



Rapportage Project Nitraatwijzer Fase I

Gert-Jan Noij & Hein ten Berge



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Rapportage Project Nitraatwijzer Fase I

Gert-Jan Noij & Hein ten Berge

Dit onderzoek is in opdracht van Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Agrosysteemkunde, als Additioneel Onderzoek in het kader van het 6e Actieprogramma Nitraatrichtlijn (projectnummer 3710 4611 00).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, juni 2019

Rapport WPR-917

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/494580>.

Nederland moet voldoen aan de doelstellingen voor waterkwaliteit volgens de Nitraatrichtlijn. In het kader van het Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn werd onderzocht hoe Nederland het risico van nitraatuitspoeling van individuele percelen en landbouwbedrijven het beste kan bepalen. Voorliggend rapport doet verslag van de eerste onderzoeksfase die indicatoren voor het nitraatuitspoelingsrisico evalueerde op basis van literatuur en van ervaringen in Vlaanderen en Baden-Württemberg. Voor gebruik op bedrijfs- en perceelsniveau komt het nitraatresidu NR (de hoeveelheid nitraatstikstof in de bodem in de laag 0-90 cm –mv in het najaar, kg N/ha) als beste indicator naar voren. Deze is relatief eenvoudig en goedkoop te bepalen en heeft een betere voorspellende waarde dan enige andere indicator op deze twee schaalniveaus. Niettemin bedraagt de voorspelfout (onzekerheid in voorspelde nitraatconcentratie in bovenste grondwater op bedrijfs- of perceelsniveau bij bepaalde NR waarde) enkele tientallen mg/l. Verder onderzoek zal de relatie tussen NR en nitraat in het bovenste grondwater voor geselecteerde clusters (combinaties van gewas, grondsoort en grondwatertrap) kunnen preciseren, maar de voorspelfout voor een individueel perceel of bedrijf zal naar verwachting enkele tientallen mg/l blijven. De studie geeft een beoordeling van de bruikbaarheid van NR bij (i) handhaving van het mestbeleid, (ii) monitoring en rapportage over de effecten van het mestbeleid, en (iii) sturing en bewustwording over de effecten van maatregelen op het eigen bedrijf. Voor laatstgenoemde toepassing is NR bij uitstek geschikt, ondanks diverse nadelen. Gebruik van NR als handhavinginstrument heeft in Vlaanderen en Baden-Württemberg geleid tot zeer complexe regelgeving.

In het najaar van 2018 werd een pilotstudie uitgevoerd, waarin NR gemeten werd op percelen van melkveehouderij- en vollegrondsgroentenbedrijven in Nederland. Gevonden NR waarden waren in het algemeen hoog ten opzichte van de drempelwaarden gehanteerd in Vlaanderen, ook wanneer rekening gehouden wordt met de uitzonderlijke weersomstandigheden in groeiseizoen 2018. De pilot wordt in 2019 vervolledigd door meting van de nitraatconcentratie in grondwater onder dezelfde percelen.

Trefwoorden: nitraat, nitraatuitspoelingsrisico, nitraatresidu, N-bodemoverschot, indicatoren, perceel, mestbeleid

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-917

Inhoud

Woord vooraf	9
Managementsamenvatting	11
Samenvatting	13
1 Inleiding	19
1.1 Aanleiding, doel, fasering	19
1.2 Kandidaat-indicatoren	19
2 Risicofactoren voor nitraatuitspoeling	23
2.1 Bronnen om risicofactoren vast te stellen	23
2.2 Wetenschappelijke literatuur	23
2.2.1 Sturen op Nitraat	23
2.2.2 De Ruijter <i>et al.</i> , 2007	30
2.2.3 Studies in Vlaanderen	31
2.2.4 Machine Learning	34
2.3 Risicofactoren op basis van jaarlijkse monitoringrapportages	35
2.4 Risicofactoren afgeleid uit maatregelen in huidig beleid	35
2.4.1 Vlaanderen	35
2.4.2 Baden-Württemberg	36
2.4.3 Duurzaam Schoon Grondwater Limburg	36
3 Indicatoren voor nitraatuitspoeling	39
3.1 Inleiding	39
3.2 Nitraatresidu – meerwaarde en toepassingsmogelijkheden	43
3.2.1 Keuze van de indicator	43
3.2.2 Bruikbaarheid van NR bij de handhaving van mestbeleid	43
3.2.3 Bruikbaarheid van NR in monitoring en rapportage over de effectiviteit van het mestbeleid	44
3.2.4 Bruikbaarheid van NR bij sturing en bewustwording	45
4 Het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid en het stikstofbodemoverschot	47
4.1 LMM en KringloopWijzer	47
4.2 Herziening van uitspoelfracties op basis van LMM	48
4.3 Hoe kan LMM verder benut worden?	49
4.4 Nitraatresidu als extra indicator in LMM?	50
5 Nitraatresidu in Baden-Württemberg en Vlaanderen	51
5.1 Inleiding	51
5.2 SchALVO in Baden-Württemberg	52
5.2.1 SchALVO inleiding en algemene maatregelen in beschermingsgebieden	52
5.2.2 SchALVO beschermingsmaatregelen in Probleem- en Saneringsgebieden	53
5.2.3 Drempelwaarden voor het nitraatresidu in SchALVO Bodemtypen A en B	54
5.2.4 Vergoedingen in SchALVO en kosten van het SchALVO systeem	55
5.2.5 Resultaten SchALVO	55
5.2.6 Mestactieplan Duitsland 2017	56
5.3 Nitraatresidu in Vlaanderen	57
5.3.1 Focusgebieden en focusbedrijven	57

5.3.2	Maatregelen in Categorieën	59
5.3.3	Drempelwaarden voor het nitraatresidu in Vlaanderen	59
5.3.4	Enkele resultaten uit meetjaar 2016 in Vlaanderen	60
5.3.5	Kosten van Nitraatresidu monitoring in Vlaanderen	64
5.4	Wijze van bepaling van het nitraatresidu (Vlaanderen en Baden-Württemberg)	64
5.5	Duurzaam Schoon Grondwater Limburg	65
6	Pilotstudies 2018	67
6.1	Inleiding	67
6.2	Aanpak pilot Nitraatwijzer 2018	67
6.2.1	Keuze van bedrijven en percelen	67
6.2.2	Bemonstering en analyse	69
6.3	Resultaten pilot Nitraatwijzer 2018	69
6.3.1	Resultaten per bodem-Gt combinatie	69
6.3.2	Resultaten per gewas	71
6.3.3	Verdeling NR over bodemlagen en over ammonium en nitraat	76
6.3.4	Statistische analyse	79
6.4	Pilot Nmin najaar 2018 op melkveebedrijven in Noord Limburg	80
7	Gebruik van sensoren en snelle meetmethoden	81
8	Conclusies en aanbevelingen	83
	Literatuur	89
Bijlage 1	NMI notitie Data-analyse “Sturen op nitraat” met behulp van machinelearning: Een verkenning	93
Bijlage 2	NMI notitie Validatie metingen Ndroog N veldvochtig	107
Bijlage 3A	Stikstofresidu (NR) in najaar 2018 en eigenschappen van de bemonsterde plekken voor melkvee bedrijven	111
Bijlage 3B	Stikstofresidu (NR) in najaar 2018 en eigenschappen van de bemonsterde plekken voor akkerbouw bedrijven	115
Bijlage 4	NMI notitie Nmin metingen najaar 2018	119
Bijlage 5	NMI notitie Quick scan nitraatsensoren	127

Woord vooraf

Voorliggende verkennende studie werd uitgevoerd in het kader van project Nitraatwijzer, in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en maakt deel uit van de onderzoeksagenda bij het Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn. Opzet en voortgang van de studie werden op 11 juni (2018) en op 29 januari en 2 april (2019) besproken met een klankbordgroep waarin de volgende organisaties waren vertegenwoordigd: LTO, NAK, NAV, NMV, POV, NVP, Biohuis, VEWIN, UvW, Stowa, IPO, NMI, RIVM, Deltares en WEnR. Wij danken de leden van deze groep voor hun bijdragen.

In het kader van Nitraatwijzer werden enkele deelstudies uitgevoerd door NMI, RIVM en Deltares. De rapportages daarover zijn in dit rapport integraal als bijlagen opgenomen.

Wij zijn de volgende personen erkentelijk voor de hulp die zij gaven in de vorm van interviews, documentatie en duiding over aspecten van mestbeleid in respectievelijk Vlaanderen en Baden-Württemberg: Hilde Vandendriessche (Bodemkundige Dienst van België), Annick Goossens en Koen Desimpelaere (Vlaamse Landmaatschappij), Toon De Keukelaere (Boerenbond Vlaanderen), Jan Diels (Katholieke Universiteit Leuven), en Karin Rather (Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Heidelberg).

Onze collega's bij de proefstations en facilitaire diensten (Vredepeel, Valthermond, Broekmahoeve, Unifarm) maakten een vlotte uitvoering mogelijk van de grondbemonstering en verwerking van grondmonsters (Unifarm, CBLB). Marie Wesselink en John Verhoeven en het project Koeien & Kansen danken wij voor de medewerking bij bemonstering op praktijkbedrijven; RIVM voor de hulp bij het selecteren van percelen en de nitraatbemonstering; en alle ondernemers voor het verlenen van hun medewerking. RIVM en WEcR droegen bij aan Paragraaf 4.3.

De auteurs

Managementsamenvatting

Het nitraatresidu in de laag 0-90 cm beneden maaiveld (NR) komt als beste indicator naar voren om de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater - verder aangeduid als [NO3] - op bedrijfs- en perceelsniveau te schatten. Het bepalen van [NO3] zelf op perceels- of bedrijfsniveau is geen realistische optie voor toepassing in de praktijk, vanwege de zeer hoge kosten.

De indicator (NR) is relatief eenvoudig en goedkoop te bepalen en heeft een betere voorspellende waarde voor [NO3] dan enige andere indicator op genoemde twee schaalniveaus, ondanks zijn gevoeligheid voor variatie in weersomstandigheden tussen jaren. Niettemin bedraagt de voorspelfout in [NO3] onder een specifiek perceel of bedrijf - bij een zekere gemeten NR waarde - enkele tientallen mg/l. Dat is mede te wijten aan de grote variatie in [NO3] binnen een perceel of bedrijf. Naast de voorspellende waarde voor [NO3] geldt als belangrijk voordeel van de NR indicator dat deze responsief is, en snel perceelsspecifieke feedback aan de teler geeft over de effectiviteit van genomen maatregelen.

Bovengenoemde onzekerheid vormt in Vlaanderen en Baden-Württemberg geen beletsel om NR als handhavingsinstrument op perceelsniveau te gebruiken. In deze regio's speelt de relatie tussen NR en [NO3] geen expliciete rol in de handhaving: het is de NR waarde zelf waarop wordt gehandhaafd, ongeacht het lokaal verband met [NO3]. Hetzelfde geldt overigens voor de indicator die in ons handhavingssysteem wordt getoetst aan de gebruiksnorm: het meststoffengebruik op bedrijfsniveau. Ook hier speelt het lokale verband tussen meststoffengebruik en [NO3], of de onzekerheid in dat verband, geen rol.

Als handhavingsinstrument is NR vooral geschikt om grote afwijkingen van het bemestingsadvies op bedrijfs- en perceelsniveau op te sporen. Daarnaast kan NR goed gebruikt worden in een aanpak die bewustwording over de effecten van het eigen handelen op perceels- en bedrijfsniveau tot doel heeft. In Vlaanderen en Baden-Württemberg ziet men dit als belangrijkste voordeel van NR. Toch heeft men dit doel (bewustwording) daar gecombineerd met handhaving, wat geleid heeft tot (zeer) complexe regelgeving, waarin middelvoorschriften zijn gekoppeld aan overschrijding van getrapte NR drempelwaarden.

Het ligt niet voor de hand om NR te introduceren als alternatief voor monitoring en rapportage over de effecten van het mestbeleid in Nederland op [NO3]. De relatie tussen NR en [NO3] is daarvoor te onzeker. Bovendien zou dat een trendbreuk veroorzaken ten opzichte van de bestaande systematiek van nitraatmonitoring in grond- en oppervlaktewater. De huidige systematiek van nitraatmonitoring volstaat voor monitoring op landelijk of regionaal niveau.

In het najaar van 2018 werd een pilotstudie uitgevoerd, waarin NR gemeten werd op percelen van melkveehouderij- en vollegrondsgroentenbedrijven in Nederland. Gevonden NR waarden waren in het algemeen hoog ten opzichte van de thans geldende normen in Vlaanderen en Baden-Württemberg, ook wanneer rekening gehouden wordt met de uitzonderlijke weersomstandigheden in groeiseizoen 2018. De resultaten van deze pilot worden in 2019 vervolledigd met de metingen van [NO3] onder dezelfde percelen.

Voorgesteld wordt om een eventuele vervolgfase van project Nitraatwijzer te richten op precisering van de relatie tussen NR en [NO3] op percelen die een relatief hoog nitraatuitspoelingsrisico hebben door hun combinatie van gewas, grondsoort en grondwatertrap. Door effecten van het weer en het gewas (gewasrotatie) op deze relatie is het nodig om dat onderzoek gedurende een aantal (bijvoorbeeld vijf) jaren op dezelfde percelen voort te zetten en daarbij lokale weervariabelen te meten. Hiermee kan meer inzicht worden verkregen in de effecten van gewas, grondsoort, grondwatertrap, weersomstandigheden en management op [NO3], op de relatie tussen NR en [NO3],

en op de onzekerheid in die relatie. Naar verwachting zal die onzekerheid weliswaar verkleind worden maar toch enkele tientallen mg/l blijven bedragen.

Experimenteel onderzoek naar NR-[NO₃] relaties op perceelsniveau was tot nu toe beperkt, omdat het meten van een perceelsgemiddelde [NO₃] waarde omslachtig en kostbaar is. In navolging van de klankbordgroep kan echter gesteld worden dat genoemde relaties, met hun onzekerheid, beter bekend moeten zijn om voldoende draagvlak in de praktijk te verwerven voor de inzet van de NR als indicator voor [NO₃]. Voorgesteld wordt om dat onderzoek uit te voeren in twee nader te bepalen uitspoelingsgevoelige regio's in samenwerking met de sectoren melkveehouderij en vollegrondsgroenteteelt (incl. aardappelteelt). Bij voorkeur wordt een vervolgfase gecombineerd met lopende projecten in het kader van DAW of de bestuursovereenkomst grondwaterbeschermingsgebieden. Zo kan voortzetting van het project Nitraatwijzer ook bijdragen aan de resultaten van betreffende projecten of programma's.

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit werd onder de naam Nitraatwijzer een onderzoek uitgevoerd naar het perspectief voor een bedrijfs- of perceelsspecifieke indicator voor het nitraatuitspoelingsrisico, als onderdeel van het flankerende onderzoeksprogramma bij het 6e Actieprogramma Nitraatrichtlijn (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2017). Er is behoefte aan zo'n indicator om beleid en beheer te kunnen evalueren op een lager schaalniveau (bedrijf, perceel) dan nu gebruikelijk is, gericht op het verlagen van nitraatuitspoeling naar het grondwater in daarvoor gevoelige gebieden. De bevindingen worden in dit rapport gepresenteerd.

Het onderzoek bestond uit een deskstudie naar eerder uitgevoerd onderzoek in Nederland en elders, naar het 'nitraat-beleid' in Vlaanderen en Baden-Württemberg, en naar een aantal specifieke deelaspecten. Daarnaast werd een pilot uitgevoerd waarin op een selectie van percelen in Nederland de minerale stikstof in de bodem in het najaar werd gemeten. De eerste resultaten uit de pilot worden hier gerapporteerd. Die resultaten worden later in 2019 vergeleken met nog uit te voeren nitraatmetingen in grondwater op dezelfde percelen door het RIVM, en met managementgegevens die van de betrokken bedrijven worden verzameld in het kader van andere projecten (Koeien & Kansen; Nitraatuitspoeling op Vollegrondsgroentenbedrijven; en Boeren voor Drinkwater in Overijssel).

Vergelijking van indicatoren

In de deskstudie (Hoofdstukken 1 t/m 5) passeren de volgende indicatoren de revue, afhankelijk van onderliggende studies: N-aanvoer, werkzame N-aanvoer, N-bodemoverschot, het verschil tussen werkzame N-aanvoer en totale N-afvoer (zgn. 'werkzame N overschot'), de hoeveelheid residuaire stikstof in de bodem in het najaar (N_{min} , kg N/ha in 0-90 cm -mv), de afzonderlijke componenten hiervan (resp. nitraat-N en ammonium-N) en de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (in hangwater op de lössgronden). Het nitraatresidu (NR) is de nitraatcomponent van N_{min} in het najaar (kg N/ha in 0-90 cm -mv).

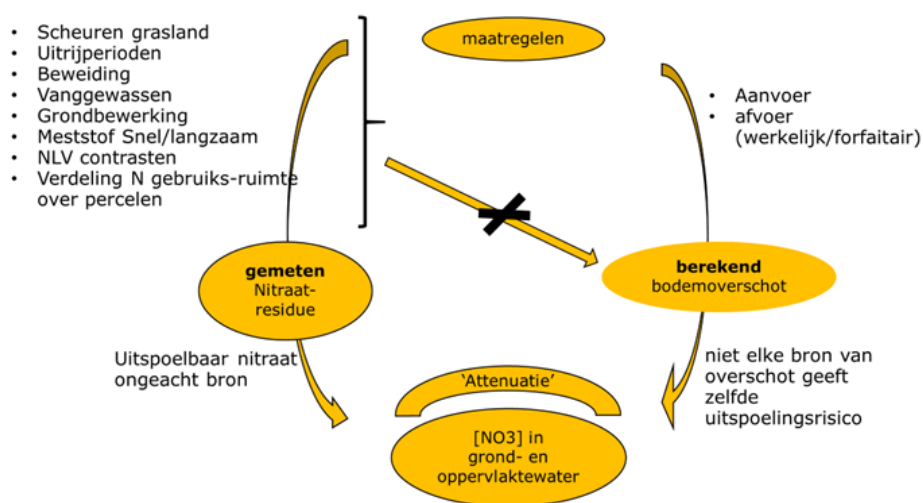
De indicator NR wordt in Vlaanderen en Baden-Württemberg gebruikt voor het evalueren van het regionaal mestbeleid en als toetsinstrument voor de goede uitvoering door ondernemers van maatregelen in het kader van mestbeleid. NR is tegen beperkte kosten te bepalen op een landbouwperceel en is 15 à 40 keer goedkoper dan directe meting van nitraat in het grondwater op bedrijfs- of perceelsniveau. Dat komt vooral doordat nitraat in het grondwater ruimtelijk zeer variabel is waardoor veel boringen (arbeidsintensief) moeten worden verricht om de gemiddelde waarde per bedrijf of perceel te kunnen vaststellen. Dit nadeel wordt niet weggenomen door nieuwe meetmethoden voor de nitraatconcentratie in een watermonster, zoals de Nitraat App; dat monster moet immers nog steeds verzameld worden. Een ander voordeel van NR is dat deze indicator relatief snel reageert op relevante maatregelen, sneller dan de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater, die de resultante kan zijn van uitspoeling gedurende meerdere jaren. De ondernemer krijgt daardoor bij gebruik van NR nog in het betreffende teeltjaar feedback op zijn/haar handelen.

Een voordeel ten opzichte van het N-bodemoverschot – te berekenen op basis van administratieve gegevens – is dat NR gevoeliger is voor een groot aantal factoren en maatregelen die ook de nitraatuitspoeling beïnvloeden. Vele hiervan komen niet tot uitdrukking in een berekend N-bodemoverschot (Figuur S.1). Slechts ten dele kan dit ondervangen worden door de aanvoerposten uit te drukken in termen van werkzame N. Alle indicatoren zijn overigens sterk jaarafhankelijk ten gevolge van variatie in het weer. Daarom dienen zij over meerdere jaren beschouwd te worden. Dit geldt zeker ook voor NR. NR is net als andere indicatoren variabel in tijd en ruimte, waardoor de voorspelfout van de uit NR afgeleide nitraatconcentratie in grondwater, ook groot is. Bij de vertaling van NR naar nitraatconcentratie is het in alle gevallen nodig onderscheid te maken naar bodem, Gt en gewas. Dit gebeurt overigens ook bij de uitspoelfracties voor N-bodemoverschot, afgeleid uit het LMM.

De beste regressie-modellen op basis van NR – zoals vastgesteld in Sturen op Nitraat in de periode 2000-2004 – zijn van eenvoudige lineaire vorm waarbij $[NO_3]$, de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (mg NO_3/l), is opgebouwd uit een constante (C_i , mg NO_3/l) plus een component die

proportioneel is met NR. De constante C_i hangt af van gewas, bodem en grondwatertrap (deze combinatie definieert een zgn. cluster; C_i is de clusterconstante). De proportionaliteitsfactor (lees: gevoeligheid van $[\text{NO}_3]$ voor verandering in NR) ligt in de orde van 0,6 tot 0,7 voor onderzochte groepen van akkerbouw- en tuinbouwgewassen, ligt rond 0,6 voor grasland, en tussen 0,7 en 0,9 voor maïs. Dit betekent dat wanneer NR stijgt met 100 kg N/ha, de $[\text{NO}_3]$ waarde naar verwachting stijgt met 60 à 70 mg/l voor de akker- en tuinbouw gewasgroepen, met circa 60 mg/l voor grasland, en met 70 à 90 mg/l voor maïs. Meer complexe modellen bevatten daarnaast nog aanvullende (significante) variabelen, die echter verschillend van aard zijn tussen akkerbouw, grasland en maïs, en geen grote verbetering in de nauwkeurigheid van de $[\text{NO}_3]$ voorspelling brengen. De clusterconstante C_i is de 'beginwaarde' van $[\text{NO}_3]$. Deze concentratie wordt dus reeds bereikt bij $\text{NR}=0$. In een aantal clusters ligt deze hoger dan 50 mg/l. Deze waarden kunnen op termijn dalen onder aangepast beheer (lager stikstofgebruik, afvoer van gewasresten), en moeten dus niet als onveranderlijke cluster-eigenschappen worden gezien.

Veenlaagjes in het bodemprofiel hebben een sterk reducerend effect op $[\text{NO}_3]$.



Figuur S.1 Factoren en maatregelen welke al dan niet tot uitdrukking komen in de indicatoren 'Gemeten nitraatresidu' en 'Berekend stikstofbodemoverschot'. De groep van factoren en maatregelen linksboven is van invloed op de nitraatuitspoeling en komt tot uitdrukking in het gemeten nitraatresidu, maar niet in het berekend N bodemoverschot tenzij daarbij gebruik wordt gemaakt van gemeten (i.p.v. forfaitaire) N afvoer in geoogst product, en/of de N gift wordt gecorrigeerd voor de verandering in N beschikbaarheid t.g.v. betreffende maatregel.

Er zijn weinig studies voorhanden om de verschillende indicatoren voor het nitraatuitspoelingsrisico (zoals N-aanvoer, werkzame N-aanvoer, N-bodemoverschot en 'werkzame-N bodemoverschot') rechtstreeks met elkaar te kunnen vergelijken met betrekking tot hun nauwkeurigheid als schatter voor $[\text{NO}_3]$ in het opvolgend jaar. Niettemin komt uit het verzameld materiaal naar voren dat het nitraatresidu (NR, kg N/ha) in 0-90 cm -mv in het najaar een (veel) beter verband vertoont met $[\text{NO}_3]$ dan enige andere indicator.

Ook voor NR geldt echter dat voorspellingen van $[\text{NO}_3]$ bij bepaalde NR waarde met grote onzekerheid omgeven zijn. Deze ligt steeds in de orde van enkele tientallen mg/l. Dat geldt voor de verwachte waarde van $[\text{NO}_3]$ voor een cluster (onzekerheid van het model) en in sterkere mate voor de voorspelde $[\text{NO}_3]$ waarde van een nieuw object (perceel of bedrijf) waar de indicator gemeten wordt. Naar verwachting kan verder onderzoek deze bandbreedte verkleinen, maar zal deze toch in dezelfde orde van grootte (enkele tientallen mg/l) blijven liggen.

Uit Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) bleek op het schaalniveau van proefplekken (van circa 20 m²) een duidelijk en significant verband tussen NR en $[\text{NO}_3]$ in alle bestudeerde combinaties van Bodemgroep, Gt-groep en Gewasgroep (de zgn. clusters; zie Hoofdstuk 2). De verbanden zijn niet erg sterk, met fracties verklaarde variantie in de orde van 35 tot 50% (akker- en tuinbouw), 20 tot

26% (grasland) en 22 tot 27% (maïs). De standaardfout van de modellen (Sd) op proefplek-niveau bedroeg 55 tot 60 (akker- en tuinbouw), 48 tot 50 (grasland) en 61 tot 66 (maïs) mg NO₃/l. Werden de modellen opgeschaald naar cluster- of bedrijfsniveau, bij een bemonstering van 40 meetpunten per cluster, dan werd de onzekerheid veel kleiner. De verwachte [NO₃] waarde voor een bedrijf bestaande uit één cluster had dan een betrouwbaarheidsinterval (2*se) van circa ±40 mg/l (akkerbouwgewassen) of ±50 mg/l (voor een bepaalde groep van tuinbouwgewassen). Was de voorspelde [NO₃] waarde dus 60 mg/l, dan lag de werkelijke waarde (voor betreffende cluster of bedrijf) met 95% zekerheid tussen 20 en 100 mg/l, in het voorbeeld van akkerbouwgewassen. Het is momenteel onduidelijk hoe ver deze onzekerheid door verder onderzoek kan worden gereduceerd.

Toepassing van NR als indicator voor het uitspoelingsrisico vereist ten minste onderscheid naar bodem, grondwater en gewas omdat er niet één relatie is die geldt voor alle situaties (clusters). In Sturen op Nitraat werd op basis van de beste modellen met NR de verwachte nitraatconcentratie voor ieder cluster vastgesteld bij een NR waarde van 30 kg/ha. De verwachte waarde van [NO₃] op de diep ontwaterde gronden (GHG-groep 3) lag – afhankelijk van Bodemgroep – tussen 50 en 84 mg/l in de akkerbouwgewassen (gewasgroep 'a+b+r') en tussen 116 en 150 mg/l voor gewasgroep 't'. Bij grasland lag de verwachte [NO₃] voor deze GHG-groep tussen 48 en 56 mg/l en bij maïs tussen 83 en 89 mg/l. Deze waarden zijn geen onveranderlijke clustereigenschappen, maar kunnen onder een aangepast beheer op termijn veranderen.

In Sturen op Nitraat werd geen uitvoerig onderzoek op perceelsniveau gedaan. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen in hoeverre de onzekerheid in voorspelde [NO₃] gereduceerd wordt indien gewerkt wordt met relaties op basis van perceelsgemiddelde NR en [NO₃], in plaats van relaties op basis van proefplekken van circa 20 m², zoals in Sturen op Nitraat.

Gebruik van het Nitraatresidu in Vlaanderen en Baden-Württemberg

Zowel in Vlaanderen als in Baden-Württemberg wordt NR gebruikt als handhavings-, sturings- en monitoringinstrument in het mestbeleid. In Vlaanderen sinds 2002, in Baden-Württemberg sinds 1988. Het gebruik van NR in Baden-Württemberg is "beperkt" tot de "2362" grondwaterbeschermingsgebieden. In Vlaanderen is het instrument van toepassing op het gehele areaal van de regio Vlaanderen. In geen van deze twee regio's werd gepoogd om NR – [NO₃] relaties vast te stellen op bedrijfs- of perceelsniveau. Handhaving gebeurt er op basis van NR zelf, niet op basis van een daaruit voorspelde [NO₃] waarde.

Het belangrijkste verschil in toepassing van het instrument is dat het in Baden-Württemberg deel uitmaakt van een vergoedingensysteem ('Ausgleich') ter compensatie van beperkingen in de bedrijfsvoering die in het waterwingebied gelden, afhankelijk van gebiedsstatus. Deze laatste wordt bepaald door de actuele nitraatconcentratie en de trend daarin. In Vlaanderen wordt de NR meting gebruikt om vast te stellen welke maatregelen het betreffende bedrijf voortaan moet toepassen, en onder welk controle-regime het valt. Aanscherping van maatregelen volgt indien het bedrijf een kritische NR drempel meermaals overschrijdt. In beide regio's hangen beperkingen in de bedrijfsvoering af van de gebiedsstatus (mate en trend van nitraatverontreiniging op gebiedsniveau), maar extra maatregelen kunnen in Vlaanderen opgelegd worden per bedrijf, afhankelijk van de NR uitslag.

In Vlaanderen wordt NR vooral gezien als instrument ter 'sensibilisering' van de ondernemer¹. Er werd veel aandacht besteed aan de onderbouwing van drempelwaarden voor NR voor gewassen en bodemtypen / regio's. Bedoeld onderzoek richtte zich vooral op de zgn. proces- of attenuatiefactor², een maat voor de daling van de nitraatconcentratie (ten gevolge van het nitraatverlies en verdunning in de ondergrond), nadat het residuair nitraat de wortelzone heeft verlaten. Hoewel die factor ruimtelijk zeer sterk uiteenloopt (bijvoorbeeld tussen landbouwregio's in Vlaanderen) werd deze variatie uiteindelijk niet gebruikt in de normstelling voor NR. Het Vlaamse systeem werkt met twee drempelwaarden, de laagste daarvan (DW1) bedraagt 90 kg N/ha in niet-focusgebieden en 70 tot 85 kg N/ha in focusgebieden en focusbedrijven, afhankelijk van gewas en grondsoort. De hoogste van de twee drempelwaarden (DW2) werd vastgesteld op basis van DW1 en de standaardfout in NR, welke werd bepaald in eerder onderzoek. Maatregelen worden opgelegd afhankelijk van de mate en frequentie van overschrijding van deze drempels, volgens een complex schema. De drempelwaarde

¹ Bewustmaking

² De in Nederland gebruikelijke term 'retentie' is hiermee nauw verwant, en wordt vooral voor oppervlaktewater gebruikt

voor NR in Baden-Württemberg ligt op de helft van de Vlaamse DW1 en bedraagt 45 kg N/ha. De drempel waarbij daar consequenties volgen (inhouden van de vergoeding) is 70 kg N/ha.

Bruikbaarheid van NR

De grote onzekerheid in [NO3] bij zekere gemeten NR voor een bepaald perceel of bedrijf heeft consequenties voor de bruikbaarheid van de indicator, afhankelijk van het beoogd gebruik. Onderscheid wordt gemaakt tussen toepassing in respectievelijk (i) handhaving van mestbeleid, (ii) monitoring en rapportage over de effectiviteit van mestbeleid, en (iii) sturing en bewustwording, meestal in een gebiedsgerichte context.

Bruikbaarheid van NR in de handhaving van mestbeleid

Het gebruik van NR is zowel in Vlaanderen als Baden-Württemberg ingekaderd in een veelomvattend systeem van maatregelen. In Vlaanderen wordt NR gebruikt in de handhaving van generiek beleid. Bij overschrijding van de wettelijk vastgelegde NR drempelwaarden worden aan de teler beperkende maatregelen opgelegd, maar geen geldboetes. Wel komen de kosten van NR bepaling in navolgende jaren (na overschrijding) ten laste van de teler en volgen boetes bij het nalaten van verplichte bemonstering. NR wordt daar door de agro-sector gezien als te onzeker en als te afhankelijk van niet-stuurbare factoren om geldelijke boetes op te baseren.

In Baden-Württemberg wordt NR gebruikt in aanvulling op generiek beleid en alleen in waterwingebieden. De NR meting dient daar veeleer om vast te stellen of een *a priori* voorgeschreven beheer door de teler naar behoren werd uitgevoerd en de gepaste vergoeding toegekend kan worden. Bij overschrijding volgen geen andere maatregelen dan het inhouden van de vergoeding. Het budget voor de vergoedingen wordt door de drinkwater-consument bijeengebracht via een heffing op de waterprijs.

Genoemde aanpak heeft geleid tot daling van zowel NR als van de nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater in Vlaanderen, en in waterwinputten in Baden-Württemberg. In Baden-Württemberg nam tevens het aantal 'saneringsgebieden' (wingebieden met hoge of sterk stijgende nitraatconcentratie) af.

Een bedrijfs- of perceelsspecifieke indicator zou meer ruimte van handelen kunnen geven aan bedrijven in minder uitspoelingsgevoelige situaties. Een indicator als NR die in de procesketen 'dicht bij' de doelgrootheid (nl. nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater) staat, lijkt voor deze toepassing het meest geschikt. Het doelvoorschrift zou dan in de plaats komen van middelvoorschriften ('wat mag/moet een teler wel/niet doen'). In de praktijk van bovengenoemde regio's heeft de aanpak op basis van NR echter geleid tot complexe regelgeving, inclusief een groot aantal middelvoorschriften. Deze worden ingezet afhankelijk van de mate en frequentie van overschrijding van drempelwaarden voor NR. In risicogebieden, waar NR drempelwaarden vaak overschreden worden, is van vrijheid van handelen daarom geen sprake.

De klankbordgroep gaf de optie in overweging om een relatief lage gebruiksnorm te combineren met een voorwaardelijke toeslag daarop die wordt toegekend mits NR beneden een bepaalde grens blijft. De teler dient dan aan te tonen dat hij/zij aan die voorwaarde voldoet. In een dergelijke toepassing is het wel nodig om de lokale geldende relatie tussen NR en [NO3] te kennen. Ter relativering van een dergelijke aanpak wordt hier vermeld dat over heel Vlaanderen in 2017 slechts 17 landbouwers op basis van meerjarige NR waarden een verruiming van de gebruiksnorm aanvroegen, waarvan er 11 werden toegekend.

In Vlaanderen wordt, in het voordeel van de teler, een grote marge in NR gehanteerd bij het opleggen van beperkende maatregelen. De marge is het verschil tussen twee drempelwaarden, resp. DW1 en DW2, en is gebaseerd op de onzekerheid in de perceelsgemiddelde NR waarde. De onzekerheid in de NR --> [NO3] relatie - ten gevolge van jaarvariatie en andere omgevingsfactoren - is daarbij nog niet verdisconteerd. Daar staat tegenover dat DW1 waarde (veel) hoger is ingesteld dan de NR waarde waarbij - in risico-gebieden - [NO3] de grens van 50 mg/l wordt bereikt. In Vlaanderen (meetjaar 2016) werd DW2 overschreden op slechts 4% van de bemonsterde percelen. Echter op 18% van de bemonsterde aardappelpercelen (alle grondsoorten) werd DW2 overschreden.

De grote bandbreedte in voorspelde [NO3] waarde bij een bepaalde NR waarde kan genoemd worden als reden waarom handhaving op basis van NR geen goed idee zou zijn. De grote bandbreedte vormt ontegenzeggelijk een probleem. Tegenover dit argument kan worden gesteld dat duidelijk verkeerd N-

management op perceelsniveau (zeer hoge NR score; zie pilots Hoofdstuk 6) bij handhaving met NR wel in beeld komt. Bovendien heeft het huidige handhavingsbeleid in Nederland geen alternatieve indicator ter beschikking die wel met grote zekerheid ernstige lokale overschrijding van de nitraatnorm aanwijst. De huidige registratie in Nederland van aan- en afvoerstromen op bedrijfsniveau, het daaruit berekend meststoffengebruik, en de daarbij behorende [NO₃] waarde zijn alle met zeer grote marges omgeven. Dit is nog afgezien van mogelijk onjuiste registratie door het bedrijf en afwijkingen op perceelsniveau. Op perceelsniveau is nu zelfs, bij gebrek aan een indicator, helemaal geen handhaving mogelijk. Een melkveehouder is vrij om alle mest binnen zijn gebruiksruimte op een paar percelen te concentreren, waardoor lokaal beduidend meer nitraat kan uitspoelen dan volgens de onderbouwing van het huidige mestbeleid. Hetzelfde geldt voor de akkerbouwer die gebruiksruimte verplaatst van graangewassen naar aardappelen of groenten.

