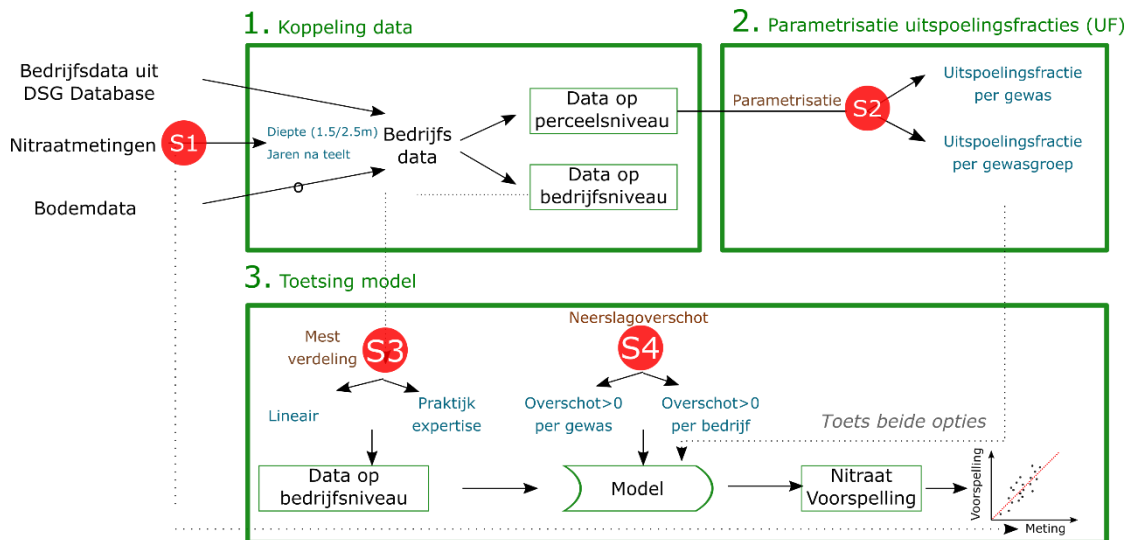
- De **uitspoelingsfracties** zijn gebaseerd op gegevens uit een langjarig onderzoek (1995-2001) op Proefboerderij Wijnandsrade (Dekker et al., 2003), het onderzoeksprogramma Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke, 2004), resultaten uit het LMM-onderzoek (Fraters et al., 2007; Velthof and Fraters, 2007) en praktijkexpertise vanuit het DSG project van WML.
- Voor **N-depositie** wordt aangenomen dat er jaarlijks 24 kg N ha⁻¹ aangevoerd wordt vanuit de lucht (Velders et al., 2013). Voor **N-binding** wordt gebruik gemaakt van gewasspecifieke kengetallen die ook gebruikt worden in LMM-onderzoek (Fraters et al., 2007). **Ammoniak-verliezen** worden geschat op 1% van N-totaal voor kunstmest en 5% voor drijfmest (Velthof et al., 2009).
- De **N-gehaltes in gewassen** zijn gebaseerd op een database met gewaseigenschappen die verzameld zijn binnen het DSG-project. Hiervoor is gebruik gemaakt van gepubliceerde resultaten uit onderzoek uitgevoerd in het gebied van het DSG project (Dekker et al., 2003), gegevens uit CVB-tabellenboeken en gegevens afkomstig van het 'Kiezen uit gehalten' project (bron: LEI). De gehalten van suikerbieten zijn gebaseerd op de laatste gegevens van IRS.
- De **neerslag- en verdampingsgegevens** zijn afkomstig van het KNMI-weerstation Maastricht (KNMI, 2017). Gebruikte maandelijkse Makkink-factoren komen voornamelijk uit het Cultuurtechnisch Vademecum waarbij voor braak land gebruik wordt gemaakt van een Makkink-factor van 0,36. Het neerslagoverschot wordt per maand berekend waarbij een negatief overschot (tekort) op 0 wordt gesteld. Zie Bijlage A.3 voor meer achtergrondinformatie.
- De **bemestingsgegevens** zijn verzameld binnen het DSG-project over de periode 2008 tot 2016. Van 48 bedrijven is het bouwplan bekend (arealen per gewas), de aangevoerde bemesting in voor- of najaar (mestsoort en N-gift) en gewasgegevens. De bemestingsdata is beschikbaar op twee verschillende aggregatieniveaus: op bedrijfsniveau (338 unieke bedrijf/jaar combinaties) en op perceelsniveau (131 unieke bedrijf/jaar combinaties). De data op perceelsniveau is gebruikt voor de parametrisatie. De data op bedrijfsniveau is gebruikt voor de toetsing.

In aanvulling op deze databronnen, wordt in het aangepaste model ook gebruik gemaakt van:

- Perceelsspecifieke en regiogemiddelde **bodemgegevens**, waarbij voor de laatste gebruikt wordt gemaakt van postcodegemiddelden van gegevens van Eurofins. Het gaat hierbij om de bodemparameters N-totaal, organische stof en het kleigehalte.
- Praktijkexpertise over **mestverdeling** binnen gewasrotaties op lössgrond. Hiervoor is gebruik gemaakt van gangbare bedrijfsgegevens op akkerbouwbedrijven in Limburg.

3.2 Verbeteringen en toetsing

Modelaanpassingen zijn doorgevoerd door de uitspoelingsfracties opnieuw te parametriseren voor de gewassen waarvan data op perceelsniveau beschikbaar was. In dit proces zijn meerdere keuzemogelijkheden (ook wel opties genoemd) getoetst om het huidige model te verbeteren. De workflow van dit proces en bijbehorende keuzemogelijkheden worden geïllustreerd in Figuur 3.1.



Figuur 3.1. Workflow van het project. De rode stippen geven aan waar verschillende opties mogelijk zijn.

Allereerst zijn alle relevante gegevens rond bodem, bemesting en nitraatmetingen in het bodemvocht vanuit het DSG-project verzameld en gekoppeld (stap 1). Het nitraatgehalte is op verschillende tijdstippen en bodemdieptes gemeten, waardoor hier een keuze is gemaakt tussen ondiepe (150 cm-mv) en diepere bodemvocht (250 cm-mv). Alle perceelsgegevens zijn vervolgens gebruikt om per gewas (of gewasgroep) een uitspoelingsfractie te schatten via lineaire regressie, waarbij het verschil tussen gemeten en berekende nitraatgehalten wordt geminimaliseerd (stap 2). Dit levert een uitspoelingsfractie op per gewas of gewasgroep (optie S2) met bijbehorende onzekerheid. De geschatte uitspoelingsfracties zijn vervolgens gebruikt om de bedrijfsgemiddelde nitraatgehalten te schatten in zowel het ondiepe als diepere bodemvocht (de toetsing). Hierbij is getoetst of het zinvol is om gebruik te maken van een praktijkgebaseerde mestverdelingsmodule (optie S3) en een gewasafhankelijk neerslagoverschot (optie S4). Hier doorheen loopt nog het tijdsaspect: is de uitspoelingsfractie van het N-overschot gebaseerd op het N-overschot van hetzelfde jaar, van het vorige jaar of van twee jaar geleden (optie S1). De verschillende opties en bijbehorende methodiek wordt hieronder in meer detail toegelicht.

Om een duidelijk onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende modelstructuren, worden de geteste structuren als volgt samengevat:

- **Model "huidig".** Hierbij wordt per gewas(areaal) het stikstof- en neerslagoverschot berekend (stikstof = totaal stikstof) gebruik makend van een lineaire verdeling van bemesting over de gewasarealen, waarna beide overschotten op bedrijfsniveau worden geaggregeerd. Vervolgens kan op bedrijfsniveau een schatting worden gegeven van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte in het bodemvocht.
- **Model "S1".** In deze modelvariant wordt een N-balans opgesteld voor werkzame stikstof (zie 2.2.1) met enkele aanpassingen voor N-levering vanuit de bodem, en nawerking van drijfmest

en overige organische mest. De berekening van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte is identiek aan die van het huidige model.

- **Model “S2”.** In deze modelvariant wordt ook een N-balans opgesteld voor werkzame stikstof, maar hier wordt het nitraatgehalte berekend op gewasniveau en niet zoals in de vorige modelvarianten na aggregatie van het stikstof- en neerslagoverschot op bedrijfsniveau. De bemesting en N-afvoer van groenbemesters wordt echter nog lineair verdeeld over het bedrijfsareaal. De verdeling van meststoffen over de gewassen is nog steeds lineair gerelateerd aan het gewasareaal.
- **Model “S3”.** Deze modelvariant volgt een identiek benadering als model S2, maar hier wordt gebruik gemaakt van de ontwikkelde mestverdelingsmodule. Ook wordt de aanvoer van mest en de nalevering van groenbemesters toegekend aan een deel van het bedrijfsareaal.

3.2.1 Data koppeling, correcties en extra modelparameters

De **nitraatmetingen** op perceelsniveau met bijbehorende bodem-, gewas- en bemestingsparameters zijn gekoppeld aan de beschikbare N-balansen op bedrijfsniveau. Hierbij zijn de volgende keuzes gemaakt:

- a) Van de nitraatmetingen zijn alleen de metingen uit het najaar (de periode september-december) meegenomen. Vervolgens is voor elk perceel de mediaan berekend voor zowel het ondiepe (130 cm < diepte < 170 cm) als het diepere (230 cm < diepte < 270 cm) bodemvocht.
- b) De beschikbare bodemdata is gekoppeld aan de nitraatdata op basis van het postcodegebied waarin de desbetreffende percelen liggen.
- c) De gecombineerde bodem- en nitraatdata zijn gekoppeld aan de bedrijfsgegevens op basis van het bedrijfsnummer en het jaar waarin de meting is gedaan.

Omdat de bedrijfsgegevens inzicht geven in de netto bedrijfsbalans, zijn voor een aantal gewassen geen goede schattingen beschikbaar voor de **gewasopname**. Dit is vooral het geval voor gras en maïs. Gebruik makend van de beschikbare gegevens zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd:

1. **Probleem:** Opbrengst van grasland of maïs is niet ingevuld of < 2 ton/ha.
Oplossing: Vervangen door mediaan van alle gras- of maïsoopbrengsten > 4 ton/ha.
2. **Probleem:** Onrealistische opbrengsten voor appels en peren.
Oplossing: Appel- en peeropbrengsten vervangen door respectievelijk 35 en 25 ton/ha.
3. **Probleem:** Afwezige of onrealistische schattingen van opbrengsten
Oplossing: Vervang de opbrengst door gemiddelde opbrengst en N-gehalte.
4. **Probleem:** Onrealistische schatting van opbrengsten akkerbouwgewassen.
Oplossing: Als de opbrengst lager is dan 40% van de provinciale gemiddelde opbrengst (gebaseerd op CBS-gegevens) dan wordt de opbrengst vervangen door de mediaan van identieke gewassen van andere bedrijven uit het DSG-project.

Voor de aanwezige bemestingsgegevens zijn de volgende correcties uitgevoerd om rekening te houden met de nawerking van drijfmest:

1. **Probleem:** Percelen worden in sommige jaren gesplitst.
Oplossing: Om de bemesting van vorig jaar te gebruiken, nemen we de gemiddelde gift van de gecombineerde percelen van het vorige jaar.
2. **Probleem:** Bemestingsgegevens van het vorige jaar zijn niet altijd beschikbaar.
Oplossing: Aannemen dat er geen bemesting was in het vorige jaar¹.

¹ Let wel, dit is niet een correctie die in het definitieve nitraatuitspoelingsmodel standaard wordt gehanteerd. Het is een uitgevoerde correctie in de huidige modelevaaluatie, waarbij niet van elk perceel alle informatie bekend is voor meerdere jaren.

De nawerking van de mest is berekend met **werkingscoëfficiënten** voor drijfmest en overige organische mest. De gebruikte werkingscoëfficiënten zijn afgeleid van het Nederlandse Bemestingsadvies (van Middelkoop *et al.*, 2017): 70% voor varkensdrijfmest, 56% voor rundveedrijfmest, 20% voor overige organische mest en weidemest en 50% voor groenbemester (Zie Bijlage A.2).

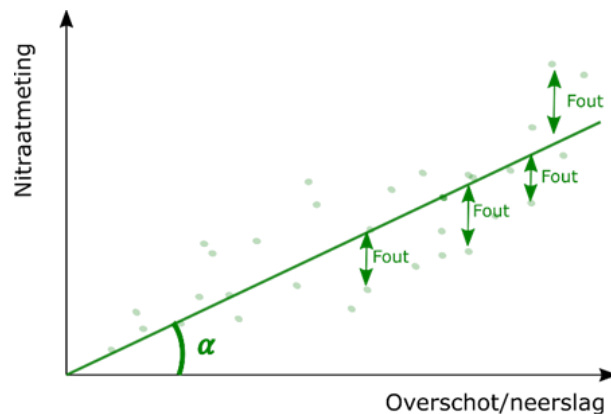
3.2.2 Parametrisatie uitspoelingsfractie

De gewasafhankelijke uitspoelingsfracties zijn geparametriseerd met data die beschikbaar is op perceel-niveau. Hiervoor is gebruik gemaakt van lineaire regressie, waarbij de uitspoelingsfractie wordt geschat met als doel het verschil tussen het gemeten en berekende nitraatgehalte te minimaliseren. Hoe dit gebeurt wordt in Figuur 3.2 geïllustreerd.

Allereerst is berekend wat het nitraatgehalte zou zijn als het totale N-overschot zou uitspoelen; in die situatie is de uitspoelingsfractie gelijk aan één. De relatie tussen deze 'potentiële uitspoeling' en de daadwerkelijke uitspoeling wordt bepaald door de uitspoelingsfractie (de hellingshoek α in de figuur). Via regressie wordt voor elk gewas de juiste helling gekozen door de som van alle fouten te minimaliseren.

In formulevorm: $NO3_{meting} = Uitspoelingsfractie_{gewas} \times N_{overschot} / Neerslag_{overschot}$

De parametrisatie is gedaan voor gewassen waarvan gegevens op perceelsniveau beschikbaar zijn.



Figuur 3.2. Visualisatie van de parametrisatie van de uitspoelingsfractie voor 1 gewas. De richtingscoëfficiënt (α) geeft de uitspoelingsfractie aan: de fractie van overschot/neerslag dat uitspoelt als nitraat.

Omdat er relatief weinig data beschikbaar is om een robuuste schatting te maken zijn de uitspoelingsfracties per gewasgroep ook geschat en vergeleken met de uitkomsten van de schattingen per gewas. Naast de clustering per gewasgroep zijn de uitspoelingsfracties ook geschat voor clusterings voor N-totaal, organische stof, het wel of niet hebben van een nateelt, postcodegebied en de initiële geschatte uitspoelingsgevoeligheid op basis van expertkennis.

3.2.3 Toetsing model

De verschillende opties van de aangepaste modelvarianten zijn getoetst op hoe goed de voorspellingen zijn ten opzichte van de metingen. De modellen worden beoordeeld op betrouwbaarheid (R^2 , voorspellingsfout) en praktische implementatie.

3.3 *Gevoeligheid- en onzekerheidsanalyse model*

Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd na implementatie van de modelaanpassingen om na te gaan welke factoren de meeste invloed hebben op de uitkomst van het model. In de gevoeligheidsanalyse is nagegaan hoe sterk de nitraatvoorspelling veranderd bij een verandering van één modelparameter; dat wil zeggen dat alle andere modelparameters constant blijven en alleen de geselecteerde parameter wijzigt. Deze analyse laat zien hoe gevoelig de nitraatvoorspelling is door veranderingen in inputgegevens. De informatie die de gevoeligheidsanalyse geeft, is nodig om richting te geven aan de verzameling van aanvullende meetgegevens om het model beter en breder toepasbaar te maken.

Aanvullend daarop is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd om te kwantificeren hoe de onzekerheid op de individuele modelparameters en inputgegevens doorwerken op het modelresultaat. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van zogenoemde Monte Carlo simulaties, waarbij het model voor x-tal simulaties wordt doorge-rekend, waarbij de gebruikte modelparameters en invoergegevens met 10% mogen afwijken van de standaard uitgangspunten (de 10% afwijking is een keuze).

4 Resultaten

4.1 Model gevoeligheid

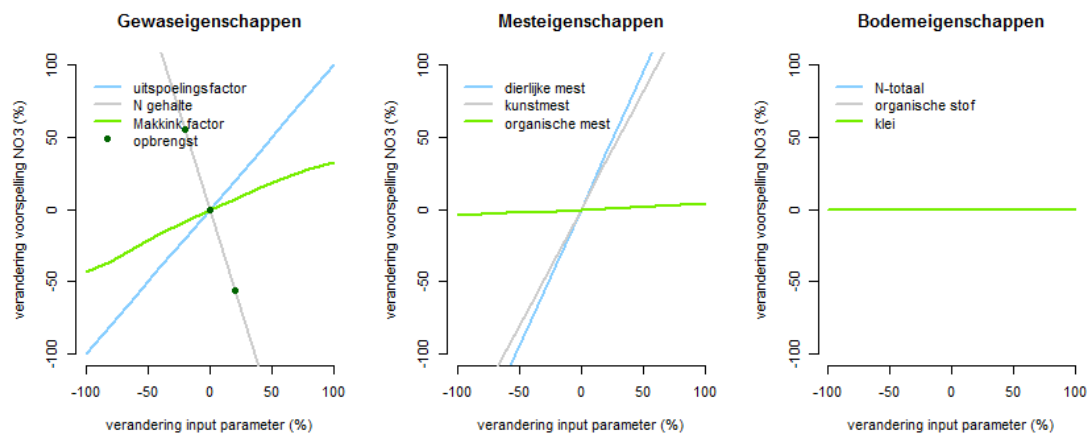
Voor het huidige én vernieuwde nitraatuitspoelingsmodel is uitgezocht hoe het nitraatgehalte reageert op veranderingen in modelparameters en inputgegevens; de zogenoemde gevoeligheidsanalyse. Hierbij is achtereenvolgens gekeken naar:

- de invloed van gewasafhankelijke parameters als de uitspoelingsfractie, het N-gehalte in het geoogste product, de gewasopbrengst en de Makkink-parameters.
- de invloed van mestaanvoer via drijfmest, kunstmest en overige organische mest.
- de invloed van de bodemeigenschappen N-totaal, organische stof en het kleigehalte.

