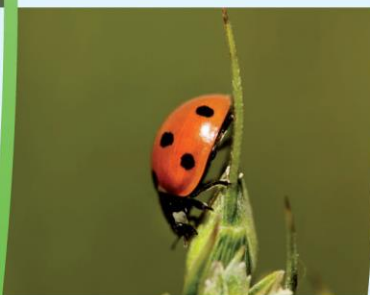


# Soil for life

Rapport 1731.N.18

Update nitraatuitspoelingsmodel  
Zuid-Limburg





# Update nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg

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

---

©2018 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

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>1 Introductie</b>	<b>2</b>
<b>2 Modelbeschrijving</b>	<b>3</b>
2.1 Modelparameters	3
2.2 Bedrijfsinformatie	4
2.3 Werkzame N balans	4
<b>3 Model update</b>	<b>5</b>
3.1 Gegevens	5
3.2 Parametrisatie uitspoelingsfracties	7
3.3 Modeltoetsing	10
<b>4 Resultaten parametrisatie</b>	<b>11</b>
4.1 Werkzame N balans	11
4.2 Illustratie aardappel, suikerbiet en wintertarwe	13
4.3 Overige gewassen	15
4.4 Uitspoelingsfracties	16
<b>5 Toetsing</b>	<b>19</b>
5.1 Perceelsniveau	19
5.2 Bedrijfsniveau	20
<b>6 Discussie en aanbevelingen</b>	<b>22</b>
6.1 Werkzame N-balans	22
6.2 Middelingsmethode	23
6.3 Toekomstige ontwikkelingen	24
<b>7 Literatuur</b>	<b>26</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>27</b>
<b>A Modelparameters en invoergegevens</b>	<b>28</b>
A.1 Modelparameters	28
A.2 Teeltgegevens	30
<b>B Rekenregels nitraatuitspoelingsmodel</b>	<b>32</b>
<b>C Resultaten gedetailleerd</b>	<b>34</b>

## Samenvatting

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 2014 is een nitraatuitspoelingsmodel ontwikkeld om het effect van bouwplan en bemesting op het nitraatgehalte in het bodemvocht in beeld te brengen. In 2017 is dit model beschreven en geëvalueerd op basis van bedrijfs- en perceelsgegevens die in de periode 2008 tot 2015 zijn verzameld. Uit die evaluatie bleek dat een aantal elementen aangepast moesten worden om een betrouwbare schatting te geven van het nitraatgehalte in het bodemvocht. Het overkoepelende doel is een betrouwbaar model om:

- het nitraatgehalte in het bodemvocht te voorspellen in relatie tot bemesting en bouwplan;
- 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.

De voorliggende rapportage beschrijft een tweetal verbeteringen om het model beter aan te laten sluiten bij de agrarische praktijk. Allereerst zijn de uitspoelingsfracties opnieuw geparаметriseerd met extra meetgegevens én wordt nu rekening gehouden met vruchtopvolging. Dit omdat uit de eerdere studie bleek dat de N-uitspoeling beïnvloedt kan worden door de bewortelingsdiepte en daaraan gekoppelde N-opname van het volggewas. Ook zijn alternatieve middelingsmethoden ontwikkeld en getoetst om zo beter zicht te krijgen op gemiddelde uitspoeling van stikstof op perceel- en bedrijfsniveau. De toegepaste wijzigingen verbeteren de nauwkeurigheid van het nitraatvoorspellingsmodel.

Uit deze studie blijkt dat het mogelijk is om een redelijk robuuste schatting te geven van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte in het bodemvocht. Wel is er op perceelsniveau nog sprake van aanzienlijke variatie. Het nitraatuitspoelingsmodel brengt effecten van bemesting en gewasopbrengsten kwantitatief in beeld en levert daardoor een stimulans om via management het nitraatgehalte te verlagen.

# 1 Introductie

De lössgronden in Zuid-Limburg staan er om bekend dat ze gevoelig zijn voor nitraatuitspoeling. Binnen het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG) wordt door WML al meerdere jaren actief samengewerkt met de agrarische sector om de emissie van stikstof naar het grondwatersysteem te verlagen. In 2014 is binnen het DSG-project een nitraatuitspoelingsmodel ontwikkeld om het effect van bouwplan en bemesting op het nitraatgehalte in het bodemvocht in beeld te brengen. Dit model wordt niet alleen ingezet binnen het DSG-project maar ook binnen 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 huidige mestbeleid is mede gebaseerd op een simulatiemodel (WOG-WOD-model) waarbij het nitraatgehalte wordt berekend als vaste fractie van het N-overschot op bedrijfsniveau. Deze zogenoemde uitspoelingsfractie varieert per landgebruik (bouwland vs. grasland) en grondwatertrap en is afgeleid van metingen die zijn uitgevoerd op bedrijven binnen het Landelijk Meetnet Mestbeleid (LMM). Een aantal DSG deelnemers zijn ook deelnemer aan het LMM. De meetresultaten komen naar het gevoel van de deelnemers en uitvoerders van DSG niet overeen met datgene wat verwacht zou worden op basis van de N-aanvoer en N-afvoer op perceelsniveau. Hierdoor is binnen DSG gezocht naar een methode om te komen tot een zo goed mogelijke voorspeller van het nitraatgehalte gemiddeld onder het bedrijf. Dit initiatief staat in het licht van de gegeven opening van het ministerie van EZ om voor lossgronden in Limburg met een alternatief en goed onderbouwd modelinstrumentarium te komen.

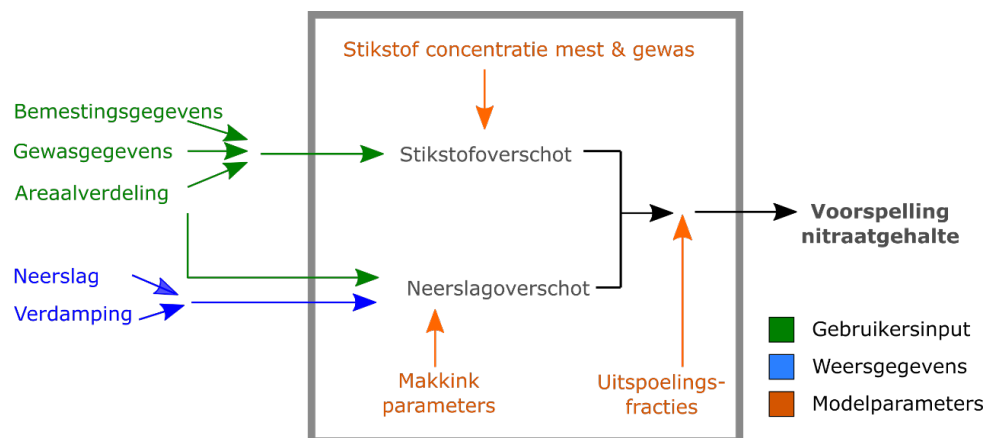
Het ontwikkelde nitraatuitspoelingsmodel binnen DSG is in 2017 aangepast om beter inzicht te geven in de effecten van bouwplan en bemesting op het nitraatgehalte in het bodemvocht (Ros et al., 2017). Hiervoor is de oorspronkelijke N-balans (die gebaseerd was op N-totaal) omgezet naar een N-balans voor werkzame stikstof. De voorliggende rapportage beschrijft het gebruikte modelinstrumentarium en kwantificeert gewasspecifieke uitspoelfracties gebaseerd op metingen uit het praktijknetwerk van DSG.

## 2 Modelbeschrijving

Het nitraatuitspoelingsmodel berekent de verwachte nitraatuitspoeling op basis van het bouwplan en de gegeven bemesting. Het model is gebaseerd op een balansmethode voor werkzame stikstof. Hierbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid nitraat die uitspoelt op lössgronden evenredig is met het werkzame N-overschot: bedrijven met een hoger N-overschot worden ook gekenmerkt door een hogere uitspoeling. De fractie van het overschot dat uitspoelt uit de wortelzone richting het grondwater wordt de uitspoelingsfractie genoemd. In formulevorm:

$$\text{NO}_3^- = \text{Uitspoelingsfractie} \times \frac{\text{Noverschot}}{\text{Neerslagoverschot}}$$

Hierin is het N-overschot het verschil tussen de werkzame N-aanvoer naar de bodem en de N-afvoer via gewasopname. Dit overschot wordt dus niet opgenomen door het gewas en kan uitspoelen naar het grondwater of worden gedenitrificeerd. Het neerslagoverschot is de hoeveelheid water dat uitspoelt naar het grondwater. Dit is afhankelijk van het gewas omdat het ene gewas meer water verdampt dan het andere. De gebruikte invoergegevens en balansmethode wordt hieronder conceptueel gevisualiseerd.



Figuur 2.1. Schematisatie van het nitraatuitspoelingsmodel.

Dit hoofdstuk beschrijft het nitraatuitspoelingsmodel op hoofdlijnen. Gedetailleerde rekenregels zijn te vinden in Bijlage B.

### 2.1 Modelparameters

De modelparameters in het nitraatuitspoelingsmodel zijn gebaseerd op gegevens uit de literatuur en/of praktijkmetingen, waaronder het stikstofonderzoek dat in Wijnandsrade is uitgevoerd. De belangrijkste zijn het N-gehalte van geoogste gewassen, de N-werkingscoëfficiënten van dierlijke meststoffen en de Makkink-parameters. Naast de gewasopbrengst (bedrijfsinformatie) bepaalt namelijk het N-gehalte van het geoogste gewas hoeveel stikstof er wordt afgevoerd. Aanvoer van stikstof gebeurt via bemesting, mineralisatie van groenbemesters, depositie en mineralisatie vanuit de bodem. De uitspoelingsfracties zijn gewasafhankelijk en worden bepaald door o.a. de lengte van het groeiseizoen, de bewortelingsdiepte en de stikstofefficiëntie gedurende de N-opnameperiode. De onderliggende aanname is hierbij dat de uitspoelingsfractie gelijk blijft over de reeks

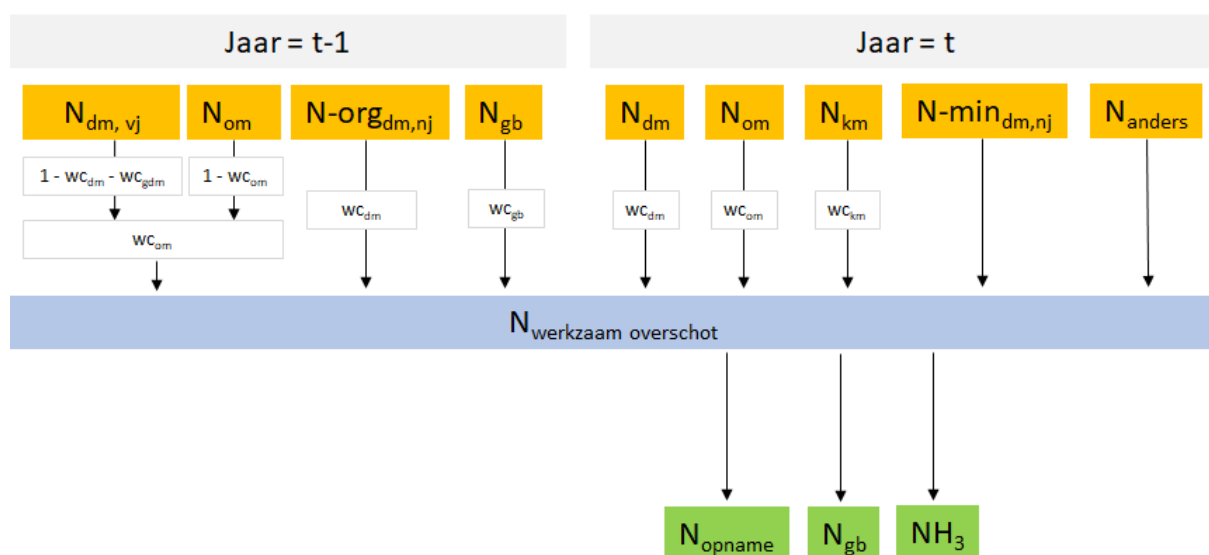
van voorkomende N-overschotten in de bemestingspraktijk. De gebruikte Makkink-parameters zijn empirische gewasfactoren die gebruikt worden om de standaard referentieverdamping (conform Makkink-methode) om te zetten naar de potentiële verdamping die optreedt gedurende het groeiseizoen.

## 2.2 Bedrijfsinformatie

Naast de generieke modelparameters is er bedrijfsinformatie nodig wat betreft de aan- en afvoer van meststoffen, het bouwplan, gewasopbrengsten en het weer. In meer detail, de gebruikersinput bestaat uit de hoeveelheid en soort aangevoerde mest (drijfmest/ kunstmest/ type organische mest), het bouwplan en het areaal per gewas (voor zowel hoofd- als nateelt). De weersgegevens komen van het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation.

## 2.3 Werkzame N balans

De werkzame N-balans is gebaseerd op het verschil tussen de daadwerkelijke aanvoer en afvoer van werkzame stikstof op gewasniveau (Figuur 2.2).



Figuur 2.2. Schematisatie van de werkzame N-balans. Het werkzame N-overschot wordt berekend uit de werkzame mestgiften van het teeltjaar (jaar = t), de nawerking van mest en groenbemester van het vorige jaar (jaar = t-1), de gewasopname en de andere posten voor N-aanvoer (depositie, fixatie en bodemlevering).