Ondanks de grote jaarvariatie in NR en bronnen van onzekerheid in de vertaling van NR naar [NO₃] achten wij NR geschikt voor handhaving op perceelsniveau, mits gecombineerd met een ruime onzekerheidsmarge en/of gebruik van een lopend (meerjarig) gemiddelde waarde. NR is dan als handhavingsinstrument vooral geschikt om excessief meststoffengebruik op te sporen. Voor bedoelde toepassing van NR is meer kennis nodig over de relatie tussen NR en [NO₃], de invloed van lokale factoren daarop en de onzekerheid op perceelsniveau in voorspelde [NO₃] bij zekere gemeten NR waarde.

Bruikbaarheid van NR bij monitoring en rapportage over de effectiviteit van het mestbeleid

Nederland rapporteert, in het kader van de Nitraatrichtlijn, de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater voor zandgrond, in drainwater voor kleigrond, en in hangwater voor lössgrond, omdat dit water relatief snel reageert op veranderingen in beleid. Hierbij gaat het om de trend in de concentratie ('heeft het mestbeleid effect?'). Hiertoe dient het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). Dit is in de rapportage verwoord als: *"Veranderingen in de landbouwpraktijk werken het snelst door in het water dat uitspoelt uit de wortelzone van een landbouwperceel (uitspoelingswater). Daarom heeft de Nederlandse overheid besloten de effecten van de actieprogramma's te monitoren in de bovenste meter van het grondwater, in het drainwater of in bodemvocht van lagen juist onder de wortelzone van het landbouwperceel"* (Fraters et al., 2016). Daarnaast wordt de kwaliteit van het diepere grondwater en van verschillende oppervlaktewateren gerapporteerd. De nadruk ligt hier vooral op de toestand (in relatie tot de 50 mg/l nitraatnorm).

Hoewel ook NR een indicator is die trends ten gevolge van maatregelen snel inzichtelijk maakt, wordt invoering van deze indicator voor het doel van monitoring en rapportage over de effectiviteit van het generiek mestbeleid hier niet aanbevolen. Inmiddels zijn reeds lange tijdreeksen van [NO₃] in LMM opgebouwd. Een trendbreuk is daarbij niet wenselijk. Bovendien zou de vertaling van NR naar de doelvariabele [NO₃] behept zijn met grote onzekerheid (bandbreedte), ook wanneer daartoe sterk naar invloedsfactoren gedifferentieerde relaties zouden worden ontwikkeld. NR zou echter voor veel andere landen – met veel dieper grondwater – juist wel een goede indicator voor de rapportage kunnen zijn.

Bruikbaarheid van NR voor sturing en bewustwording

NR is in de eerste plaats een indicator die feedback geeft over het landbouwkundig handelen (bewustwording), doordat NR snel beschikbaar is na het groeiseizoen en op perceelsniveau eenvoudig en relatief goedkoop meetbaar is. Ondanks de grote jaarvariatie is NR voor de teler de meest geschikte indicator om zijn/haar N management in relatie tot het nitraatuitspoelingsrisico te beoordelen. NR is ook de meest geschikte indicator om meerjaren-trends in het uitspoelingsrisico op perceelsniveau vast te stellen. Tevens heeft NR als voordeel dat hiermee gemakkelijk een 'lerend systeem' ontstaat, waarbij aanscherping van maatregelen alleen daar plaats vindt waar dat nodig is gebleken. Aanscherping kan gaandeweg plaatsvinden zolang het doel van voldoende lage [NO₃] in het grond- en oppervlaktewater in de regio niet is bereikt.

Voor deze toepassingen van NR (feedback aan teler; zelf-evaluatie ten opzichte van groep; vaststellen van trends; lerend systeem) hoeft de relatie met [NO₃] in grond- of oppervlaktewater niet precies bekend te zijn. Voor gebruik van NR bij sturing en bewustwording is dan ook geen aanvullend onderzoek nodig. Niettemin gaven leden van de klankbordgroep bij *Nitraatwijzer* aan dat het ook in deze toepassing van NR gewenst is om de relatie met [NO₃] te kennen, om het draagvlak in de praktijk te verstevigen ('legitimatie van de indicator').

Het verdient aanbeveling om NR als indicator te introduceren in beleid gericht op grondwaterbeschermingsgebieden en probleemgebieden, en daar aanvullend te gebruiken naast het administratief vastgestelde N-bodemoverschot (KLW), kaartinformatie over gewas, bodem en grondwater (BRP, openbare GIS bestanden in PDOK) en nitraatmonitoring. Door het goed afgestemd combineren van deze indicatoren kunnen de kosten van monitoring worden beperkt. Er kan worden gefocust op risicopercelen op basis van administratieve data (KLW) en kaartinformatie, waar het risico vervolgens met NR kan worden geverifieerd. Tegelijk kunnen regionale trends in nitraatconcentratie worden vastgesteld met een gestratificeerde nitraatmonitoring op gebiedsniveau waarvoor aanzienlijk minder nitraatmeetpunten noodzakelijk zijn dan voor bedrijfs- of perceelsgerichte monitoring, en kan met NR de doelmatigheid van maatregelen op perceelsniveau worden bepaald.

Pilot Nitraatwijzer 2018-2019

Naast de deskstudie werd in het kader van het onderhavige project Nitraatwijzer in 2018-2019 een pilot uitgevoerd waar NR werd gemeten op 9 melkveebedrijven en 23 vollegrondsgroentenbedrijven in Nederland. De resultaten tonen aan dat NR in 2018 in het algemeen hoog lag. In de meeste gevallen zelfs hoger dan de grenswaarde van 90 kg N/ha die in Vlaanderen wordt gehanteerd. De hoge waarden worden deels toegeschreven aan de extreem droge en warme zomer van 2018. In Vlaanderen, waar vergelijking met 'normale' jaren mogelijk is, lag NR in 2018 gemiddeld 50% hoger dan normaal (gemiddeld circa 90 i.p.v. 60 kg/ha).

Net als in Vlaanderen en Baden-Württemberg kunnen in Nederland gewassen en bodemtypen aangeduid worden met een relatief hoog of laag risico op nitraatuitspoeling. Met de pilot werd een basis gelegd voor de selectie van risicovolle gewas-bodem-Gt combinaties (clusters), waarop het onderzoek zich in een eventuele Fase-II kan richten. Daarbij zou bijvoorbeeld een beperkt aantal clusters gedurende vijf jaren onderzocht kunnen worden op perceelsniveau, om de relatie tussen NR en [NO₃], en de onzekerheid in die relatie op perceelsniveau, per cluster bodem-gewas-Gt combinatie vast te stellen.

Het LMM biedt perspectief om de relatie tussen het N-bodemoverschot en nitraat in het grondwater te verstevigen door de data ook te analyseren op gewasniveau en door extra geregistreerde managementfactoren in de analyse te betrekken die wel invloed hebben op nitraat maar niet, of ten dele, op het N-bodemoverschot. Voor analyse op gewasniveau kan gebruik gemaakt worden van de geregistreerde Nitrachek waarden per boorpunt. Zo kan de zogenaamde uitspoelfractie nauwkeuriger worden bepaald. Deze geeft aan welke deel van het N-bodemoverschot in het volkseizoen wordt teruggevonden als nitraat in het bovenste grondwater.

Her-analyse (in het kader van Nitraatwijzer) van de LMM dataset inclusief vijf nieuwe LMM meetjaren op basis van de tot dusver door RIVM gevolgde methode leverde slechts een kleine aanpassing aan de uitspoelfracties op. Echter kon nu wel – door de langere meetreeks - voor de lössgronden een eigen uitspoelfractie worden vastgesteld. Deze ligt lager dan die voor de meest uitspoelingsgevoelige Gt-Zand combinatie. Dit strookt met het onderscheid dat in Vlaanderen en Baden-Württemberg wordt gemaakt tussen de zand- en lössgronden, en ook met de resultaten van het project Duurzaam Schoon Grondwater in Limburg (zie Paragraaf 2.3.4 en 5.5).

1 Inleiding

1.1 Aanleiding, doel, fasering

Het 6^e Actieprogramma Nitraatrichtlijn (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2017) kondigt een project aan waarin 'Nederland in praktijksituaties gaat bezien hoe het beste het risico van nitraatuitspoeling van individuele percelen en landbouwbedrijven kan worden bepaald.' In de praktijk bestaat behoefte aan een robuust instrument dat het mogelijk maakt om perceels- en bedrijfsspecifiek het risico van nitraatuitspoeling te kwantificeren, opdat de bedrijfsvoering daarop kan inspelen en worden beoordeeld. Bedrijven kunnen dan hun beheer zodanig optimaliseren dat het nitraatuitspoelingsrisico door maatwerk kosteneffectief wordt verlaagd. Overheden kunnen een dergelijk instrument gebruiken om de impact van actieprogramma's - in het kader van de Nitraatrichtlijn of Deltaplan Agrarisch Waterbeheer - op perceels- en bedrijfsniveau te evalueren (monitoring); en kunnen het gebruiken bij de handhaving. Meer specifiek kan het beoogde instrument een rol spelen in de grondwaterbeschermingsgebieden. In het onderzoek en in pilots met praktijkbedrijven kan het instrument gebruikt worden om de effectiviteit te evalueren van afzonderlijke maatregelen of maatregelpakketten om nitraatuitspoeling te verminderen.

Op grond van bovengenoemde overwegingen ging in juni 2018 het project Nitraatwijzer van start met de volgende doelen:

- Ontwikkelen / vaststellen van een procedure (uitspoelingswijzer / indicator) waarmee het risico op uitspoeling van nitraat op perceels- en bedrijfsniveau kan worden gemeten / gekwantificeerd. De procedure moet eenvoudig en goedkoop zijn; zij moet tevens in de praktijk breed toepasbaar zijn, d.w.z. dat gestreefd wordt naar één procedure die op alle bedrijfstypen gevolgd kan worden; en zij moet voor de teler aanknopingspunten bieden om het uitspoelingsrisico op perceels- en bedrijfsniveau te verlagen;
- Toetsen van de uitspoelingswijzer / indicator op bedrijfs- en perceelsniveau, in uiteenlopende bedrijfstypen; door te vergelijken met metingen van nitraat in het bovenste grondwater (LMM methode) – die eventueel ook zelf als indicator kunnen dienen.

De bevindingen uit Fase I van het project (juni 2018 - maart 2019) worden in dit rapport samengevat. Fase I omvatte een desk-study om bestaande informatie uit binnen- en buitenland in kaart te brengen; en daarnaast een pilot uitgevoerd op 185 percelen van diverse praktijkbedrijven in Nederland (Hoofdstuk 6). Terwijl de deskstudie met voorliggend rapport wordt afgesloten, loopt de pilot nog door in 2019 met de nitraatmetingen op genoemde percelen en de interpretatie daarvan. De resultaten uit de pilot van de najaarsbemonstering (2018; alleen N-mineraal in de bodem) worden hier gerapporteerd. Na afronding van de pilot (nitraatmetingen 2019) zal een compleet overzicht van de meetresultaten uit de pilot apart worden gerapporteerd.

1.2 Kandidaat-indicatoren

Een instrument om het nitraatuitspoelingsrisico te kwantificeren kan gebruik maken van:

- metingen, zoals bijvoorbeeld:
 - het minerale N gehalte (ammonium en nitraat) in de bodem in het najaar (Nmin) of het nitraatdeel daarvan (NR),
 - de nitraatconcentratie van het bovenste grondwater ([NO3]),
 - het totaal N gehalte in de bodem - of een component daarvan die gemakkelijk beschikbaar komt - als maat voor de (potentiele) N-mineralisatie.
- Berekeningen of schattingen, zoals bijvoorbeeld:
 - aan- en afvoer van N, en het resulterend N bodemoverschot (KringloopWijzer),

- o informatie over huidig en historisch gebruik van een perceel (gewassen; dierlijke-mestgebruik; BRP van RVO, rotatie in Akkerweb),
- o bodemeigenschappen (b.v. textuur; aanwezigheid van veenlaagjes; bodemkaart),
- o hydrologische en meteorologische informatie (grondwatertrap Gt; neerslag of neerslagoverschot en temperatuur in bepaalde perioden),
- o elementen van beheer, zoals type meststof (ammonium versus nitraat; mineraal versus organisch), toedieningsregime (fasering; techniek). Op grasland spelen beweiding en graslandvernieuwing een belangrijke rol, op bouwland bijvoorbeeld de teelt van een vanggewas.

Bedoeld instrument om het nitraatuitspoelingsrisico te kwantificeren zal idealiter alle relevante risicofactoren in beschouwing moeten nemen. Anderzijds geldt dat het precieze effect van deze factoren vaak onvoldoende bekend is, dan wel alleen bekend uit experimenten, maar niet eenvoudig te vertalen naar andere omstandigheden (grondsoort, jaar). Sommige factoren worden wel verdisconteerd in meetbare of berekende grootheden, andere niet. Aan deze aspecten wordt in de Hoofdstukken 2 en 3 aandacht gegeven.

Met 'kandidaat-indicatoren' bedoelen we hier enkelvoudige grootheden, gemeten of berekend, welke nauw verband houden met de aan- en/of afvoer van stikstof en daarom van invloed zijn op de nitraatuitspoeling. Dit zijn: N-aanvoer³, N-overschot op de bodembalans, de hoeveelheid minerale N in bodemprofiel 0-90 cm -mv (Nmin_najaar; deze omvat NH₄ en NO₃), en de hoeveelheid residuair nitraat in bodemprofiel 0-90 cm -mv (NR). Deze zijn alle uitgedrukt in kg N/ha. Voorts wordt soms het nitraatconcentratie ([NO₃], mg/l) in grondwater (zandgronden), drainwater (kleigronden) of hangwater (lössgronden) als kandidaat-indicator gezien. Deze kan echter ook als de 'te voorspellen' grootheid zelf beschouwd worden. Tabel 1.1 geeft een overzicht van veronderstelde of bewezen voor- en nadelen van de verschillende indicatoren. Gegeven beoordeling is indicatief en wordt, voor een aantal aspecten, in volgende hoofdstukken verder toegelicht.

Tabel 1.1 Kandidaat-indicatoren voor het nitraatuitspoelingsrisico. Een gunstige beoordeling of voordeel is aangegeven met '+' (b.v. lage kosten), een ongunstige beoordeling of nadeel met '-' (b.v. niet-responsief). De beoordeling in elke kolom is relatief, d.w.z. ten opzichte van de indicatoren in overige kolommen.

Kenmerk	N-aanvoer (kg N/ha)	N-overschot op bodem- balans (kg N/ha)	Nmin residu (kg N/ha)	Nitraat residu (kg N/ha)	[NO ₃] in grond- /drain-/hang- water (mg NO ₃ /l)
Meting (i.p.v. berekening)	-	-	++	++	++
Gewasopname verdisconteerd	-	+ ¹	++	++	++ ⁹
Mineralisatie verdisconteerd	-	-	++	++	++ ⁹
Indicatorwaarde is bij aanvang seizoen reeds bekend (teler kiest waarde)	++	+ ¹	-	-	-
Gevoelig voor verstoring door jaarvariatie	++	+	- -	- -	- ⁹
Herbemonstering mogelijk bij twijfel	-	-	++	++	+ ⁹
Responsief (op maatregelen)	-	+ ⁷	++	++	+ ^{8, 9}
Maat voor totaal N verlies	-	+	-	-	-
Lange tijdreeksen reeds beschikbaar in NL	++	+	-	-	++
Referentiemateriaal beschikbaar in buitenland (Vlaanderen, Duitsland)	+	-	++	++	++
Nauwkeurig te bepalen op perceelsniveau	+ ²	- ²	++	++	+ ³
Nauwkeurig te bepalen op bedrijfsniveau	+	+	++	++	+ ³
Voorspelfout in nitraat-uitspoeling	-	- -	+ ⁴	+ ⁴	++ ³
Houdt rekening met verdunning en verliezen in ondergrond	- ⁵	- ⁵	- ⁵	- ⁵	++
Bestaande 'infrastructuur' NL	+	+	-	-	+
Kosten	++ ⁶	++ ⁶	-	-	- -

1. Meestal wordt slechts forfaitaire afvoer (geregistreerde opbrengst x forfaitair gehalte) verdisconteerd of in het geval van gras in de KLV een sluitpost op de balans.

2. Nauwkeurigheid is lager op melkveebedrijven dan op bouwland, door grote interne nutriënten-stromen.

³ Het is ook mogelijk om de aanvoer uit te drukken in werkzame N en daarbij ook een balans op te stellen.

-
3. Nauwkeurige bepaling vereist groot aantal deelmonsters per perceel; kostbaar ingeval van [NO₃].
 4. Nauwkeuriger naarmate meer cluster-specifiek (grondsoort, gewas, Gt).
 5. Verdunning en N verlies tussen indicator en doelvariabele [NO₃] wordt in Vlaanderen 'attenuatie' genoemd. Denitrificatie in de ondergrond speelt hierbij soms een belangrijke rol. Waar de indicator zelf geen rekening houdt met 'attenuatie', wordt een correctiefactor toegepast: de uitspoelfractie (in Nederland) is het deel van bodemoverschot dat uitspoelt naar grondwater; de attenuatiefactor of procesfactor (Vlaanderen) kenmerkt de mate van verdunning en afbraak van nitraat, vanaf het moment dat het nitraat de wortelzone op 90 cm onder het maaiveld verlaat tot op het moment dat het ofwel in het oppervlaktewater ofwel in het grondwater terecht komt en gemeten wordt.
 6. Wordt reeds geregistreerd of is eenvoudig te berekenen m.b.v. KringloopWijzer.
 7. Veel relevante maatregelen om nitraatuitspoeling te verlagen komen niet tot uitdrukking in het berekend N bodemoverschot, of hebben een moeilijk te kwantificeren effect hierop.
 8. Response is vertraagd en mogelijk afgezwakt.
 9. Door de vertraging tussen groeiseizoen en uitspoeling van nitraat naar het grondwater kan het gevonden nitraatconcentratie vaak niet rechtstreeks aan de gegevens van voorgaand groeiseizoen worden gerelateerd; daarom beveelt RIVM langjarige monitoring (ca. vijf jaar) en maakt gebruik van een weerjaarcorrectiefactor voor verdunning.

2 Risicofactoren voor nitraatuitspoeling

2.1 Bronnen om risicofactoren vast te stellen

Risicofactoren voor nitraatuitspoeling zijn relevant bij het formuleren van maatregelen om uitspoeling te reduceren, maar ook om domeinen te begrenzen voor het opstellen van relaties tussen de indicator en het nitraatuitspoelingsrisico.

Risicofactoren kunnen uit diverse typen bronnen worden afgeleid. Gedetailleerde analyses werden uitgevoerd in de periode 2000-2003 onder de noemer 'Sturen op Nitraat'. Andere wetenschappelijke studies werden uitgevoerd door De Ruijter *et al.* (2007) en in Vlaanderen door Tits *et al.* (2010) en Van Overtveld *et al.* (2011).

Daarnaast vormen de jaarlijkse rapportages over de resultaten van landelijke monitoring relevante bronnen. In Nederland betreft dat het Landelijke Meetnet effecten Mestbeleid (De Goffau *et al.*, 2010; Vrijhoef, 2011 (LMM)) waar het overschot op de bodembalans op bedrijfsniveau wordt geregistreerd, en nitraat in grond-, drain- of hangwater wordt gemeten op 16 meetpunten per bedrijf. In Vlaanderen wordt het nitraatresidu op perceelsniveau gemeten waarbij monitoring van nitraat in grond- en oppervlaktewater gebeurt op andere (daarvan onafhankelijke) locaties. Dit maakt het leggen van directe verbanden tussen beide variabelen moeilijk⁴, maar factoren die het nitraatresidu zelf verhogen kunnen uiteraard wel worden vastgesteld. Dat geldt ook voor Baden-Württemberg (Duitsland) waar onder de naam SchALVO het nitraatresidu op percelen wordt gemeten in grondwaterbeschermingsgebieden, en de nitraatconcentratie alleen in winputten. In beide landen worden factoren als gewas en grondsoort beschouwd in de rapportage van nitraatresidu-monitoring. Tenslotte kunnen risicofactoren ook worden afgelezen aan de wettelijke bepalingen in de resp. landen, en hoe die afhangen van lokale factoren. In dit hoofdstuk worden de risicofactoren benoemd aan de hand van bovengenoemde drie categorieën van bronnen.

2.2 Wetenschappelijke literatuur

2.2.1 Sturen op Nitraat

2.2.1.1 Dataset en aanpak

Het project Sturen op Nitraat werd gedurende 2000-2003 uitgevoerd met als doel indicatoren voor het voorspellen van nitraatuitspoeling vast te stellen. Metingen werden uitgevoerd op 478 zgn. proefplekken waar in het najaar residuaire N_{min} (nitraat en ammonium) en NR (het nitraatdeel van N_{min}) in het bodemprofiel (0-90 cm -mv) werden gemeten en in het daarop volgend jaar de nitraatconcentratie ([NO₃]) in grond-, drain- of hangwater. Een proefplek is een 'punt' van circa 20 m² in een perceel. De studie beperkte zich tot de zand- en lössgronden omdat die het meest gevoelig zijn voor nitraatuitspoeling. Diverse bedrijfstypen namen deel, waaronder melkveebedrijven (18), akkerbouw- en vollegrondsgroentenbedrijven (15) en een gemengd bedrijf, totaal 34 bedrijven. Smit *et al.* (2004) en Hack-ten Broeke *et al.* (2004) gaven omvattende overzichten van methoden en resultaten. Hieronder vermelde informatie is aan beide bronnen ontleend, tenzij anders vermeld.

Bij het kiezen van de proefplekken werd gebruik gemaakt van stratificatie naar bodemtype, grondwater-regime (Gt), en gewas. Deze grootheden werden in groepen ingedeeld, waardoor hierna gesproken wordt van bodem-, Gt-, en gewasgroep (zie Tabel 2.1). Een cluster is een combinatie van bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep. Er waren circa 60 clusters. Voor elke locatie werd een groot aantal gegevens vastgelegd:

- bodemgesteldheid incl. eigenschappen van de bouwvoor,
- grondwaterregime,
- neerslagoverschot in zomer of winter,

⁴ Geostatistische methoden kunnen dit deels oplossen, zie Van Overtveld *et al.* (2011).

- gewaskeuze,
- N aan- en afvoer en N-overschot,
- grondwatersamenstelling.

Deze data werden verzameld op proefplek-, perceels- of bedrijfsniveau, afhankelijk van type variabele (Smit *et al.*, 2003).

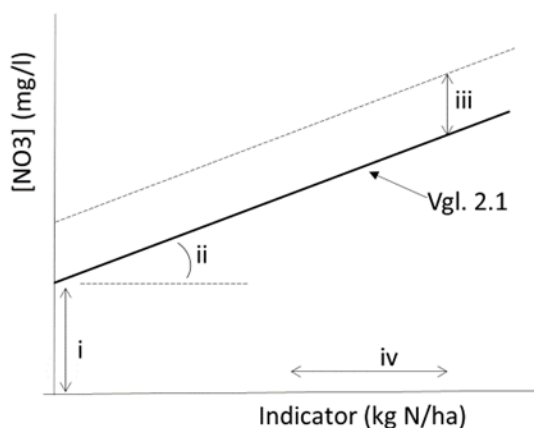
Sturen op Nitraat kende een ontwikkelfase gebaseerd op drie meetseizoenen en een toetsfase in een vierde meetjaar. In dit hoofdstuk beperken wij ons tot de ontwikkelfase omdat daar de effecten van onderscheiden factoren op $[NO_3]$ in kaart gebracht werden. Er werd een groot aantal regressiemodellen opgesteld. De beste modellen (in termen van verklaarde variantie en voorspelfout) hadden steeds de volgende basisvorm, die werd aangeduid als Model 1:

$$[NO_3] = C_i + a \cdot NR \quad (2.1)$$

waar NR het nitraatresidu is (0-90 cm -mv) en C_i een constante die afhangt van cluster i. Omdat dit basismodel in Sturen op Nitraat steeds als minimaal noodzakelijke component naar voren kwam bij de vergelijking van modellen, wordt dit model ook hier als uitgangspunt genomen. Aan dit basismodel werden in Sturen op Nitraat een of meerdere andere grootheden als regressietermen toegevoegd. Een uitvoerige bespreking daarvan voert hier te ver. De onzekerheid (voorspelfout) in deze en andere modellen wordt toegelicht in Paragraaf 3.2.

Hieronder beschreven effecten van risicofactoren hebben betrekking op een of meerdere van de volgende 'aangrijpingspunten' (Figuur 2.1):

- de invloed van clusterstrata (Bodemgroep, Gt-groep of gewasgroep) op C_i (Vgl. 2.1);
- de response van $[NO_3]$ op NR uitgedrukt in coëfficiënt a (Vgl. 2.1);
- factoren kunnen als risicofactor worden aangemerkt wanneer zij een groot effect op $[NO_3]$ hebben bovenop het effect dat reeds via NR (Vgl. 2.1) is verdisconteerd;
- de NR waarde zelf; een hoge NR waarde duidt op een relatief hoog risico, ongeacht de waarden van C_i en coëfficiënt a in Vgl. 2.1. Aan de hand van deze indeling worden de belangrijkste risicofactoren in deze paragraaf beschreven.



Figuur 2.1 Aangrijpingspunten (i-iv) van risicofactoren voor nitraatuitspoeling. Indicatoren kunnen diverse grootheden zijn zoals N-bodemoverschot, N_{min} , of nitraatresidu (NR) als in Vgl. 2.1.

In Sturen op Nitraat werden de data in drie groepen verdeeld: (a) akker- en tuinbouw incl. maïs op akkerbouwbedrijven; (b) grasland; (c) maïs op melkveebedrijven. Dit hoofdstuk houdt diezelfde indeling aan voor de bespreking van de resultaten.

Tabel 2.1 Stratificatie toegepast in Sturen op Nitraat (naar Hack-ten Broeke et al., 2004).

Bodemgroepen	
L	Lössgronden
Z1	Zandgronden met veel organische stof of een dikke bovengrond (zoals enkeerdgronden, moerige gronden)
Z2	Zandgronden met relatief veel organische stof en een hoog leemgehalte (zoals de meeste beekerdgronden, sommige gooreerdgronden, zandgronden met een kleidek, keileemgronden)
Z3	Overige zandgronden (sommige beekerdgronden, meeste gooreerdgronden, podzolgronden)
Gt-groepen	
Groep 1	GHG (Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand) ondieper dan 40 cm (Gt I, II, II*, IIb, III, III*, V, V*)
Groep 2	GHG tussen 40 en 80 cm (Gt IIc, IV, VI)
Groep 3	GHG dieper dan 80 cm (Gt IVc, VII, VII* en VIII)
Gewasgroepen	
g	grasland
m	snijmaïs op melkveehouderijbedrijven
t	andijvie, boerenkool, bloemkool, Chinese kool, knolselderij, korrelmaïs, spitskool, ijsbergsla, CCM en MKS
a	aardappel, koolraap, koolrabi, kropsla, prei, radijs, snijmaïs op akkerbouwbedrijven, spinazie en ui
b	broccoli, knolvenkel, luzerne, peulvruchten, rode kool, spruitkool, suikerbiet, voederbiet en witte kool
r	aardbei, asperge, bospeen, gerst, haver, rode biet, rogge, schorseneer, tarwe, witlof en wortel

Tabel 2.2 Waarde voor het intercept C_i (Vgl. 2.1; mg NO_3/l) in de open teelten, voor de onderscheiden clusters, gebaseerd op drie meetseizoenen. C_i is de verwachte waarde van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater bij een nitraatresidu van nul. Sturen op Nitraat, naar Hack-ten Broeke et al., 2004.

Gt-groep	Gewasgroep a+b+r C_i (mg NO_3/l)			Gewasgroep t C_i (mg NO_3/l)		
	1	2	3	1	2	3
Löss	-	-	29	-	-	-
Z1	-	27	43	-	94	109
Z2	0	48	63	67	115	-
Z3	-4	44	59	62	110	125

2.2.1.2 Model voor $[\text{NO}_3]$: resultaten akker- en tuinbouw

Effect van cluster (factor Typen i en ii)

De gevonden C_i waarden (Tabel 2.2) maken duidelijk dat, ten tijde van Sturen op Nitraat, de nitraatnorm (50 mg/l) zelfs bij $\text{NR}=0$ niet gehaald werd ingeval van Gewasgroep t (Tabel 2.1; alle Bodem- en Gt groepen) en ook niet voor Gewasgroepen a, b, en r op Bodemgroepen Z2 en Z3 ingeval van Gt-groep 3. De meest in het oog springende risicofactoren in de open teelten zijn Gewasgroep t en de combinatie van zandgrond zonder veel organische stof met diepe grondwaterstand (alle gewasgroepen; er is geen verschil tussen Gewasgroepen a, b, en r zolang NR in het model is opgenomen). De waarde van $[\text{NO}_3]$ bij Gewasgroep t ligt 66,7 mg/l hoger dan bij 'samengevoegde' Gewasgroep (a+b+r). Gewasgroep t heeft dus niet alleen algemeen hoge NR waarden (zie later), maar heeft reeds bij eenzelfde NR waarde een veel hogere verwachte $[\text{NO}_3]$ waarde dan overige gewassen. Dit verschil ontstaat mogelijk door verliezen gedurende het groeiseizoen en is relevant bij eventuele normering op basis van NR.

Gt-groep 3 heeft de hoogste C_i waarde volgens Vgl. 2.1, namelijk circa 60 mg/l voor Bodemgroepen Z2 en Z3. Dit is gemiddeld (over gehele NR range) 15 à 20 mg/l hoger dan voor Gt-groep 2 en circa 65 mg/l hoger dan voor Gt-groep 1. De C_i waarde verschilt niet tussen Bodemgroepen Z2 en Z3, maar ligt daar wel circa 18 mg/l hoger dan voor Z1. Bodemgroep Löss (steeds Gt-groep 3) vertoonde een veel lagere C_i waarde dan de drie zandgroepen, nl. 29 mg/l. Dat is 14 mg/l lager dan Z1 en circa 30 mg/l lager dan Z2 en Z3. Als dit een stabiel kenmerk is van de lössgronden, ligt dus bij eenzelfde NR

waarde het uitspoelingsrisico voor löss veel lager dan voor de drie groepen zandgronden. De gemiddelde [NO₃] waarde op löss lag in Sturen op Nitraat op 60,4, 53,6 en 21,2 mg/l in de drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002, 2002-2003). Dat was 20 à 30 (2000-2001), circa 15 (2001-2002), en circa 50 (2002-2003) mg/l lager dan voor de zandgronden.

De waarde van coëfficiënt a in Vgl. (2.1) is de helling van het [NO₃]-NR verband, zie (ii) in Figuur 2.1. Er werd geen onderscheid in deze helling gemaakt naar gewasgroepen binnen de akker- en tuinbouw. Voor Model 1 (Vgl. 2.1) bedraagt de helling 0,69. Dit betekent dat de nitraatconcentratie [NO₃] in grondwater stijgt met 69 mg/l wanneer NR stijgt met 100 kg N/ha. Twee alternatieve modellen voor akker- en tuinbouw met extra regressoren gaven vergelijkbare waarden voor a, tussen 0,62 en 0,67.

Effecten van Type iii factoren

Neerslagoverschot in zomer en winter

De waarde van [NO₃] in het voorjaar was 15 mg/l lager per 50 mm extra neerslagoverschot in voorgaande zomerperiode (1 april – 1 oktober). Het neerslagoverschot in de winter daarentegen bleek tot een verhoging van [NO₃] te leiden met 18 mg/l per 50 mm overschot. Omdat [NO₃] echter de resultante is van uitspoeling en verdunning – processen met een tegengesteld effect op de nitraatconcentratie – blijft de vraag in hoeverre deze schattingen extrapoleerbaar zijn buiten betreffende dataset.

C/N quotiënt

Een hoger C/N quotiënt van organische stof in de bouwvoor verlaagt [NO₃]. Het verwacht effect is een reductie van [NO₃] met 10 mg/l wanneer C/N verhoogd wordt van 10 naar 15.

N-gebruik

Binnen de 'gecombineerde' gewasgroep 'a+b+r' werd geen Type iii-effect van de N gift vastgesteld. Dit betekent dat effecten van de N gift op [NO₃] volledig via NR tot uiting komen. Echter in gewasgroep t was er wel een additionele stijging in [NO₃], dus Type iii effect. Deze bedroeg 9 mg/l per 20 kg/ha extra N input. Gewassen in deze groep hebben een veelal kort groeiseizoen, krijgen een relatief hoge N gift, en hebben een beperkt wortelstelsel. De N-verliezen verlopen in deze gewassen dus niet uitsluitend via NR, en vinden mogelijk al vóór de NR bemonstering plaats. Ook kan er nog mineralisatie uit gewasresten na de bemonstering plaatsvinden, waarna nitraat uitspoelt. Voor andere verschillen in N huishouding tussen gewasgroep t en groep 'a+b+r' die uit regressiemodellen naar voren kwamen, wordt verwezen naar Hack ten Broeke *et al.* (2004).

Bedrijfs-N-overschot

Per 100 kg N/ha extra bedrijfsoverschot steeg [NO₃] met 13 mg/l, additioneel boven het effect via NR.

2.2.1.3 Model voor [NO₃]: resultaten grasland

Effect van cluster (factor Typen i en ii)

Uit Tabel 2.3 blijkt dat het effect van Gt-groep op [NO₃] als uitgedrukt in de C_i waarden minder uitgesproken was dan bij akker- en tuinbouw. Bij Gt-groepen 2 en 3 lag [NO₃] resp. 5 à 10 mg/l en 18 mg/l hoger dan bij Gt-groep 1. Naast het effect van Gt-groep (met daarin een range van GHG niveaus) werd ook gekeken naar het effect van GHG zelf. Daaruit bleek dat bij GHG waarden van 120 en 180 cm-mv de verwachte [NO₃] waarden bij NR=0 resp. 36 en 55 mg/l waren. Bij een GHG van 180 cm -mv werd dus ook op grasland de nitraatnorm niet gehaald, zelfs niet bij NR=0. Het effect van bodemgroep op [NO₃] bleek voor grasland niet significant. Verschillen tussen zandgronden waren klein en lössgronden werden uitgesloten van de regressieanalyse. Lössgronden en bodemprofielen met veenlaagjes werden apart behandeld.

Volgens het basismodel (Vgl. 2.1) stijgt [NO₃] met 65 mg/l wanneer de NR waarde stijgt met 100 kg N/ha. Alternatieve modellen voor grasland (met extra regressor variabelen toegevoegd aan Model 2.1) lieten een vergelijkbare gevoeligheid voor NR zien, nl. 61 en 62 mg/l per 100 kg N/ha. De response van [NO₃] op NR voor grasland was dus nagenoeg gelijk aan die bij akker- en tuinbouw.

Tabel 2.3 Waarde voor het intercept C_i (Vgl. 2.1; mg NO_3/l) voor grasland en maïs, voor de onderscheiden clusters, gebaseerd op drie meetseizoenen. C_i is de verwachte waarde van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater bij een nitraatresidu van nul. Sturen op Nitraat, naar Hack-ten Broeke et al., 2004.