Uitgangspunt is de default situatie voor akkerbouwbedrijven op lössgronden in Limburg, waarbij gebruik wordt gemaakt van de oorspronkelijke uitspoelingsfracties. De relatieve verandering in output is gedefinieerd als de verandering in het gemiddelde nitraatgehalte van alle betrokken bedrijven over de periode 2008-2016 als gevolg van de verandering in de geselecteerde inputparameter. Dit is gedaan voor het huidige en vernieuwde nitraatuitspoelingsmodel. De variatie tussen bedrijven én jaren is in deze analyse niet zichtbaar gemaakt.

4.1.1 Huidig model

Voor het huidig model hebben bodemeigenschappen geen invloed op het voorspelde nitraatgehalte. De gewasopbrengst en het N-gehalte daarentegen zijn negatief en lineair gerelateerd aan de voorspelde N-uitspoeling. Een kleine verandering in de ingevoerde gewasparameters heeft een groot effect op de voorspelling: als de gewasopname van N met 50% daalt, dan verdubbelt de voorspelde N-uitspoeling. Het effect van een verandering in de uitspoelingsfractie is vrijwel lineair: een verhoging in deze fractie zorgt voor een identieke verhoging in de N-uitspoeling. De modelparameters die de N-opname (opbrengst en N-gehalte) en N-aanvoer (kunstmest en drijfmest) hebben de grootste invloed op de modelresultaten.



Figuur 4.1. Resultaten gevoeligheidsanalyse van relevante modelparameters van het huidig model.

Een hogere verdamping (via de Makkink-factor) is positief gerelateerd aan de N-uitspoeling; een toename van de verdamping met 10% zorgt voor een 5% hogere nitraatuitspoeling¹. Omdat de N-balans gebaseerd

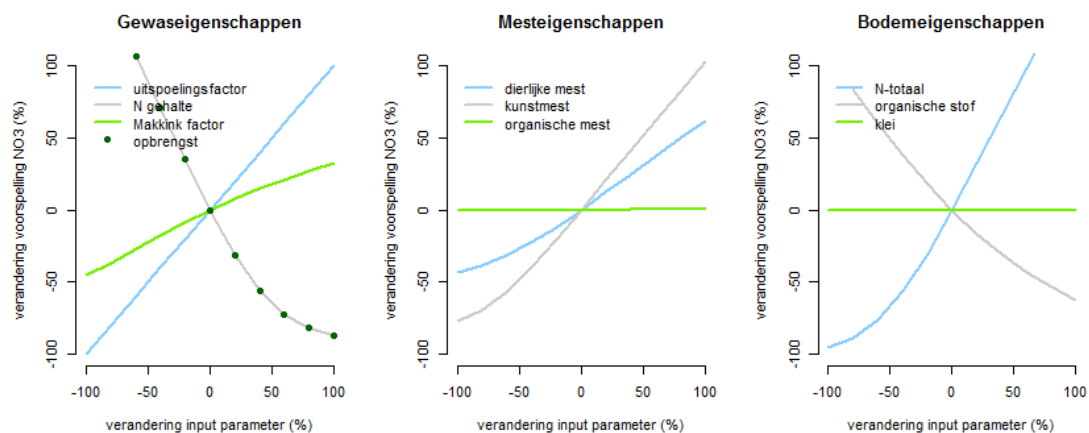
¹ Let wel, dit is het effect van een hogere verdamping gegeven een vaste N-opname. Deze gevoeligheid laat zien hoe de nitraatuitspoeling verandert als *alleen* de verdamping toe zou nemen. In de praktijk heeft het neerslagoverschot (= de hoeveelheid regen die effectief inzijgt) daarmee een identiek maar tegenovergesteld (= afnemend) patroon.

is op N-totaal is er weinig tot geen verschil tussen het effect van aanvoer van stikstof via kunstmest of drijfmest. Een verhoging van de N-aanvoer zorgt in beide situaties voor een verhoging van het NO_3 -gehalte in het bodemvocht.

4.1.2 Vernieuwde model

De resultaten voor het vernieuwde model hebben betrekking op het model S3 waarbij zowel de Makkink-verdamping als het N-overschot op gewasniveau berekend wordt en de aangepaste mestverdelingsmodule wordt toegepast. Dit betekent dat het nitraatgehalte op gewasniveau wordt berekend, waarna deze via het bouwplan wordt geaggregeerd naar bedrijfsniveau. De gevoeligheidsanalyses van de modelvarianten S1 en S2 zijn opgenomen in Bijlage B.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het N-gehalte en de gewasopbrengst negatief gerelateerd zijn aan het nitraatgehalte. Dit is logisch omdat een hogere N-afvoer (resultante van opbrengst en N-gehalte) zorgt voor een lager N-overschot. Het effect wordt kleiner bij hogere opbrengsten en afvoeren. Bij de gegeven uitspoelingsfractie neemt het nitraatgehalte met 5% af als de N-opname met 10% stijgt. De uitspoelingsfractie staat daar haaks tegenover: een stijging van de uitspoelingsfractie met 10% zorgt ook voor een 10% hogere uitspoeling. De gewasafhankelijke Makkink-factoren laten een vergelijkbaar beeld zien als het huidige model; een hogere verdamping zorgt voor een hogere nitraatuitspoeling. De afvlakking van het effect bij hogere verdamping wordt veroorzaakt door het feit dat negatieve neerslagoverschotten niet kunnen voorkomen. Het effect van veranderingen in Makkink-parameters is kleiner dan het effect van veranderingen in N-opname.



Figuur 4.2. Resultaten gevoeligheidsanalyse van relevante modelparameters van vernieuwd model (S3).

Zoals verwacht heeft de aanvoer van drijfmest en kunstmest een positief (en vrijwel lineair) effect op het voorspelde nitraatgehalte. Opvallend is dat het nitraatgehalte sterker beïnvloedt wordt door het gebruik van kunstmest dan door het gebruik van drijfmest. Dit hangt samen met het feit dat de aangevoerde N-kunstmest een direct effect heeft op het N-overschot voor werkzame stikstof terwijl slechts een deel van de aangevoerde N via dierlijke mest uit kan spoelen naar het grondwater. Aanvoer van organische producten als compost heeft een positief maar verwaarloosbaar effect op het berekende nitraatgehalte¹. Veranderingen in het kleigehalte hebben in de huidige analyse geen effect; in de berekening wordt deze

¹ Dit hangt ook af van de beperkte spreiding in de bemestingsgegevens: er zijn geen bedrijven waar grote hoeveelheden compost worden toegediend. Hierdoor blijft het gemiddelde effect van compost op het berekende nitraatgehalte klein.

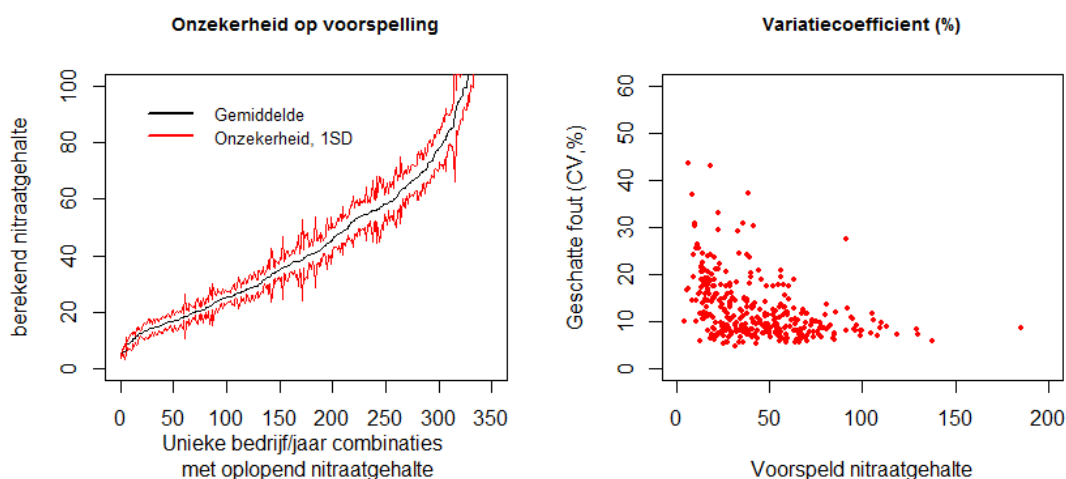
alleen gebruikt voor de berekening van de dichtheid van de bodem. Het verschil in dichtheid door een hoger kleigehalte (binnen lössgronden) is verwaarloosbaar. Bodems met meer organische stof zijn bij een gegeven N-gehalte negatief gerelateerd aan uitspoeling: hogere organische stofgehalten zorgen voor een lagere uitspoeling. Dit wordt gecompenseerd door een contrasterend effect van het N-totaalgehalte. Omdat zowel organische stof als N-totaal in de praktijk sterk aan elkaar gecorreleerd zijn, heffen beide effecten elkaar op.

4.2 Model onzekerheid

Via een onzekerheidsanalyse is in beeld gebracht wat het effect is van onzekerheid op invoerparameters op de nauwkeurigheid van het voorspelde nitraatgehalte. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van zogenoemde Monte Carlo simulaties; hierbij wordt het uitspoelingsmodel een x-tal keer gedraaid met elke keer net iets andere invoergegevens. De volgende invoerparameters mogen daarbij met 5 tot 10% afwijken van de uitgangssituatie (waarbij de afwijking wordt geschat via een uniforme verdeling):

- Gewasafhankelijke parameters mogen met 10% afwijken. Dit zijn achtereenvolgens de uitspoelingsfractie, de gewasopbrengst, het N-gehalte en de Makkink-correctiefactoren.
- Bemestingsafhankelijke parameters: de ingevoerde N-aanvoer via drijfmest en kunstmest (met 5% afwijking) en overige organische mest (met 10% afwijking). Ook de werkingscoëfficiënten voor rundveedrijfmest, varkensdrijfmest, overige organische mest en nawerking van groenbemesters mogen 10% afwijken van de uitgangssituatie.

Voor het aangepaste model (variant S3) varieert het geschatte nitraatgehalte van 0 tot 183 mg NO₃ per liter (Figuur 4.3.). Gemiddeld over alle bedrijven en jaren ligt het nitraatgehalte op 44 mg NO₃ l⁻¹, terwijl voor het grootste deel van de bedrijven het nitraatgehalte varieert tussen 22 en 60 mg NO₃ l⁻¹ (1^e en 3^e kwartiel). Een onzekerheid van 10% op de invoerparameters en –gegevens zorgt voor een gemiddelde onzekerheid op de voorspelling van 11 mg NO₃ l⁻¹. In de onderzochte set varieert de variatiecoëfficiënt grotendeels tussen 8 en 15% (Tabel 4.1; Figuur 4.3.). Dit betekent concreet dat verschillen tussen bedrijven en jaren *die kleiner zijn dan deze onzekerheid* niet significant kunnen worden aangetoond met het nitraatuitspoelingsmodel.



Figuur 4.3. Resultaten onzekerheidsanalyse geschatte nitraatgehalte van model S3. Links zijn de nitraatgehalten geplot voor elke bedrijf/jaar combinatie. Rechts is de variatiecoëfficiënt geplot voor oplopende nitraatvoorspellingen.

Als er geen gebruik wordt gemaakt van de mestverdelingsmodule (model variant S2) dan varieert het nitraatgehalte in het bodemvocht tussen 21 en 51 mg NO₃ per liter. De gemiddelde onzekerheid op de

voorspelling varieert tussen 9 en 17% (1^e en 3^e kwartiel). De onzekerheid van het huidige model is duidelijk groter dan de onzekerheid van de modelvarianten S1, S2 en S3 (zie Tabel 4.1 en Bijlage C). De verschillen tussen de drie modellen S1, S2 en S3 zijn niet significant. Clustering van gewassen heeft weinig effect op de onzekerheid van de voorspelde nitraatuitspoeling.

Tabel 4.1. Samenvattende gegevens over de variatiecoëfficiënt (%) van de verschillende modellen.

Model en gebruikte uitspoelingsfractie	1 ^{ste} kwartiel	Mediaan	3 ^e kwartiel
<i>Huidig model</i>			
Huidige uitspoelingsfractie	18.8	24.9	37.7
Uitspoelingsfractie geschat per gewas	15.9	22.4	36.3
Uitspoelingsfractie geschat per gewasgroep	15.8	22.0	35.7
<i>Model S1</i>			
Huidige uitspoelingsfractie	7.3	9.2	12.7
Uitspoelingsfractie geschat per gewas	7.1	9.0	12.4
Uitspoelingsfractie geschat per gewasgroep	7.5	9.2	12.6
<i>Model S2</i>			
Huidige uitspoelingsfractie	9.1	11.7	16.4
Uitspoelingsfractie geschat per gewas	7.6	9.8	12.3
Uitspoelingsfractie geschat per gewasgroep	7.9	9.3	13.2
<i>Model S3</i>			
Huidige uitspoelingsfractie	8.0	10.4	15.0
Uitspoelingsfractie geschat per gewas	7.5	9.4	12.7
Uitspoelingsfractie geschat per gewasgroep	7.8	9.8	13.1

4.3 Perceelsparametrisatie

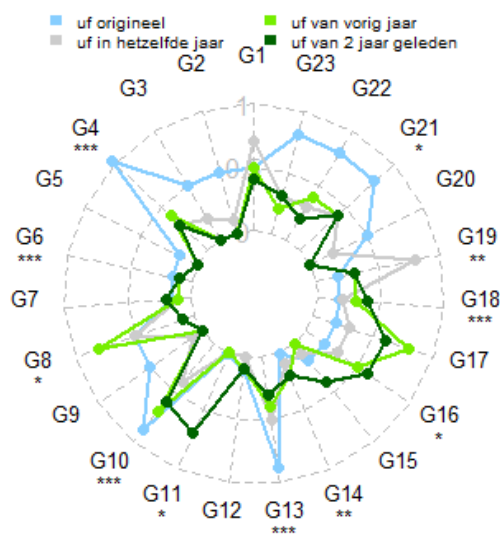
4.3.1 Schatting per gewas

Gebruik makend van de perceelsgegevens van DSG-deelnemers zijn de gewasafhankelijke uitspoelingsfracties geparametriseerd. Dit is gedaan voor alle 23 gewassen die aanwezig waren in de database. De resultaten hiervan worden weergegeven in onderstaand spiderplot. De uitspoelingsfracties zijn geschat voor 6 combinaties en worden vergeleken met de initiële uitspoelingsfracties in het huidige nitraatuitspoelingsmodel. De 6 combinaties bestaan uit combinaties van de diepte van de nitraatmeting en een tijdshorizon tussen N-overschot en N-concentratie:

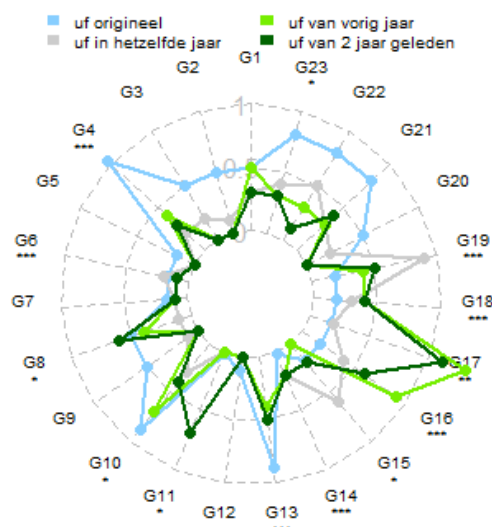
- twee dieptes: ondiep bodemvocht op 150 cm-mv en diep bodemvocht op 250 cm-
- drie tijdshorizons: de uitspoelingsfractie van het N-overschot is gebaseerd op een relatie tussen het huidige nitraatgehalte en het N-overschot van huidige jaar of van het vorige jaar of van twee jaar geleden.

De belangrijkste gewassen waarvoor het mogelijk was om een redelijk robuuste schatting te geven van de uitspoelingsfractie zijn wintertarwe (code G18, n = 66), grasland (code G6, n = 58), snijmais (code G13, n = 32), suikerbiet (code G14, n = 28) en consumptieaardappel (code G4, n = 22), wintergerst (code G16, n = 12) en korrelmais (code G10, n = 11). De geschatte uitspoelingsfracties liggen gemiddeld hoger dan de initiële, op de literatuur gebaseerde, schattingen in het huidig model voor granen (wintertarwe, wintergerst) en suikerbieten. Daarentegen liggen de uitspoelingsfracties gemiddeld lager voor grasland, snijmais en korrelmais, en consumptieaardappelen. Voor alle andere gewassen waren er onvoldoende gegevens om een significante uitspoelingsfractie te parametriseren.