De N-aanvoer bestaat uit de werkzame stikstof uit kunstmest, drijfmest, weidemest en overige organische mest, aangevuld met de nawerking van deze bemesting uit het vorige jaar. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de geschatte mestgift en bijbehorende werkingscoëfficiënten (zie Bijlage A). Daarnaast komt er stikstof beschikbaar via N-levering uit de bodem, depositie en via N-binding door leguminosen.

De N-afvoer bestaat uit de hoeveelheid N die wordt opgenomen door het geoogste gewas. Dit wordt berekend aan de hand van de opbrengst en het N-gehalte van het geoogste gewas. De N-opname van groenbemers wordt niet alleen meegenomen als uitgaande post op de N-balans, maar wordt ook meegenomen in de N-aanvoer in het volgende jaar. Aansluitend wordt ook rekening gehouden met eventuele verliezen via ammoniakvervluchtiging.



### 3 Model update

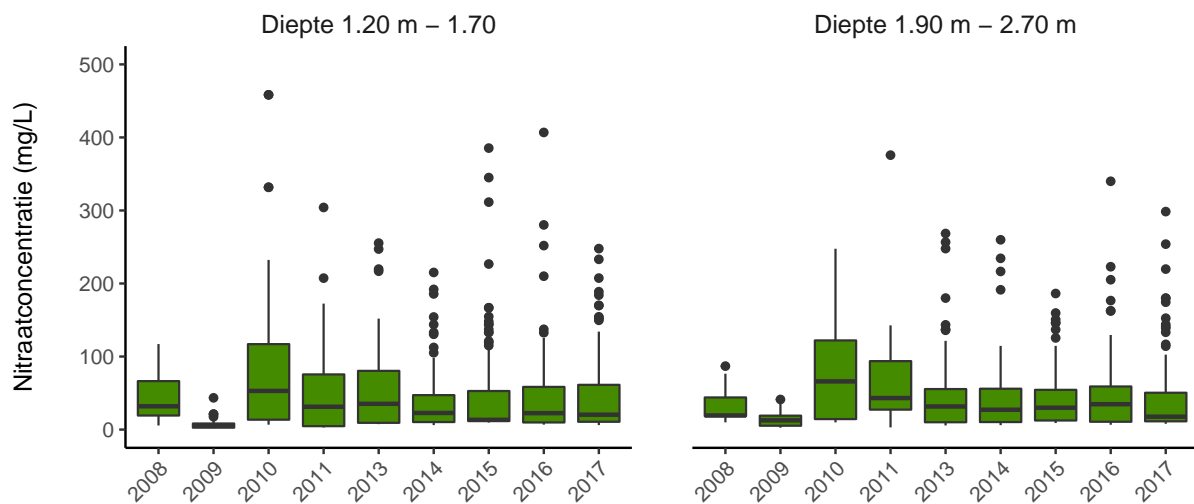
Het nitraatuitspoelingsmodel is aangepast en getoetst met data van bedrijven op lössgrond die afgelopen jaren (2008-2017) hebben deelgenomen aan het project Duurzaam Schoon Grondwater. Van deze bedrijven zijn voor verschillende percelen de mineralenbalansen verzameld evenals de nitraatgehaltes in het bodemvocht. Dit hoofdstuk beschrijft de gebruikte gegevens om per gewas een uitspoelingsfractie af te leiden.

#### 3.1 Gegevens

##### 3.1.1 Nitraatmetingen

In de jaren 2003 tot 2017 zijn nitraatgehaltes in het bodemvocht gemeten op percelen verspreid over de lössbodems in Zuid-Limburg. De gebruikte methodiek hiervoor is beschreven in Ros et al. (2014). Om een relatie te leggen tussen bemesting en N-uitspoeling zijn alleen die metingen meegenomen die zijn uitgevoerd in het najaar (september - december). In het DSG-meetnet wordt het bodemvocht standaard bemonsterd op twee dieptes: de laag 130 - 150 cm-mv en de laag 230-250 cm-mv. Afwijkende dieptes kunnen voorkomen als de bodemgesteldheid ter plekke (door bijvoorbeeld de aanwezigheid van stenen of mergel) het onmogelijk maakt om exact op deze diepte te bemonsteren. Voor de huidige analyse worden alleen die metingen gebruikt die zijn genomen van de laag 120 - 170 cm-mv (ondiepe metingen) en 190 - 270 cm-mv (diepe metingen).

Een overzicht van de nitraatmetingen waarvan de teelt- en bemestingsgegevens van het vorige jaar en/of twee jaar terug bekend zijn, is weergegeven in Figuur 3.1. In totaal zijn er gegevens beschikbaar van 41 bedrijven en 94 percelen.



Figuur 3.1. Boxplot van alle gebruikte nitraatmetingen in het ondiepe (links) en diepe (rechts) bodemvocht. De groene box geeft de range van concentraties aan waarbinnen 50% van alle metingen ligt.

### 3.1.2 Teelt en bemestingsgegevens

Teelt en bemestingsgegevens zijn verzameld binnen het DSG-project over de periode 2008 tot 2017. Van de deelnemende bedrijven zijn de teeltgegevens (gewas, opbrengst) en de uitgevoerde bemesting in voor- en najaar (mestsoort en N-gift) bekend voor het hele bedrijf en voor specifieke gewaspercelen waarop metingen zijn uitgevoerd in het bodemvocht. Een samenvattend overzicht van gebruikte teelt- en bemestingsdata op perceelniveau is weergegeven in Tabel 3.1. Gewassen waarvoor slechts één meting bekend is ( $n = 1$ ) worden niet meegenomen in de analyse. Dat geldt voor bladrammenas, groenten, rogge en triticale. Grasland is onderverdeeld in productiegrasland, natuurgrasland en beweidingsgrasland omdat het beheer en de bemesting sterk verschillen tussen deze drie categoriën. Voor snijmais is er sprake van continue teelt wanneer het vorige of het volgende jaar ook snijmais is geteeld.

Tabel 3.1. Overzicht van de perceeldata die is gebruikt voor de parametrisatie van de gewasspecifieke uitspoelingsfracties. Gegeven zijn het aantal teelten per gewas waarvoor nitraatmetingen beschikbaar zijn, de gemiddelde opbrengst en mestgift per gewas voor kunstmest (km), drijfmest in het voorjaar (dm vj), drijfmest in het najaar (dm nj), drijfmest in het voorgaande najaar (dm vnj) en weidemest (weide).

Gewas	Aantal teelten	Opbrengst (ton/ha)	Mestgiften (kg/ha)				
			km	dm vj	dm nj	dm vnj	weide
Appels	6	42	25	42	0	0	0
Bladrammenas	1	0	0	0	0	0	0
Consumptieaardappel	21	56	130	82	25	67	0
Grasland - beweiden	27	0	89	45	0	0	0
Grasland - natuur	13	2	0	0	0	0	0
Grasland - productie	56	8	166	157	0	0	3
Groenten	1	25	94	0	0	0	0
Hamsterperceel	12	0	24	50	0	0	0
Korrelmais	10	14	39	157	0	29	0
Rogge	1	0	0	0	0	0	0
Mais - continue teelt	13	43	32	185	0	0	0
Mais - vruchtwisseling	25	44	29	155	5	34	0
Suikerbiet	27	84	58	40	0	110	0
Triticale	1	10	122	101	0	101	0
Ui	4	52	97	0	0	62	0
Wintergerst	9	9	136	13	86	52	0
Wintertarwe	66	9	143	65	91	11	0
Zomergerst	9	7	62	0	79	30	0

De uitspoelingsfracties per gewas zijn afgeleid van de metingen die op perceelniveau bekend zijn. Na parametrisatie kan het model vervolgens toegepast worden om per bedrijf een gemiddeld nitraatgehalte uit te rekenen. Mestverdeling over de gewassen wordt geschat via een mestverdelingsmodule (Ros et al., 2017) gebaseerd op praktijkexpertise. Omdat het uitspoelingsmodel ook wordt toegepast op bedrijfsniveau is deze data gebruikt voor de toeting van het vernieuwde model. Zie Bijlage A.2 voor een overzicht van de correcties die zijn uitgevoerd om incorrecte bedrijfsgegevens te detecteren en te verbeteren.

### 3.1.3 Gewassenmerken

De N-gehalten 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 gewasspecifieke uitspoelingsfracties (als fractie van N-totaal) die in het vorige model worden gebruikt, 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.

### 3.1.4 Neerslag en verdamping

De neerslag- en verdampingsgegevens zijn afkomstig van het KNMI-weerstation Maastricht (KNMI, 2017). Gebruikte maandelijkse Makkink-factoren komen uit het Cultuur-technisch 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.

## 3.2 Parametrisatie uitspoelingsfracties

De uitspoelingsfracties zijn opnieuw geparametriseerd voor de gewassen waarvan data op perceelsniveau beschikbaar was. Daarvoor zijn eerst de perceelsgegevens gekoppeld aan de beschikbare nitraatmetingen. Van de perceelsdata is vervolgens de werkzame N-balans opgesteld. Tenslotte is voor elke nitraatmeting de uitspoelingsfractie berekend. Als deze bekend zijn, kan de gemiddelde uitspoelingsfractie per gewas berekend worden.

### 3.2.1 Opstellen werkzame N balans

Het werkzame N-verschot is het verschil tussen de werkzame N-aanvoer en N-afvoer op perceelniveau, waarbij rekening wordt gehouden met de actuele N-werking én eenjarige nawerking van meststoffen en groenbemesters. Vanuit het vorige teeltjaar komt stikstof beschikbaar via mineralisatie van het niet-werkzame deel van de toen uitgevoerde voorjaarsbemesting, van de werkzame fractie van het organische deel van de najaarsbemesting en de werkzame fractie van de ondergewerkte groenbemester. Vanuit het huidige teeltjaar komt stikstof beschikbaar via de werkzame fractie van de uitgevoerde voorjaarsbemesting en het minerale gedeelte van de (eventueel) gegeven najaarsbemesting.

De nawerking van de mest is berekend met werkingscoëfficiënten voor drijfmest en overige organische mest. De gebruikte werkingscoëfficiënten en de minerale fracties van de meststoffen zijn afgeleid van het Nederlandse Bemestingsadvies (van Middelkoop et al., 2017) en de databank organische meststoffen (de Haan et al., 2013). Zie Bijlage A voor de gebruikte werkingscoëfficiënten en mestsamenstelling.

Andere aanvoer posten (N-anders in Figuur 2.2) die worden meegenomen zijn de N-depositie, de N-binding van vlinderbloemigen en de N-levering van de bodem. Voor N-depositie wordt aangenomen dat er jaarlijks 24 kg N ha<sup>-1</sup> aangevoerd wordt (Velders et al., 2013). Voor N-binding wordt gebruik gemaakt van gewasspecifieke

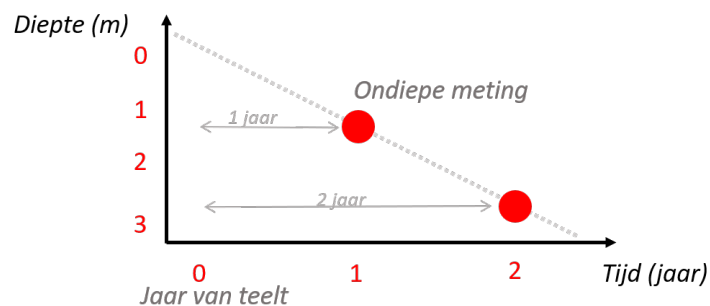
kengetallen die ook gebruikt worden in LMM-onderzoek (Fraters et al., 2007). De N-levering van de bodem wordt geschat op  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Afvoer van N vindt plaats door de N-opname van het gewas en de groenbemester. Eventuele ammoniakverliezen worden geschat op 1% van N-kunstmest en 5% voor drijfmest (Velthof et al., 2009).

Om de nitraatuitspoelingsfractie per gewas goed in beeld te brengen, is aanvullend een check uitgevoerd op de geschatte N-overschotten. Daaruit bleek dat een aantal opbrengstschattingen voor grasland en snijmais onrealistische waarden opleveren die zorgen voor een sterk negatief N-overschot, dat wil zeggen dat de opname veel groter ( $>50 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) is dan de geschatte N-aanvoer. De situaties waarbij het N-overschot negatief is op basis van de aangeleverde bedrijfsinformatie zijn daarom niet meegenomen in de analyse<sup>1</sup>.

### 3.2.2 Koppelen perceelgegevens aan nitraatmetingen

De uitgevoerde metingen in het ondiepe en diepe bodemvocht zijn het startpunt van de analyse. Voor elk perceel waar deze metingen zijn uitgevoerd, is informatie opgevraagd over het bouwplan en de uitgevoerde bemesting van het jaar waarin de bodemvochtanalyse is uitgevoerd én van de twee voorgaande jaren. Hierbij wordt rekening gehouden met verplaatsing van het water door het bodemprofiel (Figuur 3.2). Metingen die zijn uitgevoerd in het ondiepe bodemvocht ( $130 \text{ cm-mv} < \text{diepte} < 170 \text{ cm-mv}$ ) worden gekoppeld aan het N-overschot van het voorgaande jaar. Metingen die zijn uitgevoerd in het diepe bodemvocht ( $190 \text{ cm-mv} < \text{diepte} < 270 \text{ cm-mv}$ ) worden gekoppeld aan het N-overschot van twee jaar terug. Per perceel zijn veelal twee tot drie metingen uitgevoerd. Al deze metingen worden gebruikt voor de afleiding van de uitspoelingsfractie (d.w.z., de data wordt *niet* vooraf geaggregeerd).