Gt-groep	Grasland C_i (mg NO_3/l)			Maïs C_i (mg NO_3/l)		
	1	2	3	1	2	3
Löss	-	-	-	-	-	-
Z1	-	32	38	24	22	66
Z2	11	23	28	23	21	65
Z3	19	31	36	17	15	60

Effecten van Type iii factoren

Scheuren van grasland

Er waren voldoende percelen waar grasland in het jaar voorafgaand aan de $[\text{NO}_3]$ meting gescheurd was om het effect daarvan te kunnen schatten. Destijds werd nog in het najaar gescheurd. Het effect van scheuren als risicofactor is daarom minder relevant in het huidig tijdsbestek, maar wordt wegens zijn grote omvang hier toch genoemd. Het effect van scheuren, als additionele factor toegevoegd aan Model 2.1 (dus Type iii effect), bedroeg +57 mg/l. In een model zonder NR was dit nog groter, 78 mg/l. De verwachte $[\text{NO}_3]$ waarde onder een perceel wat gescheurd is in voorafgaand najaar lag dus 78 mg/l hoger dan op niet gescheurd grasland. Een groot deel van het uitspoelingsrisico kwam dus niet tot uiting in NR. Nitraat uit mineralisatie kan voor de NR meting reeds uitspoelen; en mineralisatie kan voortgaan na de NR bemonstering.

Neerslagoverschot in zomer en winter

De waarde van $[\text{NO}_3]$ in het voorjaar was 5 mg/l lager per 50 mm extra neerslagoverschot in voorgaande zomerperiode (1 april – 1 oktober). Het neerslagoverschot in de winter daarentegen bleek – zoals in akker- en tuinbouw – tot een verhoging van $[\text{NO}_3]$ te leiden, nu met 11 mg/l per 50 mm overschot. Deze effecten waren dus zwakker dan bij akker- en tuinbouw, maar volgden wel hetzelfde patroon.

Overige parameters

Alle overige grootheden hadden slechts een zwak effect op $[\text{NO}_3]$ bovenop hun impact via NR. Dat gold voor zowel perceeloverschot als voor diverse bodemchemische parameters. Onder deze laatste was het effect van potentiële mineralisatie negatief: $[\text{NO}_3]$ daalde dus bij toename van potentiële mineralisatie (met 8,3 mg/l tussen eerste en derde kwartiel van de waargenomen range in deze variabele). Dit doet vermoeden dat hogere potentiële mineralisatie samengaat met verhoogde denitrificatie. De waarde van opgelost koolstof (DOC) in grondwater was eveneens negatief. Deze variabele werd als weinig relevant aangemerkt, omdat bij grondwaterbemonstering dan even goed $[\text{NO}_3]$ zelf gemeten kan worden. Waar DOC hoog is op gebiedsniveau, is dergelijke informatie echter wel relevant: het uitspoelingsrisico zal daar relatief laag zijn.

2.2.1.4 Model voor $[\text{NO}_3]$: resultaten maïs

Effect van cluster (factor Typen i en ii)

Het effect van Gt-groep op $[\text{NO}_3]$ als uitgedrukt in de C_i waarden was groot. In GT-groep 3 lag de $[\text{NO}_3]$ waarde 40 à 45 mg/l hoger dan bij Gt-groepen 1 en 2. De Gt-groepen 1 en 2 verschilden onderling weinig. Bij Gt-groep 3 werd de nitraatnorm reeds overschreden bij $\text{NR}=0$, waar $[\text{NO}_3]$ volgens Model 1 tussen 60 en 66 mg/l bedroeg, afhankelijk van Bodemgroep. Verschillen tussen bodemgroepen (Z1, Z2 en Z3) waren echter niet significant. Voor de lössgronden waren onvoldoende proefplekken op maïs om in de analyse te betrekken.

Volgens het basismodel (Vgl. 2.1) stijgt $[\text{NO}_3]$ met 76 mg/l wanneer de NR waarde stijgt met 100 kg N/ha. Alternatieve modellen voor maïs (met extra verklarende variabelen toegevoegd aan Model 1) lieten een vergelijkbare gevoeligheid voor NR zien, met waarden tussen 70 en 87 mg/l per 100 kg

N/ha. Bij maïs lijkt zich dus een wat groter deel van NR te vertalen naar nitraat in grondwater dan bij grasland en bouwland.

Effecten van Type iii factoren

Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG)

In plaats van GT-groep werd ook de GHG waarde zelf gebruikt. Dit werd alleen gedaan voor de subset van plekken in Gt-groep 3 (dus met GHG>80 cm). Het effect van GHG was daar groot: een stijging van [NO₃] met 75 mg/l per 100 cm toename van GHG (diepere GHG). Deze stijging was weliswaar behept met grote standaardfout (31 mg/l), maar blijft dus fors.

Neerslagoverschot en neerslagsom in winterperiode

Het neerslagoverschot en de neerslagsom, beide in de winterperiode, hadden significante effecten op [NO₃] wanneer beurtelings toegevoegd aan Model 1 (Type iii effect). Per 50 mm neerslagoverschot steeg [NO₃] met 12 mg/l, per 50 mm neerslagsom met 18 mg/l.

Voorvrucht

Wanneer voorafgaand aan maïs een gewas uit Gewasgroep 'r' werd geteeld (Tabel 2.1), was [NO₃] 25 mg/l lager dan wanneer de voorvrucht maïs was. De waarde van [NO₃] lag echter 43 mg/l hoger bij een voorvrucht uit gewasgroep 'b' (niet significant, p=0.15) en 28 mg/l hoger bij maïs na gescheurd grasland (stijgingen weer ten opzichte van voorvrucht maïs).

Jaareffect

Wanneer aan Model 1 het 'jaar' als variabele werd toegevoegd, was het effect daarvan groot en wel veel groter dan bij grasland en akker- en tuinbouw. In het tweede en derde meetjaar was [NO₃] resp. 12 en 40 mg/l lager dan in het eerste jaar. Dit verschil werd deels verklaard door bovengenoemde neerslagparameters. Bij modellen waarin die waren opgenomen resteerde geen significant jaareffect meer.

Overige factoren

Effecten op [NO₃] van meer dan 10 mg/l werden voor enkele grootheden (toegevoegd aan Model 2.1) gevonden, echter niet steeds significant. Het effecten van Ntotaal (N gehalte in de bouwvoor) was +12,4 mg/l (p=0.12) en van DOC in grondwater -24,8 mg/l (p=0.006), over de stap tussen eerste en derde kwartiel in het domein van deze grootheden. Het effect van denitrificatiecapaciteit was, afhankelijk van diepte in het profiel, positief (p=0.09) of negatief (p=0.07) en daarmee moeilijk te duiden.

2.2.1.5 Model voor [NO₃]: veenlaagjes

Veenlaagjes in het bodemprofiel kwamen voor op een aantal proefplekken in grasland en in akker- en tuinbouw, maar vrijwel niet op de maïspcelen. Ze hadden een groot effect op [NO₃]. De aanwezigheid van veenlaagjes deed [NO₃] dalen met 10 tot 70 mg/l, afhankelijk van de cluster (Bodem-Gt-gewas combinatie). Veenlaagjes in het bodemprofiel bleken ook het verband tussen NR en [NO₃] sterk af te zwakken. De coëfficiënt a in Vgl. 2.1 (Type ii effect) daalde van circa 65 mg/l per 100 kg N/ha op plekken zonder veenlaagjes naar circa 20 mg/l per 100 kg N/ha op plekken met veenlaagjes. Voor de proefplekken op grasland werd de respons van [NO₃] op NR zelfs insignificant door de aanwezigheid van veenlaagjes.

2.2.1.6 Model voor [NO₃]: lössgronden

Het aantal proefplekken op lössgrond was voldoende groot in de akker- en tuinbouw dataset om deze grondsoort in de analyse te beschouwen (zie Paragraaf 2.2.1.2). Dat was niet zo voor grasland en maïs. Voor grasland werd een aparte schatting gemaakt van de C_i waarde en de respons van [NO₃] op NR. De C_i waarde bedroeg daar 14,6 mg/l (tegen 28,4 tot 37,9 mg/l voor grasland in Gt-groep 3 op de zandgronden) en de helling van de respons op NR bedroeg 38 mg/l per 100 kg N/ha, tegenover 65 mg/l voor gras op de drie groepen zandgronden. Het beeld dat het uitspoelingsrisico op löss lager zou zijn dan op zandgronden (akker- en tuinbouw, Paragraaf 2.2.1.2) wordt hier dus voor gras bevestigd, zij het op basis van slechts een kleine set proefplekken (18 in totaal over 3 meetseizoenen). Voor maïs

op löss waren slechts twee proefplekken beschikbaar wat te weinig is om hier in beschouwing te nemen.

2.2.1.7 Model voor [NO3]: procesmodel

In Sturen op Nitraat werd ook een 'procesmodel' opgesteld met het doel om effecten (op [NO3]) van denitrificatie en mineralisatie in combinatie met een transportmodel te beschrijven. De conclusie was dat de onderzochte modelvarianten ongeschikt waren om de nitraatconcentratie te voorspellen omdat het onmogelijk was de modellen te kalibreren. Het procesmodel wordt hier slechts in herinnering gebracht ten behoeve van eventueel vervolgonderzoek.

2.2.1.8 Model voor Nitraatresidu (NR): akker- en tuinbouw

Het uitspoelingsrisico wordt behalve door de eerder besproken risicofactoren (Typen i, ii, iii) uiteraard ook bepaald door de hoogte van het nitraatresidu (NR) zelf (zie iv in Figuur 2.1). De respons van NR op een aantal factoren – als vastgesteld in Sturen op Nitraat – werd gerapporteerd door Ten Berge en Burgers (2006). Hieronder zijn enkele resultaten daaruit vermeld.

Het beste regressiemodel voor NR (kg N/ha) is van de vorm (hier enigszins vereenvoudigd):

$$NR = K_i + a \text{ Nwz} + c \text{ Neerslag} \quad (2.2)$$

waar K_i een cluster-constante is die afhangt van Gt-groep en Gewasgroep (Tabel 2.4), Nwz de werkzame N gift is (kg N/ha), en Neerslag (mm) betrekking heeft op de periode van 1 april tot het moment van NR bemonstering. De neerslag is hier dus over een wat langere periode gesommeerd dan in eerder genoemde modellen voor [NO3], want de datum van NR bemonstering viel steeds na 1 oktober. Er was geen duidelijk effect van Bodemgroep op NR, daarom werd deze niet opgenomen bij differentiatie van K_i . Verschillen in K_i tussen Gt-groepen 2 en 3 waren niet significant, zomin als verschillen tussen Gewasgroepen a en b. De coëfficiënt a was alleen relevant voor Gewasgroepen 'a' en 't' (Tabel 2.1), en bedroeg daar resp. 0,29 en 0,23. Dit betekent dat NR stijgt met 29 of 23 kg N per 100 kg werkzame N gift. Coëfficiënt a was verwaarloosbaar klein voor de gewasgroepen 'b' en 'r'. Dit contrast tussen de gewasgroepen in de reactie van NR op de mestgift werd eerder gedocumenteerd door Schröder *et al.* (1996) en Prins *et al.* (1988). Coëfficiënt c bedroeg -0,21, dit betekent dat de NR waarde daalde met 21 kg/ha per 100 mm neerslag. Ten Berge en Burgers (2006) gaven een rekenvoorbeeld voor aardappel bij Gt-groep 3 op basis van bovengenoemde parameterschattingen bij een neerslag van 400 mm in de periode 1 april tot NR bemonstering. Bij een werkzame N gift van 200 of 250 kg/ha bedraagt NR volgens Vgl. (2.2) dan resp. 101 of 115 kg/ha. Een groot aantal andere factoren werd onderzocht maar geen daarvan had een relevant en significant effect op NR.

Tabel 2.4 Waarde van de clusterconstante (K_i) voor NR, als functie van Gt-groep en Gewas-groep voor akker- en tuinbouw (Vgl. 2.2).

Gt-groep	K_i (kg N/ha)			
	Gewasgroep			
	a	b	r	t
1	105	128	133	146
2	124	147	153	166
3	127	150	156	169

2.2.1.9 Model voor Nitraatresidu (NR): grasland

Het beste regressiemodel voor grasland was van de vorm:

$$NR = K_{gras} + a \text{ Ngifttot} + b \text{ Scheur} + c \text{ Neerslag} \quad (2.3)$$

waar de constante K_{gras} niet verschilde tussen Gt-groepen of Bodemgroepen. De schatting voor deze constante bedroeg 88,9 kg/ha. Opvallend is dat bij grasland de N_{totaal} gift een betere regressor was dan de gift aan werkzame N (zie akker- en tuinbouw). Per 100 kg/ha N_{totaal} gift nam NR toe met slechts 6 kg/ha. Per 100 mm neerslag (1 april tot bemonstering) daalde NR met 15 kg N/ha. Het scheuren van grasland voorafgaand aan de NR bemonstering had met 38,8 kg N/ha een groot effect op NR. Het perceelsoverschot had slechts een klein (en niet significant) effect op NR, namelijk 5,2 kg N/ha bij een stap van eerste naar derde kwartiel in perceelsoverschot (d.w.z. van 117 kg/ha naar 272 kg/ha). Een groot aantal andere factoren werd onderzocht maar geen daarvan had een relevant en significant effect op NR.

Tabel 2.5 Waarde van de clusterconstante ($K_{\text{maïs}}$) voor NR bij maïs, als functie van Gt-groep en Bodemgroep.

Gt-groep	$K_{\text{maïs}}$ (kg N/ha)		
	Bodemgroep		
	Z1	Z2	Z3
1	176	174	160
2	184	183	169
3	184	183	169

2.2.1.10 Model voor Nitraatresidu (NR): maïs

Het beste regressiemodel voor NR in maïs is:

$$NR = K_{\text{maïs}} + a N_{\text{tot}} + b \text{Neerslagsom1} \quad (2.4)$$

waar $K_{\text{maïs}}$ weer de clusterafhankelijke basiswaarde is (Tabel 2.5), die echter niet significant verschilde tussen Gt-groepen of tussen Bodemgroepen. Effecten van deze groepen konden niet goed vastgesteld worden door verstrengeling met andere factoren. N_{tot} is het N-gehalte in de bouwvoor (g N per kg grond). Over de range tussen eerst en derde kwartiel van deze grootheid werd NR verhoogd met circa 9 kg/ha, geen sterk effect dus. De variabele *Neerslagsom1* heeft betrekking op 1 april – 1 oktober (dus nu niet tot aan tijdstip van NR bemonstering als bij akker- en grasland) en het effect ervan op NR bedroeg -32 kg N/ha per 100 mm, wat een grotere daling is dan bij grasland en akker- en tuinbouw.

2.2.2 De Ruijter et al., 2007

De studie door De Ruijter et al. (2007) was gebaseerd op 34 bedrijven (akkerbouw en vollegrondsgroenten), welke deels overlap vertoonden met de (18) bedrijven in Sturen op Nitraat (Paragraaf 2.2.1). Hieronder de belangrijkste bevindingen uit die studie met betrekking tot risicofactoren.

Gt groep en grondsoort

Gt groepen (Tabel 2.6) waren iets anders gedefinieerd dan in Sturen op Nitraat. Echter ook hier was het effect van Gt groep op $[NO_3]$ groot. Op slecht gedraineerde gronden was $[NO_3]$ minder dan de helft van de waarde op goed gedraineerde gronden. Ook grondsoort had een sterke invloed, de laagste $[NO_3]$ waarden werden op klei gevonden. De auteurs merkten op dat NR en ook enkele andere indicatoren weinig door de Gt groep beïnvloed werden, anders dus dan $[NO_3]$.

Tabel 2.6 Definitie van Gt groepen volgens De Ruijter et al. (2007). GHG: gemiddeld hoogste grondwaterstand; GLG: gemiddeld laagste grondwaterstand.

Gt-groep	GHG	GLG
Goed gedraineerd	>80	>120
Normaal Gedraineerd	40-80	>120
Enigszins gedraineerd	40-120	80-120
Slecht gedraineerd	0-40	0-120

Veenlaagjes

Op zandgronden reduceerde de aanwezigheid van veenlaagjes in de ondergrond de nitraatconcentratie met gemiddeld 80 mg/l, een reductie met meer dan 50% ten opzichte van meetpunten op profielen zonder veenlaagje. Veenlaagjes werden op minder dan 10% van de meetpunten aangetroffen. Verdere analyses in De Ruijter *et al.* (2007) beperkten zich tot de zandgronden zonder veenlaagjes.

2.2.3 Studies in Vlaanderen

Tits *et al.* (2010) en Van Overtveld *et al.* (2011) deden uitvoerig onderzoek waarin dynamische simulatiemodellen, een analytisch convectie-dispersiemodel, regressiemodellen en geostatistiek werden gecombineerd, teneinde grenswaarden voor het nitraatresidu (NR) vast te stellen waarbij een zekere doelconcentratie van nitraat in grond- of oppervlaktewater wordt bereikt. Deze aanpak werd gevolgd omdat de te correleren grootheden (nitraatresidu in de bodem en nitraatconcentraties in grond- en oppervlaktewater) niet steeds op dezelfde locaties betrekking hadden, zij werden immers in onderscheiden monitoringsnetwerken – elk met een eigen frequentie, dichtheid en ruimtelijke verspreiding van meetpunten – vastgesteld. Hieronder zijn enkele bevindingen samengevat.

2.2.3.1 Verklarende grootheden voor het nitraatresidu (NR)

Het betreft hier factoren van Type iv (Figuur 2.1). Het MANCOVA model werd opgesteld om de variatie in NR te verklaren op basis van twee grote Vlaamse datasets: Beheersovereenkomst Water (BOW) over periode 2001-2008 en controlemetingen door de Mestbank (Mestbank, 2017) over periode 2004-2008. In totaal werd de invloed van zevenendertig variabelen op het nitraatresidu geanalyseerd. De auteurs concludeerden dat aparte modellen nodig zijn per gewasgroep om de effecten van diverse factoren op NR te schatten. Niettemin blijven ook dan de percentages verklaarde variantie laag. Overigens vertoonde het nitraatresidu in beide datasets een dalende trend, waarvoor werd gecorrigeerd. Die trend werd toegeschreven aan aanscherpend mestbeleid, begeleiding en bewustwording en betere opvolging van bemestingsadviezen. Uit de analyse kwamen de volgende factoren als belangrijkste naar voren: de hoofdteelt van het perceel en grondsoort (Tabel 2.7), het jaar van bemonstering (door auteurs aangeduid als 'de bemestingspraktijk'), de landbouwstreek (Tabel 2.8), de nateelt, de datum van bemonstering (die steeds tussen 1 oktober en 15 november lag) en, in mindere mate, de weersomstandigheden en het bedrijfstype. Uiteraard bestaat er een verstrengeling tussen streek en grondsoort; verschillen tussen streken worden echter niet volledig door grondsoort verklaard.

Tabel 2.7 Gemiddeld nitraatresidu (kg N/ha) en verdeling over bodemlagen, per gewasgroep en per bodemtype, voor de Mestbank-controlemetingen 2004-2008 (Mestbank, 2017) en voor de percelen met een Beheersovereenkomst Water 2001-2008 (BOW). (Uit: Van Overtveld *et al.*, 2011, p 138).

Teelt	Grondsoort	MB				BOW			
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-90 cm
Maïs	Niet-zand	44	37	25	96	35	24	16	74
	Zand	44	37	25	106	30	28	20	78
Bieten	Niet-zand	29	21	17	66	27	16	11	54
	Zand	19	19	17	56	19	16	12	47
Groenten	Niet-zand	40	46	37	122	29	24	17	71
	Zand	39	54	46	139	30	33	24	87
Gras	Niet-zand	35	20	14	69	30	16	10	56
	Zand	26	18	14	58	22	16	12	51
Granen+groenbemester	Niet-zand	43	31	21	95	28	19	14	60
	Zand	34	34	27	95	19	20	18	56
Aardappelen	Niet-zand	46	44	34	124	43	30	20	93
	Zand	36	45	38	119	30	31	23	85
Andere	Niet-zand	43	31	21	95	29	19	13	62
	Zand	28	27	22	77	22	22	18	63

Tabel 2.8 Nitraatresidu onderscheiden naar landbouwstreek in Vlaanderen en ANOVA resultaten. Aantal percelen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totaal nitraatresidu in de laag 0-90 cm -mv. Gebaseerd op de MB dataset. (Uit: Tits et al., 2010, p. 75).

Landbouwstreek	Aantal	Gemiddelde ¹	Minimum ²	Maximum ³	Standaardafwijking
Duinen	25	88,1 -	17,9	235,1	61,3
Kempen	5.034	80,5 a	1,0	496,1	72,1
Leemstreek	1.462	105,4 d	4,9	488,0	76,1
Polders	1.558	115,8 e	3,0	485,0	81,9
Vlaamse-zandstreek	10.451	84,8 b	1,0	495,7	72,1
Weidestreek	160	59,5 -	3,3	326,1	61,8
Zandleemstreek	16.190	86,7 c	2,7	500,0	70,9
p-waarde	0,00				
R ²	0,02				

¹ Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op log(x+1)-getransformeerde nitraatresidumetingen.

² dl = kleiner dan de detectielimiet.

³ hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset.

Het al of niet aanwezig zijn van een nateelt (vanggewas/groenbemester) was vooral van belang in granen, waar een nateelt de NR waarde verlaagde met circa 20 kg N/ha. Ingeval gras werd nageteeld, was dit effect wat zwakker (circa -15 kg N/ha) wat toegeschreven werd aan de trage begingroei bij gras. Ook bij aardappel leek een nateelt van belang, het effect kon daar echter niet worden gekwantificeerd door de structuur van de dataset. Een andere bestudeerde factor was bodembedekking (hoofdgewas of nateelt) op het moment van bemonstering. Variatie hierin veroorzaakte variatie in NR van 10 à 20 kg N/ha, afhankelijk van gewas. Deze variatie werd niet alleen toegeschreven aan de toestand van het staande gewas, maar ook aan de tijdsduur sinds grondbewerking (lage bedekkingsgraad betekent vaak recent bewerkt). De datum van bemonstering had een effect dat verschilde tussen gewasgroepen, en interacties vertoonde met enkele andere variabelen. In de MB dataset was de datum niet significant, in de BOW wel. Daar gaf een latere datum een hogere NR waarde. Wegens de complexiteit worden die effecten hier niet beschreven. Figuur 2.2 toont het effect van de leeftijd van een nateelt (vanggewas) op NR, zoals gevonden bij granen. Het effect bleek over de jaren consistent: een daling van NR met circa 50 kg N/ha bij een duur van 100 dagen. Bij andere gewassen was het effect minder uitgesproken of minder consistent. Bij suikerbieten zonder nateelt steeg NR met circa 20 à 40 kg N/ha over een periode van 60 dagen na de oogst, wat toegeschreven werd aan de mineralisatie van oogstresten.

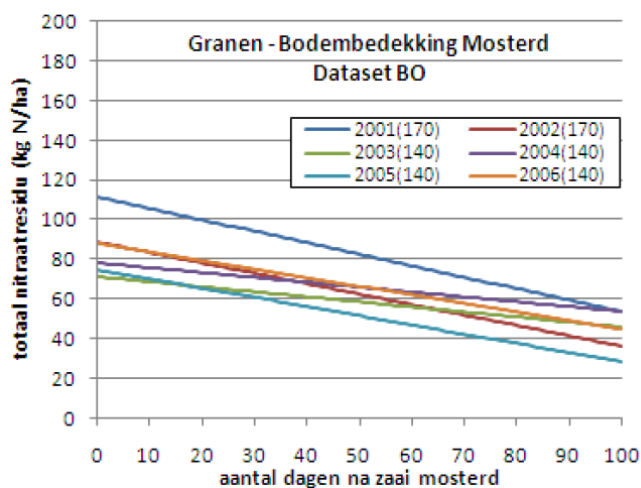
2.2.3.2 Van nitraatresidu naar nitraatconcentratie in uitspoelwater (onderzijde van de wortelzone)

Het betreft hier factoren van Type i, ii of iii, of combinaties daarvan (Figuur 2.1). Het model WAVE werd gebruikt om verbanden te leggen tussen enerzijds het nitraatresidu en anderzijds de nitraatconcentratie die de wortelzone verlaat. De processen die de relatie tussen deze twee grootheden bepalen worden beïnvloed door type en hoeveelheid gewasresten, bodemtextuur, de aanwezigheid van een nateelt en diverse bodemparemeters. Deze laatste bleken onbelangrijk in vergelijking met de grootte van het nitraatresidu. Het nitraatresidu, waarbij een zekere nitraatconcentratie aan de onderzijde van de wortelzone hoort, werd gedifferentieerd naar textuur en gewas en aan/afwezigheid van een nateelt. Op grond hiervan werd – per combinatie van gewasgroep, textuur, en aan/afwezigheid van nateelt– de toelaatbare waarde van het nitraatresidu vastgesteld waarbij de nitraatnorm juist wordt bereikt, rekening houdend met de stroomgebiedsafhankelijke ‘attenuatiefactor’ (Tabel 2.9).

Tabel 2.9 Geïnterpoleerde toelaatbare nitraatresidu's voor drie waarden van de procesfactor en voor zes gewasgroepen op zand en niet-zandbodems naar analogie met de N-(eco)² -studie. De waarden zijn het maximale nitraatresidu waarbij voor een gegeven procesfactor in 95% van de jaren de gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater en de debietsgewogen nitraatconcentratie in het oppervlaktewater, de waarde van 50 mg NO₃/l niet overschrijdt. (Uit: Van Overtveld et al., 2011, p. 126).

Zandbodems	Nitraatresidu kg NO ₃ -N/ha voor procesfactoren		
	1.5	1.9	2.1
Maïs	34	44	49
Bieten	29	38	42
Groenten zonder afvoer	30	34	37
Gras	44	57	63
Graan+groenbemester	40	51	57
Andere	34	46	51

Andere texturen	Nitraatresidu kg NO ₃ -N/ha voor procesfactoren		
	1.5	1.9	2.1
Maïs	54	71	79
Bieten	40	53	59
Groenten zonder afvoer	37	43	46
Gras	63	81	90
Graan+groenbemester	57	73	81
Andere	47	62	69



Figuur 2.2 Effect van leeftijd van nateelt op het nitraatresidu bij gele mosterd na granen (Uit: Tits et al., 2010, p. 72).

2.2.3.3 Proces- of attenuatiefactor

Het betreft hier factoren van Type i, ii of iii, of combinaties daarvan (Figuur 2.1). De proces- of attenuatiefactor geeft de verhouding aan tussen enerzijds de nitraatconcentratie aan de ondergrens van de wortelzone en anderzijds de nitraatconcentratie in grond- of oppervlaktewater. Een waarde van 1 betekent dat geen attenuatie plaatsvindt: er gaat geen nitraat verloren in de ondergrond noch is er verdunning. Een waarde van 2 betekent dat de nitraatconcentratie in het grond- of oppervlaktewater slechts de helft bedraagt van de concentratie in het water dat de wortelzone verlaat. Gevonden waarden van de attenuatiefactor verschilden sterk tussen regio's en/of stroomgebieden. Voor oppervlaktewater varieerden zij tussen 1 à 1,5 in delen van Limburg tot 8 of hoger in delen van West Vlaanderen. De variatie kon maar ten dele worden verklaard. Voor grondwater werden eveneens lokaal zeer uiteenlopende waarden van de factor gevonden (<1 tot >18). Bepalende grootheden zijn vooral textuur (uitspoelbaarheid van residu) en de redox potentiaal in grondwater. Gemiddelden van de attenuatiefactor voor 'hydrogeologisch homogene zones' lagen tussen 2,3 en 9,5 (Tabel 2.10). Men

besloot dat de factor voor grondwater niet gedifferentieerd kan worden binnen Vlaanderen en stelde voor de waarde van 2,1 te gebruiken (mediaan van steekproef voor oxische filters in grondwater).

Tabel 2.10 Gemiddelde proces- of attenuatiefactor (pf) per hydrogeologisch homogene zone (HHZ) in Vlaanderen (Uit: Van Overtveld et al., 2011, p. 115).

HHZ naam	HHZ code	pf	Aantal metingen
Polderafzettingen	00	9,5	2
Vlaamse Vallei	21	3,8	126
Hoogterrasafzettingen	23	2,3	17
Quartair dek op Ieperse klei	32	4,6	46
Quartair dek op Paniseliaan klei	33	3,2	16
Complex van de Kempen	40	3,6	38
Formatie van Diest	63	4,3	10
Onder-Oligoceen	72	6,0	2
Ledo-Paniseliaan	73	4,8	14
Zanden van Egem	74	6,7	14

De berekeningswijze en resulterende waarden van de attenuatiefactor verschillen tussen grond- en oppervlaktewater. Grenswaarden voor NR bij een zekere doelconcentratie verschillen daarom ook tussen grond- en oppervlaktewater. De auteurs hanteerden de strengste van beide grenswaarden als maat voor het toelaatbaar nitraatresidu per gewas-bodem combinatie. Deze toelaatbare niveaus werden niet als zodanig wettelijk geïmplementeerd, maar vormden input voor een belangenafweging rond het vaststellen van wettelijke drempelwaarden voor het nitraatresidu (Zie Hoofdstuk 5).

Samenvattend concluderen we in voorliggende studie dat van alle risicofactoren voor nitraatuitspoeling de attenuatiefactor het belangrijkste is. Deze is – voor grondwater – zeer vergelijkbaar met de inverse van de ‘uitspoelfractie’ als gehanteerd in Nederland (zie ook Hoofdstuk 4), hoewel deze laatste betrekking heeft op het bodemoverschot. Hoewel bodemoverschot en nitraatresidu numeriek zeer verschillend zijn en deels ook verschillend reageren op omstandigheden – het neerslagoverschot in de zomer bijvoorbeeld zal het overschot verhogen maar het nitraatresidu verlagen – vertonen de Vlaamse attenuatiefactor en de Nederlandse uitspoelfractie grote overeenkomsten.

2.2.4 Machine Learning

Machine learning (ML) is een relatief nieuwe techniek om verbanden te ontdekken tussen factoren en eigenschappen, en wordt toegepast om patronen te herkennen. Toepassingen zijn bijvoorbeeld bij gezichtsherkenning of onkruidherkenning in precisielandbouw. ML biedt echter ook een alternatief voor klassieke multiple regressie of andere statistische methoden voor verwerking en analyse van gegevens. Daarom is een oriënterende deelstudie (Bijlage 1) uitgevoerd door NMI om de dataset van Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke et al., 2004) opnieuw te analyseren met twee ML technieken (*Random Forest*, RF en *Gradient Boosted Trees*, GBT) en ter vergelijking met lineaire regressie (LR). Nagegaan is of ML perspectief biedt om een relatie te leggen tussen nitraat in grondwater en NR, bodemeigenschappen, N-bodemoverschot en weerparameters op perceelsniveau. Bij de meest scherpe toetsing (kruisvalidatie op bedrijfsniveau met 34 bedrijven gedurende 3 jaar; Bijlage 1) bedroeg het percentage verklaarde variantie ongeveer 25%, zowel bij lineaire regressie als bij *Random Forest* en *Gradient Boosted Trees*. Het verschil in verklaarde variantie was klein, bij deze dataset. Het is bekend dat ML vooral meerwaarde heeft bij grotere datasets. De auteurs van de deelstudie hadden bij deze toetsing bovendien graag gebruik gemaakt van geo-gerefereerde gegevens van de meetlocaties, maar die konden binnen het tijdsbestek van de studie niet beschikbaar gemaakt worden. Voor harde conclusies zijn er in de huidige Sturen op Nitraat-database te weinig ruimtelijk gespecificeerde metingen.

Bij minder scherpe toetsing (Kruisvalidatie voor jaar 1 en 2 en validatie op de meetgegevens van het derde meetseizoen; Bijlage 1) nam de verklaarde variantie bij de ML modellen toe tot respectievelijk ruim 40% en 50%. De belangrijkste variabele was de hoeveelheid N_{min} in de bodem, vooral in de laag van 60-90 cm -mv. Het opnemen van nitraat in grondwater in het voorafgaande jaar verhoogde

de voorspelkracht van het model. Reduceren van het aantal variabelen tot de 20 meest invloedrijke variabelen verlaagde het percentage verklaarde variantie slechts met ongeveer 10%. Dit laat zien dat er perspectief is voor het beperken van het aantal verklarende variabelen (bijvoorbeeld tot de meest invloedrijke en goedkoopst te meten). Gegeven de beperkingen van de gebruikte dataset, biedt dit perspectief om Nmin-metingen te combineren met beschikbare locatie-kenmerken om zo een robuuste schatting te geven van het risico op N-verliezen naar het grondwater.

Er zijn ook ML technieken (neurale netwerken) die nog beter in staat zijn om niet lineaire verbanden te ontdekken in meetseries dan de hier gebruikte. Deze technieken vereisen echter een substantieel groter aantal metingen. Een mogelijkheid is om ML ook toe te passen op andere datasets met nitraat, NR en relevante sturende variabelen. Een grote set is bijvoorbeeld LMM, daar ontbreekt echter NR. het valt te overwegen om informatie uit het agrarisch meetnet van Eurofins Agro aanvullend te gebruiken om inzicht te verkrijgen in de rol van bodemvruchtbaarheidsparameters. Mogelijk kan Nmin_voorjaar daarbij als verklarende grootheid een rol spelen. De auteurs van de deelstudie geven tenslotte aan dat bij verbetering van de ML of LR modellen ook rekening moet worden gehouden met de temporele en ruimtelijke variabiliteit binnen een perceel. Zie daarvoor ook Hoofdstuk 7 (Sensoren) en Bijlage 5, waar die mogelijkheden worden besproken.

2.3 Risicofactoren op basis van jaarlijkse monitoringrapportages

Voor de identificatie van risicofactoren op basis van de jaarlijkse monitoringcampagnes in Vlaanderen en Baden-Württemberg wordt verwezen naar Hoofdstuk 5. Zie ook Tabel 2.7.

2.4 Risicofactoren afgeleid uit maatregelen in huidig beleid

Ook uit de maatregelen welke door het beleid opgelegd worden in uitspoelingsgevoelige gebieden of bij overtredingen kunnen risicofactoren worden afgelezen. Uiteraard zullen deze voor een groot deel overeenstemmen met de factoren die reeds benoemd werden op basis van onderzoek. Toch wordt hieronder een samenvatting gegeven van de maatregelen gehanteerd in Vlaanderen en Baden-Württemberg. Voor een uitvoeriger behandeling van de systemen in deze twee regio's, zie Hoofdstuk 5.

2.4.1 Vlaanderen

Afhankelijk van de status van het gebied (focus/niet focus), bedrijf (focus/niet focus), en de uitslag van de NR meting (overschrijding drempelwaarden; mede in relatie tot eerdere overschrijdingen), kunnen (combinaties van) de hieronder genoemde beperkende maatregelen van toepassing zijn:

- Beperkte uitrijdperiode dierlijke mest
- Verbod op gebruik van effluent na 15 augustus
- Verplicht vanggewas waar teelt en bodem het toelaten
- Verplicht vanggewas op >20% van het bedrijfsareaal
- Bedrijfsbrede NR meting ('bedrijfsevaluatie')
- Inhouden van derogatie op perceel met overschrijding van NR drempelwaarde
- Inhouden van derogatie op gehele bedrijfsareaal
- Korting N gebruikruimte
- GPS-tracked mesttransport, evt. ook binnen eigen bedrijf
- Nutriëntenbalans verplicht documenteren voor 'specifieke teelten'

Specifieke teelten zijn: fruit, groenten van groep I, II of III, aardbeien, sierteelt en boomkweek, spruitkool en graszoden. De bemesting van groenten van groep I of II, en van aardbeien, sierteelt en boomteelten moet onderbouwd worden met een bemestingsadvies en eventueel een bodembemonstering.