Ondiep bodemvocht (150 cm-mv)



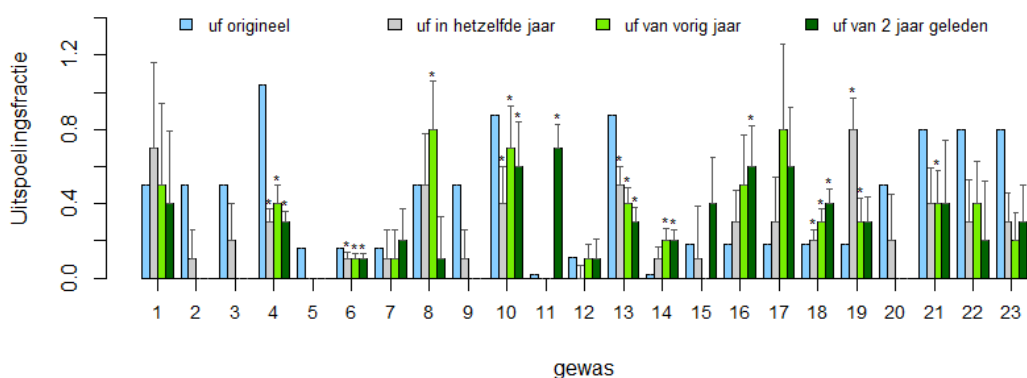
Diep bodemvocht (250 cm-mv)



Figuur 4.3. De geschatte uitspoelingsfracties (uf) per gewas (gewasnummer 1-23, zie Bijlage C) in het ondiepe en diepe bodemvocht. De sterretjes geven het aantal uitspoelingsfracties aan die significant verschillen van nul.

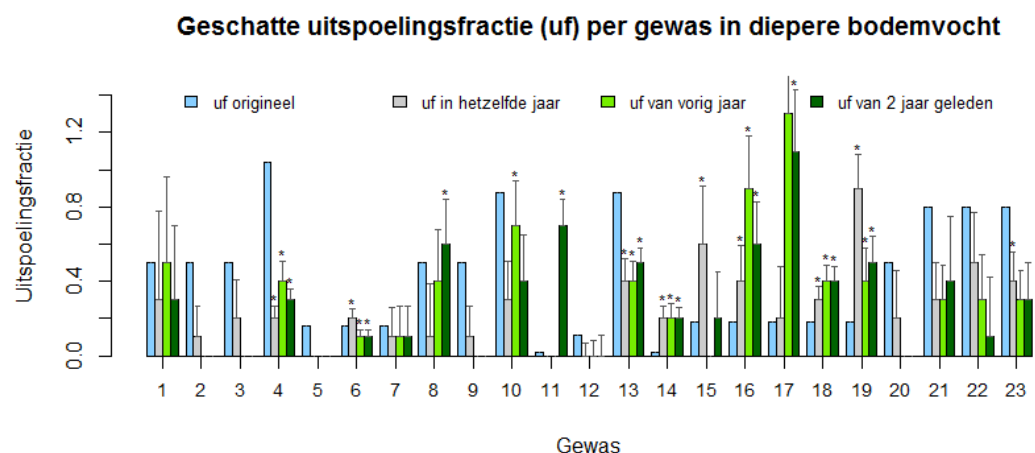
Gemiddelde genomen zijn de verschillen tussen de uitspoelingsfracties klein en niet significant voor het ondiepe bodemvocht (Figuur 4.4). Dit betekent dat de N-verliezen per gewas relatief constant zijn over de tijd. Dit is het sterkst zichtbaar voor gras (gewas 6), korrelmais (gewas 10), zaaiui/ winterui (gewas 21), en wintertarwe (gewas 18). Dit suggereert dat het nitraatgehalte in het ondiepe bodemvocht ofwel sterk samenhangt met de actuele bemesting (in het huidige jaar) ofwel de bemestingsverschillen tussen de jaren zijn relatief klein. Voor een aantal gewassen is er een trend zichtbaar tot hogere uitspoelingsfracties met een langere tijdhorizon tussen N-overschot en daadwerkelijke meting van het nitraatgehalte: de uitspoelingsfracties zijn vergelijkbaar of hoger als het nitraatgehalte wordt gekoppeld aan het N-overschot van twee jaar geleden in plaats van het huidige jaar.

Geschatte uitspoelingsfractie (uf) per gewas in ondiep bodemvocht



Figuur 4.4. De geschatte uitspoelingsfractie per gewas in het ondiepe bodemvocht (150 cm-mv). De exacte waarden zijn weergegeven in Bijlage D.1.

Een vergelijkbaar resultaat wordt zichtbaar als we kijken naar de uitspoelingsfractie voor het diepe bodemvocht.

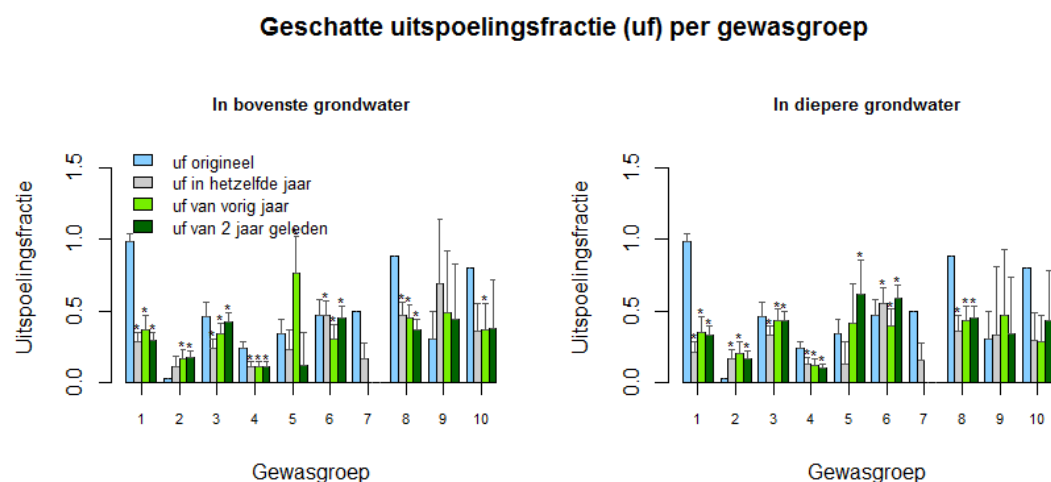


Figuur 4.5. De geschatte uitspoelingsfractie per gewas in het diepere bodemvocht (250 cm-mv). De exacte waarden zijn weergegeven in Bijlage D.1.

De uitspoelingsfracties lijken in veel situaties juist hoger te liggen voor het diepe bodemvocht in vergelijking met het ondiepe bodemvocht. Dit suggereert dat er geen hoge denitrificatieverliezen optreden tijdens transport uit de wortelzone. De statistische modelresultaten van de parametrisatie voor de zes varianten zijn weergegeven in Tabel 4.2.

4.3.2 Schatting per gewasgroep

De gewasgroepen waarvoor een robuuste schatting te geven was van de uitspoelingsfractie zijn aardappelen (code 1, $n = 22$), bieten (code 2, $n = 28$), granen (code 3, $n = 90$), grassen (code 4, $n = 80$), de hamsterpercelen (code 6, $n = 12$) en mais (code 8, $n = 43$). De andere gewasgroepen hadden allemaal drie of minder percelen waardoor de uitspoelingsfractie niet robuust geschat kon worden. Het gaat om de gewassen groenten (code 5, $n = 2$), kruisbloemigen (code 3, $n = 3$), uien (code 10, $n = 2$) en niet-vlinderbloemige groenbemesters (code 9, $n = 1$).



Figuur 4.6. De geschatte uitspoelingsfractie per gewasgroep. De exacte waarden zijn weergegeven in Bijlage D.1.

De geschatte uitspoelingsfracties per gewasgroep worden maar beperkt beïnvloedt door de tijd: de relatie

tussen het N-overschot en het NO_3 -gehalte is namelijk redelijk stabiel (Figuur 4.6.). Ook zijn de verschillen tussen het ondiepe en diepere bodemvocht klein. Dit betekent dat de NO_3 -gehalten in ondiepe en diepe bodemvocht op dezelfde manier beïnvloedt worden door het N-overschot én dat er gedurende het transport weinig tot geen denitrificatieverliezen optreden. Wel neemt de voorspellende waarde toe (en de voorspelfout af) als het nitraatgehalte wordt gerelateerd met het N-overschot van voorgaande jaren. Door gebruik te maken van het voorgaande gewas (en bijbehorende bemesting) is het mogelijk een meer robuuste schatting te geven van de nitraatuitspoeling.

Vergeleken met de schattingen per gewas doen de schattingen per groep het niet duidelijk beter, ondanks dat er meer datapunten binnen elke groep zitten (Tabel 4.2.). De verklaarde variantie daalt licht en de voorspellingsfout blijft nagenoeg gelijk. Voor een deel komt dit door het feit dat er onvoldoende percelen zijn voor specifieke gewassen en gewasgroepen, en de invloed van een paar outliers (zie hiervoor discussie sectie). Tegelijkertijd laten deze resultaten ook zien dat er aanzienlijke variatie bestaat tussen percelen waarop hetzelfde gewas groeit.

Tabel 4.2. Modelresultaten van de parametrisatie per gewas en per gewasgroep voor de zes varianten. Per model variant zijn de verklaarde variantie (R^2) en de standaard voorspellingsfout (SEP, $\text{mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) gegeven.

Gebruikte calibratiedata		UF per gewas		UF per gewasgroep	
Diepte	Periode	R^2 model	SEP	R^2 model	SEP
Ondiep	Zelfde jaar	0.39	54	0.36	54
Ondiep	1 jaar terug	0.40	51	0.39	51
Ondiep	2 jaar terug	0.54	46	0.51	46
Diep	Zelfde jaar	0.40	56	0.36	57
Diep	1 jaar terug	0.42	54	0.38	55
Diep	2 jaar terug	0.61	47	0.57	47

4.3.3 Andere clusteringen

Om meer inzicht te geven in de perceelsspecifieke kenmerken die verantwoordelijk zijn voor de variatie tussen percelen is onderzocht in welke mate de uitspoelingsfracties beïnvloedt worden door bodem en teeltafhankelijke parameters. Daarvoor zijn de uitspoelingsfracties geschat voor verschillende groepen van percelen die variëren in N-totaal, organische stof, het wel of niet hebben van een nateelt, het postco-degebied (als een soort black-box van locatie-afhankelijke parameters) en uitspoelingsgevoelige dan wel ongevoelige teelten. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage D.3. Van deze clusteringen geeft de groepering per gebied de beste resultaten ($R^2 = 0.56$, $\text{SEP} = 48 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$). De clusteringen geven *als geheel*¹ geen beter resultaat vergeleken met de schattingen op gewasniveau: de verklaarde variantie is gemiddeld <50% en de standaard voorspellingsfout is gemiddeld >50 $\text{mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$.

Uit deze geclusterde analyse wordt duidelijk dat:

- gebieden met een hoger gehalte aan N-totaal of organische stof in de bodem een lagere uitspoelingfractie hebben voor zowel het ondiepe als het diepe bodemvocht. Percelen met een hoger N-totaalgehalte hebben een hoger N-overschot (gemiddeld $+30 \text{ kg N ha}^{-1}$ door een hogere N-levering), een lager *gemeten* nitraatgehalte in het ondiepe bodemvocht (gemiddeld $-18 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) en een hoger *gemeten* nitraatgehalte in het diepere bodemvocht (gemiddeld $+7 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$). De hogere N-levering én het daarmee samenhangende N-overschot is echter groter dan de daling

¹ Interacties tussen deze clusteringen (bijvoorbeeld een combinatie van gewas en bodem) is niet onderzocht.

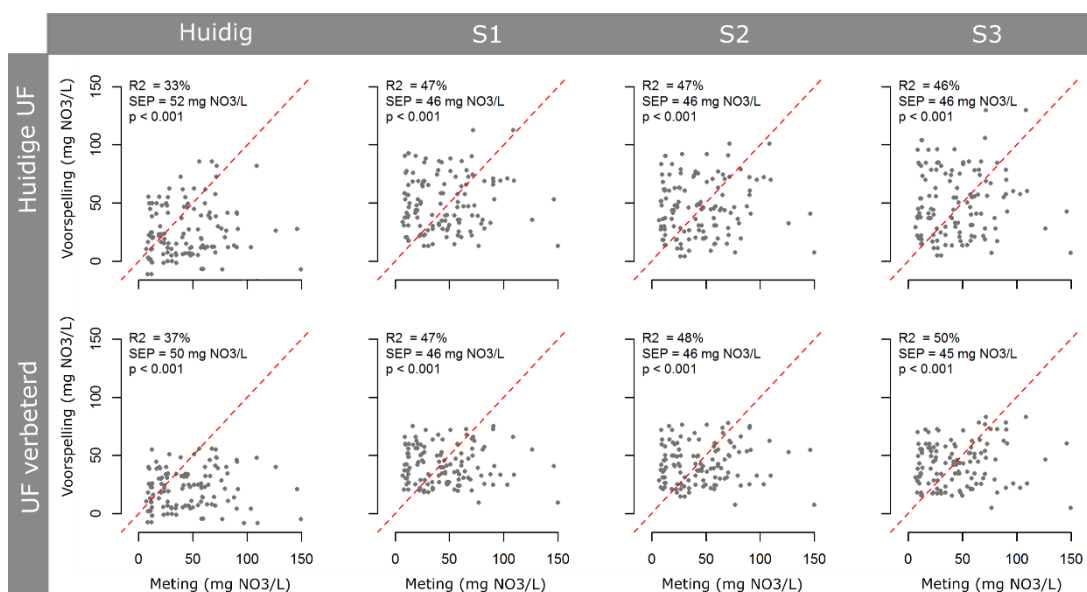
of lichte stijging in het bodemvocht. Gezamenlijk zorgt dit er voor dat de uitspoelingsfractie lager is in gebieden met een hogere N-levering. Er is geen eenduidige relatie met landgebruik tussen beide groepen, al hebben percelen met een laag N-totaalgehalte relatief vaker suikerbieten, consumptieaardappelen en snijmais. Wel opvallend is dat percelen met een hoger N-totaalgehalte relatief meer varkensdrijfmest krijgen.

- gebieden waarin een nateelt aanwezig is, gekenmerkt worden door een lager N-overschot en ook een lagere N-uitspoeling. De N-aanvoer is in beide situaties vergelijkbaar ($285 \text{ á } 300 \text{ kg N ha}^{-1}$) maar de N-afvoer is structureel hoger ($+75 \text{ kg N ha}^{-1}$) in gebieden met een nateelt. De daling in het bijbehorende N-overschot correspondeert met een verlaging in het gemeten nitraatgehalte in het ondiepe bodemvocht ($6 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ lager) en een verhoging in het NO_3 gehalte in het diepe bodemvocht. Omdat de daling in het berekende N-overschot veel groter is dan de verandering in het gemeten nitraatgehalte, wordt de geschatte uitspoelingsfractie hoger; er moet namelijk een relatief groter deel van het werkzame N-overschot uitspoelen om het lagere nitraatgehalte te verklaren.
- bij een groepering van gewassen op basis van hun uitspoelingsgevoeligheid (klassen hoog, laag, en onbekend) de uitspoelingsfractie voor het ondiepe bodemvocht gemiddeld afneemt van 0,8 voor uitspoelingsgevoelige gewassen tot 0,2 voor minder tot niet uitspoelingsgevoelige gewassen. Voor het diepere bodemvocht is de daling kleiner; de uitspoelingsfractie neemt af van 0,4 tot 0,3. Het gemiddelde gemeten nitraatgehalte bij uitspoelingsgevoelige gewassen ligt gemiddeld op 50 tot $70 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ terwijl deze voor de minder uitspoelingsgevoelige gewassen varieert tussen 17 en $30 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$.

4.4 **Bedrijfstoetsing**

De modellen zijn getoetst door de nitraatvoorspellingen op bedrijfsniveau te vergelijken met de metingen die gedaan zijn op de bedrijven (Figuur 4.7.). Een grote spreiding is zichtbaar voor zowel lage als hoge nitraatgehalten. De aanpassingen aan het uitspoelingsmodel (varianten S1, S2 en S3) geven een betere voorspelling van het nitraatgehalte. De gekozen mestverdeling voor variant S3 levert vooralsnog geen substantiële verbetering op, wat verklaart kan worden door onrealistische aannames over mestverdeling over de gewassen (zie discussie sectie).

Het huidige uitspoelingsmodel gebaseerd op de bodembalans voor N-totaal zorgt voor een structurele onderschatting van het gemeten nitraatgehalte. In meer dan 50% van de situaties wordt het nitraatgehalte onderschat. Deze onderschatting kan op bedrijfsniveau (d.w.z., het gemiddelde van meerdere percelen) oplopen tot meer dan $100 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$. Het gebruik van een werkzame N-balans (en de bijbehorende aannames en rekenregels zoals toegepast in dit rapport) zorgt gemiddeld voor een betere schatting van het nitraatgehalte, maar zorgt er niet voor dat extreme uitschieters niet meer voorkomen. Wel zitten de uitschieters altijd aan dezelfde kant: de gebruikte balansbenadering kan de *hoge metingen* niet verklaren met een gewasafhankelijke uitspoelingsfractie. Dit betekent dat er percelen zijn waar er sprake is van sterke heterogeniteit met extreme uitschieters (zie discussie sectie). Deze percelen zijn wel meegenomen in onderstaande evaluatie. Als deze uitschieters niet mee worden genomen in de toetsing dan stijgt de verklarende variantie van het uitspoelingsmodel naar 60% en daalt de gemiddelde voorspellingsfout tot $34 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$.