Figuur 3.2. Schematisatie van de koppeling van de teeltgegevens aan de nitraatmetingen. De ondiepe metingen worden gekoppeld aan de teelt van 1 jaar terug en de diepe metingen worden gekoppeld aan de teelt van 2 jaar terug.

<sup>1</sup>Dit gaat om de volgende perceel-jaar combinaties: 15-2017, 18-2013, 18-2013, 27-2015, 27-2016, 30-2015, 32-2016, 32-2017, 35-2014, 35-2017, 36-2013, 36-2014, 36-2017, 43-2015, 44-2016, 52-2013, 52-2014, 53-2013, 53-2015, 58-2015, 64-2015, 82-2016, 83-2017, 88-2016, 901-2011 en 906-2011

### 3.2.3 Berekenen uitspoelingsfracties

De uitspoelingsfracties zijn alleen berekend voor die gewassen waarvan voldoende gegevens op perceelsniveau beschikbaar zijn. Hiervoor worden de nitraatmetingen en het berekende N-overschot van de gekoppelde teelt gebruikt. De berekening van de gewasspecifieke uitspoelingsfracties gebeurt in drie stappen:

1. Voor elke teelt  $j$  wordt berekend wat de maximale hoeveelheid  $\text{NO}_3^-$  is die kan uitspoelen op basis van het werkzame N-overschot en het neerslagoverschot:

$$\text{Maximaal uitspoelbare } \text{NO}_3^- \text{ [mg/L]} = \frac{\text{Werkzame N overschot}_j \text{ [kg/ha]}}{\text{Neerslag overschot}_j \text{ [m3/ha]}} \times 1000 \cdot \frac{14 + 3 \cdot 16}{14}$$

2. Vervolgens wordt voor elke nitraatmeting  $i$  de uitspoelingsfractie bepaald door te berekenen welke fractie van de potentieel uitspoelbare nitraat ook daadwerkelijk uitspoelt:

$$UF_j = \frac{\text{NO}_3^-}{\text{Maximaal uitspoelbare } \text{NO}_3^-}$$

3. De uitspoelingsfractie per gewas wordt berekend door het gemiddelde te nemen van alle uitspoelingsfracties van de desbetreffende teelt  $j$ :

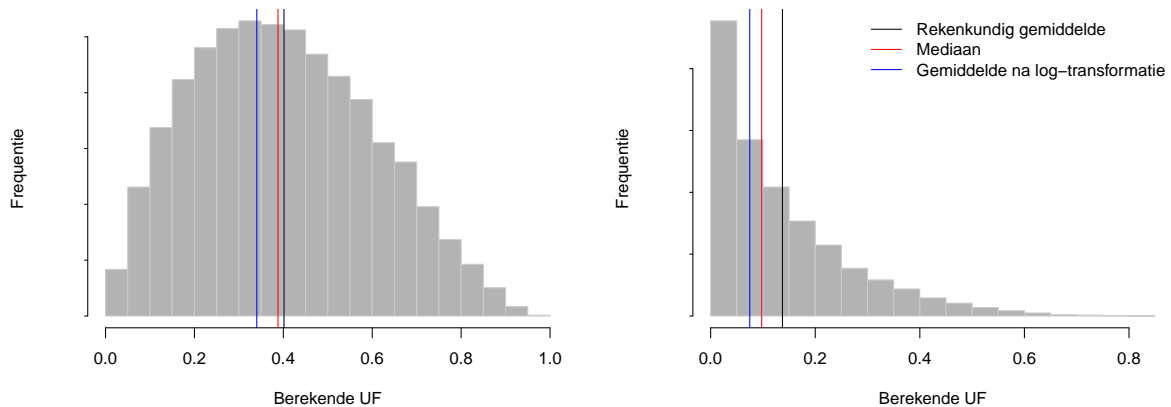
$$UF_{\text{gewas}} = f(UF_j)$$

Hierbij is  $f(x)$  de aggregatiefunctie die wordt toegepast op alle  $UF_j$  van *gewas* om de gemiddelde uitspoelingsfractie te berekenen. Normaal gesproken wordt daar het rekenkundig gemiddelde voor gebruikt. De situaties waarvoor geldt dat  $UF_j > 3$  zijn weggelaten. Dat betekent namelijk dat de werkzame N-balans voor deze situaties niet goed in beeld is gebracht ofwel dat de nitraatmeting onrealistisch is: er zou namelijk drie keer meer nitraat uitspoelen dan wat er aanwezig is uit de geschatte bronnen<sup>2</sup>.

Uit een eerste analyse bleek dat de berekende uitspoelingsfracties niet normaal verdeeld zijn. In die situaties is het lastig om een goed gemiddelde te schatten via een rekenkundig gemiddelde, zeker bij kleine datasets. Om een goede schatting te geven van de uitspoelingsfractie per gewas (en daarmee ook het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte van het uitspoelend bodemvocht) kan gebruik worden gemaakt van alternatieve methoden om een gemiddelde te berekenen. In deze studie worden een aantal bekende methoden geëvalueerd, waaronder de mediaan en het rekenkundig gemiddelde na log-transformatie. Zie Figuur 3.3 voor een illustratie van het effect van het gebruik van verschillende middelingsmethoden.

De beste middelingsmethode is geselecteerd op basis van een aantal randvoorwaarden. Allereerst mag de methode geen data verwijderen; alle aanwezige informatie moet meegenomen worden in de berekening van het gemiddelde want het zijn uiteindelijk echte gemeten waarden in het bodemvocht. Ten tweede moet de gebruikte methodiek goed uitlegbaar en uitvoerbaar zijn met standaard Microsoft programma's. Methoden die gebruik maken van bootstrapping of permutatie vallen daarom af. Ten derde moeten de geschatte uitspoelingsfracties aansluiten bij de ervaring in de praktijk. Dit betekent concreet dat de uitspoelingsfracties hoog moeten zijn voor uitspoelingsgevoelige gewassen en laag moeten zijn voor diepwortelende gewassen die niet uitspoelingsgevoelig zijn. Bij voorkeur laat de methode ook substantiele verschillen zien tussen gewasgroepen en teelten én is de onzekerheid (lees: betrouwbaarheidsinterval) op het geschatte gemiddelde klein.

<sup>2</sup>Dit geldt voor de volgende perceel-jaar combinaties: 4-2017, 26-2016, 30-2015, 31-2013, 33-2010, 34-2014, 38-2017, 40-2016, 48-2013, 51-2013, 51-2015, 58-2015, 58-2016, 64-2016, 83-2016 en 52-2013



Figuur 3.3. Illustratie van het effect van het gebruik van verschillende middelingsmethoden. Hoe schever de verdeling (hoe meer uitschieters), hoe groter het verschil tussen de methode.

Omdat er sprake is van een tijdsverschuiving tussen N-overschot en gemeten nitraatgehalte in het bodemvocht (zie Figuur 3.2) is het evident dat het nagewas invloed kan uitoefenen op het nitraatgehalte in het ondiepe bodemvocht. Diep wortelende gewassen zijn namelijk in staat om nitraat op te nemen tot circa 180 cm-mv waardoor het nitraatgehalte in het ondiepe bodemvocht kan dalen. Mogelijk speelt capillaire opstijging van het bodemvocht ook een rol. Voor elk gewas is daarom nagegaan of het zinvol is om een aparte uitspoelingsfractie te hanteren voor teelten met een ondiepe dan wel diepe volgteelt.

### 3.3 Modeltoetsing

Het nitraatuitspoelingsmodel is getoetst op perceelsniveau voor de gewassen waarvoor het mogelijk bleek om een betrouwbare uitspoelingsfractie te bepalen. Hiervoor wordt de geschatte nitraatgehalte in het bodemvocht vergeleken met de voorspelling. Deze toetsing is ook gebruikt om het effect van de middelingsmethoden te evalueren.

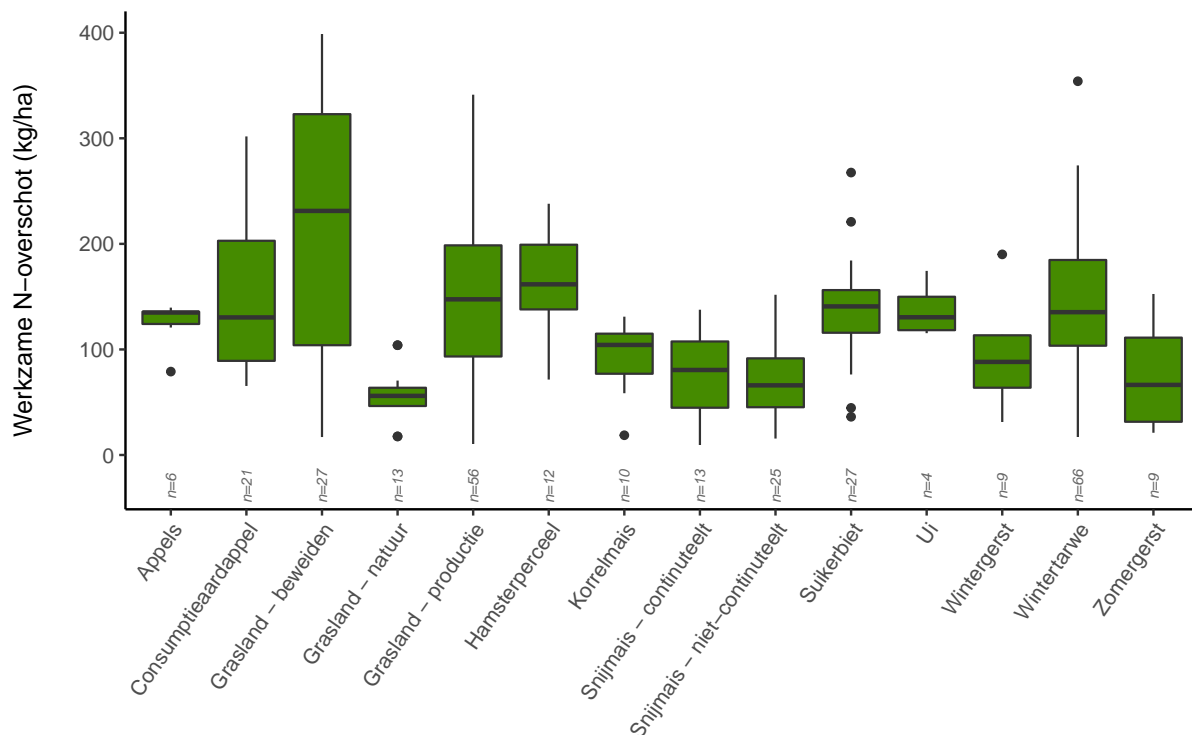
In de praktijk wordt het nitraatuitspoelingsmodel toegepast op bedrijfsniveau. Voor de aanwezige bedrijven in het praktijknetwerk van DSG is daarom in beeld gebracht wat het gemiddelde nitraatgehalte is gegeven de variatie in bouwplan en bemesting.

## 4 Resultaten parametrisatie

In dit hoofdstuk wordt eerst een overzicht gegeven van de opgestelde werkzame N-balans van de percelen. Daarna wordt in meer detail naar de eigenschappen van de belangrijkste akkerbouwgewassen gekeken: aardappelen, suikerbieten en wintertarwe. Vervolgens worden de resultaten van de parametrisatie van de uitspoelingsfracties gepresenteerd. Daarbij wordt ook ingegaan op het effect van de bewortelingsdiepte van de volgteelt en het effect van de gebruikte middelingsmethode. Tenslotte wordt het nitraatuitspoelingsmodel getoetst met de geupdate uitspoelingsfracties.

### 4.1 Werkzame N balans

De hoeveelheid stikstof die wordt aan- en afgevoerd van de percelen varieert sterk tussen maar ook binnen de verschillende gewassen. Daarom zien we ook veel variatie in het werkzame N-overschot. In Figuur 4.1 is de spreiding van het werkzame N-overschot voor de verschillende gewassen te zien. Het werkzame N-overschot varieert van 9 tot 399 kg/ha met een gemiddelde van 132 kg/ha. Figuur 4.1 laat ook de spreiding van het werkzame N-overschot zien binnen de gewassen. Het verschil tussen het laagste en hoogste N-overschot binnen gewassen varieert van 59 kg/ha voor het gewas *Ui* en 382 kg/ha voor *Grasland - beweiden*.



Figuur 4.1. Boxplot het N-overschot per gewas. De groene box geeft de range aan waarbinnen 50% van de berekende N-overschotten ligt.

Het werkzame N-overschot wordt voornamelijk bepaald door gewasopname van de hoofdteelt, de opname via

nateelt/groenbemester en de aanvoer van werkzame stikstof via bemesting. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de geschatte N-opname per gewas voor de betrokken DSG-bedrijven. Daarbij is ook aangegeven hoeveel stikstof er vrijkomt vanuit de groenbemester van het jaar voor de teelt van het gewas. De totale hoeveelheid stikstof die van een perceel wordt geoogst, varieert sterk: de gemiddelde N-opname van appels is slechts 42 kg N/ha terwijl die van productiegrasland gemiddeld 241 kg/ha is. Het N-overschot van wintergerst, wintertarwe en zomergerst is relatief laag door de opname van stikstof via groenbemesters die na de oogst van de granen wordt ingezaaid. Voor o.a. consumptieaardappel, suikerbieten, uien en zomergerst komt er juist extra stikstof beschikbaar in het voorjaar door de ondergewerkte groenbemester van het voorgaande jaar.

Tabel 4.1. Samenvatting van de N-opname van de hoofdteelten en groenbemesters (GB) en het vrijkomen van N via mineralisatie van de groenbemester van het voorgaande jaar. Voor elk gewas is gegeven wat het minimum (min), gemiddelde (gem) en maximum (max) is. Alle resultaten zijn gegeven in kg/ha.