De groenten van groep I, II en III zijn:

- GROEP I: bloemkool, groene selder, witte kool, boerenkool, spitskool, prei, broccoli, romanesco-kool, rodekool, savooikool, artisjok, Chinese kool, rabarber, bladselder of andere kolen met uitzondering van voederkool en spruitkool.
- GROEP II: spinazie, courgettes, sla, knolselder, peterselie, bieslook, basilicum, augurken, pompoenen, knolvenkel, koolrabi, paksoi, die geteeld worden op niet permanent overkapte landbouwgronden en andere groenten die niet onder groep I of groep III vallen en geen teelt zijn met een lage stikstofbehoefte.
- GROEP III: wortelen, rapen, koolraap, rode biet, pastinaak, rammenas met uitzondering van bladrammenas, radijs, mierikswortel, schorseneren, wortelpeterselie, asperges, erwten, bonen, dille, kervel, tijm, of andere kruiden met uitzondering van peterselie, bieslook en basilicum.

2.4.2 Baden-Württemberg

Afhankelijk van de intrek-zone van de waterwinning (zie Hoofdstuk 5, Figuur 5.1), gebiedsstatus en bodemklasse (A of B; Zie Hoofdstuk 5) kunnen hieronder genoemde beperkende maatregelen van toepassing zijn. De maatregelen hangen nauwelijks af van de uitslag van de NR meting.

- Landgebruik beperken tot gemaaid grasland
- Verbod op drijfmest
- Verbod op dierlijke mestverwerkingsproducten (wel plantaardig compost)
- Gebruik van alleen stro-rijke stalmest ('Rottemist')
- Verbod op alle organische meststoffen
- Verbod op open loopstallen
- Lage beweidingsdruk (vee-dichtheid) of verbod op beweiding
- Verbod op vaste drenkplaatsen
- Beperkte uitrijdperioden dierlijke mest
- Verplicht vanggewas
- Beperkingen op bemesting van vanggewas/groenbemester
- Verbod op grondbewerking (of beperkte tijdvensters voor grondbewerking)
- Laat inwerktijdstip voor vanggewassen/groenbemesters
- Geen stikstof op stro t.b.v. vertering
- Maximering van N deelgiften per 3-weekperiode
- Beperking typen kunstmest (snel- of langzaamwerkend) afhankelijk van bodemtype
- Verplichte N_{min} bepaling vóór seizoen, vertaald in aangepaste N gift
- Verplichte N_{min} meting vóór elke deelgift groter dan 50 kg/ha
- Verplicht bemestingsplan
- Opbrengst-afhankelijke correctie op N gebruiksnorm
- Verplicht nutriëntenbalans documenteren
- Maximering van watergift (berekening) afhankelijk van bodemtype

2.4.3 Duurzaam Schoon Grondwater Limburg

In Limburg loopt het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG, zie Paragraaf 5.5). In dat project werd een model opgesteld voor de nitraatconcentratie in het diepere bodemvocht (als indicator voor het risico op nitraatuitspoeling vanuit landbouwpercelen) op basis van het stikstof- en het neerslagoverschot en een empirische factor die wordt afgeleid uit de meetresultaten (Tabel 2.11). Deze factor geeft de verhouding weer tussen enerzijds de gemeten nitraatconcentratie in het diepere bodemvocht, en anderzijds het werkzaam N overschot per eenheid neerslagoverschot. Deze factor is dus nauw verwant – maar niet gelijk – aan de uitspoelfractie afgeleid uit LMM (Hoofdstuk 4). Het model werd gaandeweg het DSG project steeds verbeterd om nitraatuitspoeling nauwkeuriger te kunnen schatten op basis van perceelmanagement en -condities (Ros *et al.*, 2018).

Tabel 2.11 Empirische factor per gewas op basis van het werkzaam N overschot met betrouwbaarheidsinterval, berekend met het DSG model (Uit: Ros et al., 2018). In de originele tabel zijn ook waarden opgenomen voor situaties met een diep en ondiep wortelend volggewas.

Gewas	Alle data		
	n	gem	Betrouwbaarheidsinterval
Appels	24	0,21	0,15-0,28
Bladrammenas	4	0,40	0,29-0,56
Consumptieaardappel	71	0,32	0,26-0,40
Grasland	193	0,11	0,10-0,13
Groenten	4	0,80	0,66-0,98
Hamster	45	0,38	0,31-0,47
Korrelmaïs	30	0,35	0,26-0,47
Natuurgras	38	0,18	0,15-0,21
Rogge	6	0,30	0,11-0,81
Snijmaïs-continu	33	0,81	0,67-0,98
Snijmaïs-enkel	81	0,30	0,24-0,36
Suikerbieten	116	0,16	0,14-0,19
Triticale	2	0,19	0,04-0,90
Weidegras	94	0,08	0,06-0,10
Wintergerst	38	0,43	0,32-0,57
Wintertarwe	230	0,20	0,18-0,23
Zaaiui / winterui	12	0,61	0,38-1,00
Zomergerst	29	0,27	0,19-0,38

Bij de interpretatie maken de auteurs onderscheid tussen diep (lage uitspoelfactor) en ondiep wortelende gewassen (hoge uitspoelfactor). Daarbij rekenen zij gras tot de diep wortelende gewassen. Als het gewas gevolgd wordt door een diep wortelend gewas wordt een lagere uitspoelfactor, en andersom een hogere waarde gevonden. Ook in andere rapporten (genoemd in paragraaf 5.5) worden pogingen ondernomen om het effect van vruchtwisseling mee te nemen.

Gebleken is dat van de vier schattingen van het neerslagoverschot die van Jenkinson & Coleman (1994) het beste voldoet voor het beschrijven van de nitraatconcentratie (Ros & De Pater, 2018). Daarnaast bleek ook het gebruik van het N-bodemoverschot op basis van werkzame N een verbetering op te leveren van het model ten opzichte van het gebruik van de totaal-N balans. Dit is in overeenstemming met De Ruijter et al., 2007.

3 Indicatoren voor nitraatuitspoeling

3.1 Inleiding

Om het risico op nitraatuitspoeling uit teelt- en bedrijfssystemen te beschrijven zijn verschillende indicatoren voorhanden, variërend van geregistreeerde N-aanvoer of N-bodemoverschot tot gemeten nitraatconcentratie in grond-, hang- of oppervlaktewater (Ten Berge, 2002; De Ruijter *et al.*, 2007; Oenema *et al.*, 2003; Schröder *et al.*, 2004). Het uiteindelijk effect van teeltkundig handelen op de nitraatmissie kan bepaald worden door de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater te meten. Dit is de 'doelgrootheid' (ofwel 'end point') waaraan andere indicatoren getoetst worden. Deze grootheid wordt in Nederland (LMM) volgens een door RIVM vast omschreven protocol gemeten. Bij een voldoende hoge bemonsteringsdichtheid (per perceel of per bedrijf) is deze indicator per definitie het nauwkeurigst van alle genoemde indicatoren. Bemonstering van het grondwater is echter arbeidsintensief en daardoor te duur om als standaard meetmethode voor nitraatuitspoeling op perceels- of bedrijfsniveau te kunnen gebruiken.

De indicatoren kunnen bekeken worden op puntniveau of perceelsniveau, of geaggregeerd op bedrijfsniveau. Ook kunnen ze per afzonderlijk jaar bekeken worden of gemiddeld over een reeks van achtereenvolgende jaren. Elk van de indicatoren heeft specifieke voor- en nadelen. Een tentatief overzicht daarvan werd in Hoofdstuk 1 gegeven.

De indicator 'N aanvoer' omvat aanvoer via depositie en de totale N-aanvoer via kunstmest en dierlijke mest, zonder correctie voor ammoniakvervluchtiging. Deze indicator kan verfijnd worden door slechts de werkzame N fractie te betrekken. Dit betekent corrigeren voor de werkingscoëfficiënt (een maat voor het minerale N gehalte en de eerstejaars-mineralisatie) van dierlijke mest, en voor N verlies via ammoniakvervluchtiging. Het nadeel van deze 'aanvoer-indicator' is dat verschillen in stikstofafvoer in het geoogste gewas niet tot uitdrukking komen, noch voor verschillen in mineralisatie uit de bodem-N voorraad.

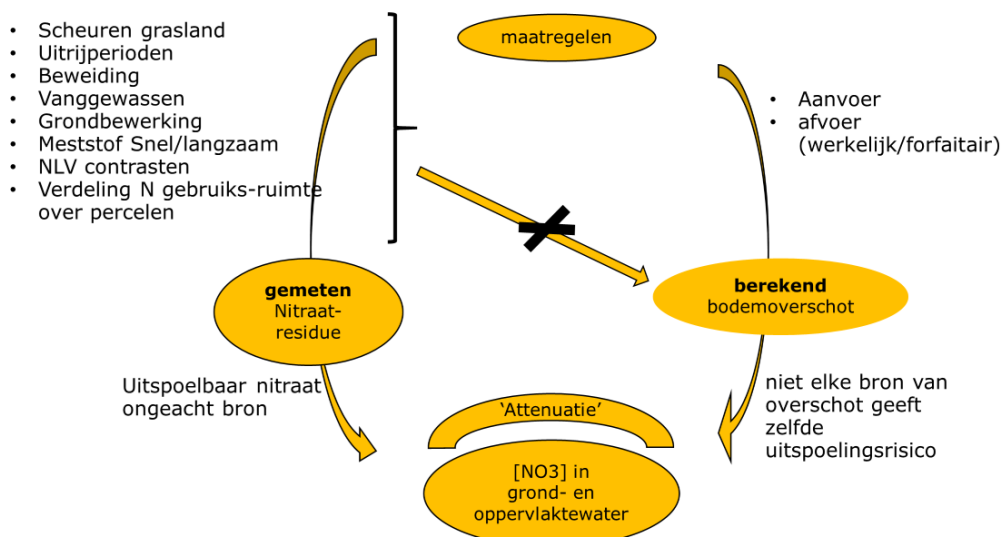
De indicator 'N overschot' houdt wel rekening met de N afvoer in geoogst product en is daardoor specifiekere dan stikstofaanvoer. Wanneer gecorrigeerd wordt voor ammoniakverliezen, wordt gesproken van 'N bodemoverschot'. Bij de berekening van het N overschot of N bodemoverschot wordt voor verschillende posten op de N balans gebruik gemaakt van schattingen en/of forfaitaire gehalten. Dit geldt voor stikstofdepositie, N-binding door vlinderbloemigen, ammoniakverliezen uit mest, en de afvoer van N met het geoogst product. Bij laatstgenoemde balanspost worden meestal standaardwaarden per gewas voor het N-gehalte in geoogst product gebruikt. Een nadeel van de indicatoren N overschot en N bodemoverschot is dat mineralisatie uit organische stof niet wordt verdisconteerd. Dit leidt tot een schijnbare paradox: een hoge mineralisatie verlaagt het N overschot (door verhoogde opname en afvoer in gewas), maar verhoogt het uitspoelingsrisico. Rijke percelen hebben dus een lager N-bodemoverschot dan arme percelen, bij eenzelfde N gift, maar een hoger uitspoelingsrisico (Ten Berge *et al.*, 2007). Verder blijven door het gebruik van forfaitaire waarden de effecten van diverse factoren en maatregelen veelal buiten beeld (zie Figuur 3.1). Een variant op het N bodemoverschot is het 'werkzame-N overschot', berekend als het verschil tussen werkzame N uit aangevoerde N bronnen en de N afvoer in geoogst product (De Ruijter *et al.*, 2007). Deze vertoont soms een betere correlatie met de nitraatconcentratie in grondwater, dan het N bodemoverschot.

Residuaire minerale N (N_{min_najaar}) is de som van nitraat-N en ammonium-N in de bodem, meestal gemeten in de laag 0-90 cm -mv. Het nitraatresidu (NR) is het nitraat-N deel uit N_{min_najaar} . Deze indicatoren kunnen op perceelsniveau vrij eenvoudig gemeten worden. Voor een schatting van het gemiddelde van het perceel worden vaak tenminste 15 steken per perceel genomen, en wordt daaruit per laag (0-30; 30-60; 60-90 cm -mv) een mengmonster gemaakt voor chemische analyse. Deze indicatoren hebben als specifiek voordeel dat zij de variatie in resp. gewasafvoer en stikstofmineralisatie in belangrijke mate verdisconteren. Door over een laagdiepte van 90 cm -mv te meten wordt veel van de stikstof die na de teelt achterblijft, en vatbaar is voor uitspoeling in de winterperiode, meegenomen. Uitspoeling die vóór het bemonsteringstijdstip plaatsvindt komt in deze indicatoren echter niet tot uitdrukking, evenmin als N uit mineralisatie na het bemonsteringstijdstip.

Figuur 3.1 geeft schematisch enkele verschillen weer tussen het gebruik van indicatoren als Nmin_najaar of NR enerzijds en het berekend N-bodemoverschot anderzijds. Links in de figuur zijn processen en maatregelen ('factoren') genoemd die wel effect hebben op Nmin_najaar en NR - en daarmee op de nitraatuitspoeling - maar meestal niet worden gevat in het berekende N bodemoverschot. Correcte verrekening van die factoren vereist dat gebruik wordt gemaakt van gemeten (i.p.v. forfaitaire) N afvoer in geoogst product. Dit is vrijwel onmogelijk in een praktijksituatie; bovendien wordt daarmee eerdergenoemde paradox (laag overschot bij hoge mineralisatie) versterkt. Een andere optie - om het effect van die factoren toch correct tot uitdrukking te brengen in het N-bodemoverschot - is de werkelijke N gift (dus in het veld) te corrigeren voor de verandering in N beschikbaarheid ten gevolge van betreffende maatregel. In een praktijksituatie zullen deze correcties met grote fouten behept zijn.

Een andere probleem met het berekend N-bodemoverschot is dat hieraan meerdere bronnen bijdragen, die onderling verschillen in de mate waarin zij bijdragen aan de nitraatuitspoeling. Een voorbeeld is het verschil tussen N toegediend in minerale of organische vorm. Doordat het N-bodemoverschot geen rekening houdt met genoemde processen is het N-bodemoverschot een minder directe indicator voor nitraatuitspoeling dan Nmin_najaar of NR.

Figuur 3.1. Factoren en maatregelen welke al dan niet tot uitdrukking komen in de indicatoren 'Gemeten nitraatresidu' en 'Berekend N-bodemoverschot'. De groep van factoren en maatregelen linksboven is van invloed op de nitraatuitspoeling en komt tot uitdrukking in het gemeten nitraatresidu, maar is moeilijk of niet te verdisconteren in het berekend N bodemoverschot.



Onzekerheid in de relatie tussen indicator en uitspoelingsrisico

Toetsing van indicatoren voor [NO₃] op basis van veldgegevens met metingen van N uitspoeling of N concentraties in grondwater zijn schaars (Buczko & Kuchenbuch, 2010; Buczko *et al.*, 2010). Bij de toetsing wordt een N vracht (een hoeveelheid in kg N/ha) vertaald naar een nitraatconcentratie in het grond- of oppervlaktewater, door deze te verdunnen in het neerslagoverschot (zie ook Par. 2.2.1). Nitraat in de bovenste meter van het grondwater is veelal afkomstig van het voorgaande najaar en in de winter uitgespoeld. In hoeverre dit het geval is hangt echter af van de mate van neerwaarts transport en verdunning in het neerslagoverschot. Ter correctie hiervoor - en dus ter verbetering van het verband tussen nitraatmeting en indicatorwaarde - kan een index berekend worden op basis van neerslag, grondwaterstand en tijdstip van grondwaterbemonstering (Boumans *et al.*, 2005). Dit gebeurt in Nederland in de meerjarige rapportages over nitraatuitspoeling op basis van het LMM netwerk.

Indicatoren voor N-verliezen naar het grondwater kunnen op verschillend schaalniveau bekeken worden, zowel in ruimte (punt-, perceels-, bedrijfs- of regionaal niveau) als in tijd (jaar of reeks van jaren). Middeling over jaren kan onder- en overschattingen van [NO₃] op basis van een indicator

vereffenen. Dit kan ingeval fouten in individuele jaren elkaar opheffen, bijvoorbeeld bij het toekennen van een N vracht aan een zeker volume neerslagoverschot.

De situatie in Nederland verschilt van die in andere landen door de veelal ondiepe grondwaterwaterstand, waardoor [NO₃] in grondwater relatief nauw verband houdt met het beheer op het maaiveld (perceels- of bedrijfsniveau), en het grondwater bovendien binnen bereik is voor bemonstering. Voor relaties tussen indicatoren en [NO₃] is men daarom aangewezen op Nederlands onderzoek.

Rond de eeuwwisseling werden in Nederland gedurende enkele jaren de zgn. 'Nitraatprojecten' uitgevoerd. De belangrijkste, naast het eerder genoemde 'Sturen op Nitraat' (Hoofdstuk 2), waren 'Telen met Toekomst' (open teelten), en 'Koeien & Kansen' (melkveehouderij). Het materiaal uit deze drie projecten vormt nog altijd een houvast voor de beoordeling van de voorspellende kracht van de resp. indicatoren, al is dat houvast beperkt. In elk van deze projecten werd gepoogd om relaties tussen indicatoren en [NO₃] vast te stellen. De resultaten uit de verschillende projecten zijn echter onderling niet goed vergelijkbaar. Soms werd de kwaliteit van relaties uitgedrukt in de (door de indicator) verklaarde fractie van de variantie in [NO₃]. Soms werd de t-waarde en/of het effect van de indicator (over een deel van het domein, bv 25%-75% interval) op [NO₃] gerapporteerd. In andere gevallen werd het betrouwbaarheidsinterval van het model zelf gekwantificeerd., Of het betrouwbaarheidsinterval van een nieuwe voorspelling (voor een punt, perceel of bedrijf) bij gegeven (gemeten) indicatorwaarde werd gekwantificeerd, aangenomen dat deze laatste foutloos bekend is. Daarbij komt dat verschillende aggregatieniveaus in ruimte en tijd gebruikt werden, zowel voor indicator als voor de te verklaren grootte [NO₃], en dat de mate van aggregatie soms zelf verschilde tussen de indicator en [NO₃] binnen dezelfde studie.

Naast genoemde Nitraatprojecten is er de grote LMM database die jaarlijks wordt aangevuld met nieuwe gegevens. Hoewel hieraan nog veel relevante informatie kan worden ontleend, is momenteel uit LMM niet bekend hoe goed de relatie tussen diverse indicatoren en [NO₃] is op bedrijfs- of perceelsniveau.

Voor gedetailleerde beschrijvingen van kwantitatieve methoden en uitkomsten wordt verwezen naar de bronnen (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004; De Ruijter *et al.*, 2007; Ten Berge *et al.*, 2004). In het kader van de voorliggende studie lijkt de meest relevante vraag: 'in welke range ligt de waarde van [NO₃] bij een bepaalde waarde van de indicator?'. Van deze vraag zijn er twee varianten. Voor toepassing van indicatoren t.b.v. monitoring en rapportage over de impact van het mestbeleid gaat het om de onzekerheid in het model zelf: 'welk betrouwbaarheidsinterval heeft de verwachte [NO₃] bij gegeven indicatorwaarde voor een bepaalde klasse, bijvoorbeeld op zandgronden met Gt vii?'. Voor toepassing van indicatoren in de handhaving of in sturing of zelfevaluatie (van bedrijven), is veeleer van belang: 'in welke range ligt de werkelijke [NO₃] waarde op het ene specifieke perceel of bedrijf waar de indicatorwaarde werd gemeten?'. Het betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde [NO₃] waarde (voorspelfout) is in dit geval (veel) groter.

Hieronder worden enkele uitkomsten uit genoemde studies samengevat. Zij geven geen volledige beantwoording van genoemde vragen, maar geven wel aan dat voorspellingen van [NO₃] bij zekere indicatorwaarde met een grote onzekerheid zijn omgeven. Deze ligt steeds in de orde van tientallen mg/l. Dat geldt voor de verwachte waarde van [NO₃] voor een klasse (onzekerheid van het model), en in nog sterkere mate voor de [NO₃] waarde van het individueel object (perceel of bedrijf) waar de indicator gemeten werd. Onze verwachting is dat verder onderzoek deze bandbreedte weliswaar zal kunnen verkleinen, maar dat deze toch in de orde van enkele tientallen mg/l zal blijven.

Alle drie genoemde bronnen (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004; De Ruijter *et al.*, 2007; Ten Berge *et al.*, 2004) geven aan dat het nitraatresidu (NR, kg N/ha) in 0-90 cm -mv in het najaar een beter verband vertoont met de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater ([NO₃], mg NO₃/l) in het opvolgend jaar, dan enige andere indicator voor het nitraatuitspoelingsrisico (zoals N-aanvoer, werkzame N-aanvoer, N-bodemoverschot en 'werkzame-N bodemoverschot'). N_{min} (de som van nitraat en ammonium in 0-90 cm -mv) is een iets minder goede indicator dan NR.

Uit Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) bleek er een duidelijk en significant verband te bestaan tussen NR en [NO₃] in alle bestudeerde combinaties van bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep (de zgn. clusters; zie Hoofdstuk 2). Niettemin zijn de verbanden niet erg sterk, met fracties verklaarde variantie (op proefplekniveau) in de orde van 35 tot 50% (akker- en tuinbouw),

20 tot 26% (grasland) en 22 tot 27% (maïs). De standaardfout van de modellen (Sd) op basis van proefplekken bedroeg 55 tot 60 (akker- en tuinbouw), 48 tot 50 (grasland) en 61 tot 66 (maïs) mg NO₃/l. Deze waarden hadden betrekking op de gehele range van getoetste en 'best bevonden' modellen. Soms waren hierin, naast NR en cluster (Bodem-groep, Gewas-groep, Gt-groep), nog extra verklarende variabelen opgenomen, zoals het neerslagoverschot of bodemeigenschappen. Werden de modellen opgeschaald naar cluster- of bedrijfsniveau, bij een bemonstering van 40 meetpunten per cluster, dan bleek de verwachte [NO₃] waarde voor een bedrijf bestaande uit één cluster een betrouwbaarheidsinterval te hebben van circa ±40 mg/l (akkerbouwgewassen, Gewasgroep a+b+r) of ±50 mg/l (Gewasgroep t). (Zie Hoofdstuk 2 voor definities van de gewasgroepen). Dit betekent dat bij een voorspelde bedrijfsgemiddelde [NO₃] waarde van 60 mg/l de werkelijke waarde van het bedrijfsgemiddelde tussen 20 en 100 mg/l ligt (in het voorbeeld van akkerbouw). Deze intervallen zijn gedefinieerd als ±2*se, waarbij se de standaardfout in de voorspelling van het clustergemiddelde. De veronderstelde NR waarde bij de berekening van deze intervallen was 30 kg N/ha. Bij meerdere clusters per bedrijf wordt de voorspelfout wat kleiner. Er zijn momenteel te weinig data voorhanden om de nauwkeurigheid van voorspelde [NO₃] op perceels- of bedrijfsniveau bij zekere NR in de werkelijkheid goed te onderzoeken.

De Ruijter *et al.* (2007) onderzochten in meer detail de relaties tussen [NO₃] en de indicatoren N_{min}, NR, N-aanvoer en N-overschot voor een selectie van meetpunten op zandgronden zonder veenlaagjes, voor bedrijven met akkerbouw en/of vollegrondsgroenten (project Telen met Toekomst). Dit werd gedaan op basis van losse meetpunten, of losse meetpunten gemiddeld over de drie meetjaren, of bedrijfsgemiddelden (per jaar; of gemiddelde over de jaren), en zowel met als zonder correctie voor neerwaarts transport en verdunning. Van genoemde indicatoren gaf NR de beste correlatie met [NO₃], zowel voor de losse meetpunten als bij gemiddelden over jaren of bedrijven. Middeling over jaren leidde niet direct tot een verbetering van de correlatie tussen [NO₃] en de indicatoren. Jaar-effecten werden hiermee kennelijk niet geheel ondervangen. Middeling tot bedrijfsniveau verbeterde de correlatie tussen [NO₃] en diverse indicatoren wel.

Ten Berge *et al.* (2004) presenteerden op basis van data uit het Koeien & Kansen project een eenvoudig regressiemodel dat de over drie jaar gemiddelde [NO₃] waarde op bedrijfsniveau uitdrukt als functie van het over drie-jaar gemiddelde bedrijfs-N-bodemoverschot. De voorspelfout (2*se) voor een nieuw geval (bedrijf) bedroeg toen tussen ±40 en ±50 mg/l. Nu er inmiddels een veel groter aantal meetjaren beschikbaar is uit Koeien & Kansen, blijkt dat interval wat gereduceerd, tot circa ±30 mg/l. Een voorspelde waarde van bijvoorbeeld 60 mg/l voor het meerjarig gemiddelde van [NO₃] op bedrijfsniveau betekent dat de werkelijke waarde met 95% zekerheid tussen 30 en 90 mg/l ligt. Dit cijfer is gebaseerd op gemiddelden (van respectievelijk N-bodemoverschot en [NO₃]) over een periode van 13 tot 19 jaar, variërend tussen bedrijven. Worden echter de afzonderlijke jaarwaarden gebruikt, dan bedraagt de voorspelfout ±40 tot ±68 mg/l (J. Oenema, persoonlijke communicatie, 13 juni 2019; cijfers voor zandbedrijven, periode 2001-2017; excl. een bedrijf op dalgrond, een uitbijter).

Voor de meeste jaren verklaart het N-bodemoverschot hier (Koeien & Kansen; modellen op jaarbasis) minder dan 15% van de variantie in bedrijfsgemiddelde [NO₃] waarde; in enkele jaren wordt echter een verklaarde variantie van 40% à 50% bereikt.

Carey *et al.* (2017) hebben N-overschot en N_{min} als indicatoren voor [NO₃] bekeken voor grasland in de VS gedurende vier jaren. Zij concluderen dat N-overschot noch N_{min} betrouwbare indicatoren voor [NO₃] zijn, waarbij de voorspelling van [NO₃] op basis van N-overschot de gemeten waarden sterk onderschatte, en de voorspelling op basis van N_{min} de gemeten waarden sterk overschatte. Deze uitkomsten kunnen veroorzaakt zijn door de onvolmaakte opzet van het onderzoek, waarbij het grasland voorafgaand aan de meetperiode gescheurd was (veel mineralisatie) en N_{min} over een diepte van slechts 30 cm -mv werd gemeten. Deze resultaten moeten daarom als inferieur beschouwd worden ten opzichte van genoemde Nederlandse studies.

3.2 Nitraatresidu – meerwaarde en toepassingsmogelijkheden

3.2.1 Keuze van de indicator

Uit voorgaande inventarisatie (Paragraaf 3.2) komt het Nitraatresidu (NR) naar voren als beste indicator voor de nitraatconcentratie in grond-, hang- of oppervlaktewater. Statistische modellen op basis van deze indicator verklaren een (veel) groter deel van de variantie in gemeten nitraatwaarden, dan modellen op basis van enige andere indicator. Omdat in NR de effecten van een aantal maatregelen en processen - relevant voor nitraatuitspoeling - tot uitdrukking komen, terwijl dat voor het N-bodemoverschot niet het geval is (Figuur 3.1), is NR de betere voorspeller voor nitraatuitspoeling. Dat geldt naar alle waarschijnlijkheid zowel op perceels- als bedrijfsniveau.

De gemeten nitraatconcentratie in grond-, hang- of oppervlaktewater is hier als potentiële indicator terzijde geschoven omdat dit de doelvariabele zelf betreft. Het meten van deze grootheid op perceels- of bedrijfsniveau is kostbaar wegens het grote aantal monsters dat genomen moet worden, per perceel of bedrijf, om tot een goede schatting van het gemiddelde te komen. De kosten van grondwater-bemonstering voor het bepalen van $[NO_3]$ liggen in de orde van €1000 tot €2000 per perceel (bij resp. 5 of 10 meetpunten/perceel voor een betrouwbare schatting van het perceelsgemiddelde). Dit is 15 tot 40 keer duurder dan NR bepaling, uitgaande van gangbare prijzen van €50 tot €75 voor een perceelgemiddelde NR bepaling op basis van 15 steken/perceel.

Specifieke voordelen van NR zijn de gevoeligheid voor processen die óók het uitspoelingsrisico beïnvloeden (Figuur 3.1), de snelle respons op maatregelen en het feit dat NR op perceelsniveau relatief eenvoudig, snel en goedkoop kan worden vastgesteld. Daartegenover staat het belangrijke nadeel dat NR gevoelig is voor variatie tussen jaren ten gevolge van variatie in het weer. Zowel door invloed van het weer op gewasgroei en N opname, als door invloed van het weer (vochtthuishouding) kort voor en gedurende het bemonsteringsseizoen (1 oktober – 15 november). Daardoor kan de jaarvariatie in NR fors zijn. Meetresultaten uit een enkel jaar zijn daarom geen goede grondslag voor conclusies m.b.t. nitraatuitspoeling. In Vlaanderen volgen daarom pas consequenties na herhaalde overschrijding (→focusbedrijf), tenzij het een ernstige overschrijding (hogere drempelwaarde) betreft. Omgekeerd vervalt de status focusbedrijf pas na drie jaar onderschrijding van de drempelwaarde (Zie Hoofdstuk 5).

Deze positieve en negatieve eigenschappen van NR als indicator roepen de vragen op: 1 welke toepassingen zouden gediend zijn met invoering van de indicator NR in het Nederlands mestbeleid, gegeven de karakteristieken van het huidige stelsel? 2 Welke meerwaarde heeft deze indicator, ten opzichte van N-aanvoer of N bodemoverschot welke reeds bekend zijn of berekend kunnen worden – althans op bedrijfsniveau – uit de reguliere bedrijfsadministratie? Hieronder wordt beoogd deze vragen te beantwoorden, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen volgende toepassingen: (i) handhaving van het mestbeleid; (ii) monitoring ten behoeve van rapportage over de effectiviteit van het mestbeleid; (iii) gebiedsgerichte inzet in probleemgebieden met focus op bewustwording en zelfsturing.

3.2.2 Bruikbaarheid van NR bij de handhaving van mestbeleid

Van een indicator die in de procesketen 'dicht bij' de doelgrootheid (nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater) staat, zou men verwachten dat die – op basis van een maximaal toelaatbare waarde – gebruikt kan worden in de plaats van middelvoorschriften ('wat mag/moet een teler wel/niet doen'). De teler zou hiermee meer vrijheid van handelen verkrijgen dan bij middelvoorschriften. Dat mag zo zijn in situaties (grondsoort, gewas, grondwaterregime) met een laag uitspoelingsrisico. Die vrijheid zal echter beperkt zijn zodra het doel niet bereikt wordt. De NR drempelwaarden die nodig zijn om de nitraatuitspoeling in uitspoelingsgevoelige gebieden en teeltsystemen substantieel te verlagen zullen immers vaak pas bereikt worden door het combineren van meerdere maatregelen, die anders als middelvoorschrift hadden gegolden. Dit lijkt de realiteit te zijn in Vlaanderen en Baden-Württemberg (zie Hoofdstuk 5). Daar heeft de aanpak op basis van NR geleid tot zeer complexe regelgeving, inclusief het gebruik van een groot aantal middelvoorschriften. Deze worden ingezet afhankelijk van mate en frequentie van overschrijding van drempelwaarden. Een verruiming van de gebruiksnorm zou een voorbeeld kunnen zijn van 'vrijheid'. Echter, in geheel Vlaanderen vroegen

slechts 17 landbouwers een verruiming van de gebruiksnorm in 2017 aan. Dit kan op basis van meerjarig lage NR scores. Van die 17 werden er 11 toegekend (VLM, 2017).

Niettemin kan handhaving op basis van NR zinvoller zijn dan de toepassing van middelvoorschriften in situaties waar die laatste geen effect sorteren. Middelvoorschriften kunnen bijvoorbeeld ineffectief zijn doordat zij door de handhaver onvoldoende zijn gespecificeerd (vanggewas na maïs hoeft niet winterhard te zijn, noch voldoende tijdig gevestigd te zijn om effectief te zijn); of doordat ze lokaal niet goed uitvoerbaar of niet relevant zijn.

De grote onzekerheid in de relatie tussen NR en [NO₃], en de invloed van niet-beheersbare factoren op NR zelf, vormen een probleem bij toepassing van NR als handhavingsinstrument. In Vlaanderen (Paragraaf 5.3) wordt, in het voordeel van de teler, een grote marge in NR gehanteerd bij het opleggen van beperkende maatregelen. De marge is het verschil tussen twee drempelwaarden, resp. DW1 en DW2, en is gebaseerd op de onzekerheid in de werkelijke (i.p.v. gemeten) perceelsgemiddelde NR waarde. De onzekerheid in de NR --> [NO₃] relatie - ten gevolge van jaarvariatie en andere omgevingsfactoren - is daarbij nog niet verdisconteerd. Daar staat tegenover dat reeds DW1 (veel) hoger is ingesteld dan de NR waarde waarbij - in risicogebieden - [NO₃] de grens van 50 mg/l bereikt. De grote bandbreedte in voorspelde [NO₃] waarde bij een bepaalde (gemeten) NR waarde wordt vaak genoemd als reden waarom handhaving op basis van NR geen goed idee zou zijn. Deze grote bandbreedte vormt ontegenzeggelijk een probleem. Analogie: een automobilist zou pas een bekeuring krijgen wanneer hij sneller dan 100 km/u rijdt in de bebouwde kom waar slechts 50 km/u is toegestaan. Tegenover dit argument kan worden gesteld dat sommige bestuurders 200 km/u rijden (lees: zeer hoge NR scores; zie data in Hoofdstuk 6), en die bij handhaving op NR in elk geval wel in beeld komen. Bovendien heeft het huidige handhavingsbeleid in Nederland geen indicator ter beschikking op bedrijfsniveau die wel met grote zekerheid de lokale [NO₃] waarde aanwijst. De huidige registratie van aan- en afvoerstromen, het daaruit berekend meststoffengebruik, en zeker de (lokaal) daarbij behorende [NO₃] waarde zijn eveneens met zeer grote marge omgeven, nog afgezien van mogelijk onjuiste registratie door het bedrijf. Tenslotte: op perceelsniveau is nu zelfs helemaal geen handhaving mogelijk, bij gebrek aan een indicator.

Ondanks de grote jaarvariatie in NR en bronnen van onzekerheid in de vertaling van NR naar [NO₃] achten wij NR geschikt voor handhaving op perceelsniveau, mits gecombineerd met een ruime onzekerheidsmarge. NR is dan als handhavingsinstrument alleen geschikt om excessief meststoffengebruik op te sporen. Een andere indicator daartoe heeft het Nederlandse stelsel momenteel niet.

3.2.3 Bruikbaarheid van NR in monitoring en rapportage over de effectiviteit van het mestbeleid

Nederland rapporteert, in het kader van de Nitraatrichtlijn, de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (zandgrond), in drainwater (kleigrond) en in hangwater (lössgrond), omdat dit water snel reageert op veranderingen in beleid. Hierbij gaat het om de trend 'heeft het mestbeleid effect?'. Hiertoe dient het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). Dit is in de rapportage verwoord als: *"Veranderingen in de landbouwpraktijk werken het snelst door in het water dat uitspoelt uit de wortelzone van een landbouwperceel (uitspoelingswater). Daarom heeft de Nederlandse overheid besloten de effecten van de actieprogramma's te monitoren in de bovenste meter van het grondwater, in het drainwater of in bodemvocht van lagen juist onder de wortelzone van het landbouwperceel."* (Fraters et al., 2016). Daarnaast wordt de kwaliteit van het diepere grondwater en verschillende oppervlaktewateren gerapporteerd. De nadruk ligt hier vooral op de toestand (in relatie tot het 50 mg/l criterium).