Figuur 4.7. Voorspelde nitraatgehalten ten opzichte van de metingen (bedrijfsmediaan) voor het huidige model, en modelvarianten S2 (werkzame-N), S3 (werkzame-N plus correctie neerslagoverschot) en S3 (werkzame-N plus correcties voor neerslagoverschot en mestverdeling). De data is van zowel het diepe als het ondiepe bodemvocht met 2 jaar tijdsverschil tussen het N-overschot (waar de voorspelling op gebaseerd is) en de daadwerkelijke meting.

Wanneer de voorspelde nitraatgehalten in de modelvarianten S1, S2 en S3 wordt vergeleken met de schattingen van het huidige uitspoelingsmodel, dan valt op dat vrijwel alle nitraatgehalten hoger uitkomen. Dit hangt samen met:

- De invoer van gewasopbrengsten. Bij de vertaalslag van een bedrijfsbalans naar bodembalans is het mogelijk dat het werkelijke N-overschot niet goed in beeld wordt gebracht voor gras, maïs en hamsterpercelen. De modelvarianten S1, S2 en S3 werken met een balans voor werkzame stikstof en gebruiken een default gewasopname bij ontbrekende of missende invoergegevens.
- de inbreng van bodemprocessen in het uitspoelingsmodel. De varianten S1, S2 en S3 houden rekening met de N-nawerking van dierlijke mest, compost, en groenbemesters. Ook wordt er rekening gehouden met de N-levering van de bodem. Dit is in het huidige model niet het geval, waardoor de geschatte N-verliezen per definitie lager uitkomen.

In Bijlage E staan de resultaten voor de toetsing van de modellen voor zowel het ondiepe en diepe bodemvocht én het effect van tijd waarop een verandering van N-overschot zichtbaar wordt in het nitraatgehalte in het bodemvocht (hetzelfde jaar, één jaar of twee jaar). Ook worden de resultaten weergegeven voor de bedrijfstoetsing voor zowel de situatie dat gewasafhankelijke uitspoelingsfractie als de geclusterde uitspoelingsfractie *per gewasgroep* wordt gebruikt.

5 Discussie & Aanbevelingen

Het voorspellen van het gemiddelde nitraatgehalte in het bodemvocht voor een agrarisch bedrijf is uitermate complex, omdat allerlei processen van invloed zijn op het nitraatgehalte én er sprake is van sterke ruimtelijke variatie. Binnen een bedrijf is er bijvoorbeeld sprake van variatie in bouwplan, bodemvruchtbaarheid, stikstofbemesting (in zowel mestvorm als mestgift en gebruikte toedieningstechnieken), N-levering en waterbeschikbaarheid. Binnen een perceel is er daarnaast sprake van ruimtelijke variatie in N-aanvoer, uitspoelingsgevoeligheid van water en stikstof, retentie in microbiële biomassa, gewasopname in relatie tot bewortelbaarheid, mineralisatie en denitrificatie.

De massabalans waarop nitraatuitspoelingsmodellen zijn gebaseerd, versimpelt de werkelijkheid door te focussen op de meest belangrijke factoren die de nitraatuitspoeling op bedrijfsniveau beïnvloeden. Dat is een terechte keuze, maar het betekent ook dat elke voorspelling samengaat met onzekerheid. Een goed en breed inzetbaar nitraatuitspoelingsmodel probeert deze onzekerheid te verkleinen en leidt niet tot een structurele onder- dan wel overschatting van de nitraatuitspoeling. Dit betekent concreet dat een bedrijfsmodel:

- rekening moet houden met teelt- dan wel gewasspecifieke kenmerken, omdat het gewas een belangrijke invloed heeft op de N-opname over de tijd, de bewortelbare diepte waaruit stikstof wordt opgenomen en de gegeven N-bemesting (in mesttype en hoeveelheid).
- rekening moet houden met teeltoverstijgende factoren zoals de inzet van groenbemesters, afbraak van gewasresten uit een voortelt en zogenoemde hamsterpercelen.
- rekening moet houden met de factor tijd, omdat er sprake is van transport van water (en stikstof) richting het grondwater. De snelheid waarmee dat gebeurt, hangt af van weersomstandigheden, waterretentie en de (on)verzadigde doorlatendheid van de bodem.
- bij voorkeur ook rekening moet houden met variatie in bodemfactoren, omdat deze bepalen welk deel van het N-overschot uitspoelt richting het bodemvocht en grondwater, dan wel via andere processen verloren gaat (zoals denitrificatie en ammoniakverluchting).

De hier geteste nitraatuitspoelingsmodellen variëren in de mate waarin bodem, teelt- en gewasspecifieke factoren worden meegenomen in de berekening van het nitraatgehalte in het bodemvocht. Het huidige model (dat gebaseerd is op een N-totaalbalans) legt een lineaire relatie tussen het bedrijfsgemiddeld N-overschot en een bedrijfsgemiddeld en gewasafhankelijk neerslagoverschot. Dit betekent wel dat:

- er een discrepantie zit in de modelsystematiek, omdat het aanneemt dat alle gegeven stikstof (zowel organisch als anorganisch) beschikbaar komt voor uitspoeling én tegelijk gebruik gemaakt wordt van uitspoelingsfracties waarbij het *huidige* N-overschot met terugwerkende kracht gekoppeld wordt aan het *huidige* nitraatgehalte. Dat wil zeggen: het potentieel verlies richting het grondwater (in de toekomst) wordt verdisconteerd in de schatting voor de huidige N-uitspoeling.
- de gebruikte uitspoelingsfracties (zoals deze afgeleid zijn vanuit proefboerderijen en het LMM) alleen inzetbaar zijn voor bedrijven met een vergelijkbaar bouwplan én mestkeuze én voor de extrapolatie naar de toekomst moeten werken met een meerjarig gemiddeld neerslagoverschot.
- het model geen rekening houdt met eventuele bodemopbouw door de aanvoer van niet-werkzame stikstof, waardoor bedrijven die veel effectieve organische stof aanvoeren negatief beoordeeld worden op het effect van bemesting op nitraatuitspoeling.
- er weinig rekening wordt gehouden met ruimtelijke differentiatie in mesttoediening en N-onttrekking over het bedrijf.

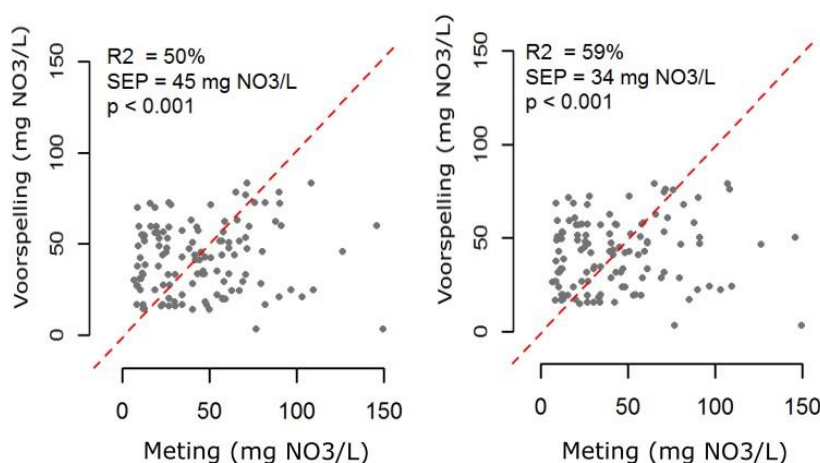
Dit heeft als consequentie dat het erg lastig is om een koppeling te leggen tussen de agrarische praktijk

van bemesting en de daadwerkelijke N-uitspoeling op de bedrijven. Wel biedt het inzicht in de N-efficiëntie van een agrarisch bedrijf: het maakt duidelijk welk deel van de gegeven stikstof ook daadwerkelijk wordt benut voor gewasproductie. En indirect geeft het daarmee ook een kritische reflectie op de uitgevoerde bemesting.

Door de introductie van een werkzame N-balans kan beter rekening worden gehouden met de daadwerkelijke stikstofprocessen die spelen in de bodem én sluit het berekende nitraatgehalte beter aan bij de variatie in voorkomende bemestingsvormen. Het gebruik van werkingscoëfficiënten is goed geborgd en sluit aan bij zowel het bemestingsbeleid als de agronomische bemestingspraktijk. Deze studie heeft laten zien dat het tijdsaspect waarop de uitspoelingsfracties geparametriseerd worden, relatief weinig effect heeft door de variatie die binnen percelen aanwezig is. Dit bevestigt dat denitrificatie op lössgronden een relatief klein effect heeft op de nitraatuitspoeling en dat gewasopname én bemesting de belangrijkste factoren zijn die het nitraatgehalte bepalen. Door het gebruik van gewasafhankelijke uitspoelingsfracties wordt aangesloten bij aanwezige variatie in bemesting, groenbemesters en neerslagoverschot. Voor een gebruiker van een nitraatuitspoelingsmodel zijn hiervoor niet per definitie meer invoergegevens nodig.

Aanbeveling 1. Het gebruik van een balansbenadering voor werkzame stikstof sluit beter aan bij de processen in de bodem én de agrarische praktijk.

Naast de verandering in balansbenadering van N-totaal naar N-werkzaam, is het mogelijk ook meer rekening te houden met ruimtelijke variatie binnen het bedrijf in zowel de toekenning van groenbemesters als de mestverdeling. De huidige studie heeft laten zien dat het hierdoor mogelijk is om beter aansluiting te krijgen bij de daadwerkelijke variatie tussen percelen. Het beschreven effect is nog relatief klein, wat mede veroorzaakt werd door de aannames voor mestverdeling. De ontwikkelde module biedt echter de mogelijkheid om dit per gewas te specificeren, waardoor de totale bedrijfshoeveelheid op een realistische manier wordt verdeeld over de aanwezige gewassen. Ter indicatie is dit getoetst door de gebruikte parameters in modelvariant S3 aan te passen met gebiedsspecifieke informatie van Delphy (Figuur 5.1.). De nauwkeurigheid van de voorspelling stijgt met 9% en de afwijking daalt met 25%. Dit bevestigt dat het gebruik van een realistische verdeling van mest (bekend op bedrijfsniveau) over de gewassen zorgt voor een betere voorspelling van het nitraatgehalte.



Figuur 5.1. Geschatte en gemeten nitraatuitspoeling voor het uitspoelingsmodel met de huidige mestverdeling zoals gebruikt in model variant S3 (links) en de aan de praktijk aangepaste verdeling (rechts).

Door aan te sluiten bij de variatie in bemesting over de gewassen is het dus mogelijk een betere voorspelling te geven van de nitraatuitspoeling. Dit kan zowel door het gebruik van een mestverdelingsmodule als door deze invoer aan de gebruiker te vragen.

Aanbeveling 2. Als bedrijfsinformatie wordt gebruikt voor een schatting van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte is het goed om rekening te houden met de verdeling van mest over de gewassen.

De modelvarianten S1, S2 en S3 maken gebruik van een schatting van de N-mineralisatie. In de praktijk is dit een belangrijk proces dat stikstof levert voor gewasopname. De hoeveelheid die beschikbaar komt is in de praktijk erg moeilijk te schatten dan wel te meten. Om deze reden is het te overwegen om deze aanvoerpost op de werkzame N-balans te verwijderen. In de huidige studie maken we gebruik van generieke bodeminformatie (op basis van postcodegemiddelde bodemgegevens van Eurofins) die ingezet wordt om via een eenvoudig mineralisatiemodel een jaargemiddelde N-levering te schatten. Hierbij wordt rekening gehouden met de kwaliteit van organische stof. De gebruikte modelsystematiek is ontwikkeld door Wageningen Universiteit. Op de gevolgde systematiek is veel kritiek mogelijk. Voordeel van de gekozen systematiek is dat de gebruiker geen informatie hoeft in te voeren (de gegevens zijn generiek beschikbaar) en er is tegelijkertijd wel de mogelijkheid om binnen Limburg rekening te houden met verschillen in bodemkwaliteit (organische stof en N-totaal). De absolute hoogte van de N-levering is daarbij minder relevant, omdat deze verdisconteerd wordt in de uitspoelingsfractie. Juist door het toevoegen van deze bodemcomponent is het mogelijk om aan te sluiten bij gebiedsspecifieke kenmerken.

Aanbeveling 3. Toevoegen van een generieke schatting van de N-levering doet recht aan aanwezige variatie tussen bedrijven, maar is niet noodzakelijk.

In het huidige nitraatuitspoelingsmodel wordt een bedrijfsoverschot voor stikstof uitgerekend. Wanneer de nitraatuitspoeling op gewasniveau wordt berekend (zoals dat gedaan is voor de modelvarianten S1, S2 en S3), is het van cruciaal belang om de aanwezige groenbemesters met de daarbij behorende bemesting toe te kennen aan de juiste gewaspercelen. In de huidige studie wordt zowel de gewasopname als de bemesting toegekend aan het hoofdgewas. Dit zorgt voor 'rare' bijeffecten, zoals hogere uitspoelingsfracties voor granen (vooral wintertarwe) in vergelijking met andere akkerbouwgewassen. Het is daarom aan te bevelen om de bemesting en opname van groenbemesters apart te parametriseren. Hetzelfde geldt voor tijdseffecten in bemesting: deze kan namelijk worden toegediend in het voor- en najaar.

Echter, hier komt een eerste bottleneck bovendrijven van de huidige modelbenadering. De gekozen rekensystematiek verdeelt bedrijfsinformatie over gewassen en doet daarmee een uitspraak over het N-overschot, de N-opname en N-uitspoeling in hetzelfde jaar¹. In werkelijkheid is er sprake van gewas-combinaties waarbij het N-overschot onder het hoofdgewas beïnvloed wordt door het opnamepatroon en de bemesting van het voorgewas. Dit is de consequentie van de huidige gekozen systeemgrenzen van de massabalansbenadering. Door rekening te houden met jaaroverstijgende effecten is het naar alle waarschijnlijkheid mogelijk om de nauwkeurigheid van de voorspelling te vergroten. De uitgevoerde clusteranalyse lijkt dat te bevestigen. De meest praktische en robuuste oplossing hiervoor is om een tweede werkingscoëfficiënt te introduceren waarmee het vrijkomen van stikstof verplaatst kan worden naar het opvolgende jaar².

¹ Opmerkelijk genoeg gebeurt dit niet voor het neerslagoverschot: deze wordt op maandniveau bepaald en geaggregeerd op jaarniveau *voordat* de nitraatuitspoeling wordt berekend.

² Let wel, deze aanpassing is niet gebruikt in de evaluatie van het nitraatuitspoelingsmodel zoals beschreven in dit rapport. De gerepresenteerde uitspoelingsfracties zullen veranderen als deze aanpassing wordt doorgevoerd.

Concreet betekent dit dat de aangevoerde stikstof in vijf fracties wordt verdeeld:

- fractie 1, de werkzame N die beschikbaar komt voor gewasopname dit jaar
- fractie 2, de werkzame N die beschikbaar komt voor gewasopname volgende jaar
- fractie 3, de stikstof die via vervluchting verdwijnt
- fractie 4, de stikstof die via mineralisatie in het volgende jaar beschikbaar komt
- fractie 5, de stikstof die niet binnen twee jaar na toediening beschikbaar komt

In formulevorm:

$$f_1 = wc_{vdm}$$

$$f_2 = wc_{ndm}$$

$$f_3 = 0.05$$

$$f_4 = wc_{om} * (1 - wc_{vdm} - wc_{ndm} - 0.05)$$

$$f_5 = (1 - wc_{om}) * (1 - wc_{vdm} - wc_{ndm} - 0.05)$$

Hierbij geldt:

$$f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 = 1$$

$$f_1 + f_2 = wc_{dm}$$

waarbij wc_{vdm} staat voor de werkingscoëfficiënt bij voorjaarstoediening, wc_{ndm} voor de werkingscoëfficiënt bij najaarstoediening, en wc_{om} de werkingscoëfficiënt voor organische bemesting. Als bemesting in het voorjaar wordt uitgevoerd, dan is wc_{ndm} gelijk aan nul. Ook geldt dat de som van de beide werkingscoëfficiënten f_1 en f_2 gelijk is aan de gangbare definitie van de werkingscoëfficiënt, namelijk het deel van de aangevoerde stikstof dat beschikbaar komt voor gewasopname in de teelt waarvoor bemest wordt. Via deze systematiek is het dus mogelijk om rekening te houden met verschillen tussen voor- en najaarsbemesting, en kan het berekende overschot gekoppeld worden aan de juiste hoofdteelt.

Aanbeveling 4. In het nitraatuitspoelingsmodel is het belangrijk om rekening te houden met jaar én teelt- overstijgende effecten. Maak hiervoor gebruik van een najaarswerkingscoëfficiënt.