Gewas	Opname hoofdteelt			Opname GB			Vrijkomen GB		
	min	gem	max	min	gem	max	min	gem	max
Appels	25	42	48	0	0	0	0	0	0
Consumptieaardappel	153	191	221	0	0	0	0	7	38
Grasland - beweiden	0	12	90	0	0	0	0	0	0
Grasland - natuur	0	48	86	0	0	0	0	0	0
Grasland - productie	0	241	420	0	0	0	0	0	0
Hamsterperceel	0	0	0	0	6	75	0	3	38
Korrelmais	167	198	221	0	0	0	0	6	38
Snijmais - continueelt	106	180	240	0	12	75	0	0	0
Snijmais - niet-continueelt	128	193	240	0	3	75	0	8	38
Suikerbiet	89	109	136	0	0	0	0	15	38
Ui	88	113	143	0	0	0	0	19	38
Wintergerst	144	167	186	0	55	75	0	0	0
Wintertarwe	88	168	219	0	44	75	0	0	0
Zomergerst	92	106	113	0	50	75	0	8	38

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de werkzame N-aanvoer via voorjaar- en najaarsbemesting. Gemiddeld genomen krijgt productiegrasland zowel de meeste kunstmest als de meeste drijfmest. Voor de akkerbouwgewassen krijgen vooral consumptieaardappelen, wintergerst en wintertarwe relatief veel kunstmest. Snijmais valt op door de hoge drijfmestgift in het voorjaar. Na de graanteelt volgt in de huidige praktijk vaak een najaarsdrijfmestgift die voor de inzaai van een groenbemester wordt ondergewerkt. Wat verder opvalt is de hoge hoeveelheid stikstof die beschikbaar komt via nawerking voor zowel consumptieaardappel en suikerbieten.



Tabel 4.2. Samenvatting van werkzame mestgiften van het teeltjaar en de hoeveelheid N die vrijkomt vanuit de mestgiften van het voorgaande jaar. Alle resultaten zijn gegeven in kg/ha.

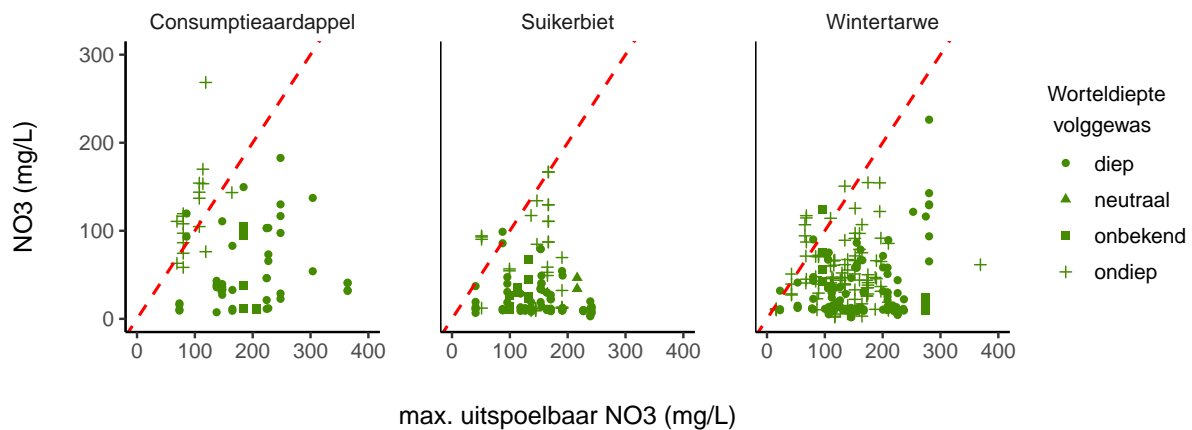
Gewas	Kunstmest			DM voorjaar			DM najaar			DM vorig jaar		
	min	gem	max	min	gem	max	min	gem	max	min	gem	max
Appels	0	25	73	0	34	67	0	0	0	0	3	5
Consumptieaardappel	60	129	215	0	59	209	0	12	93	0	26	78
Grasland - beweiden	0	88	284	0	27	84	0	0	0	0	6	22
Grasland - natuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grasland - productie	53	164	331	0	100	253	0	0	0	0	20	72
Hamsterperceel	0	24	97	0	35	108	0	0	0	0	2	7
Korrelmais	0	39	62	78	125	169	0	0	0	6	15	34
Mais, continueelt	0	32	43	72	110	180	0	0	0	0	19	32
Mais, vruchtwisseling	0	28	67	0	103	188	0	4	89	0	21	59
Suikerbiet	0	58	162	0	30	139	0	0	0	0	39	96
Ui	77	96	126	0	0	0	0	0	0	0	32	70
Wintergerst	62	135	160	0	11	100	0	43	82	0	19	63
Wintertarwe	14	142	247	0	50	215	0	50	171	0	10	65
Zomergerst	0	61	87	0	0	0	0	41	86	0	13	99

## 4.2 Illustratie aardappel, suikerbiet en wintertarwe

De belangrijkste akkerbouwgewassen in de lössregio in Zuid-Limburg zijn consumptieaardappel, wintertarwe en suikerbieten. Voor deze gewassen zijn in de afgelopen jaren ook de meeste metingen uitgevoerd. De geschatte uitspoelfracties worden in deze paragraaf toegelicht<sup>1</sup>.

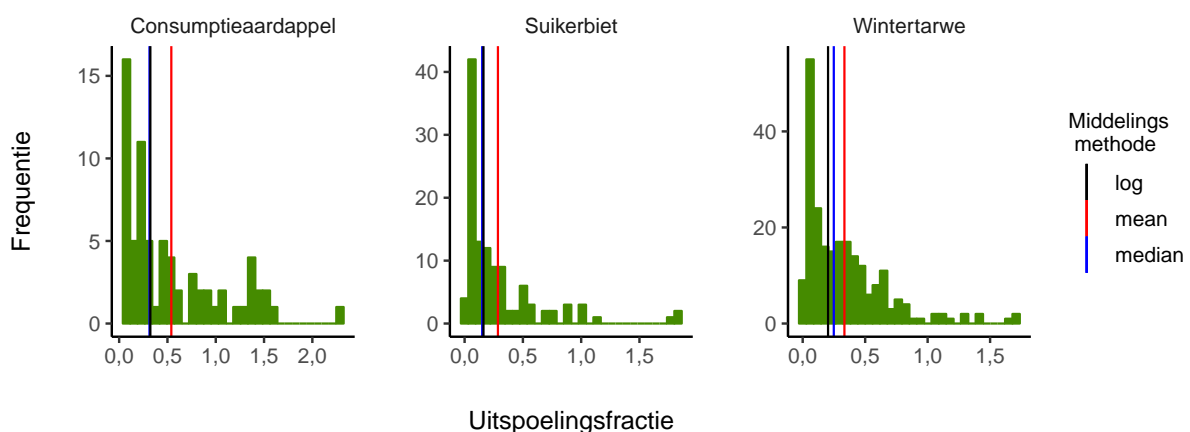
Als eerste is het werkzame N-overschot omgerekend naar de maximaal uitspoelbare hoeveelheid  $\text{NO}_3^-$  door rekening te houden met het gewasspecifieke neerslagoverschot. Dit zou de concentratie zijn in het bodemvocht als het volledige N-overschot ook daadwerkelijk uitspoelt. In Figuur 4.2 is de werkelijk gemeten nitraatconcentratie in het bodemvocht vervolgens uitgezet tegen deze maximale concentratie, waarbij rekening wordt gehouden met de worteldiepte van het volggewas. Uit deze illustratie blijkt dat er in de praktijk grote variatie kan optreden bij een identiek N-overschot. Gewassen met een ondiep wortelend volggewas worden daarbij gekenmerkt door hogere nitraatgehalten in het bodemvocht, in het bijzonder voor consumptieaardappelen en suikerbieten. De nitraatgehalten kunnen in het ondiepe bodemvocht zelfs hoger zijn dan de maximaal uitspoelbare nitraat van het voorgaande jaar. Diepwortelende gewassen verlagen de nitraatgehalten in het bodemvocht. Dit bevestigt dat de nateelt van invloed is op het nitraatgehalte, waardoor het nuttig is om ook voor de uitspoelfracties rekening te houden met vruchtopvolging.

<sup>1</sup>Zie Bijlage C voor een overzicht van de geschatte uitspoelfracties van alle gewassen en middelingsmethoden



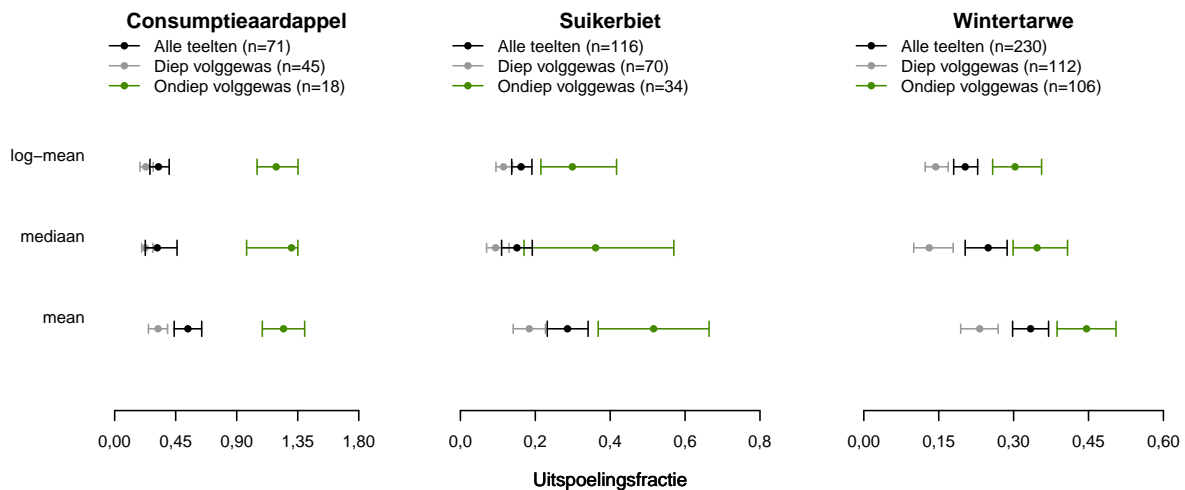
Figuur 4.2. Illustratie van de uitspoelbare nitraat ten opzicht van de nitraatmeting in het bodemvocht voor de gewassen consumptieaardappel, suikerbiet en wintertarwe. Het plus-symbool geeft de situaties aan waarbij de teelt gevolgd werd door een ondiep wortelend gewas. De rode lijn geeft de situaties aan waarin de gemeten nitraat exact hetzelfde is als de maximaal uitspoelbare nitraat.

Voor elke nitraatmeting is de uitspoelingsfractie berekend door de gemeten nitraatconcentratie te delen door het maximaal uitspoelbare nitraatgehalte. Dus hoe hoger de gemeten nitraatconcentratie in het bodemvocht bij eenzelfde N-overschot, hoe hoger de uitspoelingsfractie. Figuur 4.3 laat de variatie van de uitspoelingsfracties van de gewassen zien. Voor consumptieaardappel varieert de berekende uitspoelingsfractie tussen 0,05 en 2,26. Voor suikerbiet varieert dit tussen de 0,01 en 1,84 en voor wintertarwe tussen 0,01 en 1,72. De berekende uitspoelingsfracties zijn duidelijk niet normaal verdeeld waardoor de berekening van het gemiddelde sterk afhangt van de middelingsmethode die wordt gebruikt. Voor consumptieaardappel zit er tot 23% verschil in de uitspoelfractie tussen de verschillende methoden terwijl het verschil voor suikerbiet en wintertarwe aanzienlijk kleiner is maar desondanks kan oplopen tot 13%.



Figuur 4.3. Verdeling van de berekende uitspoelingsfracties voor de gewassen consumptieaardappel, suikerbiet en wintertarwe.

De betrouwbaarheid van de berekende uitspoelingsfractie hangt af van het aantal observaties en de spreiding



Figuur 4.4. Illustratie van het effect van middelingsmethode en volgteelt op de gemiddelde uitspoelingsfractie van consumptieaardappel, suikerbiet en wintertarwe. De balken geven de 90%-betrouwbaarheidsinterval aan, wat wil zeggen dat 90% van de uitspoelingsfracties in de desbetreffende teelt binnen deze bandbreedte valt.