Hoewel ook NR een indicator is die trends ten gevolge van maatregelen snel inzichtelijk maakt, wordt invoering van deze indicator voor het doel van monitoring en rapportage over de effectiviteit van het generiek mestbeleid hier niet aanbevolen. Inmiddels zijn reeds lange tijdreeksen van [NO₃] in LMM opgebouwd; een trendbreuk is daarbij niet wenselijk. Bovendien zou de vertaling van NR naar de doelvariabele [NO₃] behept zijn met grote onzekerheid (bandbreedte), ook wanneer daartoe sterk (naar invloedsfactoren) gedifferentieerde relaties zouden worden ontwikkeld. NR zou echter voor veel andere landen - met veel dieper grondwater - wel een goede indicator bij rapportage kunnen zijn.

3.2.4 Bruikbaarheid van NR bij sturing en bewustwording

NR is in de eerste plaats een indicator die feedback geeft over het landbouwkundig handelen (bewustwording), doordat NR snel beschikbaar (bij afsluiting van groeiseizoen), en op perceelsniveau eenvoudig en relatief goedkoop meetbaar is. Ondanks de grote jaarvariatie is NR voor de teler de meest geschikte indicator om zijn/haar N management in relatie tot het nitraatuitspoelingsrisico te beoordelen. In eerdergenoemde analogie van de automobilist in de bebouwde kom: met NR heeft de bestuurder tenminste een eigen snelheidsmeter en wéét die bestuurder wanneer zijn/haar snelheid met zekerheid hoger ligt dan 50 km/u. NR is ook de meest geschikte indicator om (meerjaren-) trends in uitspoelingsrisico op perceelsniveau vast te stellen. NR heeft tevens als voordeel dat hiermee gemakkelijk een 'lerend systeem' ontstaat, waarbij aanscherping van maatregelen alleen daar plaats vindt waar dat nodig is gebleken. Aanscherping kan gaandeweg plaatsvinden zolang het doel van voldoende lage [NO₃] in het grond- en oppervlaktewater in de regio niet is bereikt.

Wat kunnen overheid en agrarisch ondernemer met de voorgestelde indicator in een gebiedsgerichte context? De overheid kan een provincie, waterschap, gemeente of een regionaal platform van belanghebbenden zijn, met politiek mandaat voor het stellen van regionale doelen. Deze overheid kan met NR (i) een drempelwaarde vaststellen die past bij lokale doelwaarden voor [NO₃], en (ii) de voortgang van lokaal beleid monitoren in plaats van [NO₃] (kostenbesparing). De agrarisch ondernemer kan met NR nagaan of teelt en management voldoende zijn aangepast om nitraatuitspoeling te beperken; hij of zij weet bij benadering hoeveel zijn bedrijf of perceel bijdraagt aan [NO₃].

Een gebiedsgerichte benadering is er op gericht om de nitraatuitspoeling zo veel mogelijk terug te dringen met zo veel mogelijk behoud van agrarisch perspectief. Een bedrijfs- en perceelspecifieke benadering helpt daarbij omdat het agrarische handelen niet wordt beperkt waar dat niet nodig is, en andersom dat maatregelen tegen nitraatuitspoeling daar worden toegepast waar die het meest bijdragen aan de reductie van de uitspoeling. Daarnaast is het zaak om een efficiënt systeem te ontwerpen dat zo veel mogelijk reductie bewerkstelligt en de investeringen in kennis, advies, onderzoek focust op waar die effect sorteren. Hieronder wordt geschetst welke rol NR in een gebiedsgerichte benadering zou kunnen spelen. Het daadwerkelijk ontwikkelen van voorgestelde aanpak valt echter buiten het kader van project Nitraatwijzer.

In een eenvoudige benadering wordt NR gebruikt om het uitspoelingsrisico op gebiedsniveau te schatten. NR is dan slechts een goedkoper alternatief voor nitraatmetingen in grond- en oppervlaktewater, en wordt gemonitord over een reeks van jaren op een aselecte steekproef van bedrijven of percelen. De bemonsteringsstrategie is gericht op het vinden van een regionale trend in uitspoelingsrisico. In deze optie staat, tegenover de lagere kosten, het nadeel dat NR weliswaar geschikt is om trends vast te stellen, echter minder geschikt om het absolute niveau van [NO₃] te bepalen.

In een meer geïntegreerde variant worden drie indicatoren gecombineerd (N-bodemoverschot, NR, en [NO₃]) en is het doel vooral is om lokaal beleid (maatregelen) te introduceren en evalueren dat het uitspoelingsrisico omlaag brengt. Deze aanpak bestaat uit drie stappen om de specifieke voordelen van de verschillende nitraatindicatoren zoveel mogelijk te benutten:

1. Risicoschatting voor alle bedrijven en percelen in het gebied o.a. op basis van N-bodemoverschot en perceelseigenschappen.
2. Bepalen van NR op perceels- en/of bedrijfsniveau in combinatie met invoering van maatregelen.
3. Nitraatmonitoring in grond- en/of oppervlaktewater op gebiedsniveau.

Stap 1. Om kosten te besparen worden eerst risicobedrijven en -percelen geselecteerd op basis van gemakkelijk beschikbare administratieve gegevens uit KringloopWijzers⁵ en BRP (gewaspercelen RVO). Hierbij wordt een rangschikking gemaakt van bedrijven en percelen met meer en minder risico. Indicatoren voor risico zijn het N bodemoverschot (Hoofdstuk 4), gewas, beweiding, etc. Daarnaast wordt op basis van gemakkelijk beschikbare GIS informatie over bodem, Gt en landgebruik een kaart gemaakt met meer en minder nitraatuitspoelingsgevoelige percelen. Door de beide bronnen te combineren kan een kaart worden gemaakt met een rangordening (classificering) van

⁵ De KringloopWijzer voor akkerbouw is in concept gereed (Schröder & Rutgers, 2018); KringloopWijzer voor de Melkveehouderij is al sinds een jaar verplicht.

nitraatuitspoelingsrisico op bedrijfs- perceelsniveau. Vervolgens wordt een steekproef getrokken uit de percelen. Voor het doel van monitoring en evaluatie kan het beste een representatieve gestratificeerde steekproef worden genomen van alle risicocategorieën om een gebied dekkend beeld van het nitraatuitspoelingsrisico te verkrijgen, waarbij de percelen jaarlijks rouleren (opnieuw geloot worden). De nadruk ligt dan op een zo goed mogelijke schatting van het gebiedsgemiddelde risico op uitspoeling. Voor het doel van begeleiding van ondernemers bij de reductie van nitraatuitspoeling kan het beste worden gefocust op bedrijven en percelen met hoog risico, die in de tijd worden gevolgd (jaarlijks dezelfde). De nadruk ligt dan op het terugdringen van de uitspoeling met maatregelen waar die het meest effectief zijn, en op het vaststellen van de effectiviteit van die maatregelen (d.m.v. NR, zie Stap 2). Een variant hierop is om op een deel van de geselecteerde percelen maatregelen resp. wel of niet toe te passen - of om de percelen zelf te splitsen voor dit doel - zodat de effectiviteit van de maatregel reeds op korte termijn (nl. per jaar) kan worden vastgesteld.

Stap 2. De geselecteerde bedrijven en percelen worden bemonsterd op het nitraatresidu NR, om het in Stap 1 verondersteld risico te verifiëren. NR wordt vervolgens getoetst aan twee drempelwaarden, de onderste grens noemen we DW1 de bovenste grens DW2. Wegens de grote jaarvariatie moet monitoring enkele jaren worden voortgezet, om vast te stellen welke percelen een consistent hoog risico hebben. Het vervolg van de toets is dan als in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Schema van de toets op NR.

Jaar	Waarde NR	Volgende jaar	Waarde NR	Volgende jaar	Waarde NR	Volgende jaar
1	< DW1	Opnieuw NR	DW1 < NR < DW2	Opnieuw NR	NR > DW 2	Maatregelen, opnieuw NR
2	< DW1	Opnieuw NR	DW1 < NR < DW2	Opnieuw NR		
3	< DW1	Uit selectie	DW1 < NR < DW2	Maatregelen, opnieuw NR		
4	Geen NR meting	Regionale steekproef				
5	Regionale steekproef					

Deze aanpak lijkt op het systeem dat in Vlaanderen wordt toegepast (Hoofdstuk 5). Het formuleren van maatregelen is natuurlijk erg belangrijk, ook in de regionale benadering. We beperken ons hier echter tot de manier waarop de indicator kan worden ingezet. Deze fungeert vooral als feedback naar de ondernemer en als indicator voor monitoring van het nitraatuitspoelingsrisico.

Stap 3. Deze stap (monitoring van [NO3]) is niet per sé nodig om de uitspoeling te verlagen, maar wel om vast te stellen hoe effectief het lokaal beleid is voor het terugdringen van de regionale nitraatuitspoeling. Het doel is hier dus monitoring van de regionale trend in [NO3]. NR waarnemingen uit Stap 2 zijn hiertoe niet geschikt, o.a. omdat percelen daar geen aselechte steekproef uit het gebied vertegenwoordigen. Op gebiedsniveau kan [NO3] tegen beperkte kosten worden bepaald; hier worden immers geen perceels- of bedrijfsgemiddelden gemeten. In de plaats daarvan wordt een gestratificeerde regionale bemonsteringsstrategie toegepast op basis van bodem, Gt en gewas ("clusters").

De meerwaarde van de uitgebreidere integrale aanpak is dat in Stap 1 kan worden volstaan met GIS en administratieve gegevens, waardoor in Stap 2 en 3 kan worden gefocust op de probleempercelen (minder monitoringkosten). Vervolgens wordt gebruik gemaakt van de sterke punten van NR en [NO3], respectievelijk de responsiviteit van NR op perceelsniveau in Stap 2, en de directe meting van de doelvariabele [NO3] in Stap 3 (minder kosten door een regionale monitoringstrategie).

4 Het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid en het stikstofbodemoverschot

4.1 LMM en KringloopWijzer

Omdat er bij aanvang van het project Nitraatwijzer nog geen duidelijke voorkeur was voor één van de indicatoren, is ook onderzocht in hoeverre het stikstofbodemoverschot (N-bodemoverschot) een rol zou kunnen spelen bij het kwantificeren van het nitraatuitspoelingsrisico op perceels- en bedrijfsniveau. Hoewel het NitraatResidu (NR) een betere voorspeller is dan het N-bodemoverschot (Hoofdstuk 3), kan ook het N-bodemoverschot nog steeds een rol blijven spelen bij het terugdringen van nitraatuitspoeling in uitspoelingsgevoelige gebieden, zoals is toegelicht in Paragraaf 3.2. Ook in de regionale projecten die nu al lopen in het kader van terugdringing van nitraatuitspoeling, zoals bijvoorbeeld Boeren Voor Drinkwater Overijssel (BVDO) en de Vruchtbare Kringloopprojecten (Achterhoek, Overijssel, Noordelijke provincies) wordt het N-bodemoverschot gebruikt als indicator (Anonymus, 2018).

Voordeel van het N-bodemoverschot is dat het relatief gemakkelijk kan worden bepaald op basis van bedrijfsgegevens uit de KringloopWijzer (KLW). De KLW is thans alleen nog verplicht ingevoerd in de melkveehouderij, maar ook voor de akkerbouw is er een KLW in concept gereed (Schröder & Rutgers, 2018; inmiddels NutriëntenBalans Akkerbouw genoemd) en in principe toepasbaar. Het N-bodemoverschot wordt bepaald als verschil tussen de aan- en afvoerposten op het perceel. Hierbij moet worden aangetekend dat de KLW het bodemoverschot op melkveebedrijven alleen berekent voor het bedrijfsareaal met grasland, bouwland en maïsland, dus niet per afzonderlijk perceel. Daardoor is er dus feitelijk sprake van een schatting van het gemiddelde van de drie gewaseenheden graspercelen, maïspercelen en bouwlandpercelen. Zo is er geen echte perceelsschatting beschikbaar, maar slechts een schatting op gewasniveau. In de BedrijfsWaterWijzer (BWW; Verloop *et al.*, 2018), die ontwikkeld wordt als aanvulling op de KLW voor het thema duurzaam waterbeheer, en de PerceelsVerdelers (Oenema *et al.*, 2018), die is ontwikkeld om de mestverdeling binnen het melkveebedrijf te optimaliseren, wordt daarom gebruik gemaakt van een eenvoudige perceelsspecifieke correctie van de bemesting en de gewasopname om van het KLW (gewas)bodemoverschot een perceelsspecifiek bodemoverschot te schatten. Deze correctie kan ook worden toegepast voor het doel van dit project.

Het nadeel van het N-bodemoverschot is dat de relatie op bedrijfsniveau met het nitraatconcentratie in het bovenste grondwater ($[NO_3]$) zwak is (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004; De Ruijter *et al.*, 2007; Fraters *et al.*, 1997). Dit is voor een deel vanuit de theorie te verklaren (Hoofdstuk 3), omdat het N-bodemoverschot een aantal aanvoerposten mist, met name de stikstofmineralisatie van organische stikstof in de bodem (uitgezonderd veen- en dalgrond), van gewasresten van vorige seizoenen en de minerale stikstof die aan het begin van het seizoen al beschikbaar is. Het N-bodemoverschot houdt ook geen rekening met denitrificatie bij hoge grondwaterstand en hoog organische stofgehalte, maar dit wordt deels opgevangen door gebruik van de uitspoelfracties (Paragraaf 4.2). Ook houdt deze indicator niet specifiek rekening met het effect van weiden. Weiden veroorzaakt extra nitraatuitspoeling als gevolg van de geconcentreerde belasting in urineplekken (o.a. Vellinga *et al.*, 2001), maar het N-bodemoverschot – al dan niet volgens de KringloopWijzer – houdt daar nauwelijks rekening mee. Dit geldt overigens voor alle niet-egaal verdeelde (kunst)mestgiften (overlap, kopakkers, etc.). Niettemin is men er in geslaagd om op basis van de gegevens uit het landelijk meetnet mestbeleid (LMM) voor droge zandgronden (GT VIII) de uitspoelfractie af te leiden, die per gewasgroep aangeeft welke fractie van het N-bodemoverschot uitspoelt naar het bovenste grondwater (Fraters *et al.*, 2015). Deze uitspoelfracties (NLF's) konden echter alleen worden afgeleid met behulp van gemiddelden per bedrijf⁶ en dus niet per afzonderlijk perceel of gewas, dat in de dataset voor

⁶ De gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater per bedrijf (responsvariabele) werd in de regressieanalyse gerelateerd aan de ruimtelijke fracties van de verklarende factoren, zoals bijvoorbeeld het areaal maïs resp. grasland.

komt. Bovendien werden er in de afgeleide modellen ook andere variabelen betrokken, zoals de aanwezigheid van moerige lagen, neerslagoverschot en een verdunningsfactor⁷ volgens Boumans *et al.* (2005). De vertaling van de NLF's naar andere grondwatertrappen werd gebaseerd op Boumans *et al.* (1989).

In de volgende paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van een update van de uitspoelfracties – in het kader van voorliggend project – ten opzichte van Fraters *et al.* (2015). In paragraaf 4.3 wordt ingegaan op de mogelijkheid om de data uit het Landelijk Meetnet Mestbeleid te gebruiken voor precisering van het verband tussen N-bodemoverschot en nitraatconcentratie in het grondwater met aanvullende bedrijfsgegevens die in dat meetnet worden verzameld door Wageningen Economic Research (BedrijvenInformatieNetwerk).

4.2 Herziening van uitspoelfracties op basis van LMM

De uitspoelfracties van Fraters *et al.* (2012, 2015; Tabel 4.1) waren gebaseerd op de jaren 1991-2009. Aangezien er inmiddels LMM resultaten zijn van 5 recentere jaren is in het kader van *Nitraatwijzer* een update van deze studie uitgevoerd (Fraters & van Leeuwen, 2018). Het betreft de landbouwgegevens van 1991-2014 en de nitraatmetingen van 1992-2015. De huidige resultaten wijken slechts in geringe mate af van de resultaten in Fraters *et al.* (2015).

De nieuwe berekende uitspoelfractie voor bouwland op zandgrond met Gt VIII is 1,00 (95%-betrouwbaarheidsinterval is 0,90-1,10). Dit is hoger dan eerder berekend (0,90 met een 95%- betrouwbaarheidsinterval 0,82-0,98). De uitspoelfractie voor grasland op zand met Gt VIII bedraagt 0,43 (95%- betrouwbaarheidsinterval is 0,38-0,48), vrijwel hetzelfde als de eerdere waarde (0,44 met een 95%- betrouwbaarheidsinterval 0,38-0,50).

De regionale uitspoelfracties voor de Klei- en Veenregio komen nagenoeg overeen met die eerder zijn gerapporteerd (+/- 0,01; Tabel 4.2). Voor de klei en veenregio's zijn geen Gt-uitspoelfracties afgeleid. Net als in de eerdere studies worden de nieuwe uitspoelfracties voor de zandgronden (Tabel 4.4) gecorrigeerd voor Gt volgens Tabel 4.3. Merk op dat nu ook uitspoelfracties voor het lössgebied konden worden afgeleid (Tabel 4.2). Deze zijn hoger dan voor de zandregio omdat in het lössgebied, in tegenstelling tot in de zandregio, vrijwel uitsluitend diepe grondwaterstanden voorkomen. De waarde voor löss met diepe grondwaterstand (0.83 en 0.23) is lager dan op zand met Gt VIII (1.00 en 0.43).

Tabel 4.1 Uitspoelfracties per bodemgebruik en grondsoort. Gemiddelde en 95%-betrouwbaarheidsinterval op basis van gegevens voor de periode 1991-2009 (Bron: Fraters *et al.*, 2012).

Bodemgebruik	Zand (Gt VIII)	Klei	Veen
Bouwland	0,90 (0,82-0,98)	0,34 (0,25-0,43)	-
Grasland	0,44 (0,38-0,50)	0,11 (0,09-0,13)	0,05 (0,04-0,06)

Tabel 4.2 Uitspoelfracties per landgebruik en regio naar Fraters & van Leeuwen (2018). Gemiddelde en 95%-betrouwbaarheidsinterval op basis van gegevens voor de periode 1991/92-2014/15.

Landgebruik	Zandregio	Lössregio	Kleiregio	Veenregio
Bouwland	0,47 (0,41-0,53)	0,83 (0,72-0,93)	0,33 (0,30-0,37)	n.v.t.
Grasland	0,16 (0,13-0,19)	0,23 (0,08-0,37)	0,11 (0,09-0,13)	0,06 (0,05-0,07)

⁷ De verdunningsfactor geeft aan in hoeverre er als gevolg van de weersgesteldheid van het betreffende jaar verdunning of concentratie van het nitraat heeft plaats gevonden op basis van de gemodelleerde waterbalans.

Tabel 4.3 Uitspoelfracties voor zandgronden gedifferentieerd naar grondwatertrap (GRC 1-11 zie Tabel 4.4) (Bron: Fraters et al., 2015).

	Groundwater depth regime class								
	1-3	4	5	6	7	8	9	10	11
Average	0,05	0,08	0,31	0,43	0,50	0,48	0,65	0,83	1,00
SD	0,09	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,07	0,09

Note: CGRC for GRC 11 is 1,00 by definition (Boumans et al. 1989).

Tabel 4.4 Nieuwe uitspoelfracties voor het N-bodemoverschot op bouw- en grasland op zandgrond per Gt-klasse, afgeleid uit de LMM data van 1991/92-2014/15 (Fraters & van Leeuwen, 2018) en de GT-correctie van Boumans, et al. (1989; tabel 4.3).

Gt	Bouwland (incl. maïs)	Grasland
Gt I	0,05	0,02
Gt II	0,05	0,02
Gt IIb	0,05	0,02
Gt III	0,08	0,03
Gt IIIb	0,31	0,13
Gt IV	0,43	0,19
Gt V	0,50	0,22
Gt Vb	0,48	0,21
Gt VI	0,65	0,28
Gt VII	0,83	0,36
Gt VIII	1,00	0,43

4.3 Hoe kan LMM verder benut worden?

In het kader van *Nitraatwijzer* is gesproken met deskundigen van RIVM en WEcR om na te gaan of het mogelijk is om uitspoelfracties met behulp van de bedrijfsinformatie in LMM nader te specificeren. LMM heeft sinds 1991 een unieke en omvangrijke dataset opgebouwd met bedrijfsgegevens (variërend van circa 100 tot 436 bedrijven per jaar) en grondwaterkwaliteitsmetingen. Voor de analyse door Fraters et al., 2015 (groeiseizoenen 1991-2014) konden bijvoorbeeld meer dan 6.700 mengmonsters worden geanalyseerd. Een mengmonster bestaat in LMM uit 8 gemengde puntmonsters, die echter ieder afzonderlijk ook worden gemeten in het veld met behulp van de Nitracheck (alleen nitraat). Het gemiddelde van deze 8 Nitracheck metingen komt goed overeen met de resultaten van de mengmonsters die in het lab worden gemeten. Daarom kan ook gebruik worden gemaakt van de afzonderlijke Nitracheck metingen ($6.700 \times 8 =$ circa 54.000!) voor het afleiden van de relatie N-bodemoverschot-[NO₃]. Voorwaarde is dat de factoren waarmee een verband wordt gezocht ook op puntniveau beschikbaar zijn. Dat is helaas niet het geval voor de bedrijfseigen variabelen als bemesting, gewasopname, bodemoverschot, beweidingsintensiteit, etc. Er zijn twee manieren om hiermee om te gaan. Allereerst kan een model worden afgeleid op basis van de puntmetingen, waarbij de bedrijfsgegevens die niet op dat niveau beschikbaar zijn buiten beschouwing worden gelaten. [NO₃] wordt dan uitsluitend verklaard door bodem, Gt en gewas, dus zonder bemesting en N-bodemoverschot. Daarnaast is het ook mogelijk om bedrijfsgegevens af te leiden uit het BedrijvenInformatieNetwerk (BIN) op een gedetailleerder niveau dan het bedrijf als geheel, waarmee tot nog toe is gewerkt. Binnen het bedrijf kan onderscheid gemaakt worden naar gewas. Op melkveebedrijven betekent dat: onderscheid in graslandpercelen, maïspercelen en overige gewassen (eventuele bouwlandpercelen). Bij die gewaseenheden kunnen de betreffende nitraatmeetpunten worden opgezocht en gemiddeld per gewaseenheid voor de verdere analyse, waarbij de eigenschappen (bodem, Gt) per meetpunt naar rato worden toegedeeld aan iedere gewaseenheid. (In de eerdere analyses werden twee mengmonsters per bedrijf gemiddeld in plaats van per gewas, waarbij de eigenschappen (bodem, Gt, gewas) per meetpunt naar rato werden toegedeeld aan het bedrijf; de uitspoelfractie voor grasland werd vervolgens berekend door te veronderstellen dat maïsland in melkveebedrijven dezelfde uitspoelfractie heeft als bouwland op akkerbouwbedrijven in betreffende regio.) Vervolgens kan de analyse – dus m.b.v. de afzonderlijke Nitracheck meetwaarden – van de relatie N-bodemoverschot - [NO₃] worden uitgevoerd op gewasniveau in plaats

van op bedrijfsniveau. De uitspoelfracties worden dan dus afgeleid voor de onderscheiden gewassen, naast het al bestaande onderscheid in grondsoort, Gt en landgebruik (grasland versus bouwland). Ten slotte is er nog de mogelijkheid om meer bedrijfsmanagementfactoren (die mogelijk invloed hebben op [NO₃]) te betrekken in deze analyse. De meerwaarde hiervan is dat de invloed van andere factoren zoals type mest, aandeel klaver en beweidingsintensiteit (Tabel 4.5) kan worden verrekend. Hierdoor wordt het geschatte effect van N-bodemoverschot betrouwbaarder en komen ook andere maatregelen dan het reduceren van het N-bodemoverschot in beeld. Zo kan het LMM dus eventueel benut worden om de effectiviteit van onderscheiden maatregelen ter vermindering van nitraatuitspoeling te evalueren.

Tabel 4.5 Managementfactoren uit BIN/LMM, die betrokken kunnen worden in de analyse van de relatie tussen N-bodemoverschot en [NO₃].

	Managementfactor	Uitwerking
MELKVEE	Beweidingsintensiteit en opstaldatum	gemiddelde N-GVE weidedagen/ha vóór of na 1 augustus en/of 1 september op het graslandareaal
	Beweidingssysteem	Aandeel standweiden (N-GVE) op het graslandareaal
	Graslandvernieuwing	Aandeel van het grasland dat in betreffend jaar is gescheurd en/of leeftijd van de graszode
	Klaver in grasland	Gemiddeld aandeel klaver in het graslandareaal
ALLE BEDRIJVEN	N-gift per gewas	(kg N/ha) Voor 1 augustus Voor 1 september Na 1 augustus Na 1 september
	• hoeveelheid	Kunstmest
	• datum	VDM
	• soort	RDM
	•	Totaal
	Dierlijke mestgebruik per gewaseenheid	Dierlijke mestgift (kg N/ha) gesommeerd over afgelopen X jaren
	Soort maïs	Silage / MKS / CCM / korrel
	Vanggewas	Datum inzaai in dagen vóór bijvoorbeeld 1 november Datum onderwerken of oogsten (opbrengst?) in dagen na bijvoorbeeld 1 januari. Onderzaai of inzaai na oogst.
	Vruchtwisseling	

4.4 Nitraatresidu als extra indicator in LMM?

Tijdens de gesprekken met RIVM werd de mogelijkheid besproken om NR op te nemen in het monitoringprogramma van LMM en zo dit netwerk tevens te benutten voor het vaststellen van relaties tussen NR en de reeds gemeten variabelen. Ook voor LMM zou dit een meerwaarde kunnen hebben: NR is een meer responsieve indicator dan N-bodemoverschot en [NO₃], waar het de managementfactoren betreft. Opname van NR in het LMM zou het eventueel mogelijk maken om de effecten van factoren die rechtstreeks door de boer kunnen worden beïnvloed (Tabel 4.5; en Hoofdstuk 2) te onderscheiden van de effecten van andere, meer extern bepaalde factoren als bodemtype, hydrologie, etc. Het management bepaalt grotendeels NR, terwijl de relatie NR – [NO₃] grotendeels door de bodem en hydrologie wordt bepaald. Een eventuele uitwerking van deze optie in het kader van LMM vergt echter nog nader onderzoek.

Voordelen van het inpassen van NR monitoring in LMM - in plaats van elders - zijn o.a. dat op de LMM bedrijven bedrijfsgegevens reeds worden verzameld via het BIN (zie Paragraaf 4.3), dat geen nieuwe bedrijven meer hoeven te worden benaderd en dat de grondwatermonsters op dezelfde manier worden genomen, behandeld en geanalyseerd als in LMM. Dit komt de interpretatie van verzamelde data en een vergelijking tussen de indicatoren bodemoverschot en NR ten goede. Een alternatief – voor inbedding van NR in het LMM meetprogramma - zou kunnen zijn om aansluiting te zoeken bij lopende regionale projecten waarin ook al bedrijfsgegevens worden verzameld en daar [NO₃] op dezelfde manier te bepalen als in LMM. Tenslotte kunnen naast voornoemde opties ook veldproeven opgezet worden onder meer gecontroleerde omstandigheden dan in de praktijk.

5 Nitraatresidu in Baden-Württemberg en Vlaanderen

5.1 Inleiding

Zowel in Vlaanderen (VL) als in Baden-Württemberg (BW) wordt het nitraatresidu (NR; 0-90 cm -mv) gebruikt als stuur- en monitoringinstrument in het mestbeleid. In VL sinds 2002, in BW sinds 1988. Het gebruik van NR in BW is "beperkt" tot de 2.362 grondwaterbeschermingsgebieden. In VL is het instrument van toepassing op het gehele areaal van de regio Vlaanderen. Enkele elementen van de wijze waarop het instrument wordt toegepast in beide regio's zijn gegeven in Tabel 5.1.

Het belangrijkste verschil is dat het instrument in BW deel uitmaakt van een vergoedingensysteem ('Ausgleich') ter compensatie van beperkingen in de bedrijfsvoering die in het waterwingebied gelden, afhankelijk van gebiedsstatus (zie later). Ligt NR binnen de gewenste range, dan wordt dat gezien als bewijs dat de regels werden nageleefd, en ontvangt de landbouwer de vergoeding. In VL wordt de NR meting gebruikt om, afhankelijk van de uitslag, vast te stellen in welke maatregelen-categorie het betreffend bedrijf voortaan valt. Aanscherping van maatregelen volgt indien het bedrijf een kritische NR drempel meermaals overschrijdt. Net als in BW hangen beperkingen in de bedrijfsvoering af van de gebiedsstatus (mate en trend van nitraatverontreiniging op gebiedsniveau), maar extra maatregelen kunnen in VL dus opgelegd worden per bedrijf, afhankelijk van de NR uitslag. Een aantal kenmerken van de gevolgde aanpak in beide regio's is weergegeven in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Enkele kenmerken bij het gebruik van het Nitraatresidu in Vlaanderen en Baden-Württemberg.

Kenmerk	Vlaanderen	Baden-Württemberg
Areaal	Geheel Vlaanderen	Alleen in grondwater-beschermingsgebieden (26%)
Ruimtelijke differentiatie	Wel- en niet-focusgebieden Waterbeschermingsgebieden	Zone I / II / III (afstand tot intrekput) Normaal; Probleem; Sanering; (mate van grondwaterverontreiniging)
Beleidscontext	Onderdeel van mestactieplan (MAP)	SchALVO ⁸ , in aanvulling op generiek mestbeleid Duitsland
NR Drempelwaarde Niveau 1 (DW1)	Focus 70 – 85 kg N/ha Niet-Focus 90 kg N/ha Waterbeschermingsgebieden: 4 kg N/ha lager	lichte gronden: 45 kg N/ha in 0-90 cm -mv zware gronden: 45 kg N/ha in 0-30 en 45 kg N/ha in 30-90 cm -mv
NR Drempelwaarde Niveau 2 (DW2)	Focus 140 – 200 kg N/ha Niet-Focus 165 – 260 kg N/ha DW2=DW1/(1-standaardfout)	Tolerantiewaarde: 70 kg N/ha in: Lichte gronden 0-90 cm -mv Zware gronden 0-30 en 30-90 cm -mv
Gevolg van overschrijding DW1	Geen maatregelen; na drie keer < DW1 geen herhaling NR meer; +10% N gebruiksnorm na aanvraag	beloning meestal €165/ha tot max. €1200/ha; maatregelen blijven van kracht, onafhankelijk van NR
Gevolg van overschrijding DW2	Verplichte maatregelen; geen derogatie; korting op gebruiksnorm	Geen beloning; in alle gevallen maatregelen toepassen
Relatie tot voorschriften	Strengere regels worden voorgeschreven naar mate van overschrijding (Tabel 5.7)	Sluitstuk van zeer gedetailleerde regelgeving per zone en gebiedsklasse

⁸ Zie Par. 5.2.1

5.2 SchALVO in Baden-Württemberg

5.2.1 SchALVO inleiding en algemene maatregelen in beschermingsgebieden

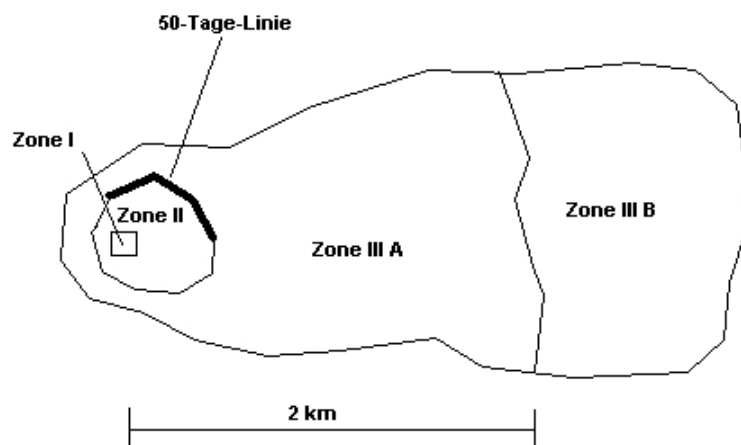
SchALVO staat voor "Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung" en is een regeling ter bescherming van waterwingebieden die sinds 1988 bestaat, en in 2001 werd aangepast. Tot voor kort bestond SchALVO in aanvulling op de generieke (federale) 'Düngeverordnung'. Door aanscherping van laatstgenoemde in 2017 is een deel van de SchALVO maatregelen onder de algemene mestwetgeving komen te vallen. De SchALVO regeling moet hierop (anno 2019) nog worden aangepast.

SchALVO bestaat alleen in deelstaat Baden-Württemberg (BW) en wordt daar een 'centrale' regeling genoemd, d.w.z. een regeling die voor alle waterwingebieden in BW geldt. In andere deelstaten hebben drinkwaterbedrijven afzonderlijke ('decentrale') overeenkomsten met landbouwers. In BW zijn 1250 drinkwaterbedrijven. In BW is SchALVO een wettelijk instrument voor implementatie van de Kaderrichtlijn Water.

SchALVO omvat een reeks voorschriften en beperkingen (maatregelen) die aan de landbouwer worden opgelegd met betrekking tot bodem- en nutriëntenbeheer (gewaskeuze, bemesting, grondbewerking). De maatregelen hangen af van de gebiedsstatus (mate van verontreiniging, zie hieronder) en afstand tot intrekput ('zones' I/II/III). Er zijn in BW drie statusklassen van grondwaterbeschermingsgebieden (GBG): normaal (circa 289.000 ha), 'probleem' (circa 98.000 ha), en 'sanering' (circa 13.000 ha). Totaal dus 400.000 ha. De cijfers hebben betrekking op landbouwareaal in 2016. Het totaal areaal van de GBG inclusief niet-landbouw bedroeg 951.000 ha. De classificering (normaal/probleem/sanering) is gebaseerd op het nitraatconcentratie in de grondwaterwinning en op trends daarin gedurende jongste drie meetjaren (Tabel 5.2). Figuur 5.1 en Tabel 5.3 illustreren de betekenis van de respectievelijke intrekzones.

Tabel 5.2 Criteria voor classificering van waterwingebieden (Bron: Boels, 2003; Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Merkblatt 20: Die Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung Praktische Umsetzung im Ackerbau und auf Grünland, 2008).

Nitraat (mg/l)	Trend (mg/l in 3 jaar)		Gebied		
	<0,5	>0,5	Normaal	Probleem	Sanering
< 25	X		X		
		X	X		
25-35	X		X		
		X		X	
35-40	X			X	
		X		X	
40-50	X			X	
		X			X
> 50	X				X
		X			X



Figuur 5.1 Voorbeeld van de zonering van grondwaterbeschermingsgebieden in Baden-Württemberg (Bron: Boels, 2003; LTA, 2008. Merkblätter für die Umweltgerechte Landwirtschaft, Merkblatt 20).

Tabel 5.3 Voorschriften en beperkingen per zone in SchALVO. Het betreft 'algemene beschermingsmaatregelen': deze zijn steeds geldig, ongeacht de status van het gebied (Normaal, Probleem-, of Saneringsgebied), (Bron: LTA, 2008. Merkblätter für die Umweltgerechte Landwirtschaft, Merkblatt 20).