De huidige studie laat zien dat het mogelijk is om de nitraatuitspoeling van een gegeven bouw- en bemestingsplan in beeld te brengen. De belangrijkste factoren die van invloed zijn op het berekende nitraatgehalte, zijn de aan- en afvoer van stikstof (dat wil zeggen gewasopname en bemesting). De geschatte uitspoelingsfracties zijn de resultante hiervan, omdat ze geparametriseerd zijn op verzamelde gegevens van bedrijven uit het DSG-meetnet. Dit betekent ook dat de uitspoelingfracties alleen in deze context gebruikt kunnen worden: de gewasafhankelijke uitspoelingsfracties zijn van toepassing op een werkzaam N-overschot op bedrijven die liggen op lössgronden in Limburg. In tegenstelling tot de bemestingsgegevens zijn de gewasopnames vaak gebaseerd op schattingen van productie én generieke tabellen over stikstofgehaltes. Het stikstofgehalte in de gewassen staat daarmee los van de uitgevoerde bemesting. Omdat dit één van de belangrijkste sturende factoren is, is het belangrijk dat deze model-parameter goed geschat wordt. Gegeven de eenvoud van de massabalansbenadering is het aan te bevelen om dit eenmalig (of om de x-jaar) te onderbouwen met metingen. Een alternatief is om gebruik te maken van modelrelaties afgeleid van (historische) bemestingsproeven. Als blijkt dat de gewasopname voor stikstof sterk afhankelijk is van de N-bemesting *binnen de huidige bemestingspraktijk*, dan is het zinvol om deze interactie toe te voegen aan het nitraatuitspoelingsmodel.

Aanbeveling 5. Onderbouw de gebruikte N-gewasgehalten met metingen, en voeg indien nodig een interactie tussen N-bemesting en N-gewasopname toe aan het nitraatuitspoelingsmodel.

Een bottleneck in beide benaderingen (voor zowel totaal-N als werkzaam-N) is de aggregatie van gewasafhankelijke metingen/ schattingen tot een nitraatgehalte op bedrijfsniveau. Het is evident dat de daadwerkelijke bemesting, neerslag en verdamping, en gewasgroei plaatsvindt op een perceel, en dat de mate waarin de stikstof kan uitspoelen kan variëren tussen (maar ook binnen) percelen. Zoals deze studie laat zien is het mogelijk om deze perceelsvariatie daadwerkelijk mee te nemen in de schatting van gewasafhankelijke uitspoelingsfracties. Tegelijkertijd laat het zien dat er een aanzienlijke onverklaarbare variatie overblijft die vooralsnog niet gekoppeld kan worden aan een specifieke activiteit of bodemeigenschap.

Een deel van deze onverklaarbare variatie wordt veroorzaakt door onrealistische metingen. Onrealistisch betekent in dit geval *niet* dat de meting onjuist is (het blijft namelijk een echte meting) maar dat deze puntmeting niet één-op-één geschikt is voor inbedding binnen een bedrijfsmodel. Daarom is het belangrijk om deze onrealistische metingen al helemaal vooraf (voordat de modellering begint) minder invloed te geven op het bedrijfsgemiddelde. Dat is in de huidige studie niet gebeurd, omdat de parametrisatie uitgevoerd is op *gemiddelde* perceelsmetingen; in de praktijk zijn dit gemiddelden (*arithmetic mean*) van drie herhalingen. Via alternatieve schattingen van het gemiddelde, is het mogelijk om onrealistische metingen van minder invloed te laten zijn op de berekening van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte. De metingen worden daarmee niet weggegooid (het blijven daadwerkelijke metingen) maar hun invloed op het geschatte nitraatgehalte wordt kleiner.

Dat dit een groot effect kan hebben, blijkt uit het volgende. In de huidige analyse komt in 2 tot 3% van de percelen een gemiddeld nitraatgehalte voor dat groter is dan $150 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$, met zelfs uitschieters tot bijna $300 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$. Uitgaande van een gemiddeld neerslagoverschot en een uitspoelingsfractie van 75% (wat een worst-case schatting is voor een bedrijfsgemiddelde) zou dit betekenen dat er sprake is van een werkzaam N-overschot van meer dan 235 kg N ha^{-1} . Dit staat erg ver af van de agrarische praktijk, zeker voor de betrokken ondernemers in de grondwaterbeschermingsgebieden van WML. Als deze percelen niet worden meegenomen in de toetsing van het uitspoelingsmodel stijgt de R^2 met minimaal 10% en de gemiddelde voorspellingsfout daalt met 25%.

Aanbeveling 6. Bereken een perceelsgemiddelde door het gebruik van alternatieve rekenmethoden waarbij outliers minder invloed hebben.

De uitgevoerde onzekerheidsanalyse laat zien dat op elke schatting van het nitraatgehalte een intrinsieke onzekerheid zit, omdat de gebruikte modelparameters niet voor 100% nauwkeurig vastgesteld kunnen worden. De huidige studie laat zien dat de onzekerheid op gewasopname, verdamping en bemesting (waaronder de werkingscoëfficiënten) ervoor zorgt dat verschillen kleiner dan $10 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ niet significant aantoonbaar zijn te maken met een uitspoelingsmodel. Het is belangrijk om deze onzekerheid in de communicatie richting gebruikers mee te nemen.

Aanbeveling 7. In de communicatie richting gebruikers is het belangrijk om rekening te houden met de onzekerheid op zowel metingen als modelvoorspellingen.

6 Literatuur

- Bartholomeus en Witte (2013) Gewasfactoren en potentiële verdamping: geen robuuste combinatie. KRW rapport 2013.211(s), 45 pp.
- Dekker, P. H. M. et al. (2003) Scenariostudie - Maatregelen voor de akkerbouw op lössgrond om met inzet van dierlijke mest aan Minas-en nitraatnormen te voldoen, Lelystad: PPO, Business-unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente.
- Fraters, B. et al. (2007) De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. RIVM-rapport 680716002/2007, 83 pp.
- Fraters, B. et al. (2012) De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond-en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. Herberekening van uitspoelfracties. RIVM-rapport 680716006/2012, 35 pp.
- Hack-ten Broeke, M. J. D. (2004) Ontwikkeling van een indicator om te sturen op nitraat: gegevens en regressieanalyse op basis van drie eerste meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003), Alterra, Wageningen.
- Janssen, B. H. (1996) Nitrogen mineralisation in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, 39-45.
- KNMI (2017) KNMI Weerstation Maastricht. Available at: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>.
- Ros et al. (2014). Kennisbundeling nitraatmeting bodemvocht lössgronden. Vergelijking meetprotocollen WML, LMM en BVM. NMI-rapport 1559.N.14., 29 pp.
- van Middelkoop, J. C. et al. (2017) Bemestingsadvies Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen.
- Velders, G. J. M. et al. (2013) Grootschalige concentratie-en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2013, RIVM-rapport 680362003.
- Velthof, G. L. and Fraters, B. (2007) Nitraatuitspoeling in duinzand en lössgrond. WOt-rapport 54, 36 pp.
- Velthof, G. L. et al. (2009) Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland, Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 70, 180 pp.

Bijlage A. Modelbeschrijving

A.1 Rekenregels huidig model

Het huidige model voor de voorspelling van het NO_3^- -gehalte van het bodemvocht is gebaseerd op een N-balans op bedrijfsniveau waarbij het nitraatgehalte een functie is van het stikstof- en neerslagoverschot.

$$\text{NO}_3^- [\text{mg/L}] = EC \times UF_{\text{bedrijf}} \times N_{\text{overshot}} / P_{\text{overshot}}$$

waarbij EC staat voor EenheidsConversie (van kg N m^{-3} naar $\text{mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$), UF_{bedrijf} voor de bedrijfsgeaggregeerde gewasafhankelijke uitspoelingsfractie (d.w.z. het deel van het N-overschot dat uitspoelt naar het grondwater), het N_{overshot} gelijk is aan het verschil tussen de aangevoerde en afgevoerde stikstof op bedrijfsniveau en het neerslagoverschot (P_{overshot}) gelijk is aan het verschil tussen neerslag en de referentie gewasverdamping, rekening houdend met gewasspecifieke verdampings-factoren.

De onderdelen van deze massa-balans worden als volgt berekend.

De uitspoelingsfractie voor het bedrijf, eenheidsloos:

$$UF_{\text{bedrijf}} = \sum (UF_{\text{gewas}} \times \text{Areaal}_{\text{gewas}} / \text{Areaal}_{\text{totaal}})$$

De EenheidsConversie:

$$EC = 1000 \times (14 + 3 \times 16) / 14$$

Het N_{overshot} voor totaal stikstof op bedrijfsniveau, in kg N ha^{-1} :

$$N_{\text{overshot}} = \frac{N_{\text{in}} - N_{\text{uit}}}{\text{Areaal}_{\text{bedrijf}}}$$

Het P_{overshot} op bedrijfsniveau, in $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$:

$$P_{\text{overshot}} = \frac{\sum \text{Neerslag}_{\text{gewas}} - \sum (ET_{\text{ref}} \times \text{Makkink}_{\text{gewas}})}{\text{Areaal}_{\text{bedrijf}}}$$

Hierin wordt het N_{overshot} op bedrijfsniveau afgeleid van de aangevoerde (N_{in}) en afgevoerde (N_{uit}) stikstof, zowel in organische als minerale vorm. Het neerslagoverschot (P_{overshot}) wordt op bedrijfsniveau berekend door de som van alle neerslag te corrigeren voor de potentiële gewasverdamping, afgeleid van de gemeten evapotranspiratie (ET_{ref}) voor een goed gesloten referentiegewas ($\text{Makkink}_{\text{gewas}}$) met bijbehorende gewasafhankelijke correctiefactoren ($\text{Makkink}_{\text{gewas}}$)¹. Het neerslagoverschot wordt per maand berekend waarbij een negatief overschot (=tekort) op 0 wordt gesteld.

¹ Er is geen goed onderbouwde waarde voor de verdampingsfactor van braak land beschikbaar. De gebruikte Makkink-factoren zijn oud en voldoen alleen goed voor betaalde grond (pers. commentaar Janjo de Haan, 2016). In andere projecten wordt voor braak land met verschillende waardes gerekend (0,30 en 0,45 in de studie van Bartholomeus uit 2013, en 0,54 in een studie uit Vredepeel). Besloten is om met factor van 0,36 als het gemiddelde van de beschikbare factoren te werken.

In het model worden de volgende onderdelen meegenomen: N-aanvoer via bemesting, N-mineralisatie, N-depositie¹, N-fixatie, N-vervluchting en N-opname door gewassen en groenbemesters. De verschillende aan- en afvoerposten van stikstof worden als volgt geschat:

De N-aanvoer via bemesting (in kg N) wordt meegenomen voor zowel drijfmest (N_{dm}), kunstmest (N_{km}) en overige organische meststoffen (N_{om}), waarbij rekening wordt gehouden met extra mineralisatie vanuit de mest en ondergewerkte gewasresten van de groenbemester (N_{gb}):

$$N_{mest} = N_{dm} + N_{km} + N_{om} + 0,15 * N_{dm} + 0,1 * N_{om} + 0,3 * N_{gb}$$

De N-opname via gewassen en groenbemesters (in kg N) wordt geschat via:

$$N_{opname} = \sum Areaal_{gewas} \times (Opbrengst_{gewas} \times [N]_{gewas} + Opbrengst_{bijgewas} \times [N]_{bijgewas})$$

$$N_{gb} = Areaal_{groenbemester} \times (80 - 40)$$

De N-aanvoer via depositie en fixatie (in kg N) wordt geschat via:

$$N_{depositie} = Areaal \times 36 \times 2 / 3$$

$$N_{fixatie} = \sum (N_{fixatie,gewas} \times Areaal_{gewas})$$

Aanwezige N-verliezen via vervluchting (in kg N) worden geschat via:

$$N_{vervluchting} = 0.01 \times N_{km} + 0.05 \times N_{dm}$$

Combinatie van deze aan- en afvoerposten voor stikstof, levert de bedrijfsbalans (in kg N ha⁻¹):

$$N_{overschot} = (N_{mest} + N_{depositie} + N_{fixatie} - N_{opname} - N_{vervluchting} - N_{gb}) / Areaal_{bedrijf}$$

Het neerslagoverschot wordt op bedrijfsniveau berekend door gebruik te maken van de maandgemiddelde referentie gewasverdamping (die gemeten is door het KNMI) en gewasafhankelijke correctiefactoren. Negatieve overschotten mogen niet voorkomen.

$$P_{overschot} = \sum_{m=1}^{m=12} (\max(0, Neerslag_m - \sum_{n=1}^{n=gewas} (Areaal_n \times Makkink_{m,n} \times ET_m)))$$

¹ De gebruikte depositie (24 kg/ha) is als volgt afgeleid uit het RIVM rapport (Velders et al., 2013). De totale depositie in Limburg in het jaar 2015 wordt geschat op 1975 mol ha⁻¹. Dat is gelijk aan 1975*14.01 = 27,67 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Omdat de depositie in Zuid-Limburg gelijk is aan ~85% van de totale depositie in Limburg (aannahme op basis kaarten in rapport) wordt de depositie geschat op 23,5 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Afgerond is dit 24 kg N per hectare.

A.2 Rekenregels werkzame N-balans

Werkzame N balans

Vergelijkbaar met de huidige massabalansbenadering wordt ook in het aangepaste model het nitraat-gehalte berekend als functie van het N- en neerslagoverschot, rekening houdend met de verschillende gewassen die op het bedrijf aanwezig zijn. In formulevorm:

$$NO_3^- [mg/L] = EC \times UF_{bedrijf} \times N_{overschot} / P_{overschot}$$

waarbij EC staat voor EenheidsConversie (van $kg\ N\ m^{-3}$ naar $mg\ NO_3\ l^{-1}$), $UF_{bedrijf}$ voor de bedrijfsgeaggregeerde gewasafhankelijke uitspoelingsfractie (d.w.z. het deel van het werkzame N-overschot dat uitspoelt naar het grondwater), het $N_{overschot}$ gelijk is aan het verschil tussen de aangevoerde effectieve en afgevoerde stikstof op bedrijfsniveau en het neerslagoverschot ($P_{overschot}$) gelijk is aan het verschil tussen neerslag en de referentie gewasverdamping, rekening houdend met gewasspecifieke verdampingsfactoren.

De werkzame N-balans per gewas wordt als volgt in beeld gebracht (in $kg\ N\ ha^{-1}$):

$$N_{overschot} = N_{km} + wc_{dm} \times N_{dm} + wc_{om} \times N_{om} + N_{nawerking} + N_{dep} + N_{nlv} + N_{fix} - N_{opname} - N_{vervluchtiging}$$

waarin N_{km} de aanvoer van kunstmest is, N_{dm} de aanvoer van N uit dierlijke mest is gecorrigeerd voor het werkzame deel via de werkingscoëfficiënt wc_{dm} , N_{om} de aanvoer van N uit organische mestproducten zoals compost is gecorrigeerd voor het werkzame deel via wc_{om} , waarin de eerstejaars N-nawerking van organische bemesting en groenbemesters wordt meegenomen via de parameter $N_{nawerking}$ en de N-depositie, N-fixatie en bodemmineralisatie via de parameters N_{dep} , N_{fix} , en N_{nlv} . De gewasopname van hoofdgewassen en groenbemesters wordt meegenomen via de N_{opname} . Gasvormige verliezen die optreden tijdens toediening van kunstmest en dierlijke mest zijn identiek aan het huidige model.

In deze N-balans wordt de eerstejaars nawerking van dierlijke en organische bemesting in combinatie met de N-aanvoer via afbraak van groenbemesters (N_{gb}) geschat volgens de volgende formule (N-aanvoer voor alle onderdelen in $kg\ N\ ha^{-1}$):

$$N_{nawerking} = wc_{dm} \times (1 - wc_{dm} - w_{gdm}) \times N_{dm} + wc_{om} \times (1 - wc_{om}) \times N_{om} + wc_{gb} \times N_{gb}$$

waarbij wc_{dm} de werkingscoëfficiënt is voor drijfmest en wc_{om} de werkingscoëfficiënt voor organische mest. Gasvormige verliezen worden verdisconteerd bij w_{gdm} , waarbij het deel dat via gasvormige verbindingen verloren gaat wordt geschat op 5% (zie het huidige model). Deze werkingscoëfficiënten zijn gebaseerd op (van Middelkoop *et al.*, 2017, zie Tabel A.1.). Een aanname is dat de mest met een injecteur op het land is gebracht. Voor rundveedrijfmest is de werkingscoëfficiënt gelijk aan 0,56 (berekend als $0,95 \times N_{min} + 0,2 \times N_{org} / N_{tot}$) en voor varkensdrijfmest is deze daarmee gelijk aan 0,7. Hierbij is uitgegaan van de gemiddelde samenstelling van beide drijfmesten. Voor overige organische mest en weidemest is de werkingscoëfficiënt gesteld op 20%. Voor groenbemesters wordt de werkingscoëfficiënt gesteld op 50%.

Tabel A.1. Gebruikte werkingswerkingscoëfficiënten en N-gehaltes om de totale werkingscoëfficiënten te berekenen.

Mestsoort en N fractie		Werking (%)	Gehalte (kg N m ⁻³)
Rundvee	Minerale N	95	1,9
	Organische N	20	2,1
Varkens	Minerale N	80	3,7
	Organische N	60	3,3

Stikstoflevering bodem

De stikstoflevering wordt geschat met een gestandaardiseerde vorm van het MINIP-model (Janssen, 1996). Hiervoor is gekozen omdat de huidige NLV-adviezen van Eurofins (voor akkerbouw) hierop zijn gebaseerd, en het een vrij eenvoudige methodiek is om variatie tussen bodems in beeld te brengen die samenhangen met de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof. In de huidige versie wordt de vijf-jaarsgemiddelde N-levering berekend voor een bouwvoor van 25 cm, waarbij gebruik wordt gemaakt van de CN-verhouding van de organische stof en de initiële leeftijd (a , een modelparameter die aangeeft hoe stabiel de organische stof is) wordt geschat op 17 jaar.