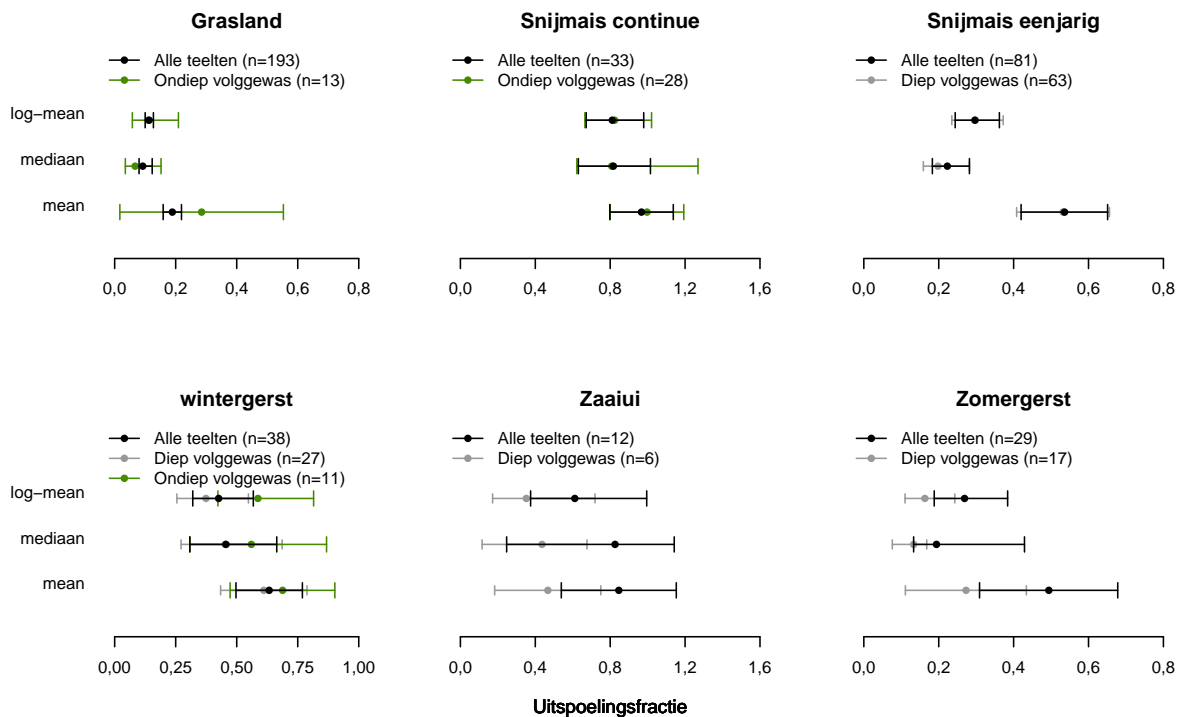
die aanwezig is per gewas. Figuur 4.4 laat de resultaten zien voor de drie meest gebruikte middelingsmethoden op de gemiddelde uitspoelingsfractie per gewas rekening houdend met de volgteelt. Voor consumptieaardappel varieert de gemiddelde uitspoelingsfractie tussen 0.31 en 0.54 als geen rekening wordt gehouden met de volgteelt. De uitspoelingsfractie ligt 10 tot 20% lager als aardappelen worden opgevolgd door een diep wortelend gewas of 80-90% hoger als er sprake is van een ondiep wortelend volggewas. De verschillen tussen de volgteelten zijn significant. Vergelijkbare resultaten zijn zichtbaar voor suikerbiet en wintertarwe, al is daar het effect kleiner. Het wel of niet meenemen van een volggewas in de berekening van een uitspoelingsfractie heeft een groter effect dan de keuze van middelingsmethode. Middelingsmethoden die rekening houden met een niet-normale verdeling (zoals de mediaan of het gemiddelde na log-transformatie) zorgen in alle situaties voor een lager nitraatgehalte.

### 4.3 Overige gewassen

Naast de drie belangrijkste gewassen is de uitspoelingsfractie berekend voor de gewassen grasland, korrelmais, snijmais, ui, wintergerst en zomergerst (Figuur 4.5). De grootste uitspoeling vindt plaats bij ui en continue snijmais, terwijl de laagste uitspoelingsfracties worden bepaald bij grasland, zomergerst en mais in vruchtwisseling.

Als rekening wordt gehouden met de bewortelingsdiepte van het volggewas dan levert dat voor alle gewassen een hogere uitspoelingsfractie als het gewas wordt opgevolgd door een ondiep wortelend volggewas. Diep wortelende volggewassen zorgen voor een vergelijkbare dan wel lagere uitspoelingsfractie. Dit resultaat is daarmee consistent met de resultaten van aardappel, wintertarwe en suikerbiet. Dat is alleen niet het geval voor productiegrasland als de mediaan gebruikt wordt. Dat verschil is echter verwaarloosbaar (0,02). De geschatte uitspoelingsfracties hebben overigens een grotere onzekerheid door het kleinere aantal bemonsterde percelen. De uitspoelingsfracties voor alle middelingsmethoden en gewassen zijn weergegeven in Bijlage C.

Als het rekenkundig gemiddelde gebruikt wordt als methode verandert de gemiddelde uitspoelingsfractie van alle gewassen niet significant ten opzichte van de uitspoelingsfractie die in het oude nitraatuitspoelingsmodel



Figuur 4.5. Illustratie van het effect van middelingsmethode en volgteelt op de gemiddelde uitspoelingsfractie van een 6-tal voorkomende gewassen. De balken geven het 90%-betrouwbaarheidsinterval aan, wat wil zeggen dat 90% van de uitspoelingsfracties in de desbetreffende teelt binnen deze bandbreedte valt. Groepen met minder dan 5 metingen zijn niet weergegeven.

worden gebruikt (niet weergegeven). Dat is vreemd omdat het hier gaat over de uitspoelingsfractie van werkzame in plaats van totaal stikstof. De onzekerheid op de uitspoelingsfractie is voor de overige gewassen relatief groot, waardoor bovenstaande conclusie niet hard onderbouwd kan worden. Duidelijk wordt wel dat de middelingsmethode een grote invloed heeft. Als de mediaan wordt toegepast, dan daalt de gemiddelde uitspoelingsfractie met 0,14 eenheden en als de log-methode gebruikt wordt dan daalt deze met 0,15 eenheden. Voor individuele gewassen kan dit echter oplopen tot een stijging van 0,45 (zoals bijvoorbeeld voor wintergerst) of een daling van 0,5 eenheden (zoals bijvoorbeeld voor consumptieaardappel). Als de mediaan gebruikt wordt, loopt het verschil zelfs op tot 0,73 eenheden (daling voor consumptieaardappel).

#### 4.4 Uitspoelingsfracties

In de voorgaande secties werd duidelijk dat het zinvol is om bij het vaststellen van de uitspoelingsfractie rekening te houden met de volgteelt. Elk gewas krijgt daarom (voor zover mogelijk) twee uitspoelingsfracties: één voor een situatie met een ondiep wortelend volggewas en één voor een situatie met een diep wortelend volggewas. Gegeven de eerder beschreven randvoorwaarden, en het feit dat de observaties in het veld niet-normaal verdeeld zijn, moet een keus worden gemaakt uit ofwel de mediaan of het rekenkundig gemiddelde na log-transformatie. De onzekerheidsinterval op de geschatte uitspoelingsfractie is vaak kleiner als er gebruik wordt gemaakt van een rekenkundig gemiddelde na log-transformatie. Deze methode voldoet ook aan de voorwaarde dat de uitspoelingsfractie toeneemt in de reeks grasland, suikerbieten, wintertarwe met ondiepe

volgteelt en aardappel met ondiepe volgteelt.

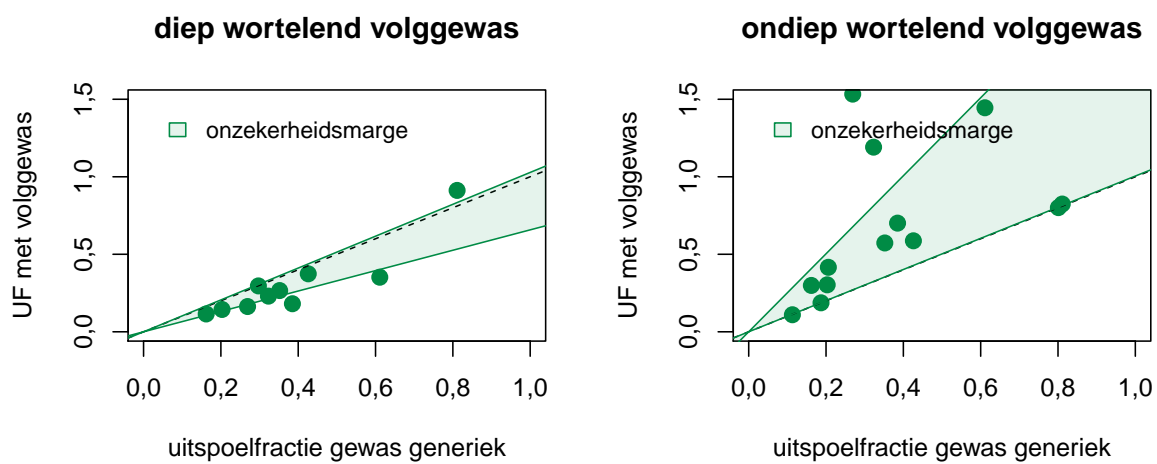
Tabel 4.3. Gemiddelde uitspoelingsfracties per gewas met bijbehorend betrouwbaarheidsinterval (betr.int.) zonder rekening te houden met het volggewas (alle data), dan wel uitgesplitst voor een ondiep of diep volggewas.

Gewas	Alle data			Ondiep volggewas			Diep volggewas		
	n	gem	betr.int.	n	gem	betr.int.	n	gem	betr.int.
appels	24	0,21	0,15-0,28	7	0,42	0,20-0,86	-	-	-
bladrammenas	4	0,40	0,29-0,56	-	-	-	-	-	-
consumptieaardappel	71	0,32	0,26-0,40	18	1,19	1,05-1,35	45	0,23	0,19-0,28
grasland	193	0,11	0,10-0,13	13	0,11	0,06-0,21	-	-	-
groenten	4	0,80	0,66-0,98	4	0,80	0,66-0,98	-	-	-
hamster	45	0,38	0,31-0,47	2	0,70	0,63-0,78	4	0,18	0,07-0,46
korrelmais	30	0,35	0,26-0,47	7	0,57	0,29-1,14	21	0,27	0,20-0,35
natuurgras	38	0,18	0,15-0,21	-	-	-	-	-	-
rogge	6	0,30	0,11-0,81	-	-	-	-	-	-
snijmais-continu	33	0,81	0,67-0,98	28	0,82	0,66-1,02	-	-	-
snijmais-enkel	81	0,30	0,24-0,36	3	1,79	0,65-4,94	63	0,30	0,24-0,37
suikerbiet	116	0,16	0,14-0,19	34	0,30	0,22-0,42	70	0,12	0,10-0,14
triticale	2	0,19	0,04-0,90	2	0,19	0,04-0,90	-	-	-
weidegras	94	0,08	0,06-0,10	-	-	-	-	-	-
wintergerst	38	0,43	0,32-0,57	11	0,59	0,42-0,82	27	0,37	0,26-0,55
wintertarwe	230	0,20	0,18-0,23	106	0,30	0,26-0,36	112	0,14	0,12-0,17
zaaiui/winterui	12	0,61	0,38-1,00	2	1,45	0,33-6,36	6	0,35	0,17-0,72
zomergerst	29	0,27	0,19-0,38	4	1,53	0,97-2,42	17	0,16	0,11-0,24

De geschatte uitspoelingsfracties variëren van 0,08 voor weidegras tot 0,81 voor continue snijmais. Gewassen die diep wortelen dan wel veel wortelbiomassa hebben, hebben een lagere uitspoelingsfractie dan gewassen die ondiep wortelen. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar voor de lage uitspoelingsfracties voor wintertarwe, grasland en suikerbiet. Hoge uitspoelingsfracties zijn zichtbaar voor groentegewassen, snijmais en uien. Dit sluit aan bij de praktijkervaring én de waarnemingen uit het LMM.

Gegeven de grote spreiding in nitraatgehaltes die op kan treden binnen bemeste percelen met eenzelfde gewas neemt de betrouwbaarheid van de geschatte uitspoelingsfracties toe met het aantal nitraatmetingen. Als er minder dan 10 metingen beschikbaar zijn, kan de geschatte uitspoelingsfracties zelfs onrealistische waarden aannemen. Dit blijkt bijvoorbeeld voor de situaties waarin zaaiui, snijmais of zomergerst wordt opgevolgd door een ondiep wortelend volggewas. In deze situaties is het aan te bevelen om bij toepassing van het nitraatuitspoelingsmodel gebruik te maken van de uitspoelingsfractie van een gewas met een vergelijkbare wortelingsdiepte en N-opnameperiode. Voor de genoemde gewassen kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van de uitspoelingsfractie van snijmais.

Hoewel het effect van het volggewas per gewas varieert, zorgt een diepwortelend volggewas voor een redelijke constante verlaging van de nitraatuitspoeling (Figuur 4.6). Gemiddeld genomen daalt de uitspoelingsfractie met 15%. Als een gewas wordt opgevolgd door een ondiep wortelend gewas, dan stijgt de uitspoeling met meer dan 50%. Deze stijging is met de huidige dataset niet generiek te kwantificeren als vaste verhoging van de generieke uitspoelingsfractie per gewas (daarvoor is de onzekerheid te groot). Dit betekent dat er in de praktijk kansen liggen om de nitraatuitspoeling van uitspoelingsgevoelige gewassen te verlagen door een goed doordacht mest- en bouwplan.