Zone	
I (direct rond put)	Alleen grasland, alleen maaien; geen gewasbeschermingsmiddelen
II (beperkte beschermingszone)	geen drijfmest, geen mestbewerkingsproducten (behalve puur plantaardig), Op A-bodems (uitspoelingsgevoelig): -alleen oude stro-rijke stalmest ('Rottemist'), -geen open loopstallen, -aangepaste beweiding (veedichtheid; geen vaste drinkplaatsen)
II en III (beperkte en uitgebreide beschermingszone)	Geen scheuren van permanent grasland (>5 jaar), geen Terbuthylazin of Tolyfluanid, goede landbouwpraktijk verplicht

5.2.2 SchALVO beschermingsmaatregelen in Probleem- en Saneringsgebieden

In Probleem- en Saneringsgebieden gelden specifieke beperkingen rond stikstofbemesting na de oogst. Sommige voorschriften hangen af van bodemtype (A of B). Dit betreft bv. bemesting (kunstmest en drijfmest) op tarwe en winterkoolzaad na aardappel of na gewassen met N rijke resten; en bemesting na tarwe t.b.v. stro-vertering of grondbedekking. In Saneringsgebied mag na de oogst in het geheel geen organische mest worden gegeven. Op moerige/veengronden mag geen enkele N meststof t.b.v. stro-vertering worden gegeven. Idem na aardappel of gewassen met N rijke resten: geen N meststof t.b.v. vertering van de gewasresten.

In Probleem en Saneringsgebieden is bepaling van N_{min} (som van nitraat-N en ammonium-N) in het voorjaar en de verrekening daarvan in het bemestingsplan, verplicht bij hoofdgewassen aardappel, maïs, tabak en hop. Deze verplichting geldt óók in elk gewas na aardappel of na gewassen met N rijke resten (o.a. leguminosen). De verplichting geldt ook in wisselbouw na grasland ouder dan 2 jaar en na braaklegging. Mogelijk wordt dit een generieke verplichting, na integratie van SchALVO in de algemene mestwetgeving (nog onderhanden in 2019). Er gelden complexe regels voor het al dan niet samenvoegen van percelen bij de voorjaarsbemonstering van N_{min}, afhankelijk van perceelsgrootte en fractie van bedrijfsareaal dat door elk gewas wordt ingenomen.

De dosering van organische meststoffen is gelimiteerd door drie criteria: ammonium-N, werkzame-N en totaal-N. De werkingscoëfficiënt is gedifferentieerd naar mestsoort, zoals in Nederland. Ook bij bemesting in het voorjaar speelt bodemtype (A of B) een rol: deze bepaalt de maximale N-gift die in één keer (per periode van 3 weken) mag worden toegediend: 50 (A) of 80 (B) kg/ha bij snelwerkende

meststoffen, en 80 (A) of 100 (B) kg/ha bij langzaam werkende meststoffen. Langzaamwerkend zijn vnl. ammoniumhoudende meststoffen, daaronder ook de organische. Er zijn tabellen die per meststof aangeven of ze langzaam of snelwerkend zijn.

Voor uitrij-perioden van dierlijke mest zijn gewassen ingedeeld naar 'vroeg' of 'laat'. Maïs en andere gewassen die normaal pas na 30 maart worden gezaaid zijn laat. Ook aardappels zijn laat (behalve de 'vroege' variëteiten). Op late gewassen mag pas uitgereden worden na 1 maart, op overige gewassen vanaf 1 februari. In Saneringsgebieden mag in het geheel geen organische mest worden gegeven. In Probleemgebieden mag vaste mest wel vanaf 1 januari worden toegediend, ook op maïs.

Het gebruik van groenbemesters / bodembedekking is verplicht in Probleem- en Saneringsgebieden als er geen volggewas is (en dus ook indien het volgend jaar braak is). Behalve bij late oogst van hoofdgewas: dan vervalt de bedekkingsplicht. Inzaai is verplicht zo spoedig mogelijk, uiterlijk voor 1 september (boven 500 m hoogte) of 15 september (beneden 500 m).

Verder zijn er regels m.b.t. de bemesting van groenbemesters, grondbewerkingen (mulching) en met betrekking tot de perioden voor het inwerken van groenbemesters. Inwerken en grondbewerking in Probleemgebieden hangt af van het bodemtype (A of B). In Saneringsgebieden zijn de regels strenger (eerste inwerkdatum valt later dan in probleemgebied) en is niet afhankelijk van bodemtype.

In Probleem- en Saneringsgebieden gelden bovendien nog gewas-specifieke regels rond grondbewerking deze zijn vastgelegd in tabellen. In deze gebieden gelden ook regels met betrekking tot beregening: er is een maximale watergift per dag. Deze verschilt weer tussen Probleem en Saneringsgebied en tussen textuurgroepen (maar niet op basis van A/B klassen). Veldcapaciteit moet gemeten worden op 30% (Probleemgebied) of 100% (Saneringsgebied) van het te beregenen oppervlak en wordt gebruikt om de maximale watergift vast te stellen.

5.2.3 Drempelwaarden voor het nitraatresidu in SchALVO Bodemtypen A en B

Binnen de Probleem- en Saneringsgebieden zijn bodemtypen ingedeeld naar uitspoelingsgevoelig en niet-uitspoelingsgevoelig. Uitspoelingsgevoelige bodems (lichte texturen) vallen onder A bodems. Alle profielen < 60 cm diep vallen eveneens onder A-bodems. Ook de moerige en veengronden vallen onder A bodems, hoewel die niet zijn aangemerkt als uitspoelingsgevoelig. De reden hiervoor is dat N mineralisatie in deze bodems hoog kan zijn. B bodems zijn bodems die als weinig uitspoelingsgevoelig worden gezien. Ook de hydrologie en ontstaanswijze spelen een rol bij de toewijzing aan A of B bodemklassen. De criteria verschillen ook enigszins tussen bouwland en grasland. Aan de teler wordt meegedeeld welk deel van zijn areaal wordt gerekend tot A- of B-bodem (LTA, 2008. Details in 'Merkblatt 20').

Als controle-instrument wordt het nitraatresidu NR in de periode 15 oktober – 15 november steekproefsgewijs gemeten. In 2016 werden circa 17.000 percelen bemonsterd. De drempelwaarde is 45 kg N/ha in 0-90 cm -mv op gewone (diepe) A-bodems. Op diepe B-bodems mag tweemaal deze hoeveelheid worden aangetroffen; maximaal 45 kg/ha in elk van de lagen 0-30 en 30-90 cm -mv. Voor drempelwaarden op moerige bodems en in ondiepere profielen, zie Tabel 5.4. Hoewel bij het definiëren van maatregelen de moerige bodems gelijk gesteld werden aan de uitspoelingsgevoelige A bodems, gelden voor moerige bodems niet dezelfde drempelwaarden (Tabel 5.4).

Verder dient opgemerkt te worden dat 45 kg N/ha weliswaar de meestal geldende drempelwaarde is, maar dat sancties pas volgen bij overschrijding van 70 kg N/ha, om recht te doen aan onzekerheid.

Tabel 5.4 Drempelwaarden voor het nitraatresidu in SchALVO.

Bemonsterbare diepte (cm -mv)	Drempelwaarde (kg N/ha)		
	A-bodems	B-bodems	Moerige bodems
0-90	45	45 (0-30 cm) 45 (30-90 cm)	90 (0-30 cm) 90 (30-90 cm)
0-60	30	45	90
0-30	20	-	-

5.2.4 Vergoedingen in SchALVO en kosten van het SchALVO systeem

Indien een overschrijding van de NR streefwaarde (vermeerderd met een tolerantiewaarde) wordt vastgesteld, wordt de financiële vergoeding niet uitbetaald. Tegelijk ontslaat dit de landbouwer niet van de verplichting om zich aan alle voorschriften en beperkingen te houden.

In alle gebieden (Normaal, Probleem, Sanering) wordt voor Zone II een forfaitaire vergoeding betaald, om te compenseren voor beperkingen op dierlijke mestgebruik. De vergoeding per ha is hoger naarmate een groter deel van het bedrijfsareaal in Zone II ligt. Max €160 /ha⁻¹ in akkerbouw/grasland. Voorwaarde voor vergoeding is dat men minstens 0,5 GVE per ha heeft.

Voor landbouwkundige nadelen op landbouwkundig gebruikte oppervlakken in Zone II van grondwaterbeschermingsgebieden wordt een vergoeding betaald in Probleem- en Saneringsgebieden, op voorwaarde dat: nadelen niet opgeheven konden worden door landbouwkundige maatregelen, grenswaarden niet overschreden werden, alle voorschriften werden gerespecteerd, en geen vergoedingen van derden werden ontvangen. In Zone II-III wordt geen vergoeding betaald in Normaalgebieden. In Probleem- en Saneringsgebieden (Zone II, III) wordt, bovenop een forfait van €165 /ha, nog betaald of een 'Einzelausgleich' (Probleem en Sanering) of €15 /ha (alleen in Saneringsgebieden).

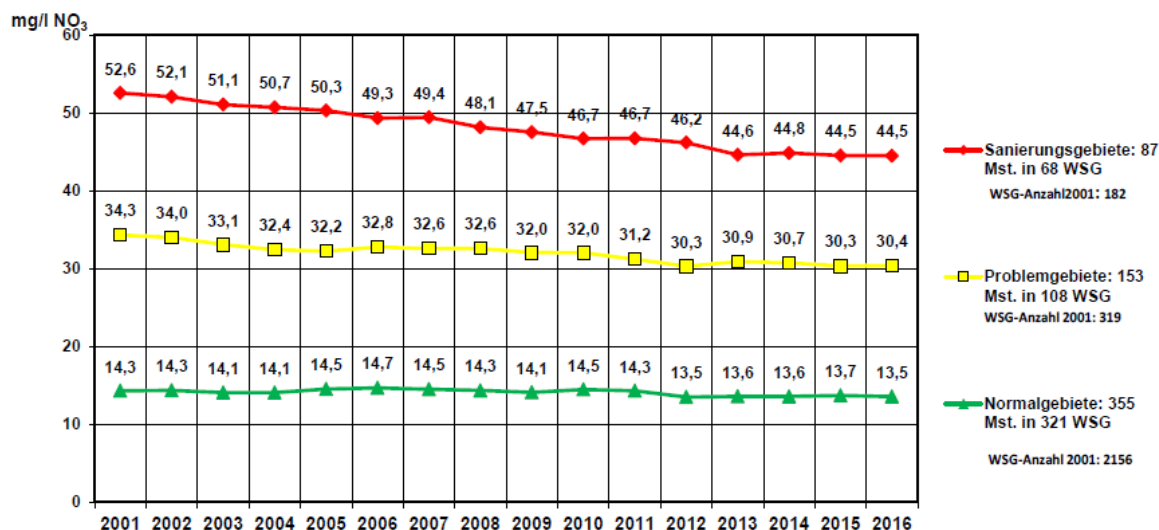
De kosten verbonden aan het SchALVO systeem bedragen circa 22 miljoen Euro aan compensatiebetalingen (heffing op drinkwaterprijs betaald door consument) en circa 7 miljoen Euro aan voorlichting en monitoring (K. Rather, persoonlijke communicatie, PowerPoint presentatie, 19 november 2009).

5.2.5 Resultaten SchALVO

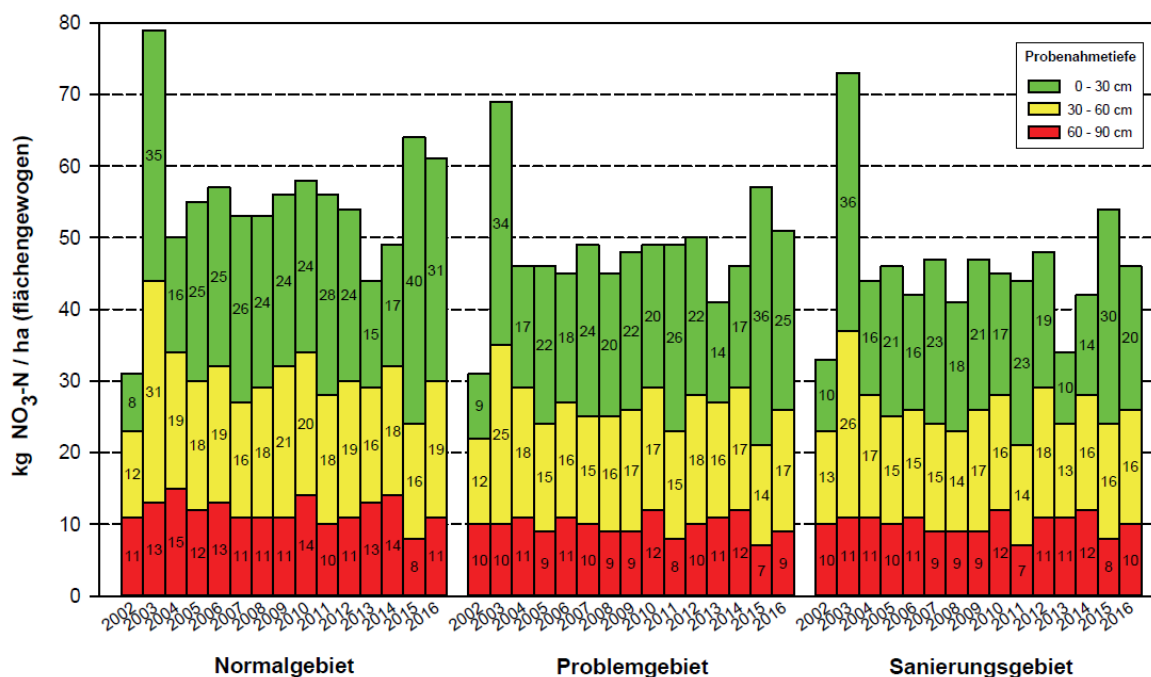
De ontwikkeling van de verdeling van het landbouwareaal over de drie typen gebieden is geïllustreerd in Tabel 5.5. Figuur 5.2 laat de ontwikkeling zien van het gemiddeld nitraatconcentratie in waterwinputten over de periode 2001-2016, gesplitst naar de drie gebiedsklassen op grond van de toestand in 2001. In de Saneringsgebieden blijkt de dalende trend sterker dan in de Probleemgebieden, wat toegeschreven kan worden aan de strengere regels in Saneringsgebieden. Het gemiddelde areaalgewogen nitraatresidu is voor een reeks van jaren (2002-2016) weergegeven in Figuur 5.3. De figuur illustreert de variatie tussen jaren. Tevens valt op dat de NR waarden niet sterk verschillen tussen de gebiedsklassen (Normaal, Probleem, Sanering). Wel dient bedacht te worden dat de NR waarden in deze respectievelijke gebiedsklassen bereikt werden onder toenemend strenge regimes (van Normaal naar Sanering) van maatregelen.

Tabel 5.5 Ontwikkeling van de oppervlakte landbouwareaal (in eenheden van 1000 ha) in Normaal-, Probleem- en saneringsgebieden (Bron: LTA, 2016. SchALVO Nitratbericht 2016).

Fläche LF	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Normal-gebiete	225	225	226	263	262	262	262	253	253	250	248	280	271	271	280	289
Problem-gebiete	100	100	98	77	78	79	90	92	90	90	97	93	98	106	96	98
Sanierungs-gebiete	35	35	33	30	30	22	22	20	20	20	19	18	18	12	12	13



Figuur 5.2 Ontwikkeling van nitraatconcentratie in waterinputten over de periode 2001-2016, in drie klassen van gebieden (Normaal, Probleem- en Saneringsgebied), (Bron: LTA, 2016. SchALVO Nitratbericht 2016).



Figuur 5.3 Nitraatresidu in het bodemprofiel (0-30, 30-60, 60-90 cm -mv) in Normaal-, Probleem- en Saneringsgebieden in Baden-Württemberg over de periode 2002-2016 (Bron: LTA, 2016. SchALVO Nitratbericht 2016).

5.2.6 Mestactieplan Duitsland 2017

Tenslotte volgt hier een kort overzicht van elementen uit recent (2017) aangepaste regelgeving op generiek (federaal) niveau in Duitsland. Deze betekenen een aanscherping van het mestbeleid, waardoor een aantal van de elementen die tot nu toe alleen in SchALVO (dus in BW) van belang waren, nu generiek (geheel Duitsland) geldig zijn:

- Elk gewas heeft referentie gebruiksnorm voor N.
- Correctiefactoren op de gewasspecifieke gebruiksnorm zijn: opbrengstverschil t.o.v. referentie (te bewijzen, gemiddeld over 3 jaar); N levering uit de bodem (bij organischestofgehalte >4%), N levering uit organische meststoffen in voorgaande jaren; Nmin voorjaar meting; N nalevering in

functie van de voorvrucht; toeslag op de N gebruiksnorm bij afdekking van de teelt; toeslag bij uitzonderlijke omstandigheden.

- In de groententeelt geldt bij meervoudige teelten de verplichting om N_{min} meting voor elke nieuwe teelt te bepalen en de N gift hiermee te korten. Soms geldt daarnaast een forse aftrek wegens nalevering uit gewasresten, bijvoorbeeld een aftrek van 100 kg N/ha bij broccoli en 80 kg N/ha bij bloemkool.
- Een berekening van de toegelaten N gift is niet nodig bij zeer kleine bedrijven.
- Een N_{min} bepaling is verplicht vóór elke gift van >50 kg N/ha en voor elk gewas (meervoudige teelten).
- De N_{min} meetresultaten en de wijze waarop deze in het bemestingsplan werden verwerkt, dienen gedurende zeven jaar te worden bewaard om overlegd te kunnen worden bij inspectie.
- Uitrijperioden werden aangescherpt.
- Er gelden nu gedetailleerde voorschriften voor P bemesting.
- Een nutriëntenbalans dient verplicht te worden opgesteld. Het maximaal toegelaten N-overschot bedraagt 60 kg/ha (50 kg/ha vanaf 2020). Voor P geldt een maximum overschot van 10 kg/ha of 0 kg/ha bij hoge P-toestand, d.w.z. >20 mg P₂O₅ per 100 g grond).
- Bij overschrijding van de nutriëntenbalans: volgend jaar verplichte deelname aan gecontroleerde bemestingsadvies.

5.3 Nitraatresidu in Vlaanderen

5.3.1 Focusgebieden en focusbedrijven

In VL wordt het nitraatresidu (NR) landsdekkend gebruikt, dus niet alleen in waterbeschermingsgebieden, maar er bestaan focusgebieden en focusbedrijven. Een focusgebied geniet extra bescherming omdat het gevoelig is voor uitspoeling van nitraat, zoals is gebleken uit de waterkwaliteitsmonitoring. Bedrijven met meer dan 50% areaal binnen zo'n gebied zijn automatisch focusbedrijf. De overige bedrijven worden geloot voor NR bemonstering door de Mestbank bij wijze van landelijke controle. Daarnaast zijn er in VL ook nog 'Beheersovereenkomsten Water' in waterbeschermingsgebieden met strengere drempelwaarden voor NR.

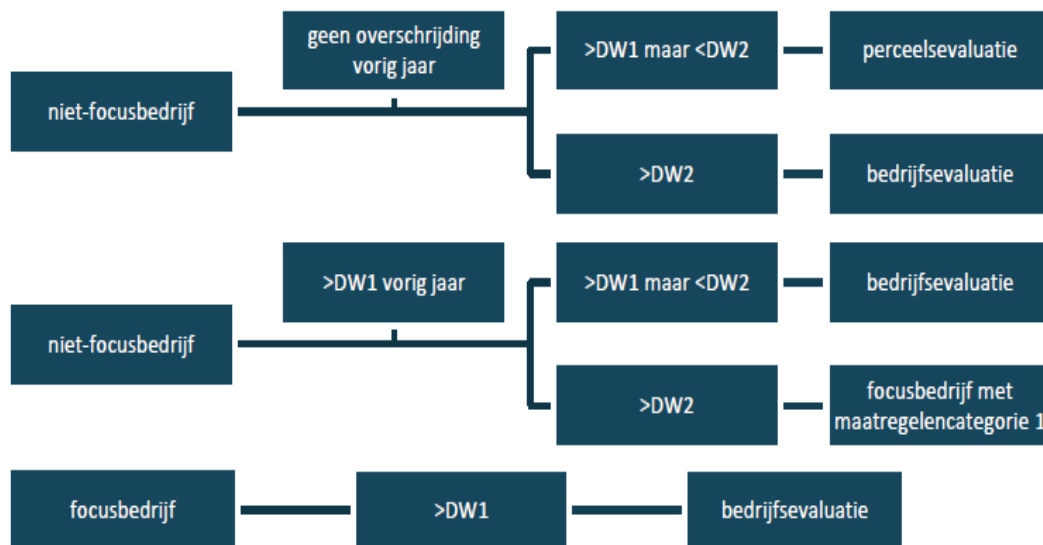
In VL gelden – per gewas*grondsoort combinatie – steeds twee drempelwaarden voor NR (Tabel 5.1). De hoogste drempel (DW2) is afgeleid uit de laagste (DW1) door gebruik te maken van de standaardfout (sf) in de perceelgemiddelde NR waarde: $DW2 = DW1 / (1 - sf)$. Deze sf werd in een apart onderzoek vastgesteld, volgt dus niet uit reguliere monitoring. De waarden van DW1 en DW2 verschillen tussen de onderscheiden gewasgroepen, tussen grondsoorten en ook tussen focus- en niet-focusgebieden. De drempelwaarden bij een Beheersovereenkomst Water liggen -4 kg N/ha lager dan bij de controles door de Mestbank. Bij een Beheersovereenkomst Water ontvangt de landbouwer een vergoeding.

Er wordt gewerkt met zowel bedrijfs- als perceelsevaluaties, waarvan de consequenties in elkaar grijpen volgens een schema dat weergegeven is in Figuur 5.4 en Tabel 5.6. Ook op verzoek van een bedrijf kunnen NR metingen plaats vinden: als contra-expertise, om derogatie aan te vragen, of om 10% verruiming van de gebruiksnorm aan te vragen. Dit laatste (aanvraag van verruimde norm) gebeurt vrijwel nooit.

Bij overschrijding van DW1 tijdens de reguliere perceelscontrole door de Mestbank volgt automatisch een tweede meting in het volgend jaar. Bedrijven buiten een focusgebied worden focusbedrijf als de eerste drempelwaarde DW1 in twee achtereenvolgende jaren wordt overschreden; of meteen na de eerste overschrijding indien NR de tweede drempelwaarde DW2 overschrijdt (Figuur 5.4, Tabel 5.6). Voor focusbedrijven gelden iets strengere drempelwaarden voor NR, gedifferentieerd naar bodem en gewas (Tabellen 5.9 en 5.10). Focusbedrijven buiten de focusgebieden kunnen weer een normaal bedrijf worden als zij in drie achtereenvolgende jaren geen overschrijding van de DW1 hebben vertoond.

Terwijl de reguliere monitoring door de Mestbank op perceelsniveau plaatsvindt, op een ingeloot perceel, is de evaluatie op bedrijfsniveau uitvoeriger. Zie ook Figuur 5.4. Bij een bedrijfsevaluatie worden minimaal 3 percelen bemonsterd en minimaal 1 monster per bodem*teelt combinatie. Het

aantal monsters dat minimaal wordt genomen, is gelijk aan de vierkantswortel uit het bedrijfsareaal in ha. Op een bedrijf van 100 ha worden dus minimaal 10 mengmonsters genomen.



Figuur 5.4 Gevolg van een perceelsevaluatie in Vlaanderen, afhankelijk van de status van het bedrijf en de mate van overschrijding (DW1 of DW2). (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 8.)

Tabel 5.6 Gevolg van een bedrijfsevaluatie in Vlaanderen. Zowel de NR-waarde als de drempelwaarde worden areaalgewogen gemiddeld. De categorie verwijst naar de maatregelpakketten in Tabel 5.7 (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 9).

Nitraatresiducategorie	Gewogen gemiddelde nitraatresidu	Aantal percelen of aantal teelttypes hoger dan DW2
0	<DW1 _{gewogen}	
1	Tussen DW1 _{gewogen} en DW2 _{gewogen}	Max. 1/3 percelen of max 1 teelttype
2	Tussen DW1 _{gewogen} en DW2 _{gewogen}	>1/3 percelen of >1 teelttype
3	>DW2 _{gewogen}	

Tabel 5.7 Maatregelpakketten voor focusbedrijven in Vlaanderen (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 71).

Focusbedrijf door ligging	Focusbedrijven met verstrengde maatregelen door negatieve bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu		
Maatregelencategorie 0	Maatregelencategorie 1	Maatregelencategorie 2	Maatregelencategorie 3
Verstrengde uitrijregeling	Verstrengde uitrijregeling	Verstrengde uitrijregeling + verbod effluent na 15/8	Verstrengde uitrijregeling + verbod effluent na 15/8
Vanggewas waar teelt en bodem het toelaat	Vanggewas waar teelt en bodem het toelaat	Vanggewas waar teelt en bodem het toelaat	Vanggewas op 20% van de bedrijfsoppervlakte
	Bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu	Bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu	Bedrijfsevaluatie van het nitraatresidu
	Geen derogatie op percelen met overschrijding	Geen derogatie op alle percelen van het bedrijf	Geen derogatie op alle percelen van het bedrijf
		Bemestingsruimte -10%	Bemestingsruimte -20%
		Bemestingsplan	Bemestingsplan
		Burenregeling voor- en namelden	AGR-GPS voor alle mesttransporten, inclusief eigen mest eigen grond
		Bodembalans specifieke teelt	Bodembalans specifieke teelt

5.3.2 Maatregelen in Categorieën

Afhankelijk van de mate van overschrijding krijgen focusbedrijven meer of minder strenge maatregelen opgelegd, zoals een verplichting tot gebruik van vanggewassen, een verlaging van de gebruiksnormen en in alle gevallen een verplichte jaarlijkse herhaling van de NR meting. Een overzicht van de maatregelen is gegeven in Tabel 5.7.

5.3.3 Drempelwaarden voor het nitraatresidu in Vlaanderen

In BW werd geen uitgebreide studie gemaakt van het verband tussen het nitraatresidu en de nitraatconcentratie in grondwater. De drempelwaarden voor NR werden daar niet rechtstreeks afgeleid uit een te bereiken doelwaarde voor de nitraatconcentratie (b.v. 50 mg NO₃/l). In plaats daarvan werden drempelwaarden laag ingesteld zonder onderscheid naar gewas of gebiedsstatus (Tabel 5.4). In Vlaanderen daarentegen werd gezocht naar een meer wetenschappelijke grondslag gezocht voor drempelwaarden van het nitraatresidu. Die onderbouwing kent een lange geschiedenis die begint in 2001 met de N(eco)² studie (VLM, 2001), een combinatie van veld- en modelonderzoek. Aanvankelijk werd destijds gerekend met een proces- of attenuatiefactor van 2.4 (Zie Hoofdstuk 2). Deze factor geeft de verhouding aan tussen de nitraatconcentratie aan de onderzijde van de wortelzone, en die in het grond- of oppervlaktewater. Van Overtveld *et al.* (2011) en Tits *et al.* (2010) deden vervolgens uitvoerig onderzoek naar deze procesfactor en haar geografische distributie in Vlaanderen. Vervolgens differentieerden zij het toelaatbaar nitraatresidu naar gewasgroep en bodemtype. De hoofdlijnen daaruit zijn samengevat in Hoofdstuk 2. De in het handhavingsbeleid in Vlaanderen gebruikte drempelwaarden zijn weergegeven in Tabellen 5.9 (niet-focusbedrijven) en 5.10 (focusbedrijven).

Tabel 5.8 Vergelijking van evaluatie en onderbouwing Nitraatresidu in Vlaanderen en Baden-Württemberg.

	Vlaanderen	Baden-Württemberg
Analyse NR waarden	Bronnen van variatie in NR uitvoerig gedocumenteerd in jaarlijkse rapportage	Bronnen van variatie in NR uitvoerig gedocumenteerd in jaarlijkse rapportage
Relatie met nitraat in grond- en oppervlaktewater	Aanvankelijke onderbouwing N(eco)² studie (2001) Drempelwaarden als onderhandeld compromis (DW1 = 90 kg N/ha) Van Overtveld <i>et al.</i> (2011) ruimtelijk gedifferentieerde bepaling van 'Procesfactor'; regionale drempels per gewas en bodemtype. Zie hoofdstuk 2.	Drempels laag ingesteld; hangen alleen af van bodemtype; meestal 45 kg N/ha. Er werd bij de normstelling geen a priori vastgestelde relatie tussen NR en nitraat in grond- en oppervlaktewater gebruikt

Tabel 5.9 Drempelwaarden voor het nitraatresidu op niet-focusbedrijven in Vlaanderen (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 7).

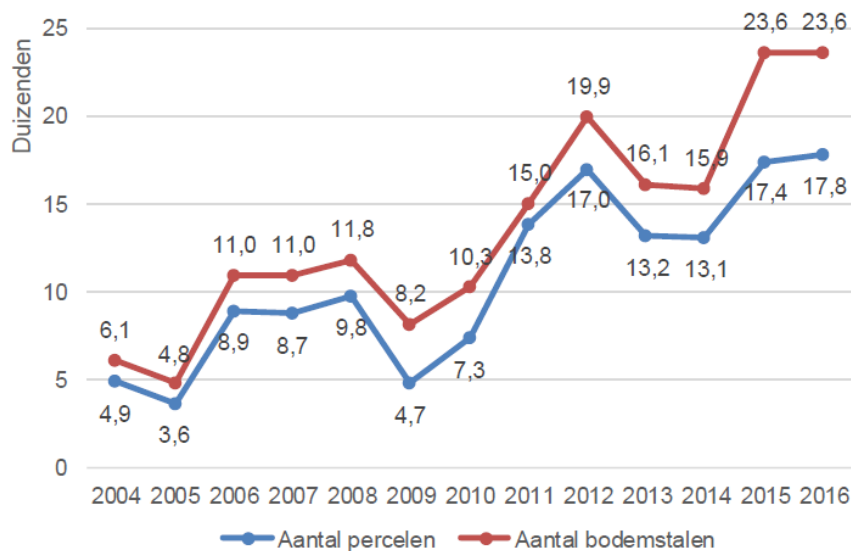
Nitraatresidutype	Teelttype	Bodemtype	Drempelwaarde 1	Drempelwaarde 2
Gras	Gras	Zand of niet-zand	90	260
Maïs - zand	Maïs	Zand	90	180
Maïs - niet-zand		Niet-zand	90	180
Granen-zand	Granen	Zand	90	200
Granen - niet-zand		Niet-zand	90	200
Aardappelen	Aardappelen	Zand of niet-zand	90	165
Specifieke teelten	Specifieke teelten	Zand of niet-zand	90	200
Overige teelten - zand	Overige teelten	Zand	90	200
Overige teelten - niet-zand		Niet-zand	90	200

Tabel 5.10 Drempelwaarden voor het nitraatresidu op focusbedrijven in Vlaanderen (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 7).

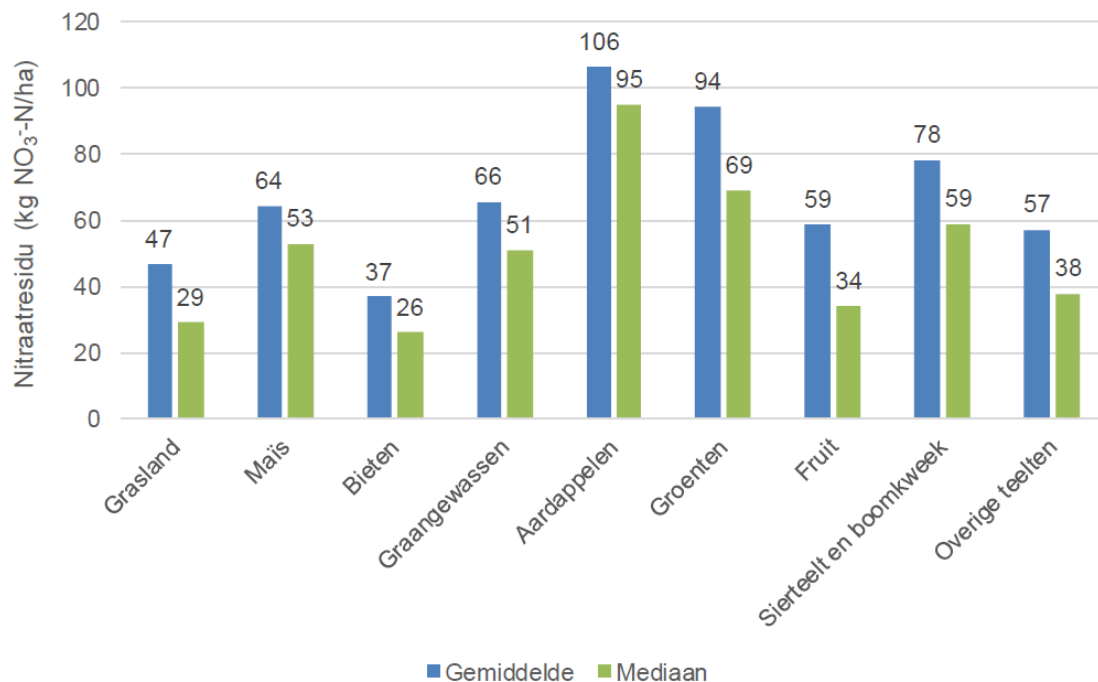
Nitraatresidutype	Teelttype	Bodemtype	Drempelwaarde 1	Drempelwaarde 2
Gras	Gras	Zand of niet-zand	70	200
Maïs - zand	Maïs	Zand	70	140
Maïs - niet-zand		Niet-zand	80	160
Granen - zand	Granen	Zand	70	155
Granen - niet-zand		Niet-zand	80	180
Aardappelen	Aardappelen	Zand of niet-zand	85	155
Specifieke teelten	Specifieke teelten	Zand of niet-zand	85	190
Overige teelten - zand	Overige teelten	Zand	70	155
Overige teelten - niet-zand		Niet-zand	80	180

5.3.4 Enkele resultaten uit meetjaar 2016 in Vlaanderen

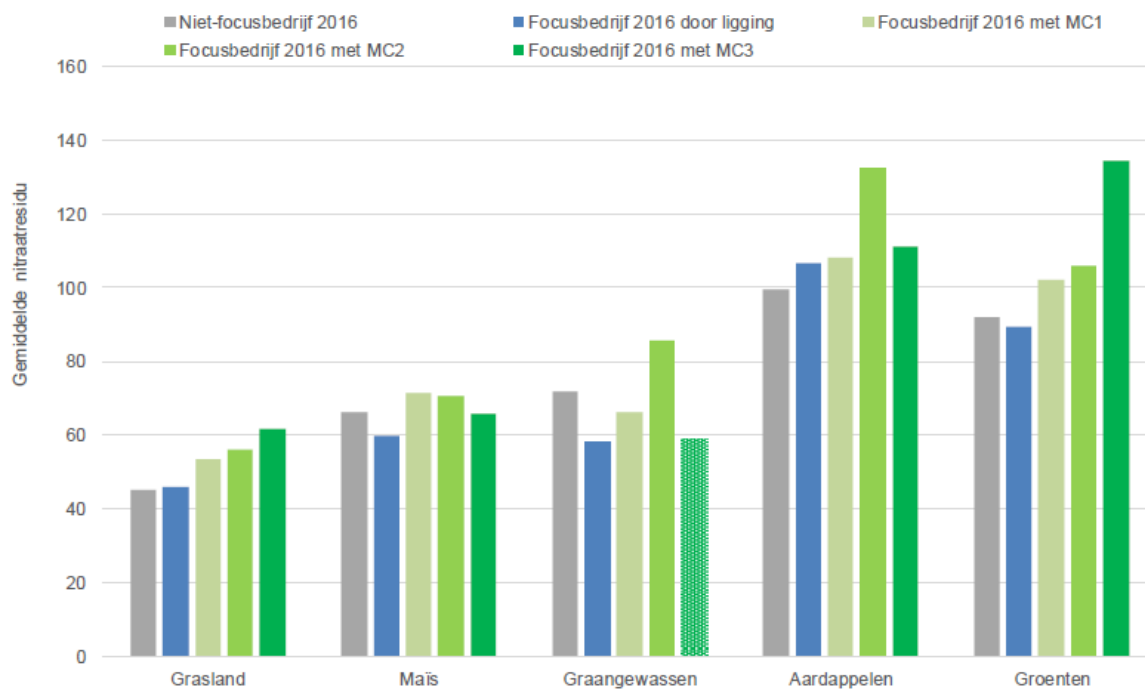
Deze paragraaf toont enkele samenvattende resultaten uit de meetcampagne Nitraatresidu 2016 in Vlaanderen, zoals gerapporteerd door de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) in Nitraatresidurapport 2017. Figuur 5.5 laat de sterke toename zien in aantal bemonsterde percelen sinds de aanvang van het monitoringprogramma. Gemiddelde en mediane NR waarden zijn per gewas weergegeven in Figuur 5.6. Binnen elke teeltgroep is in Figuur 5.7 de gemiddelde NR waarde gegeven als functie van de bedrijfsstatus. Aardappelen en groenten onderscheiden zich door relatief hoge NR waarden (Figuren 5.5, 5.6 en 5.7), hoger dan die bij maïs. De frequentieverdeling per gewasgroep is gegeven in Figuur 5.8. Over de periode 2004-2016 werd een dalende trend waargenomen in NR (Figuur 5.9) en [NO₃] (Figuur 5.10), beide met een stagnatie sinds 2012. De relatieve daling in NR, van circa 100 naar circa 55 kg N/ha, was sterker dan die in [NO₃] van circa 45 naar circa 35 mg/l. Dit suggereert dat een substantieel deel van de nitraatuitspoeling 'ontsnapt' aan waarneming via de indicator NR, maar ook dat NR sterker reageert op aangepast beheer dan [NO₃]. De mate van overschrijding van de wettelijk vastgelegde NR drempels (DW1, DW2) voor meetjaar 2016 is weergegeven in Tabel 5.11 en Figuur 5.11.