De afbraak van koolstof (C_{dec}) kan worden beschreven via:

$$C_{dec} = OS \times 58000 \times (bouwvoor \times dichtheid) \times (1 - e^{(4.7 \times (a + 5 \times 2^{(temp-9)/9})^{-0.6} - a^{-0.6}))} / 5$$

waarbij de C-fractie van de organische stof (OS) wordt geschat op 58% (gangbaar in Nederlandse studies), de *bouwvoor* de diepte is (in m), de *dichtheid* in g cm⁻³, *temp* gelijk is aan de jaargemiddelde temperatuur van de bodem, en a gelijk is aan de initiële leeftijd van de organische stof.

Hierbij is de dichtheid van de bodem berekend met een empirische formule van Eurofins:

Voor percelen met een kleigehalte kleiner dan 20%:

$$Dichtheid = 1 / (0.02525 * OS + 0.6541)$$

Voor percelen met een kleigehalte groter dan 20%:

$$Dichtheid = 6,7e-7 * OS^4 - 7,792e-5 * OS^3 + 3,147e-3 * OS^2 - 6,0395e-2 * OS + 1.339$$

De hoeveelheid stikstof die vrijkomt via N-levering (N_{nlv}) is afhankelijk van de koolstofafbraak (C_{dec}) en de CN-verhouding van de organische stof (CN_{bodem}) en kan worden geschat via (in kg N ha⁻¹):

$$N_{nlv} = 1.5 * \frac{C_{dec}}{CN_{bodem}} - \frac{C_{dec}}{20}$$

Groenbemesters

De N-opname van groenbemesters wordt niet alleen meegenomen als uitgaande post (op de N-balans) maar wordt ook deels meegenomen in de N-aanvoer in het volgende jaar. Hierbij wordt rekening gehouden met verschillen in opbrengst en stikstofconcentratie tussen groenbemesters. Dit heeft consequenties voor

N-aanvoer (via N-binding voor vlinderbloemigen) en N-levering door mineralisatie in het huidige en opvolgende jaar na onderwerken. Zie hiervoor de vergelijkingen voor $N_{overshot}$ en $N_{nawerking}$.

Berekening NO_3 -gehalte bedrijf via $N_{overshot}$ en $Neerslag_{overshot}$

Het gemiddelde stikstofgehalte in het bodemvocht op een bedrijf wordt berekend op basis van het $N_{overshot}$ en neerslagoverschot ($P_{overshot}$) per gewas. Aggregatie naar bedrijfsniveau gebeurt via het bouwplan.

$$NO_3 = \frac{\sum_{gewas\ x} (Opp_x \times UF_x \times N_{overshot,x} / P_{overshot,x})}{Opp_{totaal}}$$

Waarin Opp_{totaal} gelijk is aan het totale bedrijfsoppervlak, en Opp_x gelijk is aan het oppervlak voor gewas x, en UF_x staat voor de uitspoelingsfractie voor werkzame stikstof voor gewas x.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van het neerslagoverschot per gewas ($m^3\ ha^{-1}$). Het neerslagoverschot wordt op gewasniveau berekend volgens dezelfde rekenregels als het huidige nitraatuitspoelingsmodel. Negatieve overschotten mogen daarbij niet voorkomen. Per gewas wordt het neerslagoverschot als volgt berekend:

$$P_{overshot,x} = \sum_{m=1}^{m=12} (\max(0, Neerslag_m - Makkink_m \times ET_m))$$

Verdeling mest

De mestverdelingsfunctie gaat uit van gewasafhankelijke wegingsfactoren die aangeven welk gewas bij voorkeur een drijfmestgift ontvangt, waarbij de totale aanvoer van stikstof op bedrijfsniveau leidend is. De wegingsfactoren verdelen deze aanvoer vervolgens over de aanwezige gewassen. Voortbouwend op gebiedsexpertise in Limburg wordt drijfmest (voor zover aanwezig) toegediend aan vrijwel alle gras en maïspercelen, aan 50% van de percelen met graangewassen en aan 80% van het areaal met groenbemesters. De hoeveelheid kunstmest op bedrijfsniveau wordt verdeeld over de gewassen conform de N-gebruiksnorm, waarbij een correctie wordt uitgevoerd voor de aanvoer van werkzame N via drijfmest en overige organische mest. Bij deze correctie wordt ook rekening gehouden met de praktijk dat cash crops relatief meer stikstof toegediend krijgen dan andere gewassen (relatief is ten opzichte van de gewasafhankelijke gebruiksnorm).

De volgende stappen worden doorlopen voor elk gewas van het bedrijf:

1. De gebruiksruimte voor elk gewas wordt ingelezen. Als deze niet beschikbaar zijn, dan worden ze vervangen door de gebruiksnorm voor 'overige gewassen'.
2. De gewassen worden geclassificeerd:

Klasse A zijn de gewassen die 1 keer per twee jaar standaard drijfmest krijgen (= 50% van het areaal). Voor modelvariant S3 zijn dat de gewassen wintergerst, wintergerst (hamster), wintergersthamster, winterkoolzaad, winterrogge, wintertarwe, en wintertarwe (hamster).

Klasse B zijn de cash crops waarbij de werkzame N-gift niet snel wordt ingekort als op bedrijfsniveau minder stikstof wordt gegeven dan wat wettelijk toegestaan is. Dit betreft de gewassen: zetmeelaardappel, consumptieaardappel, suikerbiet, pootaardappel, zaaiui/ winterui, en waspeen.

3. De gewasafhankelijke voorkeursfactor (vf) geeft aan welk deel van het areaal bemest wordt met dierlijke mest en wordt voor modelvariant S3 geschat als:

- a. Gewas in Klasse A $\rightarrow vf = 0.5$.
- b. Gewas is gras of mais $\rightarrow vf = 1.0$
- c. Groenbemesters $\rightarrow vf = 0.8$
- d. Andere gewassen $\rightarrow vf = 0.1$

4. De gewasafhankelijke verdeling van kunstmest wordt beïnvloedt door een correctiefactor om bij eventuele kortingen de cash crops te ontzien. Deze correctiefactor (cf) wordt geschat als:

- a. Gewas in Klasse B $\rightarrow cf = 1.1$
- b. Andere gewassen $\rightarrow cf = 1.0$

5. De aanwezige hoeveelheid drijfmest N_{dm} (of overige organische mest) wordt verdeeld over de aanwezige gewassen via:

$$N_{dm,gewas} = N_{dm} * \frac{Areaal_{gewas} * vf_{gewas}}{Areaal_{bedrijf} * \sum vf_{gewas}}$$

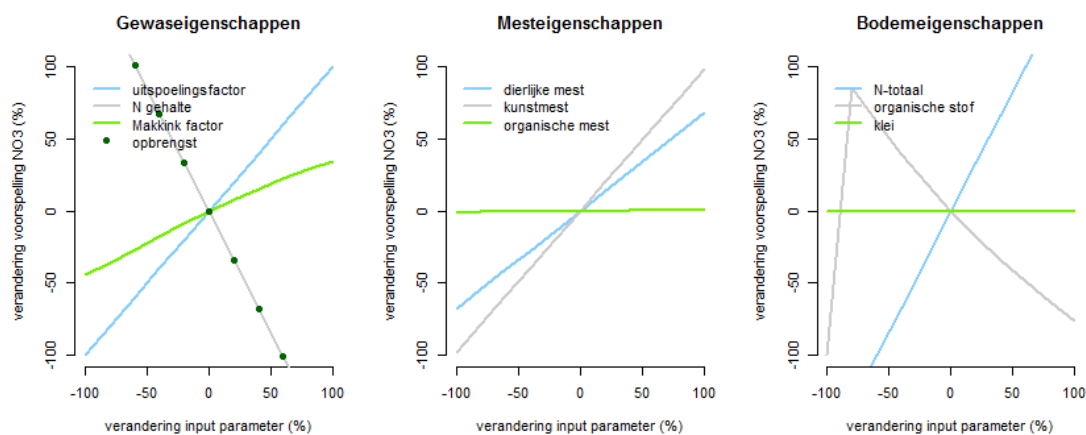
6. Het werkzame gedeelte van de drijfmest en overige organische mest (N_{wz}) wordt per gewas berekend met werkingscoëfficiënten voor drijfmest (wc_{dm}) en overige organische mest (wc_{om}).

$$N_{wz,gewas} = (N_{dm,gewas} * wc_{dm} + N_{om,gewas} * wc_{om})$$

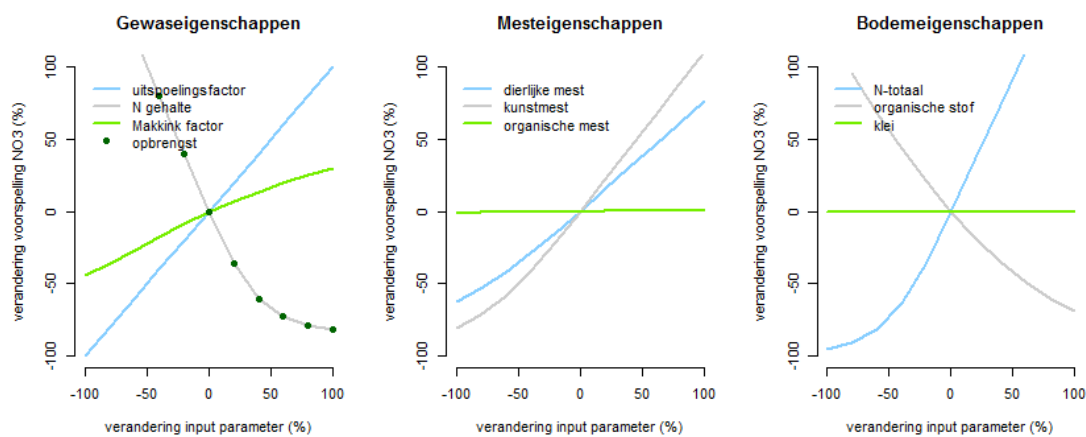
7. De totale hoeveelheid toegediende kunstmest wordt verdeeld over de gewassen naar rato van de N-gebruiksruimte, rekening houdend met een praktijkcorrectie voor cash crops (stap 4) en de al gegeven werkzame stikstof via dierlijke en organische mest (stap 6).

$$KM_{gewas} = (N_{norm} \times cf - N_{wz,gewas}) * \frac{KM_{bedrijf}}{\sum_{i=1}^{i=gewas} (KM_i \times Areaal_i)}$$

Bijlage B. Gevoeligheidsanalyse

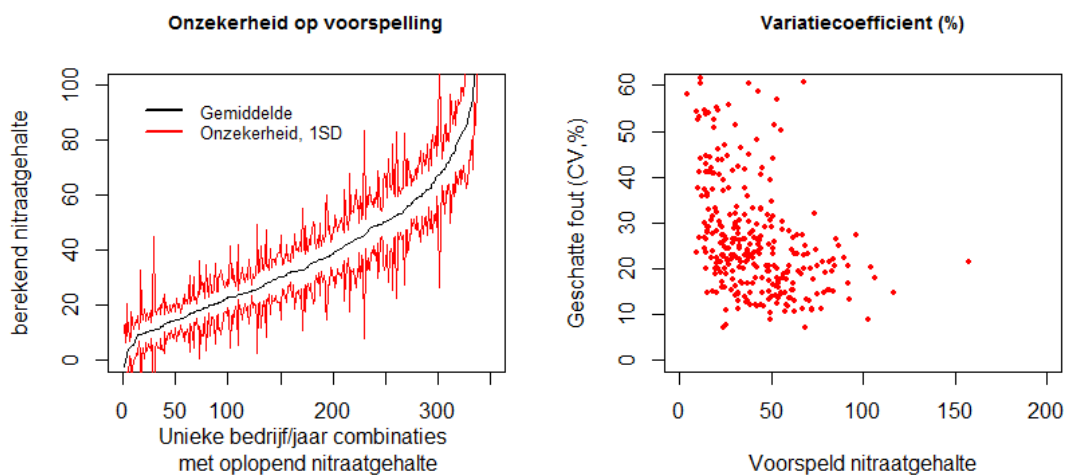


Figuur B.1. Resultaten gevoeligheidsanalyse van Model S1 ()

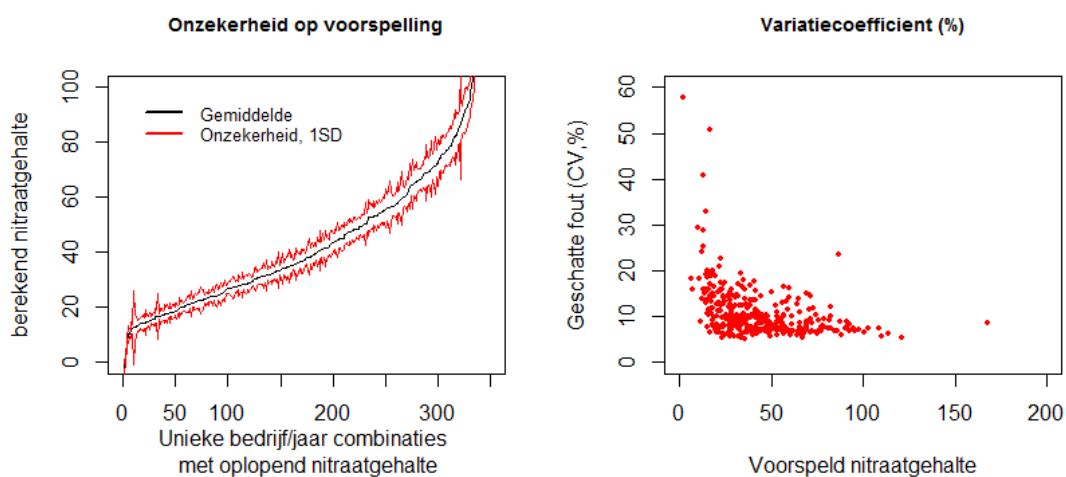


Figuur B.2. Resultaten gevoeligheidsanalyse van Model S2

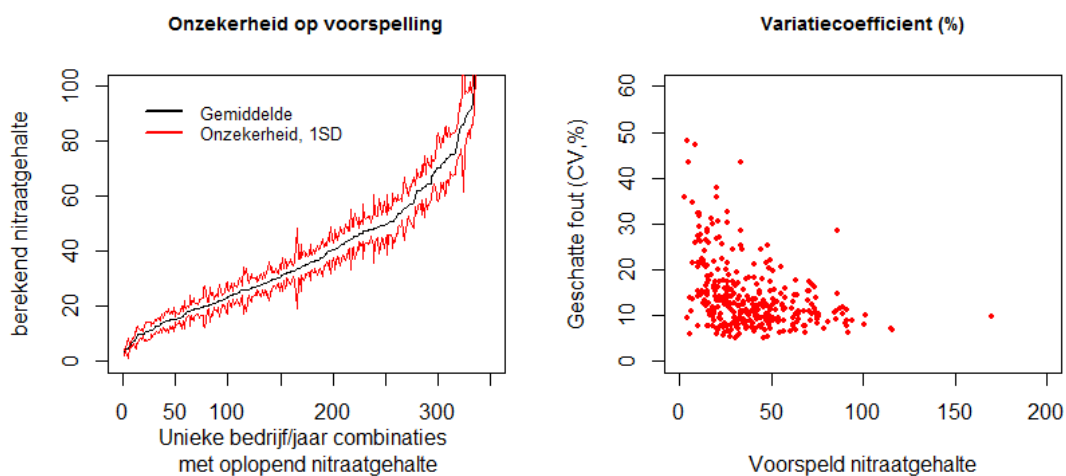
Bijlage C. Onzekerheidsanalyse



Figuur C.1. Resultaten onzekerheidsanalyse geschatte nitraatgehalte van het huidige model.



Figuur C.2. Resultaten onzekerheidsanalyse geschatte nitraatgehalte van vernieuwd model S1.



Figuur C.3. Resultaten onzekerheidsanalyse geschatte nitraatgehalte van vernieuwd model S3.

Bijlage D. Parametrisatie uitspoelingsfracties

D.1 Parametrisatie per gewas

Tabel D.1. Gewassen voor welke de uitspoelingsfracties geparametriseerd zijn. Het aantal geeft aan hoe vaak de gewassen voorkomen. Het aantal bedrijven geeft aan van hoeveel bedrijven de gewasdata afkomstig is. De gewasgroep geeft aan in welke gewasgroep het gewas valt (10 groepen).

Nummer	Gewas	Aantal teelten	Aantal bedrijven	Gewasgroep
1	Bladrammenas	1	1	Groenbemesters
2	Bloemkool	1	1	Kruisbloemigen
3	Broccoli	1	1	Kruisbloemigen
4	Consumptieaardappel	22	10	Aardappelen
5	Gras-klover	3	1	Grassen
6	Grasland	58	8	Grassen
7	Beheerweide	14	2	Grassen
8	Groenten	1	1	Groenten
9	Knolselderij	1	1	Groenten
10	Korrelmais	11	6	Mais
11	Luzerne (hamster)	1	1	Hamster
12	Natuurlijk grasland	5	2	Grassen
13	Snijmais	32	12	Mais
14	Suikerbiet	28	14	Bieten
15	Triticale	1	1	Granen
16	Wintergerst	12	8	Granen
17	Wintergerst (hamster)	3	2	Hamster
18	Wintertarwe	66	18	Granen
19	Wintertarwe (hamster)	4	3	Hamster
20	Wittekool	1	1	Kruisbloemigen
21	Zaaiui/Winterui	2	2	Uien
22	Zomergerst	11	5	Granen
23	Zomergerst (hamster)	4	3	Hamster

* zomergerst is hier opgenomen in de groep granen. Gezien de beworteling en groeiduur van zomergerst en zomertarwe is dit achteraf gezien geen heel gelukkige keuze. Omdat het om een beperkt aantal percelen ging in de groep 'granen' zijn de berekeningen voor dit rapport niet opnieuw uitgevoerd.