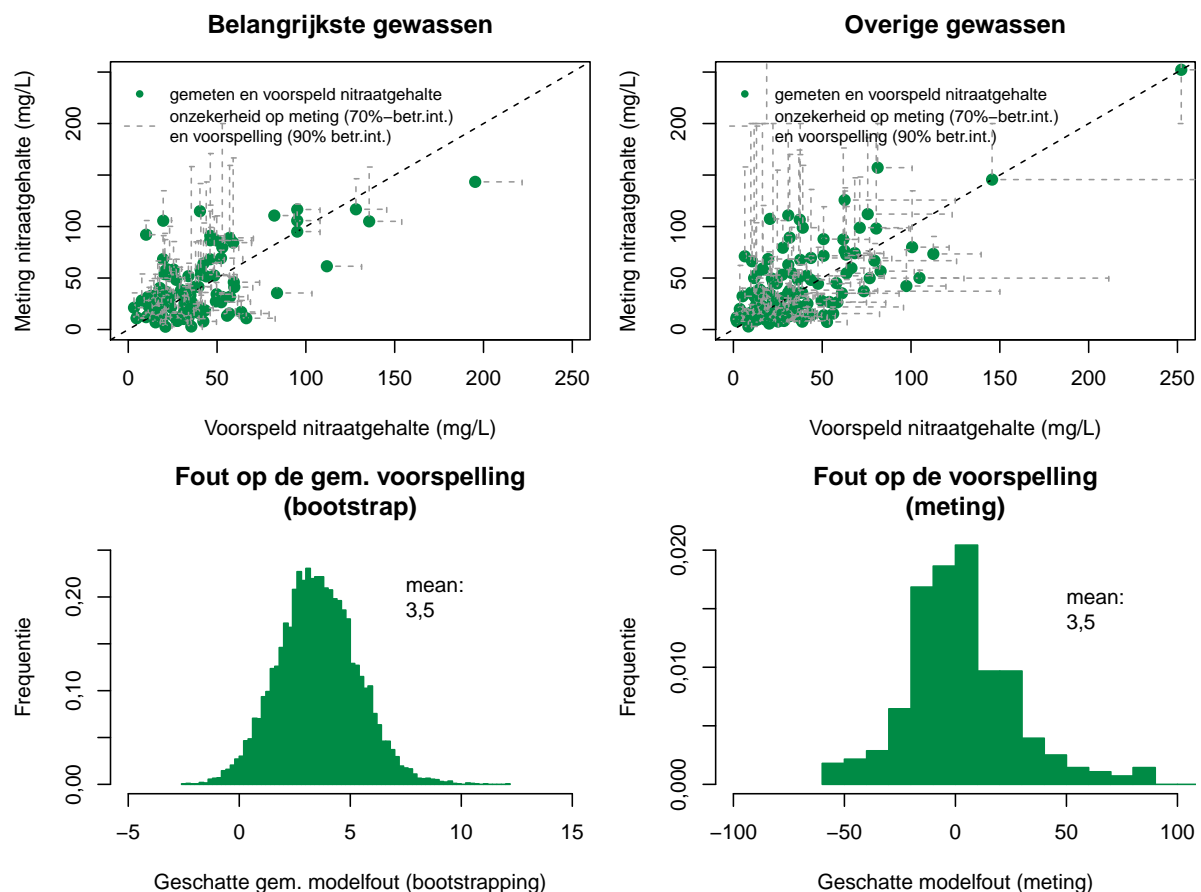


Figuur 4.6. Relatie tussen generieke uitspoelingsfractie en het effect van een (on)diep wortelend volggewas.

## 5 Toetsing

### 5.1 Perceelsniveau

De perceelsgegevens uit het DSG-meetnet zijn aanvullend ingezet om te toetsen in welke mate het mogelijk is om een goede schatting te geven van het nitraatgehalte in het ondiepe en diepe bodemvocht (Figuur 5.1). Het gemiddelde nitraatgehalte in het onderzochte perceel wordt vergeleken met het geschatte nitraatgehalte gebruik makend van het nitraatuitspoelingsmodel en de gewasafhankelijke uitspoelingsfracties. Bij deze vergelijking wordt onderscheid gemaakt tussen de drie meest voorkomende gewassen (aardappel, suikerbiet, en wintertarwe) en de overige gewassen.



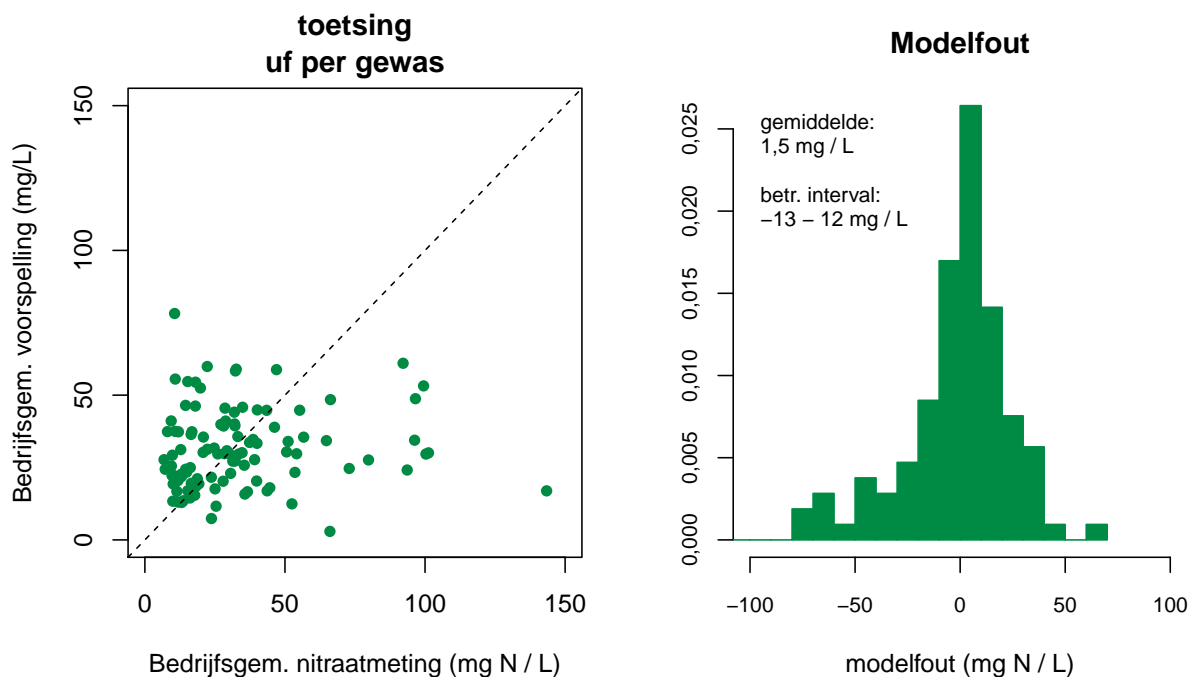
Figuur 5.1. Vergelijking van gemeten en voorspelde nitraatgehalte voor aardappel, suikerbiet en wintertarwe (linksboven) en de overige gewassen (rechtsboven). De modelfout wordt in beide histogrammen in beeld gebracht op basis van de echte meetdata (rechtsonder) als wel de gemiddelde fout die er is als de meetset 1000 keer groter zou zijn geweest maar wel vergelijkbaar zou zijn qua verdeling (linksonder).

Uit deze vergelijking blijkt:

1. dat het mogelijk is om een betrouwbaar gemiddeld nitraatgehalte te voorspellen voor een gemiddelde situatie. De gemiddelde afwijking is 3,5 mg/L.
2. dat er aanzienlijke variatie is binnen individuele percelen: de betrouwbaarheidsinterval op de meting is een aantal malen groter dan de betrouwbaarheidsinterval op de voorspelling. Dat betekent dat een individuele meting op een perceel sterk kan afwijken van het geschatte nitraatgehalte. De gemiddelde afwijking kan oplopen tot 50 mg N/L.
3. dat de gewassen waarvan veel metingen beschikbaar zijn robuuster geschat kunnen worden: de modelfout voor de drie belangrijkste gewassen is substantieel kleiner dan die van de overige gewassen.

## 5.2 Bedrijfsniveau

Het nitraatuitspoelingsmodel is getoetst door de nitraatvoorspellingen op bedrijfsniveau te vergelijken met de metingen die gedaan zijn op de bedrijven over een periode van 2008 tot 2017 (Figuur 5.2).



Figuur 5.2. Vergelijking van gemeten en voorspeld nitraatgehalte voor deelnemende bedrijven aan DSG-meetnet.

Naast de geparаметriseerde uitspoelfracties wordt hierbij ook uitgegaan van invoergegevens op bedrijfsniveau voor bouwplan (arealen, opbrengst) en bemesting (N-aanvoer). De mest is toegekend aan de gewassen in het bouwplan conform de ontwikkelde mestverdelingsmodule (zie Ros et al., 2017). De toetsing is uitgevoerd voor een situatie met generieke uitspoelingsfracties per gewas. Omdat de vruchtopvolging in de praktijk sterk blijkt te variëren, is het met de huidige gegevens niet mogelijk om deze bedrijfstoetsing ook uit te voeren voor een situatie waarin rekening wordt gehouden met de volgteelt.

De toetsing op bedrijfsniveau laat zien dat het mogelijk is om inzicht te geven in de gemiddelde nitraatuitspoeling per bedrijf op basis van de generieke gewasuitspoelingsfracties. Van de 106 bedrijven zijn er 36 waarbij het gemiddelde nitraatgehalte in het bodemvocht meer dan 20 mg N/L afwijkt van het gemeten bedrijfsgemiddelde



gehalte: in 66% van de situaties komt het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte overeen met het *gemeten* nitraatgehalte. Het voorspelde nitraatgehalte geeft daarom een indicatie van de nitraatgehaltenes in het bodemvocht. Uitschieters in deze vergelijking hangen deels samen met het feit dat de bedrijfsgemiddelde meting gebaseerd is op de aanwezige metingen op het bedrijf (vaak een beperkte selectie van de percelen / gewassen) terwijl de voorspelling gebaseerd is op alle gewassen in het bouwplan. Het is aan te bevelen om deze toetsing uit te breiden met een aantal voorbeeldbedrijven waarbij voor alle gewassen in het bouwplan nitraatmetingen zijn gevoerd<sup>1</sup>. Omdat de perceelstoetsing laat zien dat het zinvol is om rekening te houden met de volgteelt, is het aan te bevelen om deze bedrijfsinformatie op te vragen bij toepassing van het nitraatuitspoelingsmodel.

---

<sup>1</sup>Hiervoor kunnen ook gegevens gebruikt worden uit bedrijven die deelnemen in het LMM omdat de bedrijfsgemiddelde meting van deze bedrijven gebaseerd is op nitraatmetingen op minimaal 16 locaties binnen het bedrijf

## 6 Discussie en 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 grote variatie in de gemeten nitraatconcentraties in het bodemvocht bevestigt dit.

### 6.1 Werkzame N-balans

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 bedrijfs-model:

- rekening houdt 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 houdt met teeltoverstijgende factoren zoals de inzet van groenbemesters, de afbraak van gewasresten en de bewortelingsdiepte van het volggewas.
- rekening houdt 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 voorkoor ook rekening houdt met variatie in bodemeigenschappen, omdat deze bepalen welk deel van het N-overschot uitspoelt richting het bodemvocht en grondater, dan wel verloren gaat via denitrificatie.

Het hier gebruikte nitraatuitspoelingsmodel is gebaseerd op een N-balans van werkzame stikstof. Hierdoor kan beter rekening worden gehouden met de daadwerkelijke N-processen die in de bodem spelen en sluit het geschatte nitraatgehalte beter aan bij de variatie in voorkomende bemestingsstrategiën. Het gebruik van werkingscoëfficiënten is goed geborgd en sluit aan bij zowel het bemestingsbeleid als de agronomische bemestingspraktijk. Door het gebruik van gewasafhankelijke uitspoelingsfracties wordt aangesloten bij aanwezige variatie in bemesting, groenbemesters en neerslagoverschot. Voor een gebruiker van een nitraatuitspoelingsmodel zijn niet per definitie meer invoergegevens nodig.

Met de hier ontwikkelde aanpak worden de belangrijkste knelpunten van de huidige systematiek (die gebaseerd is op een N-balans van N-totaal) opgelost. De ontwikkelde werkzame N-balans:

- houdt namelijk rekening met de afbreekbaarheid van organische meststoffen via de werkingscoëfficiënt. Hiermee wordt voorkomen dat stabiele vormen van organische stof (bijvoorbeeld compost) even zwaar

meetellen in de berekening van de N-uitspoeling naar het grondwater. Bedrijven die sterk sturen op een goede bodemkwaliteit worden daardoor niet 'afgestraft' door een overschatting van de nitraatuitspoeling.

- is gebaseerd op tientallen metingen op praktijkpercelen in Zuid-Limburg en geeft daarmee een goede inschatting van de gemiddelde N-uitspoeling per teelt in de praktijk. Hiermee wordt beter aangesloten bij de huidige variatie in bouwplan en bemesting in vergelijking met de geparametriseerde uitspoelingsfracties op een beperkt aantal LMM-bedrijven.
- houdt rekening met ruimtelijke differentiatie van mest en N-opname over het bedrijf. Het biedt daarmee de mogelijkheid om inzicht te geven in de N-efficiëntie van een agrarisch bedrijf: het maakt duidelijk wel deel van de gegeven stikstof ook daadwerkelijk benut wordt voor gewasproductie. En indirect heeft het daarmee ook een kritische reflectie op de uitgevoerde bemesting.