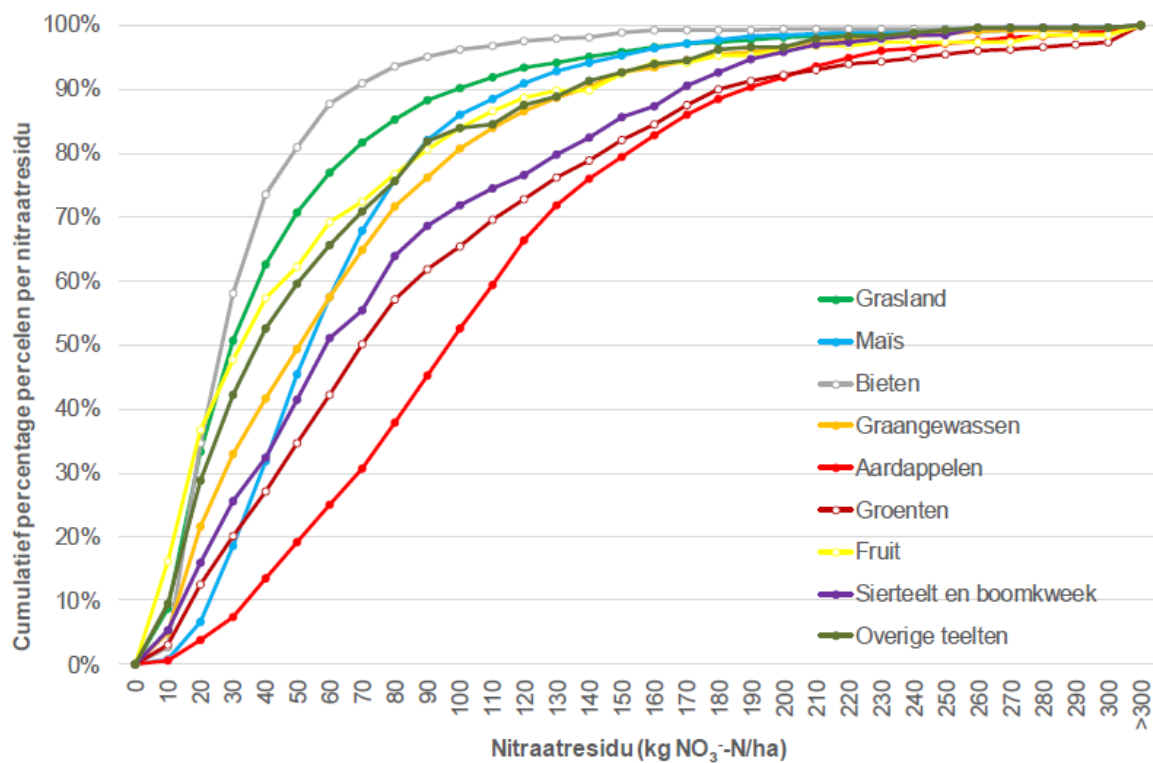
Figuur 5.5 Ontwikkeling van het aantal geselecteerde percelen en verzamelde bodemmonsters in het monitoringprogramma door de Mestbank sinds 2004 (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 12).



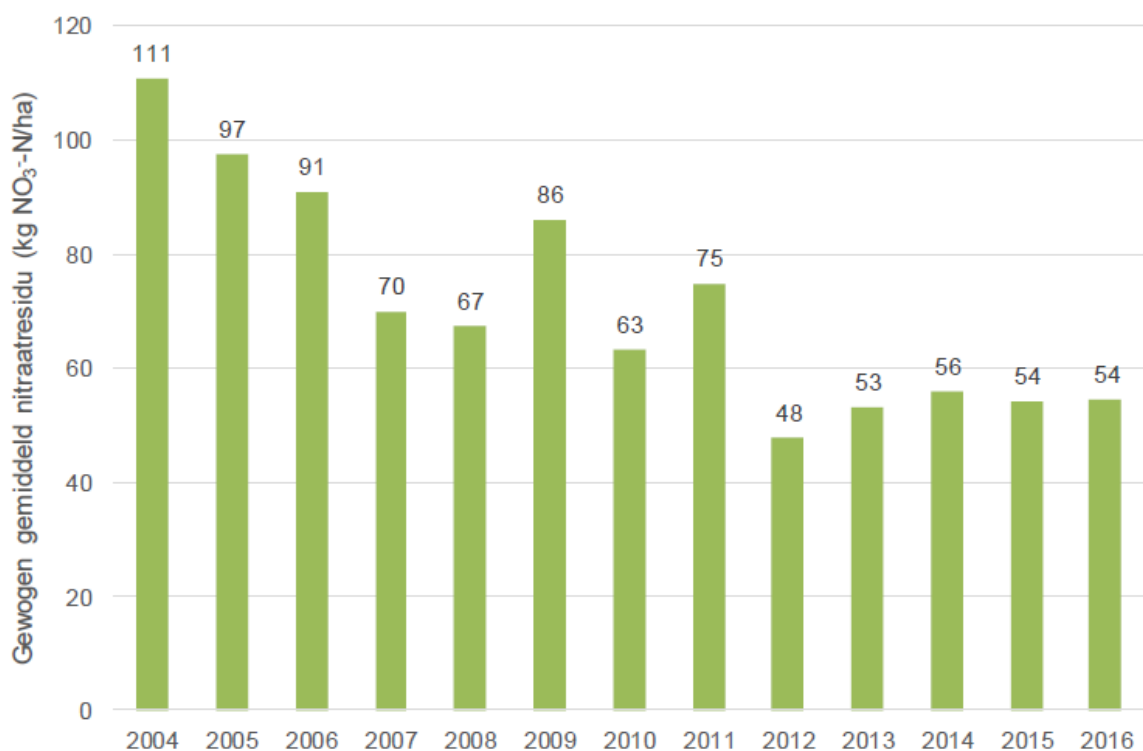
Figuur 5.6 Gemiddelde en mediaan van het nitraatresidu per teeltgroep (in kg NO₃-N/ha) bij de bemonstering door de Mestbank in 2016 (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 23).



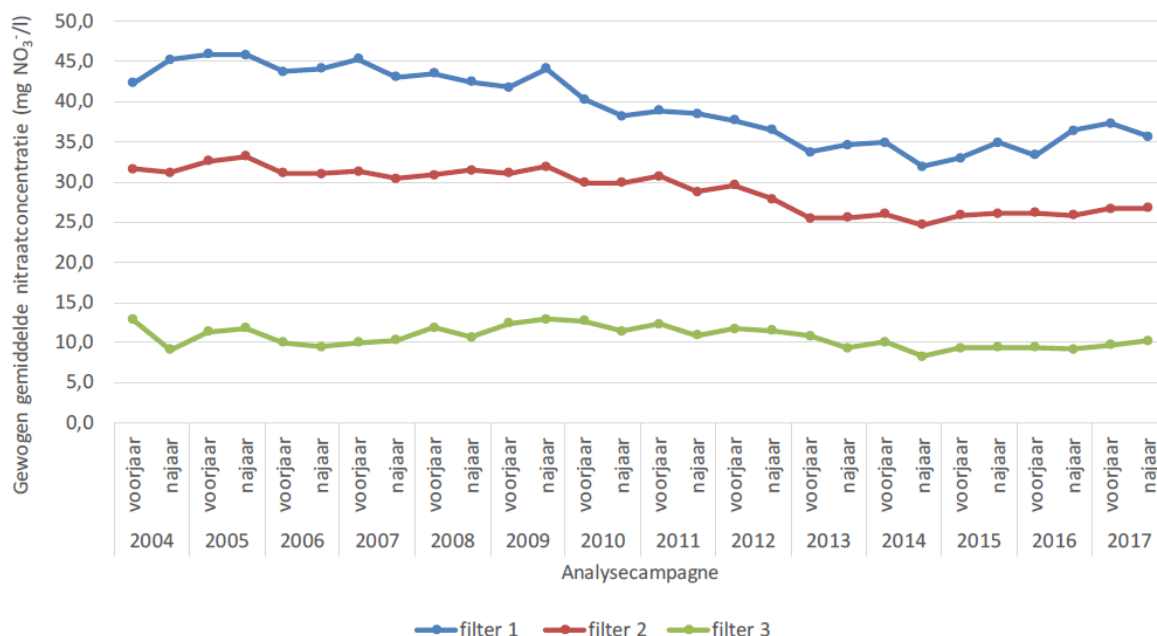
Figuur 5.7 Gemiddeld nitraatresidu (in kg NO₃-N/ha) per teeltgroep als functie van de bedrijfsstatus in 2016, bij de bemonstering door de Mestbank in 2016 (minder dan 30 bemonsterde percelen zijn gearceerd weergegeven), (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 43).



Figuur 5.8 Cumulatief percentage percelen met een bepaald nitraatresidu per teeltgroep bij de bemonstering door de Mestbank in 2016 (Bron: VLM, 2017, Nitraatresidurapport 2017, p. 24).



Figuur 5.9 Ontwikkeling van het gewogen gemiddelde nitraatresidu bij de bemonstering door de Mestbank sinds 2004 (Bron: VLM, 2017, Nitraatresidurapport 2017, p. 61).

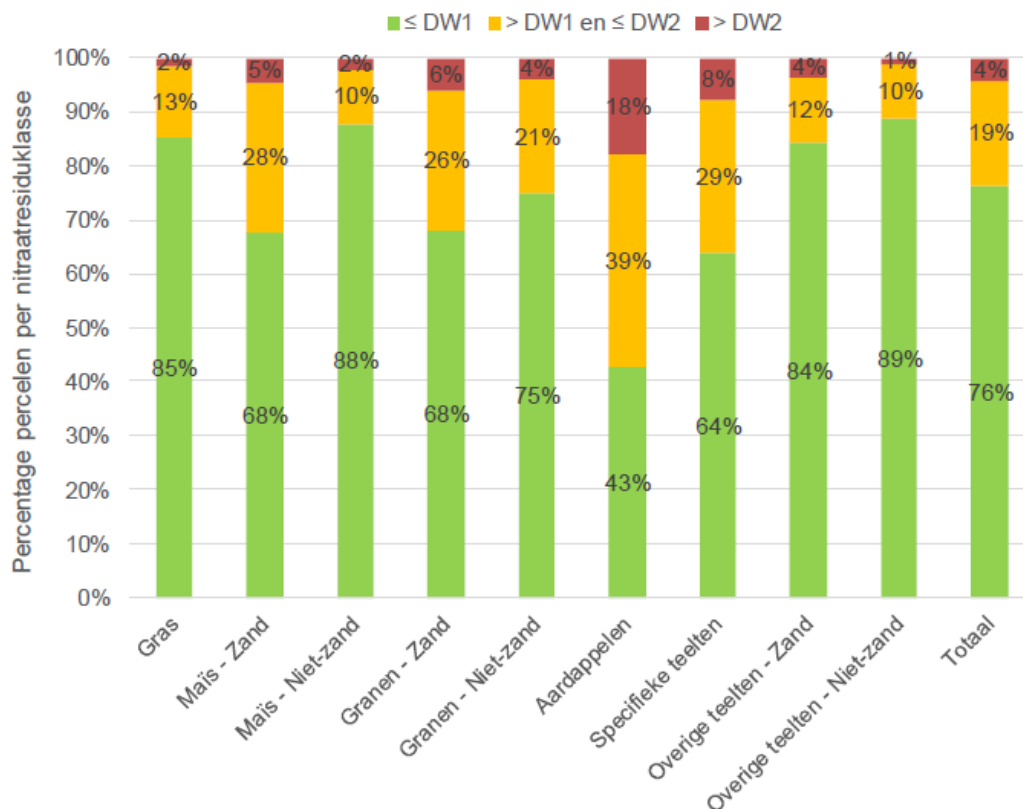


Figuur 5.10 Ontwikkeling van de gewogen gemiddelde nitraatconcentratie ter hoogte van de drie filters in het freatische grondwatermeetnet (Bron: VLM, 2018. Mestrapport 2018).

Van alle 16.025 percelen bemonsterd in 2016 voldeden 12.231 percelen (76%) aan de eerste drempelwaarde (Tabel 5.11). Bij 3.794 percelen (24%) werd een overschrijding van de eerste drempelwaarde vastgesteld. Bij 19% (3.123 percelen) lag NR tussen de DW1 en DW2. Bij 4% (671 percelen) lag NR boven DW2. De verschillen tussen de teeltgroepen zijn weergegeven in Figuur 5.11.

Tabel 5.11 Aantal percelen per nitraatresiduklasse bij de toets van de resultaten van alle bemonsterde percelen aan de nitraatresidu-drempelwaarden van 2016, als functie van gewas en grondsoort. DW1 is de laagste drempelwaarde, DW2 de hoogste (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 72).

Nitraatresidutype	>DW1			Subtotaal	Totaal
	≤DW1	>DW1 en ≤DW2	>DW2		
Gras	4.872	760	89	849	5.721
Maïs - zand	2.031	828	137	965	2.996
Maïs – niet-zand	2.016	230	49	279	2.295
Granen - zand	299	114	26	140	439
Granen – niet-zand	1.045	292	57	349	1.394
Aardappelen	450	416	188	604	1.054
Specifieke teelten	915	409	111	520	1.435
Overige teelten - zand	192	28	8	36	228
Overige teelten – niet-zand	411	46	6	52	463
Totaal	12.231	3.123	671	3.794	16.025



Figuur 5.11 Verdeling van de percelen over verschillende nitraatresiduklassen bij de toets van de resultaten in 2016 van alle bemonsterde percelen aan de NR drempelwaarden, als functie van gewas en grondsoort (Bron: VLM, 2017. Nitraatresidurapport 2017, p. 72).

5.3.5 Kosten van Nitraatresidu monitoring in Vlaanderen

Jaarlijks wordt circa €420.000 door de Vlaamse overheid besteed aan verzamelen en analyse van ongeveer 7.500 bemonsterde eenheden (perceel of deel van perceel), bij een bedrag van ca €55 per bemonsterde eenheid. Voor dit bedrag worden drie mengmonsters per eenheid (een mengmonster per laag op resp. 0-30, 30-60, en 60-90 cm -mv) verzameld en geanalyseerd. Dit bedrag wordt (op basis van aanbesteding) aan de gecertificeerde uitvoerders betaald voor monsternamen en analyse. Daarnaast wordt aan boeren opgelegd dat zij op eigen kosten jaarlijks circa 17.500 eenheden laten bemonsteren. Zij betalen daarvoor gemiddeld €65 per bemonsterde eenheid.

Het bedrag per bemonsterde eenheid (€55 of €65 voor resp. overheid of agrarisch ondernemer) is opgebouwd uit circa €20 voor de monsternamen, circa €30 voor drie analyses en drie vochtbepalingen, en overhead (aankoop bemonsteringsmateriaal, planning, rapportage aan ondernemer en Vlaamse Landmaatschappij).

Daarnaast worden personeelskosten bij de overheid geraamd op een inzet van 2 à 3 fte. Dit is uiteraard een zeer ruwe schatting en mogelijk te laag. De hiermee uitgevoerde activiteiten omvatten het aanbesteden, selectie van de te bemonsteren eenheden, algemene opvolging van de campagne, (vragen/problemen bij laboratoria, monsternemers, landbouwers), verwerking van resultaten incl. ICT ondersteuning, toezicht op de monsternemers tijdens de campagne, behandeling van bezwaren nadat maatregelen bij overschrijding van drempelwaarden werden opgelegd. Juridische procedures werden tot nu toe niet aangespannen naar aanleiding van een nitraatresidubepaling en vormden dus geen kostenpost.

5.4 Wijze van bepaling van het nitraatresidu (Vlaanderen en Baden-Württemberg)

Er zijn kleine verschillen tussen beide regio's in de definitie van het nitraatresidu, deze zijn samengevat in Tabel 5.12. Uit het vooronderzoek in het kader van Nitraatwijzer (Hoofdstuk 6) blijkt

dat ammonium soms aanzienlijk kan zijn. Niettemin bleek uit Sturen op Nitraat (Hoofdstuk 2) dat het nitraatdeel een beter verband vertoonde met de nitraatconcentratie in grondwater dan de som van residuair nitraat en ammonium. Op het aantal van 15 steken per monster in VL geldt een uitzondering voor groententeelten met rijenbemesting. In zulke gevallen moeten op ieder van de 15 plekken 5 steken dwars op de rij genomen worden om zo rekening te houden met de variabiliteit in NR dwars op de rij.

Tabel 5.12 *Vergelijking definities van Nitraatresidu. In de laatste kolom is aangegeven welke methode gebruikt werd in voorliggend onderzoek.*

	Vlaanderen	Baden-Württemberg (SchALVO)	Nitraatwijzer vooronderzoek (Hoofdstuk 6)
Stikstofvorm	NO ₃	NO ₃	NO ₃ en NH ₄
Bemonsteringsperiode	1 Okt – 15 Nov	15 Okt – 15 Nov	15 Okt – 1 Dec
Monsternamen	15 steken per perceel; <2 ha	15 steken per perceel; 1-3 ha	Deels 33, deels 13-15 steken; <2 ha
Lagen (cm -mv)		0-30, 30-60, 60-90	
Voorbehandeling	Veldvochtig	Drogen, malen	Drogen, zeven
Extractiemiddel	1 M KCl	0,01 M CaCl ₂	1 M KCl

Uit een deelonderzoek door Van Schöll & Bussink (Bijlage 2) blijkt dat de 'veldvochtige verwerking' vergelijkbare resultaten oplevert als de droge verwerking (in dit geval beide geëxtraheerd met 0,01 M CaCl₂). Voor NH₄-N mag wel enig verschil worden verwacht tussen de twee extractiemiddelen. Met 1M KCl wordt meer ammonium geëxtraheerd. In NL werkt Eurofins met extractie op basis van veldvochtige grond met 0,01 M CaCl₂. In het vooronderzoek in Hoofdstuk 6 is echter gebruik gemaakt van droge verwerking in combinatie met KCl extractie omdat de analyses uitgevoerd werden door het CBLB (WUR-laboratorium) en deze methode daar de standaard is. Het voordeel daarbij is dat het vochtgehalte van de monsters wordt bepaald, wat kan bijdragen aan de interpretatie.

5.5 Duurzaam Schoon Grondwater Limburg

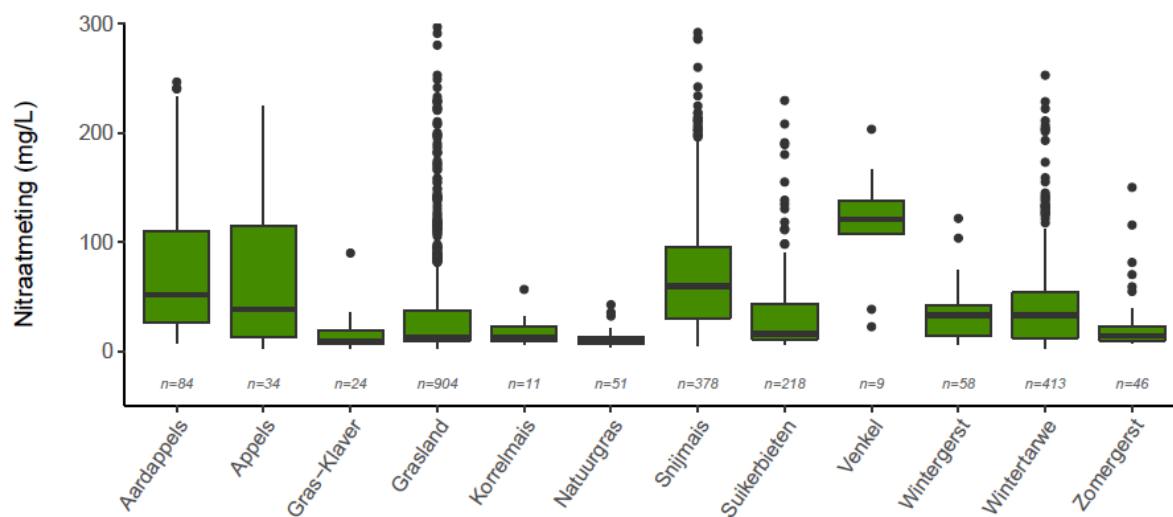
In het project Duurzaam Schoon Grondwater Limburg (DSG) worden sinds 2003⁹ nitraatmetingen verricht in geëxtraheerd bodemvocht van landbouwpercelen in grondwaterbeschermingsgebieden op twee dieptes (ca 150 en ca 250 cm -mv; Waterleiding Maatschappij Limburg, z.d.-a). In het daarmee samenhangende project Slim Bemesten (Waterleiding Maatschappij Limburg, z.d.-b; Deltaplan Agrarisch Waterbeheer, z.d.) worden sinds 2015 maatregelen getest om de nitraatuitspoeling uit landbouwpercelen terug te dringen. Beide projecten worden begeleid door NMI (Ros, 2014; Ros & De Pater, 2018; Ros *et al.*, 2018). In DSG wordt de indicator nitraat in bodemvocht gebruikt in plaats van nitraat in het bovenste grondwater, omdat men in Limburg met zeer diepe grondwaterstanden te maken heeft (met name in de lössgebieden waar dit project is gestart). Grondwaterbemonstering is daar vrijwel ondoenlijk en de nitraatconcentratie in grondwater vertoont daar naar verwachting nauwelijks een relatie met het landbouwkundig handelen in recente jaren voorafgaand aan de meting. Ook RIVM (LMM) meet in dergelijke gevallen nitraat in diep bodemvocht in plaats van in bovenste grondwater (maar gebruikt daarbij een extractiemethode door middel van centrifugeren). De DSG extractiemethode (met extractiemiddel) leidt op lössgronden tot structureel lagere nitraatconcentraties dan de methode toegepast in het LMM. In een separate studie naar dit onderwerp is geconcludeerd dat beide methoden inhoudelijk vergelijkbaar zijn in relatie tot het risico van nitraatuitspoeling (Ros, 2014). Besloten is om beide methoden te continueren in de respectieve meetnetten om geen trendbreuken te krijgen. Voor een vergelijking van de DSG-resultaten met LMM is het dus nodig om eerst te corrigeren voor het verschil in methode; echter daarvoor ontbreekt op dit moment nog de basis. Wij presenteren daarom alleen gevonden verschillen tussen grondsoorten en gewassen (Figuren 5.10 en 5.11). De metingen in het bodemvocht werden meestal op slechts twee punten per

⁹ In 2003 op 2 locaties op lössgrond, later nog 5 extra locaties. In 2008 2 extra locaties op zandgrond. In 2009 1 extra locatie op rivierklei. Ook vóór 2003 is op verschillende percelen gemeten, maar deze gegevens zijn niet betrokken in deze rapportage.

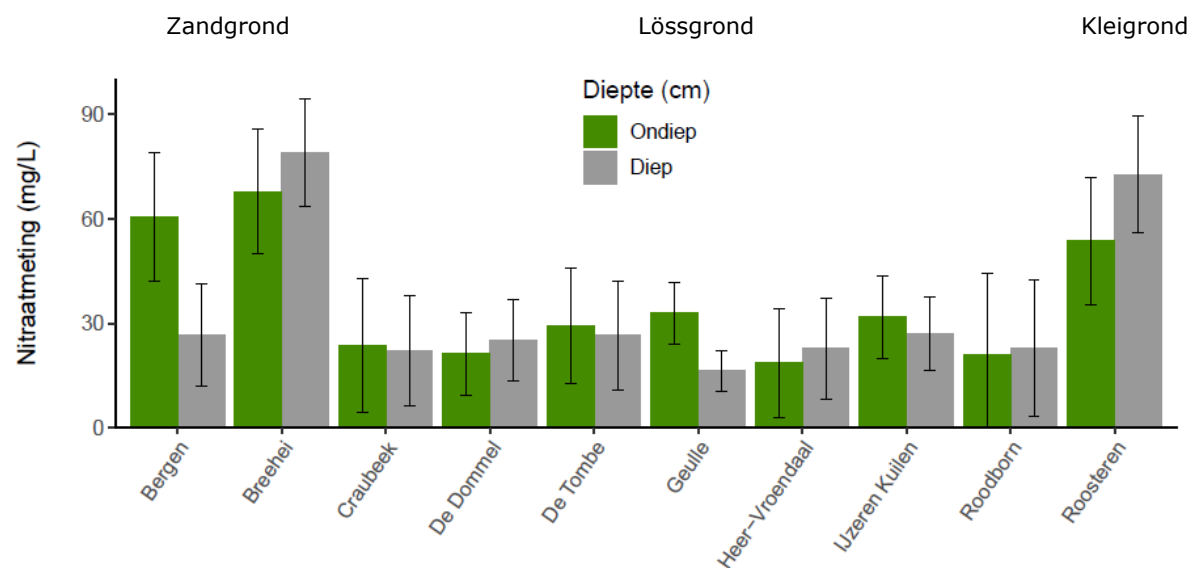
perceel uitgevoerd en werden vervolgens (na logtransformatie) gemiddeld. Dit levert nitraatconcentraties per gewas (figuur 5.12) en per grondsoort (figuur 5.13). Er worden geen resultaten voor bodem * gewas combinaties gepresenteerd.

Op basis van de mediane waarden vallen de gewassen grofweg uiteen in twee categorieën van uitspoelingsgevoeligheid: voor aardappels, venkel en snijmais is de uitspoelingsgevoeligheid hoog, voor de overige gewassen laag (<50 mg/l). Op basis van extremen lijken ook grasland, suikerbieten en wintertarwe risico-gewassen. Grosso modo wijken de DSG resultaten niet sterk af van de bevindingen in Vlaanderen.

Opvallend is dat de lössgronden lagere gehalten vertonen dan zand- en kleigrond. Deels kan dit samenhangen met de afwijkende extractiemethode. De gemiddelde nitraatconcentraties zijn 61 voor de zand-, 64 voor de klei- en 25 mg/l voor de lössgronden.



Figuur 5.12 Gemeten nitraatconcentraties in het bodemvocht in de periode 2011-2017 voor de meest voorkomende teelten (waarvoor meer dan 10 monsters zijn genomen). Let op: de y-as is voor visuele doeleinden begrensd op 300 mg/l (Bron: Ros & De Pater, 2018).



Figuur 5.13 Gemiddelde nitraatconcentraties voor de verschillende grondwaterbeschermingsgebieden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ondiepe (150 ± 10 cm) en diepe (250 ± 10 cm) metingen. De foutenbalken geven de standaardafwijking (std) weer (Bron: Ros & De Pater, 2018, aangevuld met de grondsoorten).

6 Pilotstudies 2018

6.1 Inleiding

In het kader van het project *Nitraatwijzer* werd een beperkt oriënterend onderzoek uitgevoerd naar het nitraatresidu (NR) op een selectie van percelen in Nederland. Doelen van deze pilot waren om vast te stellen in welke range de NR waarden in 2018 lagen op landbouwpercelen in Nederland, na te gaan of verschillen in NR tussen percelen verklaard kunnen worden en tenslotte om zo mogelijk een relatie te leggen met nitraatuitspoeling. Tevens kan de pilot dienen om combinaties van grondsoort, Gt en gewas te identificeren met een hoog uitspoelingsrisico waarop dan in een vervolgfase van *Nitraatwijzer* de nadruk kan worden gelegd. In voorliggende rapportage konden relaties tussen NR en nitraat in de pilot nog niet worden gelegd, omdat een groot deel van de nitraatmetingen pas worden uitgevoerd in de loop van 2019. Op genoemde relaties zal in een volgende rapportage worden teruggekomen.

Naast bovengenoemde pilot werd, buiten project *Nitraatwijzer*, door NMI een pilot uitgevoerd op melkveehouderijbedrijven in Noord Limburg waar op 10 geselecteerde percelen de hoeveelheid residuaire minerale N (Nmin) op diverse tijdstippen in het najaar werd gemeten. Resultaten uit die studie zijn opgenomen in Paragraaf 6.4 en Bijlage 4.

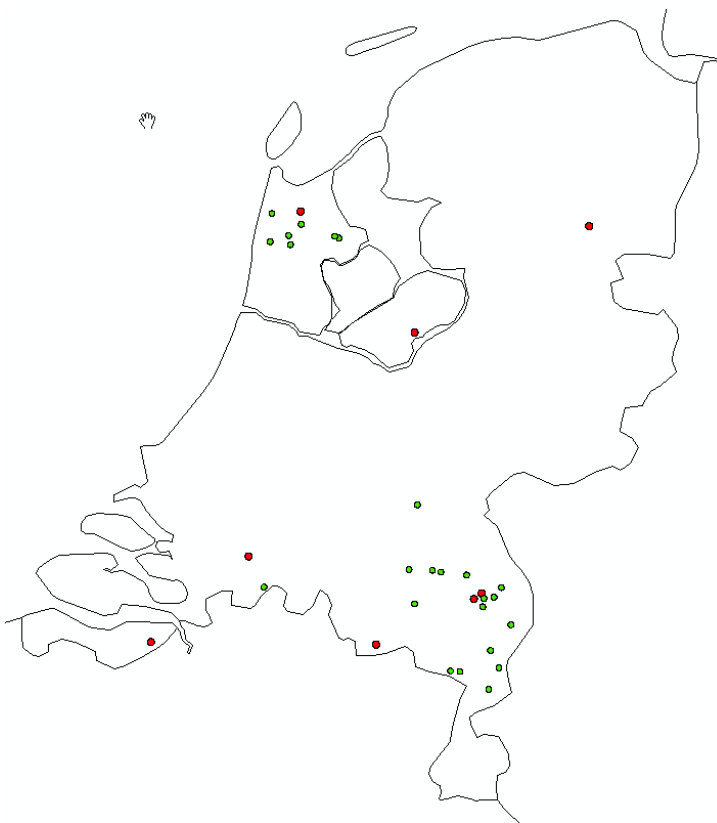
6.2 Aanpak pilot Nitraatwijzer 2018

6.2.1 Keuze van bedrijven en percelen

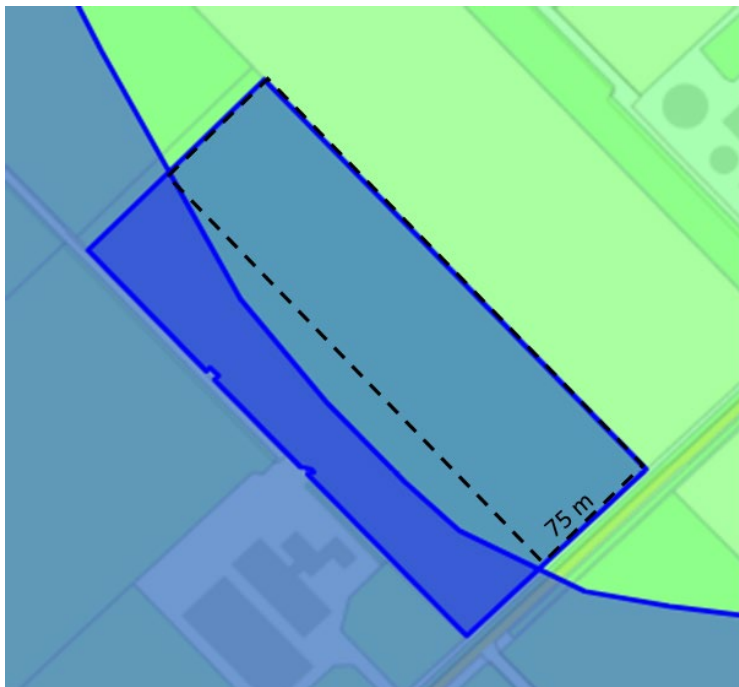
Er is voor gekozen om aan te sluiten bij lopend onderzoek in bestaande bedrijvennetwerken, omdat bij aanvang van het project in juni 2018 de voorbereidingstijd voor metingen in het najaar beperkt was. Bovendien werden kosten bespaard door geen nieuwe bedrijven te benaderen en kon gebruik gemaakt worden van reeds op de bedrijven verzamelde data m.b.t. nutriëntenbalansen. Voor de vollegrondsgroentenbedrijven geldt bovendien dat de nitraatmetingen in het bovenste grondwater door RIVM al waren gepland in het kader van LMM. Wel bracht deze keuze beperkingen mee bij de opzet van het onderzoek, omdat de keuze van percelen reeds tevoren was gemaakt.

Er is aangesloten bij een onderzoek dat in 2017 door WUR-Open Teelten is gestart naar nitraatuitspoeling op 23 vollegrondsgroentenbedrijven (VGG; Figuur 6.1, Bijlage 3B). Daarnaast is bemonsterd bij 8 van de 16 melkveebedrijven uit het project Koeien & Kansen, dat al loopt sinds midden jaren '90 van de vorige eeuw en is gericht op het ontwikkelen van duurzame melkveehouderij. De gekozen percelen liggen op zand-, leem- en kleigrond met grondwatertrappen variërend van III tot VII (Bijlage 3A). Tenslotte werd ook nog één melkveebedrijf uit het project Boeren Voor Drinkwater Overijssel (Boeren voor Drinkwater, z.d.) bereid gevonden om mee te werken. Dit bedrijf heeft een beweide huiskavel op zandgrond met diepe grondwaterstand, een situatie die binnen het K&K project niet voorkomt, maar juist wel relevant is met het oog op nitraatuitspoeling.

Bij het selecteren van percelen op de melkveebedrijven is gestreefd naar contrasten in bodemtype, grondwatertrap en gewas (vooral grasland versus bouwland), teneinde variatie in nitraatuitspoelingsrisico tussen percelen te verkrijgen. Daarnaast speelden de factoren vruchtwisseling en beweiding een rol bij de selectie. Situaties zijn gekozen met of zonder beweiding, permanent of tijdelijk grasland en permanent of tijdelijk maïsbouwland. Op de K&K bedrijven was er vaak een reden om een perceel op te splitsen om zodoende perceeldelen met homogene condities te verkrijgen (Figuur 6.2). De 1:50.000 digitale bodemkaart (Alterra, 2014) en de geactualiseerde grondwatertrappenkaart (Knotters *et al.*, 2018) zijn daarbij leidend geweest. Ook voor de VGG bedrijven werd ernaar gestreefd om steeds homogene (delen van) percelen te bemonsteren, voor zover mogelijk binnen reeds door het lopende VGG project gekozen percelen. Ingeval van percelen groter dan 2.5 ha werd het perceel gesplitst in delen van maximaal 2.5 ha, zowel bij K&K als bij VGG. Hierdoor komt het enkele keren voor dat van één perceel meerdere mengmonsters zijn genomen (zie Bijlagen 3A, 3B).