Tabel D.2. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewas met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 0 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewas	Oude UF	Nieuwe UF	Stan- daard- fout	Aantal
1	Bladrammenas	0.50	0.7	0.46	1
2	Bloemkool	0.50	0.1	0.16	1
3	Broccoli	0.50	0.2	0.20	1
4	Consumptieaardappel	1.04	0.3***	0.07	15
5	Gras-klover	0.16	-	-	0
6	Grasland	0.16	0.1***	0.04	37
7	Beheerweide	0.16	0.1	0.16	8
8	Groenten	0.50	0.5**	0.28	1
9	Knolselderij	0.50	0.1	0.16	1
10	Korrelmais	0.88	0.4	0.20	6
11	Luzerne (hamster)	0.02	-	-	0
12	Natuurlijk grasland	0.11	0	0.07	5
13	Snijmais	0.88	0.5***	0.10	24
14	Suikerbiet	0.02	0.1	0.07	21
15	Triticale	0.18	0.1	0.29	1
16	Wintergerst	0.18	0.3	0.17	9
17	Wintergerst (hamster)	0.18	0.3	0.24	2
18	Wintertarwe	0.18	0.2***	0.06	52
19	Wintertarwe (hamster)	0.18	0.8***	0.17	3
20	Wittekool	0.50	0.2	0.25	1
21	Zaaiui/Winterui	0.80	0.4**	0.19	2
22	Zomergerst	0.80	0.3	0.23	8
23	Zomergerst (hamster)	0.80	0.3**	0.16	3

Tabel D.3. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewas met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 1 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewas	Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Bladrammenas	0.50	0.5	0.44	1
2	Bloemkool	0.50	-	-	0
3	Broccoli	0.50	-	-	0
4	Consumptieaardappel	1.04	0.4***	0.10	11
5	Gras-klover	0.16	-	-	0
6	Grasland	0.16	0.1***	0.03	39
7	Beheerweide	0.16	0.1	0.16	8
8	Groenten	0.50	0.8**	0.26	1
9	Knolselderij	0.50	-	-	0
10	Korrelmais	0.88	0.7**	0.23	9
11	Luzerne (hamster)	0.02	-	-	0
12	Natuurlijk grasland	0.11	0.1	0.08	3
13	Snijmais	0.88	0.4***	0.09	23
14	Suikerbiet	0.02	0.2**	0.07	18
15	Triticale	0.18	-	-	0
16	Wintergerst	0.18	0.5*	0.27	6
17	Wintergerst (hamster)	0.18	0.8*	0.46	1
18	Wintertarwe	0.18	0.3***	0.07	46
19	Wintertarwe (hamster)	0.18	0.3**	0.13	4
20	Wittekool	0.50	-	-	0
21	Zaaiui/Winterui	0.80	0.4**	0.18	2
22	Zomergerst	0.80	0.4*	0.23	8
23	Zomergerst (hamster)	0.80	0.2	0.15	3

Tabel D.4. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewas met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewas	Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Bladrammenas	0.50	0.4	0.39	1
2	Bloemkool	0.50	-	-	0
3	Broccoli	0.50	-	-	0
4	Consumptieaardappel	1.04	0.3***	0.06	13
5	Gras-klover	0.16	-	-	0
6	Grasland	0.16	0.1***	0.03	35
7	Beheerweide	0.16	0.2	0.17	7
8	Groenten	0.50	0.1	0.23	1
9	Knolselderij	0.50	-	-	0
10	Korrelmais	0.88	0.6**	0.24	7
11	Luzerne (hamster)	0.02	0.7***	0.13	1
12	Natuurlijk grasland	0.11	0.1	0.11	1
13	Snijmais	0.88	0.3***	0.08	19
14	Suikerbiet	0.02	0.2**	0.06	16
15	Triticale	0.18	0.4*	0.25	1
16	Wintergerst	0.18	0.6**	0.22	5
17	Wintergerst (hamster)	0.18	0.6*	0.32	2
18	Wintertarwe	0.18	0.4***	0.08	33
19	Wintertarwe (hamster)	0.18	0.3*	0.14	2
20	Wittekool	0.50	-	-	0
21	Zaaiui/Winterui	0.80	0.4	0.34	1
22	Zomergerst	0.80	0.2	0.32	4
23	Zomergerst (hamster)	0.80	0.3	0.20	2

Tabel D.5. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewas met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 0 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewas	Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Bladrammenas	0.50	0.3	0.48	1
2	Bloemkool	0.50	0.1	0.17	1
3	Broccoli	0.50	0.2	0.21	1
4	Consumptieaardappel	1.04	0.2***	0.07	15
5	Gras-klover	0.16	-	-	0
6	Grasland	0.16	0.2***	0.05	31
7	Beheerweide	0.16	0.1	0.16	8
8	Groenten	0.50	0.1	0.29	1
9	Knolselderij	0.50	0.1	0.17	1
10	Korrelmais	0.88	0.3	0.21	4
11	Luzerne (hamster)	0.02	-	-	0
12	Natuurlijk grasland	0.11	0.0	0.07	5
13	Snijmais	0.88	0.4**	0.12	20
14	Suikerbiet	0.02	0.2**	0.07	21
15	Triticale	0.18	0.6**	0.31	1
16	Wintergerst	0.18	0.4*	0.17	7
17	Wintergerst (hamster)	0.18	0.2	0.28	1
18	Wintertarwe	0.18	0.3***	0.07	47
19	Wintertarwe (hamster)	0.18	0.9***	0.18	3
20	Wittekool	0.50	0.2	0.26	1
21	Zaaiui/Winterui	0.80	0.3	0.20	2
22	Zomergerst	0.80	0.5*	0.27	7
23	Zomergerst (hamster)	0.80	0.4**	0.16	3

Tabel D.6. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewas met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 1 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewas	Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Bladrammenas	0.50	0.5	0.46	1
2	Bloemkool	0.50	-	-	0
3	Broccoli	0.50	-	-	0
4	Consumptieaardappel	1.04	0.4***	0.11	10
5	Gras-klover	0.16	-	-	0
6	Grasland	0.16	0.1***	0.04	32
7	Beheerweide	0.16	0.1	0.17	8
8	Groenten	0.50	0.4	0.28	1
9	Knolselderij	0.50	-	-	0
10	Korrelmais	0.88	0.7***	0.24	7
11	Luzerne (hamster)	0.02	-	-	0
12	Natuurlijk grasland	0.11	0.0	0.08	3
13	Snijmais	0.88	0.4***	0.11	20
14	Suikerbiet	0.02	0.2*	0.08	17
15	Triticale	0.18	-	-	0
16	Wintergerst	0.18	0.9***	0.28	6
17	Wintergerst (hamster)	0.18	1.3***	0.48	1
18	Wintertarwe	0.18	0.4***	0.09	41
19	Wintertarwe (hamster)	0.18	0.4*	0.18	3
20	Wittekool	0.50	-	-	0
21	Zaaiui/Winterui	0.80	0.3	0.19	2
22	Zomergerst	0.80	0.3	0.24	8
23	Zomergerst (hamster)	0.80	0.3	0.16	3

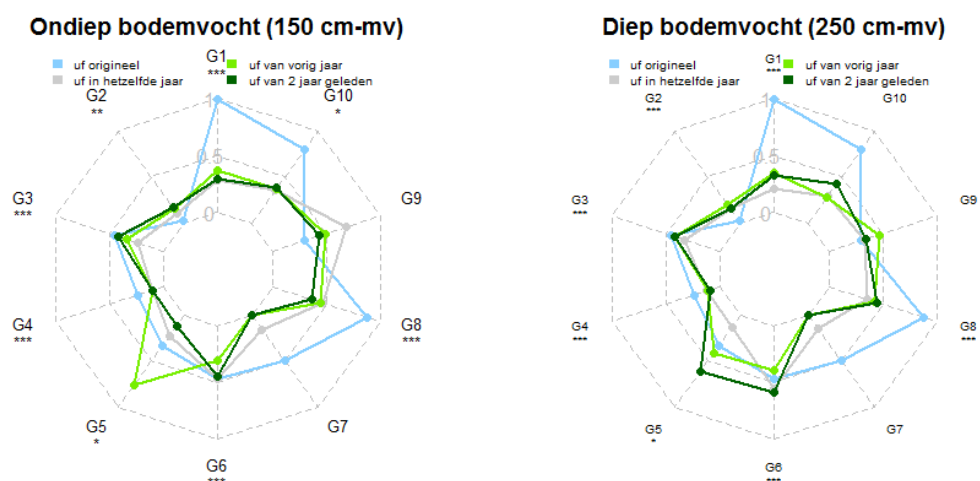
Tabel D.7. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewas met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewas	Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Bladrammenas	0.50	0.3	0.40	1
2	Bloemkool	0.50	-	-	0
3	Broccoli	0.50	-	-	0
4	Consumptieaardappel	1.04	0.3***	0.06	102
5	Gras-klover	0.16	-	-	0
6	Grasland	0.16	0.1**	0.04	27
7	Beheerweide	0.16	0.1	0.17	7
8	Groenten	0.50	0.6*	0.24	1
9	Knolselderij	0.50	-	-	0
10	Korrelmais	0.88	0.4	0.25	5
11	Luzerne (hamster)	0.02	0.7***	0.14	1
12	Natuurlijk grasland	0.11	0.0	0.11	1
13	Snijmais	0.88	0.5***	0.08	16
14	Suikerbiet	0.02	0.2**	0.06	16
15	Triticale	0.18	0.2	0.25	1
16	Wintergerst	0.18	0.6**	0.263	5
17	Wintergerst (hamster)	0.18	1.1***	0.33	2
18	Wintertarwe	0.18	0.4***	0.08	31
19	Wintertarwe (hamster)	0.18	0.5	0.14	2
20	Wittekool	0.50	-	-	0
21	Zaaiui/Winterui	0.80	0.4	0.35	1
22	Zomergerst	0.80	0.1	0.32	3
23	Zomergerst (hamster)	0.80	0.3	0.20	2

D.2 Parametrisatie per gewasgroep

Tabel D.8. Gewasgroepen voor welke de uitspoelingsfracties geparametriseerd zijn.

Nummer	Gewasgroep	Aantal teelten	Aantal bedrijven	Aantal gewassen
1	Aardappelen	22	1	1
2	Bieten	28	1	1
3	Granen	90	10	4
4	Grassen	80	1	4
5	Groenten	2	8	2
6	Hamster	12	2	4
7	Kruisbloemigen	3	1	3
8	Mais	43	6	2
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	1	1	1
10	Uien	2	2	1



Figuur D.1. Visualisatie van de geschatte uitspoelingsfracties per gewasgroep in het ondiepe (links) en het diepe (rechts) bodemvocht.

Tabel D.9. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewasgroep met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 0 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewasgroep	Gemid- delde Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Aardappelen	0.99	0.28***	0.07	15
2	Bieten	0.02	0.11*	0.07	21
3	Granen	0.46	0.24***	0.06	70
4	Grassen	0.24	0.11***	0.03	53
5	Groenten	0.34	0.23*	0.14	2
6	Hamster	0.47	0.47***	0.10	8
7	Kruisbloemigen	0.50	0.16	0.11	3
8	Mais	0.88	0.47***	0.09	30
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	0.30	0.69	0.45	1
10	Uien	0.80	0.36*	0.19	2

Tabel D.10. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewasgroep met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 1 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewasgroep	Gemiddelde Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Aardappelen	0.99	0.37***	0.10	11
2	Bieten	0.02	0.16**	0.07	18
3	Granen	0.46	0.34***	0.07	60
4	Grassen	0.24	0.11***	0.03	51
5	Groenten	0.34	0.76**	0.26	1
6	Hamster	0.47	0.30**	0.10	8
7	Kruisbloemigen	0.50	-	-	0
8	Mais	0.88	0.45***	0.069	32
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	0.30	0.49	0.43	1
10	Uien	0.80	0.37**	0.18	2

Tabel D.11. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewasgroep met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewasgroep	Gemiddelde Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Aardappelen	0.99	0.29***	0.06	13
2	Bieten	0.02	0.17**	0.05	16
3	Granen	0.46	0.42***	0.07	43
4	Grassen	0.24	0.11***	0.03	43
5	Groenten	0.34	0.12	0.23	1
6	Hamster	0.47	0.45***	0.08	7
7	Kruisbloemigen	0.50	-	-	0
8	Mais	0.88	0.37***	0.04	26
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	0.30	0.44	0.39	1
10	Uien	0.80	0.38	0.34	1

Tabel D.12. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewasgroep met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 0 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewasgroep	Gemiddelde Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Aardappelen	0.99	0.21**	0.07	15
2	Bieten	0.02	0.16**	0.07	21
3	Granen	0.46	0.33***	0.06	62
4	Grassen	0.24	0.13***	0.04	47
5	Groenten	0.34	0.13	0.15	2
6	Hamster	0.47	0.55***	0.11	7
7	Kruisbloemigen	0.50	0.15	0.12	3
8	Mais	0.88	0.36***	0.11	24
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	0.30	0.33	0.48	1
10	Uien	0.80	0.29	0.20	2

Tabel D.13. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewasgroep met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 1 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

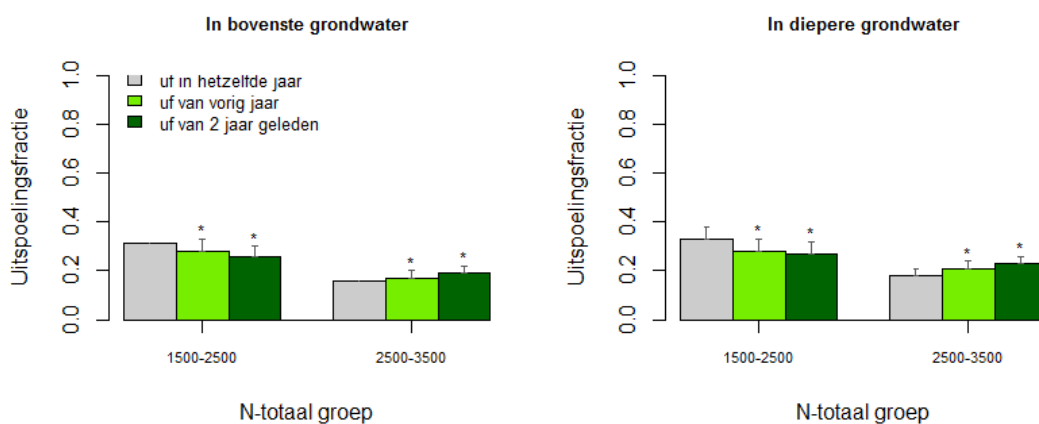
Nummer	Gewasgroep	Gemiddelde Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Aardappelen	0.99	0.35***	0.11	10
2	Bieten	0.02	0.20*	0.08	17
3	Granen	0.46	0.43***	0.08	55
4	Grassen	0.24	0.12***	0.04	44
5	Groenten	0.34	0.41	0.28	1
6	Hamster	0.47	0.39***	0.12	7
7	Kruisbloemigen	0.50	-	-	0
8	Mais	0.88	0.43***	0.10	27
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	0.30	0.47	0.46	1
10	Uien	0.80	0.28	0.19	2

Tabel D.14. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gewasgroep met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Nummer	Gewasgroep	Gemiddelde Oude UF	Nieuwe UF	Standaardfout	Aantal
1	Aardappelen	0.99	0.33***	0.06	12
2	Bieten	0.02	0.16**	0.06	16
3	Granen	0.46	0.43***	0.07	40
4	Grassen	0.24	0.10**	0.03	35
5	Groenten	0.34	0.62*	0.24	1
6	Hamster	0.47	0.59***	0.09	7
7	Kruisbloemigen	0.50	-	-	0
8	Mais	0.88	0.45***	0.08	21
9	Niet-vlinderbloemige groenbemesters	0.30	0.34	0.40	1
10	Uien	0.80	0.43	0.35	1

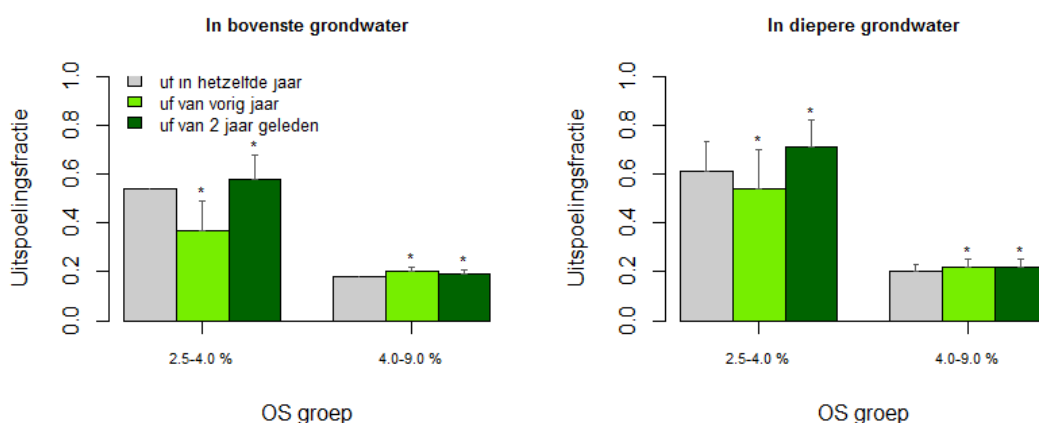
D.3 Parametrisatie voor andere clusterings

Geschatte uitspoelingsfractie (uf) per N-totaal groep



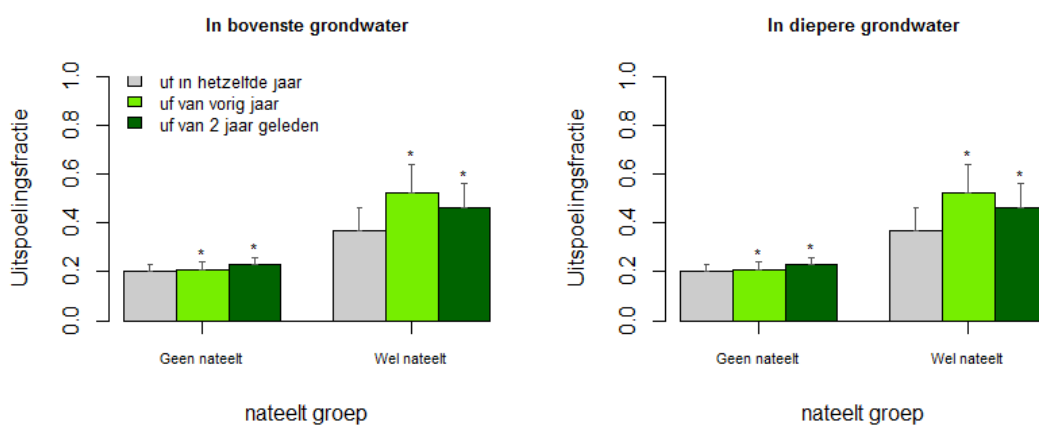
Figuur D.2. De geschatte uitspoelingsfractie per N-Totaal groep

Geschatte uitspoelingsfractie (uf) per OS groep



Figuur D.3. De geschatte uitspoelingsfractie per organische stof groep.