Een bottleneck in elke balansmethode is het gebruik van onzekere invoerparameters zoals gewasopbrengst en N-gehalten in het gewas. De aanvoer van stikstof via bemesting wordt redelijk accuraat geschat als gevolg van de verantwoording van de mineralenboekhouding voor het mestbeleid. De afvoer van stikstof wordt geschat als functie van de gewasopbrengst (invoer van gebruiker) en het N-gehalte in het geoogste product (modelparameter). Er zijn echter (nog) weinig gegevens beschikbaar waarmee de betrouwbaarheid van de gebruikte N-gehalten kunnen worden beoordeeld. Validatie van nitraatuitspoelingsmodellen wordt belemmert door de grote variatie in nitraatgehaltes in het bodemvocht. Dit betekent dat grote aantallen proeven of metingen nodig zijn om op perceelsniveau goed zicht te krijgen op nitraatverliezen. Op bedrijfs- en regioniveau is dat al veel minder het geval. Gegeven de onzekerheid die per definitie aanwezig is in nitraatmetingen in het bodemvocht op perceelsniveau is het gebruik van een fixed N-gehalte per gewas daarom niet problematisch. De belangrijkste toepassingsgebied van nitraatuitspoelingsmodellen ligt met de huidige data-beschikbaarheid dan ook op bedrijfsniveau.

## 6.2 Middelingmethode

In de afleiding van gewasafhankelijke uitspoelingsfracties wordt gebruik gemaakt van alle metingen die op perceelsniveau zijn uitgevoerd. In de praktijk wordt vaak een rekenkundig gemiddelde gebruikt om op perceel- dan wel bedrijfsniveau een gemiddeld nitraatgehalte te bepalen. De analyse in dit rapport laat zien dat nitraatmetingen in het bodemvocht sterk afwijken van een normale verdeling: lagere concentraties komen veel vaker dan hogere nitraatconcentraties. Om een goed perceels- dan wel bedrijfsgemiddelde te berekenen, is een alternatieve middelingmethode gewenst. De metingen worden daarmee niet weggegooid (het blijven daadwerkelijke metingen) maar hun invloed op het geschatte nitraatgehalte wordt kleiner.

In deze studie zijn de volgende middelingmethoden onderzocht:

1. het rekenkundig gemiddelde: de som van alle metingen gedeeld door het aantal.
2. de mediaan: het midden van een verdeling van nitraatmetingen, een centrummaat.
3. de Wilcox rank gemiddelde, een pseudo mediaan gebaseerd op de Hodges-Lehmann schatter.
4. het rekenkundig gemiddelde van een random bootstrap van 1000 gemiddelden. Dit betekent dat uit een serie nitraatmetingen een random selectie (met teruglegging) wordt genomen (met evenveel metingen als het origineel) waarvan een rekenkundig gemiddelde wordt berekend. Dit levert 1000 gemiddelden op. Vervolgens wordt het rekenkundig gemiddelde bepaald van deze 1000 gemiddelden. Je blijft met deze methode (bootstrap) gebruik maken van oorspronkelijke data; de meetpunten voor de berekening

worden random gekozen. Als één meting een outlier is, dan heeft die minder effect op het uiteindelijke gemiddelde.

5. de Wilcox rank gemiddelde van een random bootstrap van 1000 gemiddelden. De methode is vergelijkbaar met de vorige alleen wordt hier niet 1000 keer een rekenkundig gemiddelde bepaald, maar 1000 keer een pseudo mediaan.
6. de Wilcox rank gemiddelde van een random bootstrap serie metingen. Voor deze methode wordt 1000 keer een subset getrokken uit de oorspronkelijke dataset met nitraatmetingen (met teruglegging). Van deze hele serie wordt de Wilcox rank gemiddelde bepaald. Het verschil is hier dat er niet een gemiddelde wordt genomen van 1000 gemiddelden, maar dat er een gemiddelde wordt genomen van de oorspronkelijke dataset die 1000 keer groter is gemaakt.
7. Wilcox rank test van een random bootstrap van 1000 gemiddelden with Jackknifing. Deze methode is identiek aan methode 5, waarbij niet 1000 keer een bootstrap selectie wordt gemaakt waarin alle metingen, maar bij elke selectie wordt één metingen verwijderd. Dit betekent dat alle nitraatmetingen wel gebruikt worden, maar dat elke keer één meting niet meedoet met de berekening van het gemiddelde. Dit levert een rekenkundig gemiddelde van 1000 pseudomedianen op.
8. rekenkundig gemiddelde na log-transformatie. Hierbij worden de data log-getransformeerd, waarna het gemiddelde wordt berekend en het gemiddelde weer wordt terug-getransformeerd. Dit is de meest gangbare methode.
9. trimmed mean methodes: hierbij worden outliers uit de dataset verwijderd, gebruik makend van ofwel de standaard deviatie ( $sd < 2.5$ ) ofwel de quantielen (hoogste en laagste 10% wordt verwijderd) ofwel een standaard afwijking van de mediaan (MAD).

Al deze methoden zijn geschikt om een gemiddelde te schatten op basis van gemeten nitraatgehalten. Zoals eerder aangegeven in dit rapport, gaat de voorkeur uit naar een methode die gebruik blijft maken van alle daadwerkelijk gemeten nitraatgehalten in het bodemvocht. Dat betekent dat methode 1 tot 8 in theorie geschikt zijn. De aanvullende voorkeur voor een eenvoudige methode die met Excel berekent kan worden, beperkt het aantal methodes tot drie: het rekenkundig gemiddelde, de mediaan en het rekenkundig gemiddelde na log-transformatie. Uit de analyse in deze studie blijkt dat de keuze van deze methode significant effect heeft op de uitspoelingsfractie en daarmee ook op het geschatte nitraatgehalte in het bodemvocht. De meest accurate schatting werd gegeven door het rekenkundig gemiddelde na log-transformatie.

### 6.3 Toekomstige ontwikkelingen

Het ontwikkelde nitraatuitspoelingsmodel met bijbehorende gewasspecifieke uitspoelingsfracties is inzetbaar om op bedrijfsniveau inzicht te geven in de gemiddelde uitspoeling van nitraat richting het grondwater. Het biedt daarbij de mogelijkheid om de invloed van type bemesting, tijdstip van bemesting en gewasopvolging op nitraatuitspoeling te kwantificeren en een duurzame bemestingspraktijk te stimuleren.

Uit deze studie blijkt ook dat:

- het volggewas in staat is om stikstofgehalte in het ondiepe bodemvocht (rond 1,5 m-mv) te verlagen. Dit suggereert dat het zinvol kan zijn om de monsternamediepte te verlagen (dat is: dieper monstern) om zo beter zicht te krijgen op het daadwerkelijke N-verlies uit de bewortelbare zone naar het grondwater. Dit inzicht kan zo bijdragen aan de optimalisatie van het meetnet van DSG.

- het zinvol is om de uitspoeling van nitraat per gewas in beeld te brengen door gebruik te maken van de metingen uit het praktijknetwerk van DSG. Er zijn minimaal 50 metingen nodig om een robuuste schatting te geven van de gewasafhankelijke uitspoeling. Deze gegevens zijn beschikbaar voor de akkerbouwgewassen aardappel, suikerbiet en wintertarwe als ook voor de gewassen gras en mais. Omdat dit de belangrijkste gewassen zijn in de bouwplannen in Zuid-Limburg, is het nitraatuitspoelingsmodel inzetbaar op vrijwel alle akkerbouwbedrijven. Door jaarlijks gericht te sturen op de bemonsterde gewassen, kan de toepassing van het model vergroot worden.
- het zinvol is om de geschatte gewasproductie voor grasland en mais te evalueren om zo ook de inzetbaarheid te vergroten voor melkveehouders.

Voor een algemene evaluatie van het gebruik van de werkzame N-balans ten opzichte van de balans voor N-totaal wordt verwezen naar de studie van Ros et al. (2017).

## 7 Literatuur

- Dekker, PHM 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, MJD (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.
- Ros, GH et al. (2014) Kennisbundeling nitraatmeting bodemvocht lössgronden. Vergelijking meetprotocollen WML, LMM en BVM. NMI-rapport 1559.N.14., 29 pp.
- Ros, GH et al. (2016) Update en evaluatie nitraatuitspoelingsmodel. NMI-rapport 1659.N.16, 58 pp.
- Ros, GH et al. (2017) Update najaarsbemesting nitraatuitspoelingsmodel. NMI-rapport 1659.N.17, 18 pp.
- Velthof, GL and Fraters B (2007) Nitraatuitspoeling in duinzand en lössgrond. WOt-rapport 54, 36 pp.

# Bijlagen

## A Modelparameters en invoergegevens

### A.1 Modelparameters

Tabel A.1. Meststoffen die voorkomen in de perceel- en bedrijfsgegevens met de bijbehorende minerale fractie (Nmin,-) en werkingscoëfficiënt (Nwc,-).

Meststof	Nmin	Nwc	Meststof	Nmin	Nwc
rundveedrijfmest	0,48	0,56	geitenmestvast	0,24	0,65
vasterundveemest	0,14	0,24	geitenmestdun	0,50	0,63
rundveegier, filtraat	0,95	0,91	champost	0,05	0,37
vleeskalveren, witvlees	0,81	0,81	gft-compost	0,09	0,39
vleeskalveren, rosevlees	0,54	0,70	groen-compost	0,10	0,40
vleesvarkensdrijfmest	0,53	0,79	nertsenmestdrijfmest	0,50	0,63
zeugendrijfmest	0,66	0,83	varkensdrijfmest	0,53	0,79
varkensgier, filtraat	0,94	0,93	betacalflow	0,40	0,64
zeugengier	0,95	0,93	betacal	0,40	0,64
vastevarkensmest	0,33	0,24	maisdigistaat	0,40	0,64
kippendrijfmest	0,55	0,83	dunnefractie	0,14	0,24
drogehennenmest	0,13	0,62	dunnefractierdm	0,95	0,91
kippenstrooiselmest	0,13	0,63	afvalhoutsnippers	0,09	0,39
vleeskuikenmest	0,10	0,65	rdm+vdm	0,57	0,70
kalkoenenmest	0,26	0,65	varkensgier	0,95	0,93
paardenmest	0,11	0,62	natuurcompost	0,10	0,40
schapenmest	0,23	0,65	dunnefractievdm	0,94	0,93
nertsenmestvast	0,57	0,71	compost	0,10	0,40



Tabel A.2. N-gehalten in geoogste gewassen, geoogst als hoofd- of bijgewas (in kg/ ton droge stof)

Gewas	N-hoofd	N-bij	Gewas	N-hoofd	N-bij
appels	1,00	5,00	wintertarwehamster	17,60	5,80
bladrammenas	3,00	5,00	zaaiui/winterui	2,20	1,70
consumptieaardappel	3,40	4,00	zomergerst	13,60	5,40
gelemosterd	32,00	6,00	zomergersthamster	13,60	5,40
grasland	30,00	7,20	bladrammenas		2,15
grasland,beheerweide	30,00	7,20	engelsraaigras		2,41
grasland,beweiden	30,00	7,20	gelemosterd		3,41
groenbemester	19,20	7,20	graswikke		3,50
groenten	1,50	2,10	grasklaver		3,00
italiaansraaigras	21,00	7,20	italiaansraaigras		2,41
korrelmais	13,90	2,90	perzischeklaver		3,30
luzernehamster	5,80	5,00	phacelia		2,00
natuurlijkgrasland	19,20	7,20	rodeklaver		3,30
rogge	5,00	5,00	rogge		2,50
snijmais	4,00	5,00	tagetes		1,73
suikerbiet	1,30	3,10	westerwoldsraaigras		2,41
triticale	17,00	5,80	wikke		4,50
wintergerst	17,00	5,40	witteklaver		3,50
wintergersthamster	17,00	5,40	groenbemester		3,41
wintertarwe	17,60	5,80	vanggewas		3,41

Tabel A.3. Gewascorrectiefactoren f voor volgens Makkink berekende evapotranspiratie (Feddes, 1987).

Gewas	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
appels				1,00	1,40	1,60	1,70	1,27	1,20			
bladrammenas							0,80	0,78	0,72	0,72	0,64	
consumptieaardappel					0,65	1,10	1,13	1,10	0,47			
gelemosterd								0,78	0,72	0,72	0,64	
grasland	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,90	0,90	0,80	0,80
grasland,beheerweide	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,90	0,90	0,80	0,80
grasland,beweiden	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,90	0,90	0,80	0,80
groenbemester									0,36	0,36	0,28	
italiaansraaigras	0,80	0,90	0,95	1,20	1,20	1,20	1,10	1,10	1,10	1,00	0,90	0,80
korrelmais					0,67	1,03	1,27	1,20	1,20			
luzernehamster					0,67	1,03	1,27	1,20	1,20			
natuurlijkgrasland	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,90	0,90	0,80	0,80
snijmais					0,67	1,03	1,27	1,20	1,20			
suikerbiet					0,50	0,93	1,13	1,20	1,20			
triticale				0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				
wintergerst		0,60	0,70	0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				
wintergersthamster				0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				
wintertarwe		0,60	0,70	0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				
wintertarwehamster				0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				
zaaiui/winterui				0,42	0,63	0,83	1,00	0,97	0,47			
zomergerst				0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				
zomergersthamster				0,80	1,00	1,20	0,90	0,44				

## A.2 Teeltgegevens

De onderliggende bedrijfsspecifieke informatie omvat de gemeten nitraatgehaltes van 1734 metingen, uitgevoerd bij 43 ondernemers en afkomstig van 101 percelen over een periode van 2001 tot 2017, waarvan het overgrote deel is bemonsterd na 2013. Deze gegevens bevatten bedrijfsgevoelige informatie en zijn daarom niet opgenomen in deze rapportage.

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

- als twee agrarisch percelen gedurende de looptijd van de metingen worden gecombineerd/ samengevoegd, dan wordt voor de berekening van het N-overschot uitgegaan van de gemiddelde mestgift van beide percelen.
- als de bemesting van een voorgaand jaar niet is opgegeven, dan wordt aangenomen dat er niet is bemest.

Omdat de bedrijfsgegevens inzicht geven in de netto bedrijfsbalans (inclusief aankoop en verkoop van ruwvoer), zijn voor gras en mais vaak geen goede schattingen beschikbaar voor de gewasopbrengst op een bedrijf. Ter controle worden de volgende checks/ aanpassingen uitgevoerd:

- als de opbrengst van gras of mais niet is ingevuld of lager is dan 2 ton droge stof per hectare, dan wordt de opbrengst van dat desbetreffende perceel vervangen door de mediaan van alle gras- of maisopbrengsten

die hoger zijn dan 4 ton droge stof per hectare.

- onrealistische hoge opbrengsten ( $>400$  kg N/ ha voor akkerbouwgewassen bijvoorbeeld) worden vervangen door de gemiddelde N-opname op vergelijkbare percelen in de omgeving van de monstername. Onrealistische opbrengsten voor appels en peren worden vervangen door respectievelijk 35 en 25 ton per hectare.
- als de opbrengsten lager zijn dan 40% van de provinciale gemiddelde gewasopbrengst (gebaseerd op CBS-gegevens) dan wordt de opbrengst vervangen door de mediaan van dezelfde gewassen van andere bedrijven uit het DSG-project.

De studie van Ros et al. (2017) beschrijft een methodiek om voor de bedrijfsbalans een goede inschatting te geven van de verdeling van dierlijke mest en kunstmest over de gewassen in het bouwplan. Hiermee wordt beter recht gedaan aan de daadwerkelijke bemestingspraktijk. Mest wordt daarbij verdeeld conform gewasafhankelijke wegingsfactoren die aangeven welk gewas bij voorkeur een drijfmestgift ontvangt. De totale aanvoer van stikstof op bedrijfsniveau is leidend voor de hoeveelheid toegediende mest. Concreet betekent dit dat de drijfmest (zoveel als mogelijk) wordt toegediend aan alle gras en maïspancelen, 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-gebruiksnorm, 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.

## B Rekenregels nitraatuitspoelingsmodel

Het nitraatuitspoelingsmodel maakt gebruik van een balans voor werkzame N. Het nitraatgehalte wordt berekend als functie van het stikstof- en neerslagoverschot, rekening houdend met de verschillende gewassen die op het bedrijf aanwezig zijn. In formulevorm:

$$\text{NO}_3^- = \left( \frac{\sum_{i=1}^{\infty} \frac{N_{\text{overschot},i} \times u_{fi}}{P_{\text{overschot},i}} \times A_i}{A_{\text{totaal}}} \right) \times 1000 \cdot \frac{14 + 3 \cdot 16}{14} \quad (\text{B.1})$$

waarbij het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte ( $\text{NO}_3^-$ , mg/L) wordt berekend op basis van het N-overschot ( $N_{\text{overschot}}$ , kg N/ha), de uitspoelingsfractie ( $u_{fi,-}$ ), het neerslagoverschot ( $P_{\text{overschot}}$ , m<sup>3</sup>/ha) voor elk gewas  $i$ , rekening houdend met het areaal per gewas ( $A_i$ , ha) en gecorrigeerd voor de eenheid conversie van kg N/m<sup>3</sup> naar mg  $\text{NO}_3^-$ /L.

Het N-overschot voor elk gewas  $i$  wordt berekend als het verschil tussen N-aanvoer en N-afvoer. Hierbij wordt de N-aanvoer en N-afvoer berekend via:

$$N_{\text{aanvoer}} = \sum_{m=1}^{\infty} (w_{c_m} \times N_m) + N_{\text{dep}} + N_{\text{fix}} + N_{\text{bodem}} \quad (\text{B.2})$$

$$N_{\text{afvoer}} = N_i + N_{\text{bijgewas}} + N_{\text{nh3}} \quad (\text{B.3})$$

waarbij de aanvoer van werkzame N (kg/ha) via bemesting en groenbemesters berekend wordt door voor elke mesttype  $m$  de totale N-gift dan wel N-aanvoer ( $N_m$ ) te vermenigvuldigen met de eerstejaars werkingscoëfficiënt voor desbetreffende mestsoort of groenbemester ( $w_{c_m}$ ). Om beter rekening te kunnen houden met het jaaroverstijgende effect van najaarsbemesting, wordt gebruik gemaakt van twee werkingscoëfficiënten per mesttype: van de gegeven stikstof komt een deel tot werking in het jaar van toediening (fractie 1), een deel in het jaar na toediening (fractie 2) en een deel dat niet tot werking komt binnen een jaar na toediening (fractie 3). Daarnaast wordt er rekening gehouden met de aanvoer via depositie ( $N_{\text{dep}}$ ), de opname van stikstof via fixatie ( $N_{\text{fix}}$ ) en mineralisatie uit de bodem ( $N_{\text{bodem}}$ ). De mineralisatie vanuit de bodem is vastgezet op een vast getal, evenals de depositie.

Er wordt stikstof afgevoerd via de gewasopname (kg/ha) van zowel het hoofdgewas ( $N_i$ ) als de nateelt ( $N_{\text{bijgewas}}$ ). Tijdens de toediening vinden ook verliezen plaats via ammoniakvervluchtiging ( $N_{\text{nh3}}$ ). Deze wordt geschat als vaste fractie van de aangevoerde stikstof via kunstmest en dierlijke mest (met elk een eigen verliesfractie).

Het neerslagoverschot wordt per gewas  $i$  berekend door gebruik te maken van de maandgemiddelde referentie gewasverdamping (ET, die gemeten is door het KNMI) en gewasafhankelijke correctiefactoren (cfMak,-) die variëren per maand. In formulevorm:

$$P_{\text{overschot}} = \sum_{ma=1}^{ma=12} \max(0, \text{Neerslag}_{ma} - \text{cfMak}_{ma,i} \times \text{ET}_{ma}) \quad (\text{B.4})$$

waarin het jaarlijkse neerslagoverschot ( $m^3/ha$ ) wordt berekend als sommatie van het maandelijke (ma) neerslagoverschot voor elk gewas inclusief een eventuele nateelt dan wel groenbemester. Negatieve overschotten mogen op maandniveau niet voorkomen.

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 maïspcelen, 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 aanvoer van dierlijke mest  $m$  per gewas  $i$  wordt als volgt afgeleid van de totale N-aanvoer uit dierlijke mest op bedrijfsniveau:

$$N_{m,i} = N_{jaar,m} \times \frac{A_i \times v_i}{\sum_{i=1}^{\infty} v_i \times \sum_{i=1}^{\infty} A_i} \quad (B.5)$$

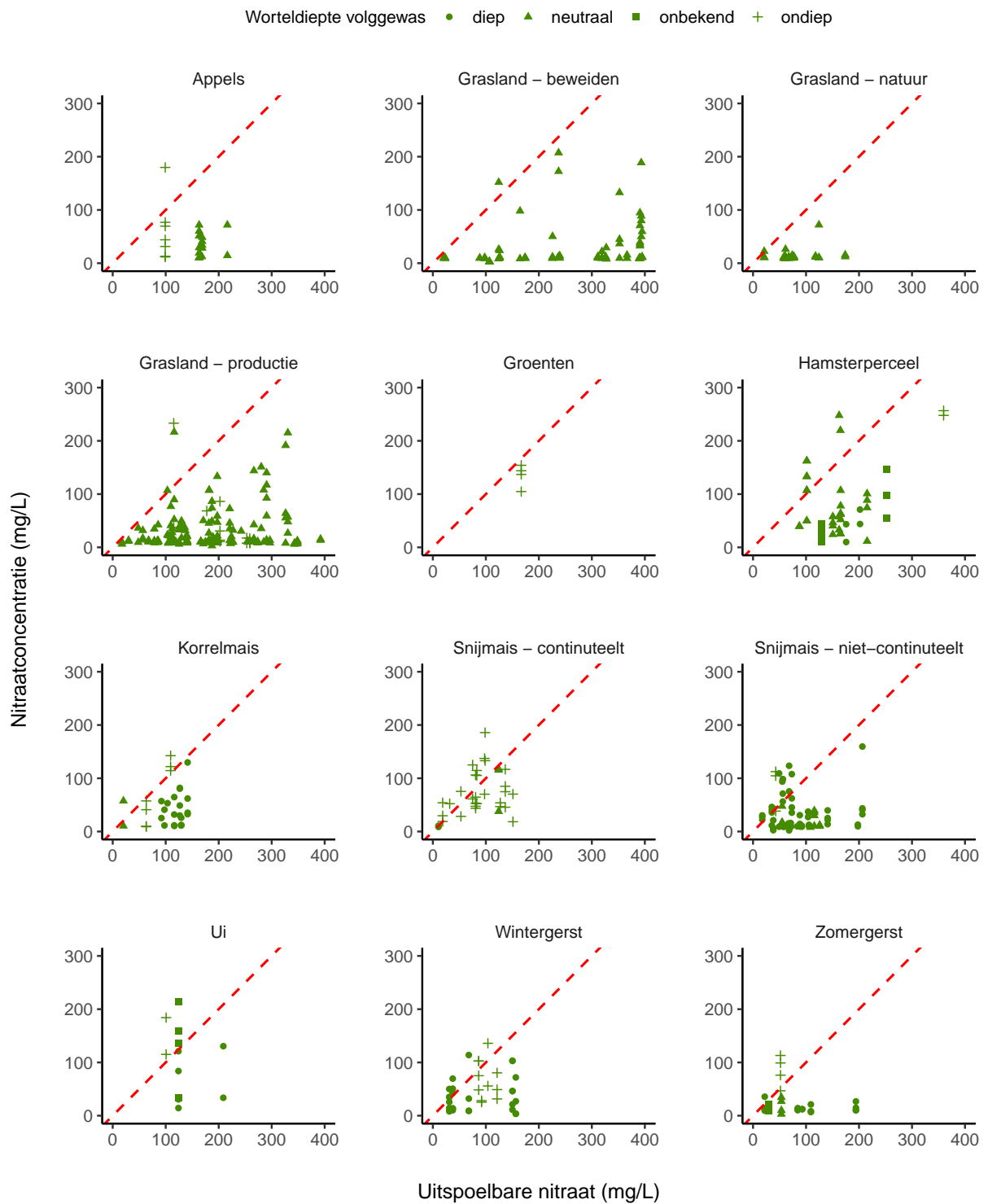
waarin  $v_i$  de gewasafhankelijke voorkeursfactor is voor de inzet van dierlijke mest (een waarde die varieert tussen 0 en 1). Een voorkeursfactor van 0.5 betekent dat van het hele areaal binnen het bouwplan slechts 50% wordt bemest met dierlijke mest. Er wordt hierbij geen onderscheid gemaakt tussen mestsoorten, dat wil zeggen dat alle mestsoorten naar rato verdeeld worden.

De totale hoeveelheid kunstmest per bedrijf wordt vervolgens verdeeld over de gewassen, rekening houdend met de al gegeven werkzame stikstof via de aangevoerde dierlijke mest en organische producten.

## C Resultaten gedetailleerd

Tabel C.1. Berekende uitspoelingsfracties per gewas (generiek) en rekening houdend met de bewortelbare diepte van het volggewas (ondiep, diep), geschat via het rekenkundig gemiddelde (gem), de mediaan (med) of het rekenkundig gemiddelde na log-transformatie (log). De gemiddelde uitspoelingsfracties die gebruikt worden in het nitraatuitspoelingsmodel voor N-totaal staan tussen haakjes achter de gewasnaam.

Gewas (oude UF)	Alle teelten				Met diep volggewas				Met ondiep volggewas			
	n	gem	med	log	n	gem	med	log	n	gem	med	log
Appels (0,11)	24	0,31	0,19	0,21					7	0,61	0,44	0,42
Cons. aardappel (1,04)	71	0,54	0,31	0,32	45	0,32	0,23	0,23	18	1,25	1,30	1,19
Beweid grasland (0,16)	94	0,18	0,06	0,08								
Natuurgras (0,11)	38	0,22	0,16	0,18								
Productiegras (0,16)	193	0,19	0,09	0,11					13	0,28	0,07	0,11
Hamsterperceel (0,295)	45	0,52	0,38	0,38	4	0,22	0,23	0,18	2	0,70	0,70	0,70
Korrelmais (0,88)	30	0,53	0,40	0,35	21	0,34	0,28	0,27	7	0,76	0,91	0,57
Mais continue (0,88)	33	0,97	0,82	0,81	2	0,92	0,92	0,91	28	1,00	0,81	0,82
Mais eenjarig (0,88)	81	0,54	0,22	0,30	63	0,53	0,20	0,30	3	1,99	2,44	1,79
Suikerbiet (0,02)	116	0,29	0,15	0,16	70	0,18	0,09	0,12	34	0,52	0,36	0,30
Ui (0,8)	12	0,85	0,83	0,61	6	0,47	0,44	0,35	2	1,48	1,48	1,45
Wintergerst (0,18)	38	0,63	0,46	0,43	27	0,61	0,45	0,37	11	0,69	0,56	0,59
Wintertarwe (0,18)	230	0,33	0,25	0,20	112	0,23	0,13	0,14	106	0,45	0,35	0,30
Zomergerst (0,8)	29	0,49	0,19	0,27	17	0,27	0,13	0,16	4	1,62	1,69	1,53



Figuur C.1. Uitspoelbare nitraat ten opzichte van de nitraatmeting in het bodemvocht voor de gewassen die niet in Hoofdstuk 4 staan.



[www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)

nutriënten management  
instituut nmi bv  
nieuwe kanaal 7c  
6709 pa wageningen  
[nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)