Geschatte uitspoelingsfractie (uf) per nateelt groep



Figuur D.3. De geschatte uitspoelingsfractie per nateelt groep.

Tabel D.15. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per clustering met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Groep	Diepte (cm)	Tijdver- schil (jaar)	UF	Standaard- fout	Aantal
N-totaal					
0-2500	150	0	0.31***	0.05	67
2500-3500	150	0	0.16***	0.03	138
1500-2500	150	1	0.28***	0.05	65
2500-3500	150	1	0.17***	0.03	119
1500-2500	150	2	0.26***	0.04	65
2500-3500	150	2	0.19***	0.03	95
1500-2500	250	0	0.33***	0.05	56
2500-3500	250	0	0.18***	0.03	128
1500-2500	250	1	0.28***	0.05	55
2500-3500	250	1	0.21***	0.03	109
1500-2500	250	2	0.27***	0.05	47
2500-3500	250	2	0.23***	0.03	87
OS					
2.5-4.0	150	0	0.54***	0.11	14
4.0-9.0	150	0	0.18***	0.02	191
2.5-4.0	150	1	0.37**	0.12	14
4.0-9.0	150	1	0.20***	0.02	170
2.5-4.0	150	2	0.58***	0.10	13
4.0-9.0	150	2	0.19***	0.02	138
2.5-4.0	250	0	0.61***	0.12	13
4.0-9.0	250	0	0.20***	0.03	171
2.5-4.0	250	1	0.54***	0.16	13
4.0-9.0	250	1	0.22***	0.03	151
2.5-4.0	250	2	0.71***	0.11	12
4.0-9.0	250	2	0.22***	0.03	122
Nateelt					
Niet	150	0	0.18***	0.02	141
Wel	150	0	0.30***	0.08	64
Niet	150	1	0.19***	0.02	132
Wel	150	1	0.46***	0.11	52
Niet	150	2	0.20***	0.02	114
Wel	150	2	0.41***	0.09	37
Niet	250	0	0.20***	0.03	130
Wel	250	0	0.37***	0.09	54
Niet	250	1	0.21***	0.03	118
Wel	250	1	0.52***	0.12	46
Niet	250	2	0.23***	0.03	100
Wel	250	2	0.46***	0.10	34

Tabel D.16. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gebied met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 0 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Gebied	UF	Standaardfout	Aantal
6225	0.35	0.23	8
6226	0.6***	0.12	6
6228	0.36*	0.15	8
6231	0.15*	0.07	16
6251	0.72*	0.31	6
6265	0.12	0.14	6
6267	0.18	0.17	8
6268	0.49*	0.27	11
6269	0.21	0.23	4
6274	5.28*	2.5	4
6286	0.18**	0.06	24
6287	0.09*	0.04	33
6289	0.17	0.42	1
6321	0.22**	0.08	14
6325	0.73***	0.15	6
6367	0.26***	0.05	48
6369	0.4	0.25	2

Tabel D.17. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gebied met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 1 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Gebied	UF	Standaardfout	Aantal
6225	0.34	0.34	8
6226	0.38**	0.13	6
6228	0.43**	0.16	8
6231	0.22***	0.07	16
6251	0.31	0.26	5
6265	0.29	0.35	3
6267	0.2	0.17	8
6268	0.29*	0.16	10
6269	0.47	0.38	4
6274	0.88	2.59	2
6286	0.2**	0.07	21
6287	0.1**	0.04	30
6289	0.11	0.29	1
6321	0.29**	0.1	13
6325	0.34*	0.16	5
6367	0.29***	0.06	43
6369	0.55	0.51	1

Tabel D.18. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gebied met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 150 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Gebied	UF	Standaardfout	Aantal
6225	0.53*	0.29	7
6226	0.58***	0.11	6
6228	0.42**	0.14	8
6231	0.22***	0.05	14
6251	0.42**	0.23	3
6265	-	-	0
6267	0.16	0.19	6
6268	0.24**	0.1	8
6269	0.27	0.33	3
6274	-	-	0
6286	0.16**	0.06	17
6287	0.12**	0.04	27
6289	-	-	0
6321	0.23**	0.09	11
6325	0.05	0.11	4
6367	0.32***	0.05	37
6369	-	-	0

Tabel D.19. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gebied met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 0 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Gebied	UF	Standaardfout	Aantal
6225	0.2	0.24	8
6226	0.73***	0.13	5
6228	0.33*	0.15	8
6231	0.16*	0.08	8
6251	0.69*	0.32	6
6265	0.16	0.14	6
6267	0.22	0.17	8
6268	0.65*	0.35	9
6269	0.18	0.24	4
6274	6.63*	2.57	4
6286	0.17**	0.06	23
6287	0.1**	0.04	29
6289	-	-	0
6321	0.28***	0.08	14
6325	0.66***	0.16	6
6367	0.24***	0.06	44
6369	0.5*	0.25	2

Tabel D.20. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gebied met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 1 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

Gebied	UF	Standaardfout	Aantal
6225	0.65**	0.35	8
6226	0.52**	0.17	5
6228	0.4*	0.17	8
6231	0.2*	0.08	8
6251	0.28	0.27	5
6265	0.34	0.36	3
6267	0.25	0.18	8
6268	0.22	0.17	9
6269	0.26	0.39	4
6274	3.46	2.66	2
6286	0.22**	0.08	20
6287	0.11**	0.04	26
6289	-	-	0
6321	0.33**	0.1	13
6325	0.34*	0.17	5
6367	0.47***	0.09	39
6369	0.57	0.52	1

Tabel D.21. Nieuw uitspoelingsfracties voor de parametrisatie per gebied met als calibratiedata de nitraatmetingen met diepte van 250 cm en een tijdsverschil tussen teelt en nitraatmeting van 2 jaar. Significantie (UF ongelijk aan 0) *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Het aantal geeft aan op basis van hoeveel metingen deze nieuwe UF is bepaald.

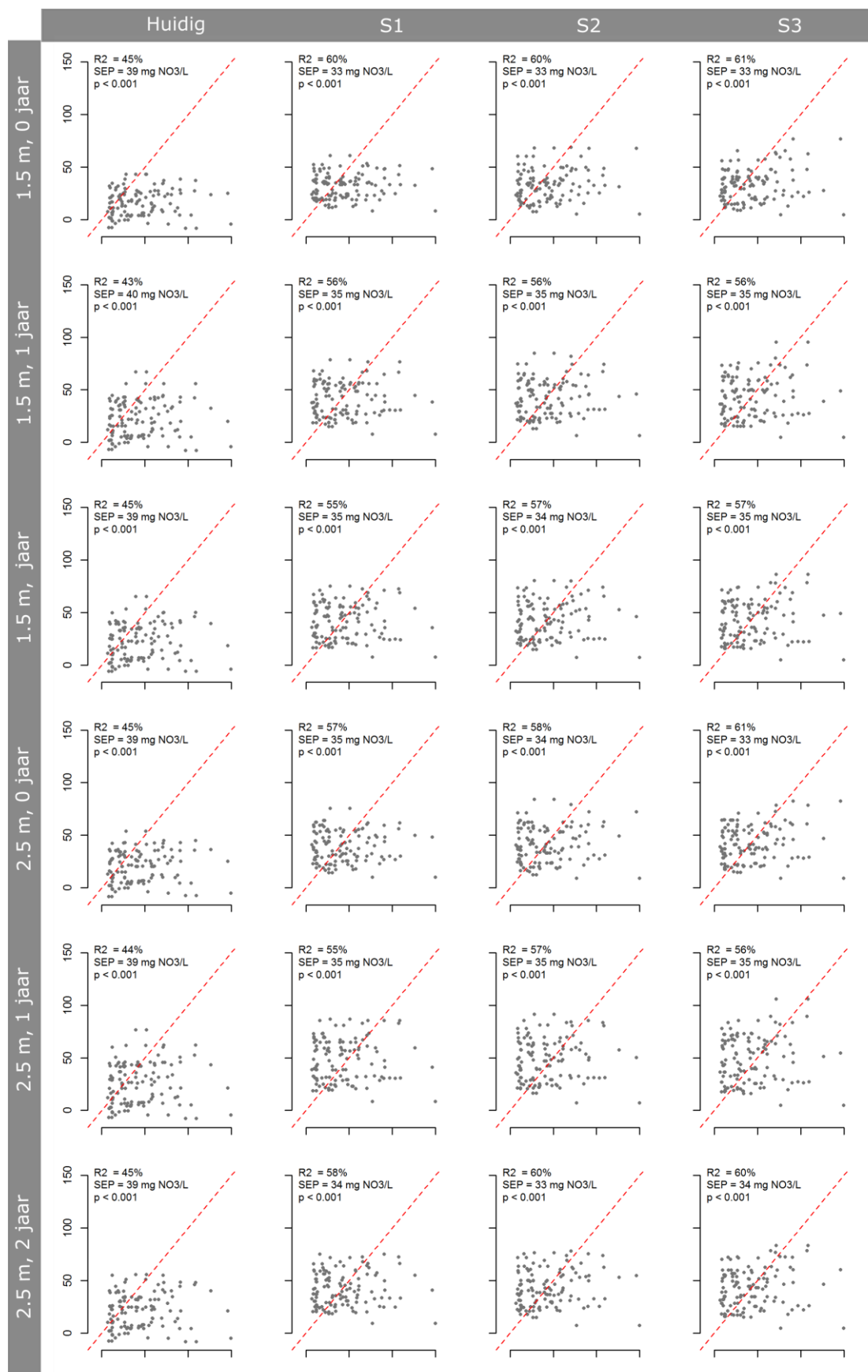
Gebied	UF	Standaardfout	Aantal
6225	0.49*	0.29	7
6226	0.74***	0.11	5
6228	0.39**	0.14	8
6231	0.15*	0.07	6
6251	0.48*	0.23	3
6265	-	-	0
6267	0.26	0.19	6
6268	0.22*	0.1	8
6269	0.33	0.34	3
6274	-	-	0
6286	0.2***	0.06	17
6287	0.12**	0.04	23
6289	-	-	0
6321	0.34***	0.09	11
6325	0.07	0.11	4
6367	0.45***	0.06	33
6369	-	-	0

Tabel D.22. Modeleigenschappen van de modellen voor de parametrisatie op clusterniveau.

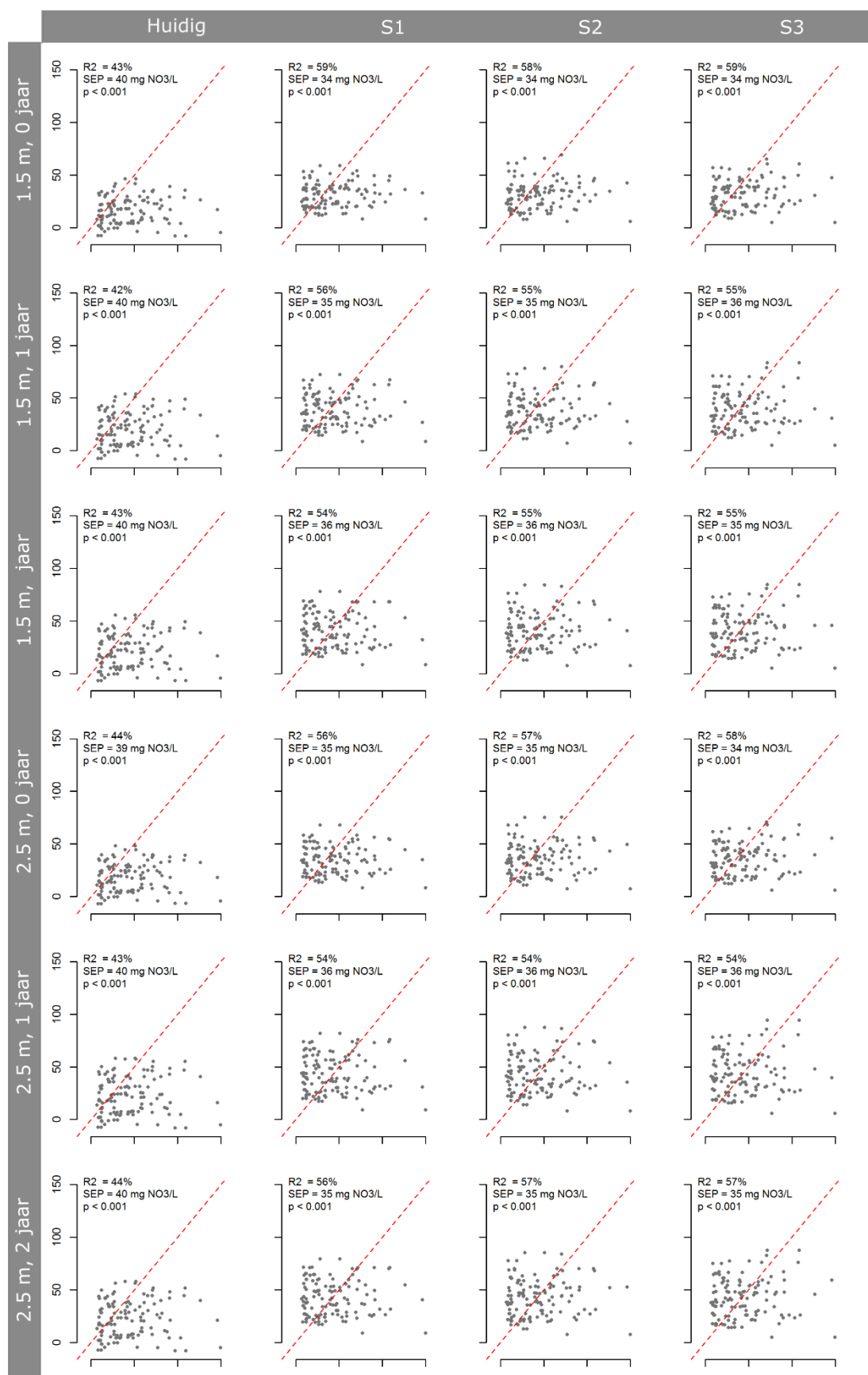
Gebruikte cali- bratiedata		N-totaal		OS		Nateelt	
<i>Diepte</i>	<i>Periode</i>	<i>R²</i> <i>model</i>	<i>SEP</i> <i>model</i>	<i>R²</i> <i>model</i>	<i>SEP</i> <i>model</i>	<i>R² mo- del</i>	<i>SEP</i> <i>model</i>
Ondiep	Jaar 0	0.29	56	0.30	55	0.27	56
Ondiep	-1 jaar	0.29	54	0.29	54	0.30	54
Ondiep	-2 jaar	0.39	50	0.43	48	0.40	50
Diep	Jaar 0	0.30	57	0.32	57	0.29	58
Diep	-1 jaar	0.29	58	0.30	57	0.31	57
Diep	-2 jaar	0.39	54	0.47	51	0.42	54

Bijlage E. Toetsing

Toetsingsfiguren zijn weergegeven in Figuur E.1 en Figuur E.2. Figuur E.1. geeft de toetsing voor de uitspoelingsfracties die zijn geparametriseerd op gewasniveau en Figuur E.2. voor de uitspoelingsfracties die zijn geparametriseerd op gewasgroepniveau.



Figuur E.1. Toetsing van de verschillende modellen (kolommen) voor de verschillende uitspoelingsfracties (rijen) voor de parametrisatie per gewas.



Figuur E.2. Toetsing van de verschillende modellen (kolommen) voor de verschillende uitspoelingsfracties (rijen) voor de parametrisatie per gewasgroep.



www.nmi-agro.nl

nutriënten management
instituut nmi bv
nieuwe kanaal 7c
6709 pa wageningen
nmi@nmi-agro.nl