Figuur 6.1 Ligging van de bemonsterde percelen van de melkveehouderijbedrijven (rood) en de vollegrondsgroentenbedrijven (groen).



Figuur 6.2 Voorbeeld van opsplitsing van een perceel op één van de K&K bedrijven op basis van een bodemgrens (blauwe lijn); er is bemonsterd binnen de stippellijn, waardoor het monster één enkel bodemtype bevat.

6.2.2 Bemonstering en analyse

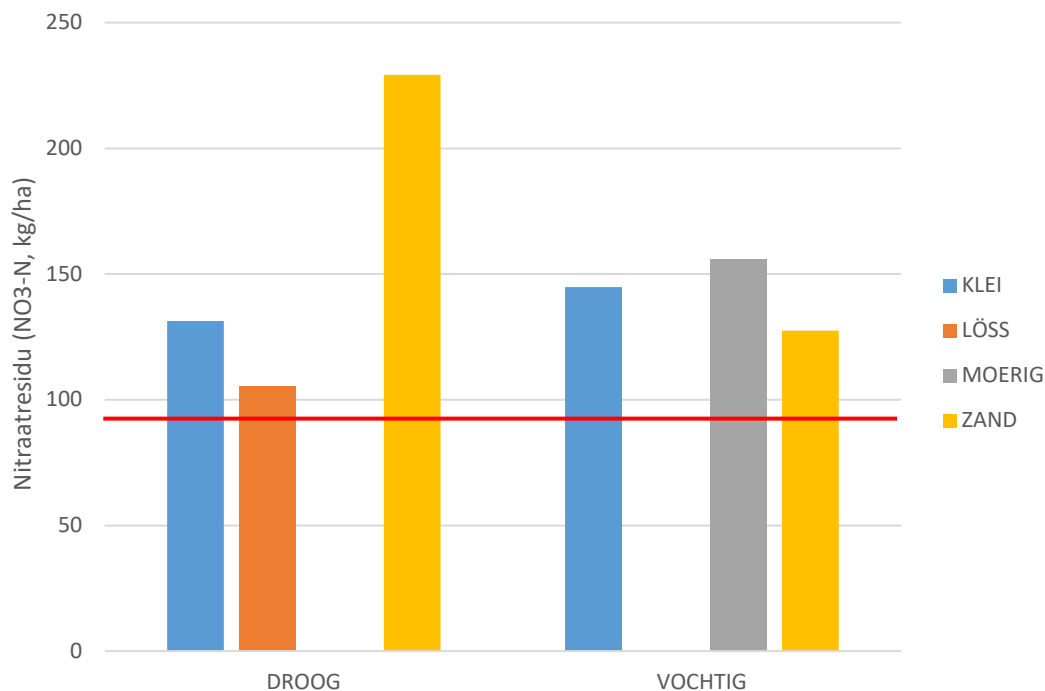
De grondbemonstering werd uitgevoerd door WUR-Open Teelten en -Unifarm, deels met de hand met behulp van gutsboren, deels met een hydraulische inrichting op een tractor. Daarmee wordt een lange guts 90 cm de grond in gedreven en met een lier er weer uitgetrokken. Vervolgens werden grondmonsters genomen per bodemlaag van 30 cm dikte. Het aantal steken per perceel varieerde van 15 tot 33 per perceel of perceelsdeel (max. 2,5 ha), en steken werden bijeengevoegd tot een mengmonster per bodemlaag per perceel of perceelsdeel. De monsters werden per laag verpakt in plastic zakken, gelabeld en gekoeld vervoerd en opgeslagen in Wageningen (<4 °C) voor verdere verwerking door het laboratorium CBLB van WUR. Monsters werden gezeefd (zo nodig gemalen) en gehomogeniseerd, waarna submonsters werden genomen voor bepaling van het vochtgehalte in veldvochtige grond en voor bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof door middel van extractie met 1 M KCl volgens ISO/TS-14256-1 (ISO/TS-14256-1, 2003). Het N-gehalte in het monster wordt uitgedrukt per gram droge grond waarna de hoeveelheid stikstof met behulp van het vochtgehalte en een aangenomen volumegewicht van de grond kan worden omgerekend naar kg N per ha. Vooralsnog is gerekend met een volumegewicht van 1300 kg per m³. Bij het vaststellen van relaties tussen NR en [NO₃] zal worden gezien of een differentiatie van dit volumegewicht mogelijk en zinvol is.

De resultaten van de analyses zullen worden gekoppeld aan de eigenschappen van de monsterplekken, zoals in Bijlage 3. Voor het uitvoeren van de voorziene statistische analyse moet dit databestand nog worden uitgebreid met enerzijds de geregistreerde managementgegevens uit Koeien & Kansen en VGG, en anderzijds met de resultaten van de nitraatmetingen in het bovenste grondwater die RIVM gedurende het groeiseizoen 2019 uitvoert (op de lösslocatie pas in november 2019). Resultaten over de nitraatbemonstering in 2019 zullen, in samenhang met NR waarden in voorliggende rapportage, worden opgenomen in de eindrapportage over de pilot.

6.3 Resultaten pilot Nitraatwijzer 2018

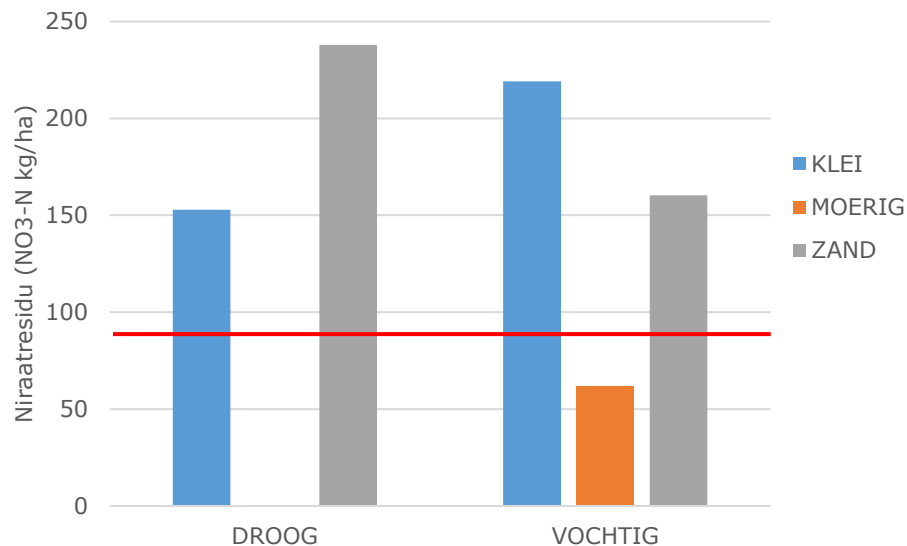
6.3.1 Resultaten per bodem-Gt combinatie

Het nitraatresidu van het najaar 2018 is hoog, het gemiddelde van alle bodem-Gt combinaties ligt boven de eerste drempelwaarde van 90 kg N/ha die in Vlaanderen wordt gehanteerd voor niet-focusbedrijven (Hoofdstuk 5; Figuur 6.2). Het groeiseizoen 2018 was extreem warm en droog, waardoor gewasopbrengsten en daarmee de opname van stikstof gereduceerd werden. Tegelijk werd de stikstofmineralisatie mogelijk gestimuleerd, of ging langer dan normaal door, ook na de groei van het gewas. Daarmee neemt NR en dus het risico op stikstofuitspoeling na het groeiseizoen toe. In Vlaanderen lag afgelopen jaar het niveau van NR ook gemiddeld (over 16.581 percelen) 50% hoger dan in een gemiddeld jaar (A. Goossens, persoonlijke communicatie, 19 maart 2019). Ook als daarvoor gecorrigeerd zou worden liggen nog veel NR waarden rond of boven de drempelwaarde (Bijlage 3). Op Proefbedrijf Vredepeel lag de bedrijfsgemiddelde N_{min} waarde (systemen 'standaard' en 'laag') in het najaar 2018 22% hoger dan gemiddeld over de periode 2011-2017.

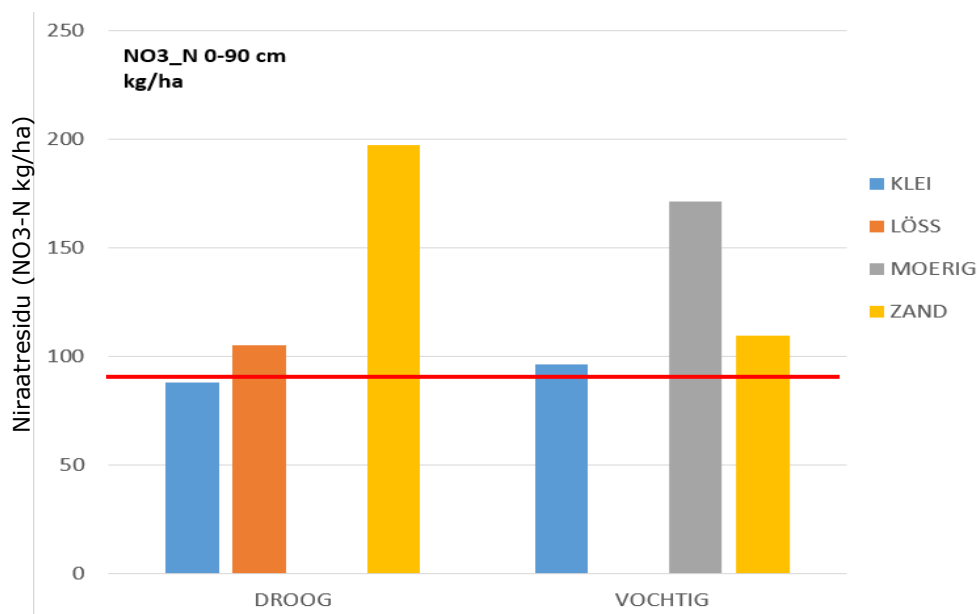


Figuur 6.3 Nitraatresidu ($\text{NO}_3\text{-N}$, kg/ha) in najaar 2018 in Nederland, gemiddelde per combinatie van grondsoort en grondwaterklasse van 185 grondmonsters (0-90 cm –mv), waarvan 83 op percelen van vollegrondsgroentenbedrijven (23 bedrijven) en 102 op percelen van 9 melkveebedrijven. Rode lijn is de eerste grenswaarde DW1 die in Vlaanderen wordt gehanteerd voor niet-focusbedrijven (90 kg N/ha; Zie Hoofdstuk 5).

De zandgronden onderscheiden zich (in elk geval in 2018) door hoge NR (Figuur 6.3). Mogelijk is de nitraatproblematiek op uitspoelingsgevoelige zandgronden niet alleen een kwestie van een hoge uitspoelfractie op overschot (Fraters *et al.*, 2012) of een lage attenuatie (op NR, België), maar ook van hoge NR aan het einde van het groeiseizoen. Het is opvallend dat ook onder vochtige omstandigheden nog flinke NR's worden gevonden (terwijl voor vochtige omstandigheden lagere uitspoelfracties gelden). Ook dit kan samenhangen met het warme droge jaar. Verschillen tussen bodem-Gt combinaties werden door de extreme weersomstandigheden mogelijk afgevlakt (alles was droog). Wellicht geldt dit ook voor de moerige gronden die zelfs iets hoger scoren dan de zand- en kleigronden. Door het droge jaar treedt mogelijk meer N-mineralisatie op en juist minder denitrificatie, waarvoor juist natte omstandigheden nodig zijn. Onder gemiddelde of natte weersomstandigheden mag worden verwacht dat de moerige gronden juist lager scoren door de aanwezigheid van moerig materiaal dat de denitrificatie stimuleert. Ook in Sturen op Nitraat werd een sterk nitraat reducerend effect van moerige lagen in de bodem gevonden (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004; De Ruijter *et al.*, 2007).



Figuur 6.4 Als Figuur 6.3, maar nu alleen voor de VGG bedrijven. Rode lijn is de eerste grenswaarde DW1 die in Vlaanderen wordt gehanteerd voor niet-focusbedrijven (90 kg N/ha).



Figuur 6.5 Als Figuur 6.3, maar nu alleen voor de melkveebedrijven. Rode lijn is de eerste grenswaarde DW1 die in Vlaanderen wordt gehanteerd voor niet-focusbedrijven (90 kg N/ha).

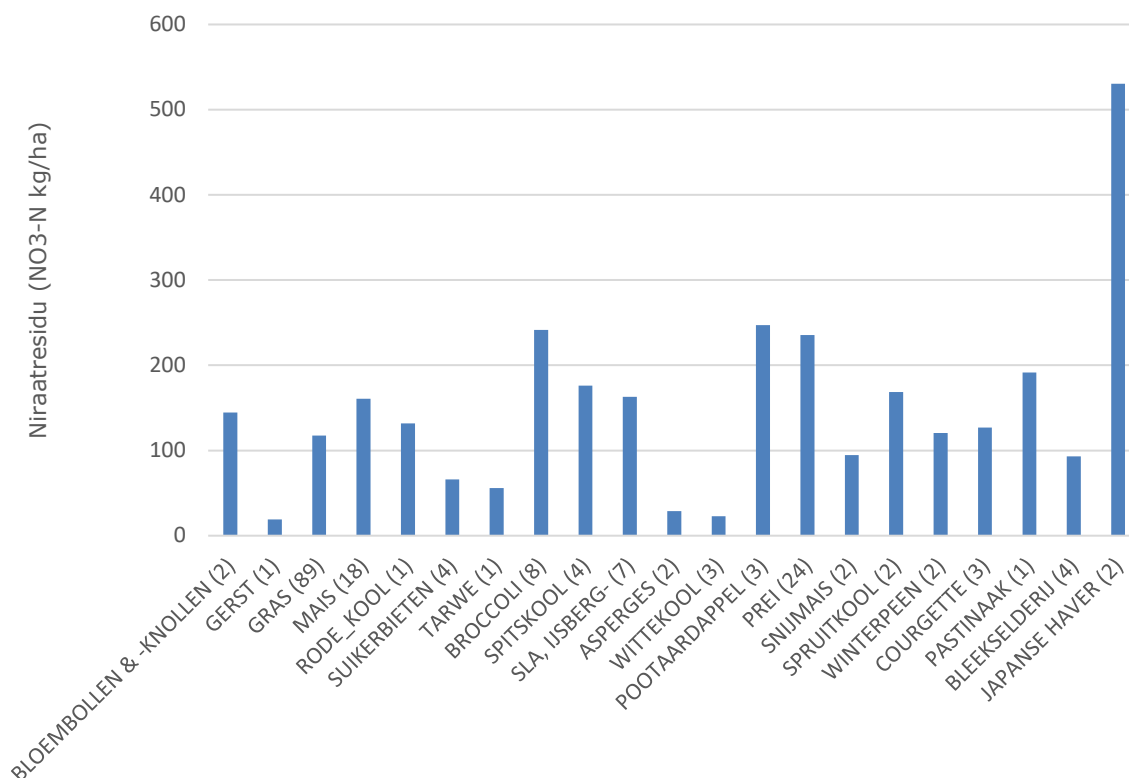
Ook de lage waarden voor löss vallen op, omdat de lössgronden in Nederland (in tegenstelling tot in Vlaanderen en Duitsland) tot de uitspoelingsgevoelige gronden worden gerekend. De interpretatie van deze resultaten moet echter worden uitgesteld tot na de statistische analyse, waarin de effecten van de verschillende factoren kunnen worden ontward. Op de lössgronden zijn bijvoorbeeld alleen gras, maïs en graan bemonsterd, waardoor het bodem en gewaseffect zijn verstrengeld.

Op de VGG bedrijven (Figuur 6.4) wordt gemiddeld een hoger NR gevonden (198 kg N/ha) dan op de melkveebedrijven (115 kg N/ha; Figuur 6.5). Dit komt deels doordat op de melkveebedrijven veel gras wordt geteeld (verschil NR bouwland excl VGG - gemaaid gras excl. VGG = 146 - 105 = 31 kg N/ha).

6.3.2 Resultaten per gewas

De resultaten zijn per gewas heel verschillend (Figuur 6.6). Gewassen met hoge NR zijn gras, poot aardappelen en de meeste vollegrondsgroenten. Alleen asperge (3 monsterplekken, 2 bedrijven)

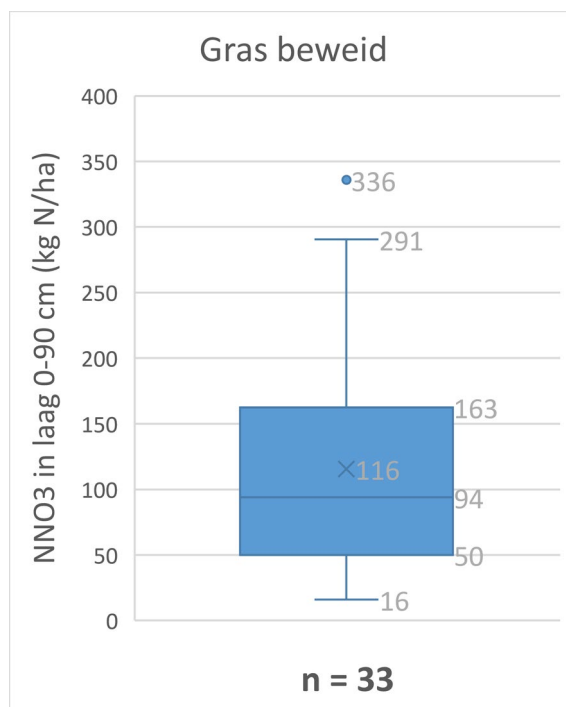
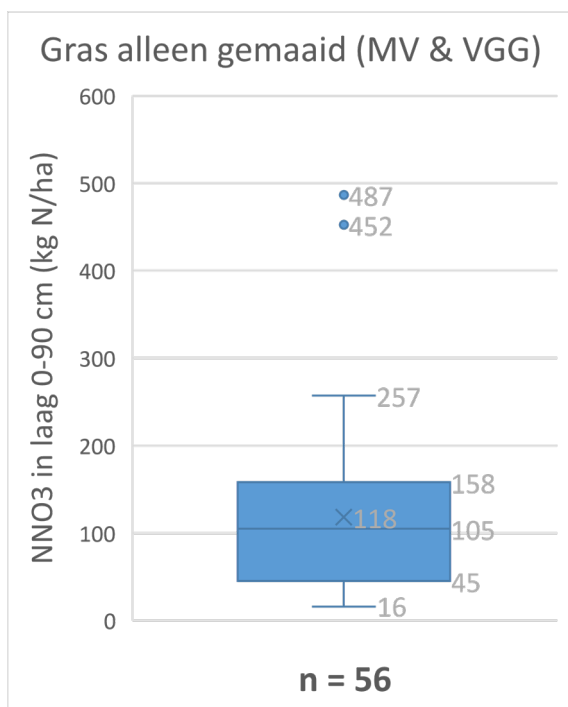
en witte kool (2 plekken, 1 bedrijf) scoren laag. Japanse Haver (2 plekken, 1 bedrijf) scoort extreem hoog. Daar heeft in het voorafgaand jaar een mislukt spinaziegewas gestaan waarna winterprei is geteeld. Ook werden zowel de prei als de Japanse haver (een groenbemester/vanggewas) bemest.



Figuur 6.6 Nitraatresidu (NO₃-N, kg/ha) in najaar 2018 in Nederland, gemiddelde per gewas van (n) monsterplekken (0-90 cm -mv).

Voor een vergelijking met de resultaten van 2016 in België verwijzen we naar het Nitraatresidurapport (Mestbank, 2017, bijvoorbeeld Figuren 13 en 14). Daaruit blijkt de volgende rangorde van hoge naar lage NR waarden: aardappelen – groenten – sierteelt – graangewassen – maïs – fruit – overige teelten – grasland – bieten. Ook in NL scoren de (poot)aardappelen en groenten hoog, maar het valt op dat ook gras in NL hoog scoort waar dat in België juist niet het geval is. Mogelijk moet dit worden toegeschreven aan de uitzonderlijk droge en warme zomer in 2018. Nogmaals zij erop gewezen dat hierdoor mogelijk bij alle gewassen de NR waarden fors hoger lagen dan in een gemiddeld jaar.

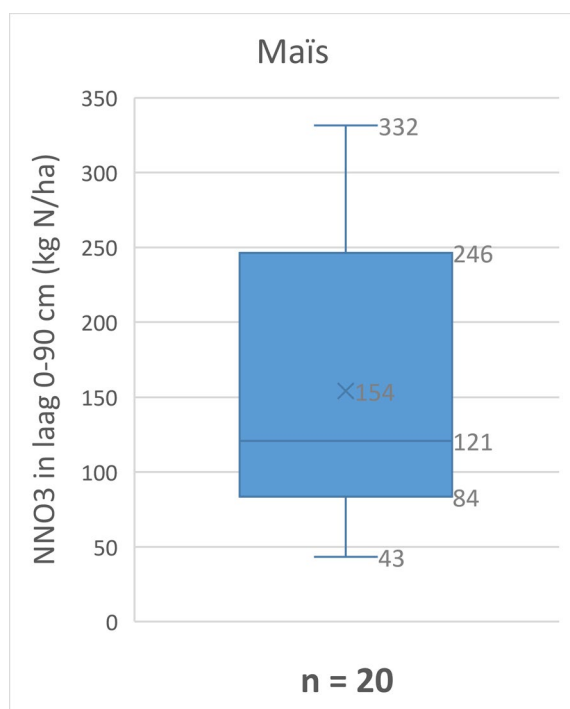
De resultaten per gewas zijn ook bewerkt in zogenaamde Box Plots (Figuur 6.7 en verder), die ook informatie geven over de spreiding tussen monsterplekken. Voorwaarde voor weergave in deze figuren was dat minimaal 5 monsterplekken beschikbaar zijn. NR data van gewassen die niet aan deze eis voldoen zijn gegeven in Tabel 6.1 (na de figuren).



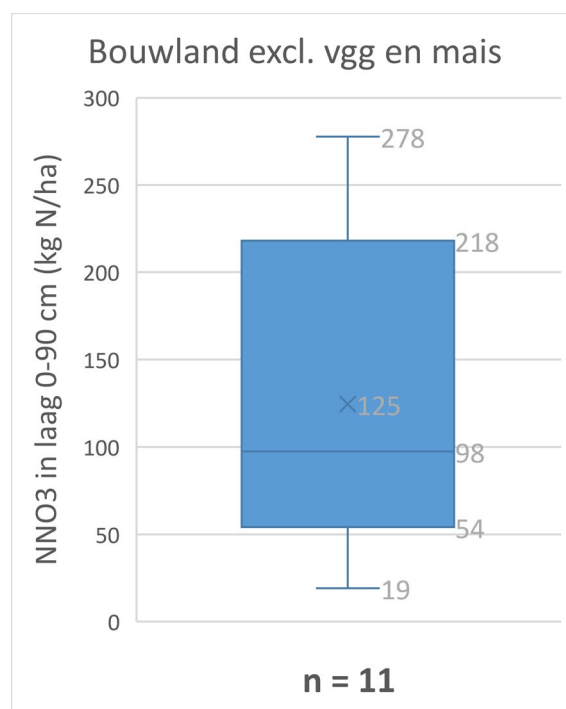
Figuur 6.7 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen onder grasland, links alleen gemaaid, rechts ook geweid. *n* Is het aantal waarnemingen. Een box-plot geeft van onder naar boven het minimum, 25 percentiel, mediaan, 75 percentiel en maximum. *X* = gemiddelde (excl. uitschieters), de bolletjes zijn de uitschieters, gedefinieerd als:

> waarde 75 percentiel + $1,5 * (\text{waarde 75 percentiel} - 25 \text{ percentiel})$, OF
 < waarde 25 percentiel - $1,5 * (\text{waarde 75 percentiel} - 25 \text{ percentiel})$.

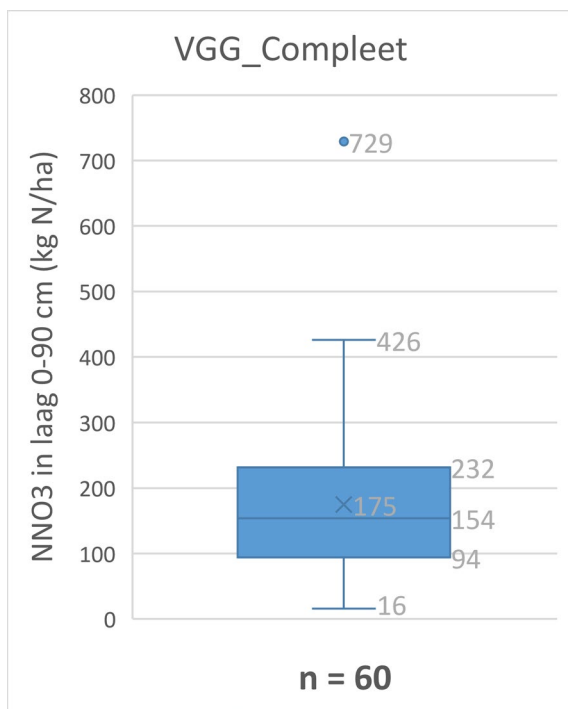
De twee uitschieters in het linker plaatje zijn de enige twee graspercelen op een VGG bedrijf.



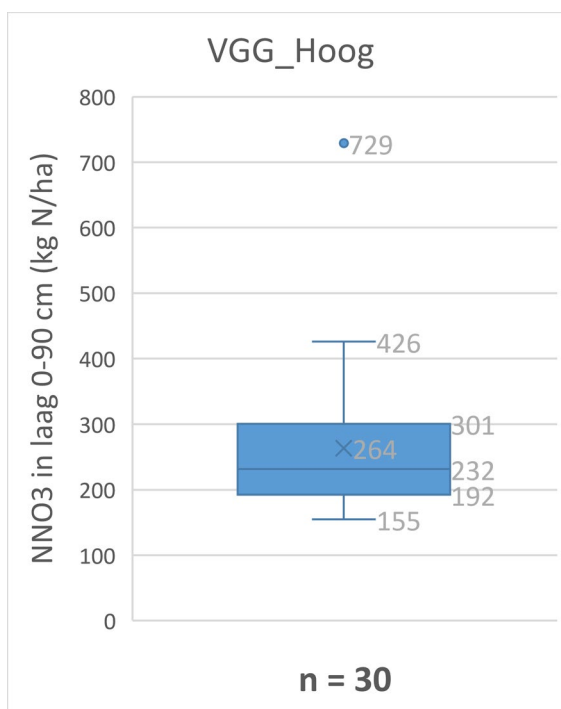
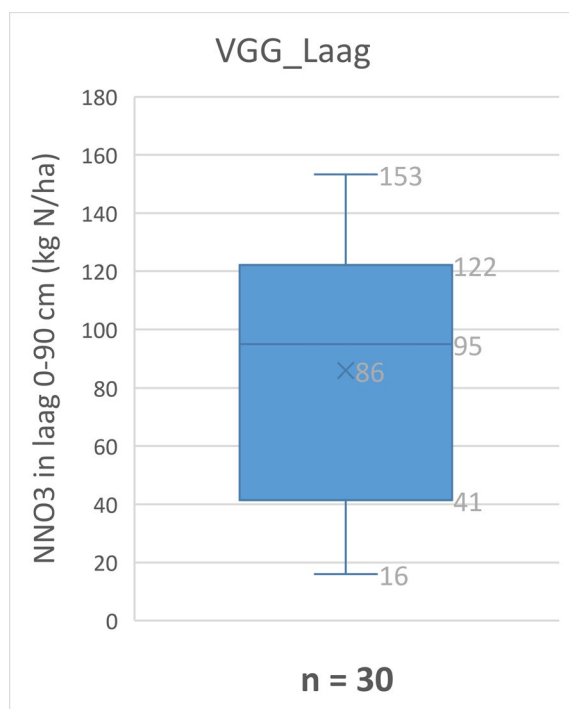
Figuur 6.8 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op alle maïspercelen.



Figuur 6.9 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op bouwland met gewas anders dan maïs of VGG (geen braak percelen).

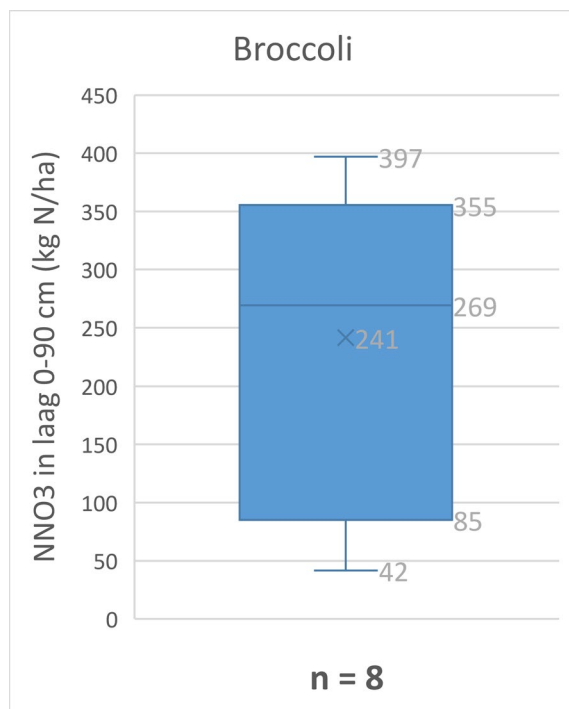


Figuur 6.10 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op alle VGG percelen.

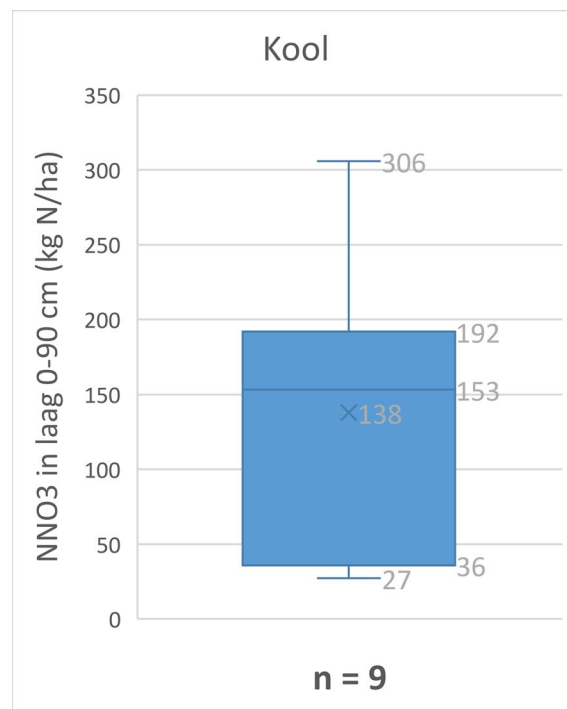


Figuur 6.11 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op VGG bedrijven, opgesplitst in een hoge en lage categorie. Een box-plot geeft van onder naar boven het minimum, 25 percentiel, mediaan, 75 percentiel en maximum. X = gemiddelde, de bolletjes zijn de uitschieters, gedefinieerd als:

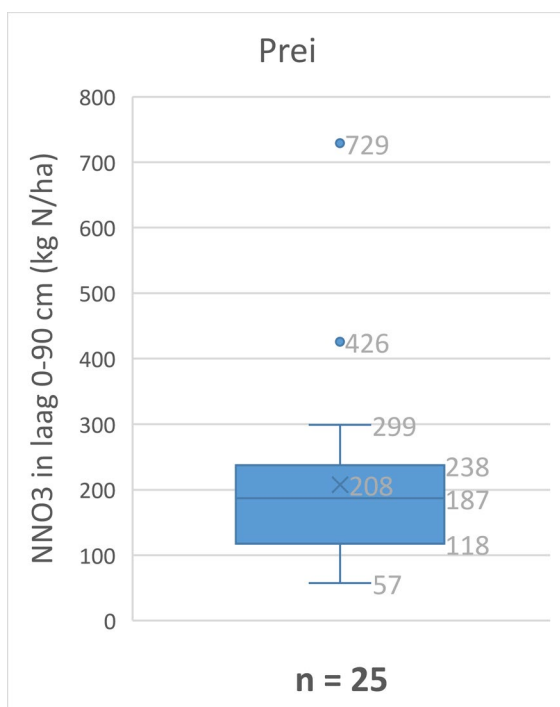
> waarde 75 percentiel + $1,5 * (\text{waarde 75 percentiel} - \text{25 percentiel})$, OF
 < waarde 25 percentiel - $1,5 * (\text{waarde 75 percentiel} - \text{25 percentiel})$.



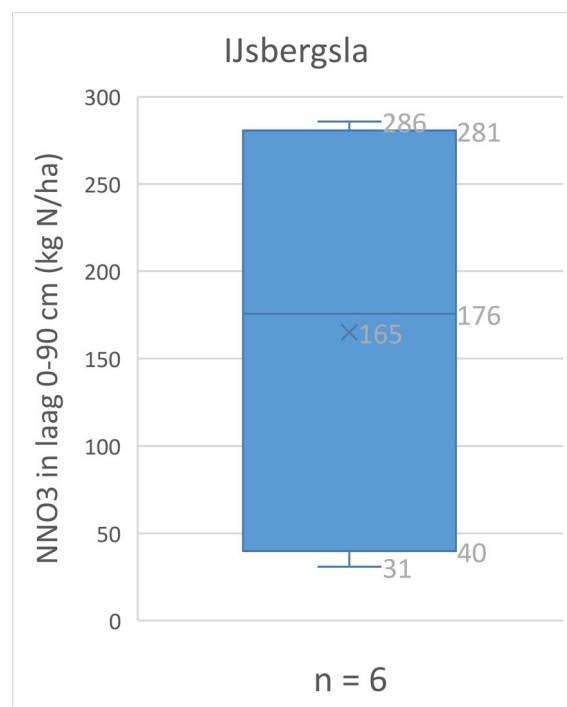
Figuur 6.12 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op alle Broccolipercelen.



Figuur 6.13 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op alle koolpercelen (spruitkool, witte en rode kool, spitskool).



Figuur 6.14 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op alle preipercelen.



Figuur 6.15 Box plots van de aangetroffen NitraatResiduen op alle percelen met IJsbergsla.

Tabel 6.1 NR van de gewassen met minder dan 5 percelen.

Overige gewassen	Aantal percelen	NR in kg/ha
Granen zonder maïs	2	19
		56
Suikerbieten	4	54
		54
		59
		98
Pootaardappelen	3	246
		218
		278

Het valt op dat de beweide graspercelen gemiddeld niet een veel hogere NR vertonen dan de gemaaide percelen (Figuur 6.6). Wel is de spreiding wat groter op de beweide percelen. Uit eerder onderzoek bleek dat beweiding een extra risico vormt voor nitraatuitspoeling door urineplekken (o.a. Vellinga *et al.*, 2001). Dat dit aspect hier niet tot uitdrukking komt, is mogelijk toe te schrijven aan de methode van bemonstering (aantal steken per perceel) en/of de uitzonderlijke weersomstandigheden in 2018.

De graspercelen vertonen, zoals verwacht, lagere NR dan de bouwlandpercelen (Ten Berge & Hack-ten Broeke, 2004; VLM, 2017). De twee uitschieters in Figuur 6.6 behoren bij vollegrondsgroentenbedrijven en betreffen gras als vanggewas na groenteteelt. De hoge NR waarden worden toegeschreven aan een hoog N-bodemoverschot van de hoofdteelt.

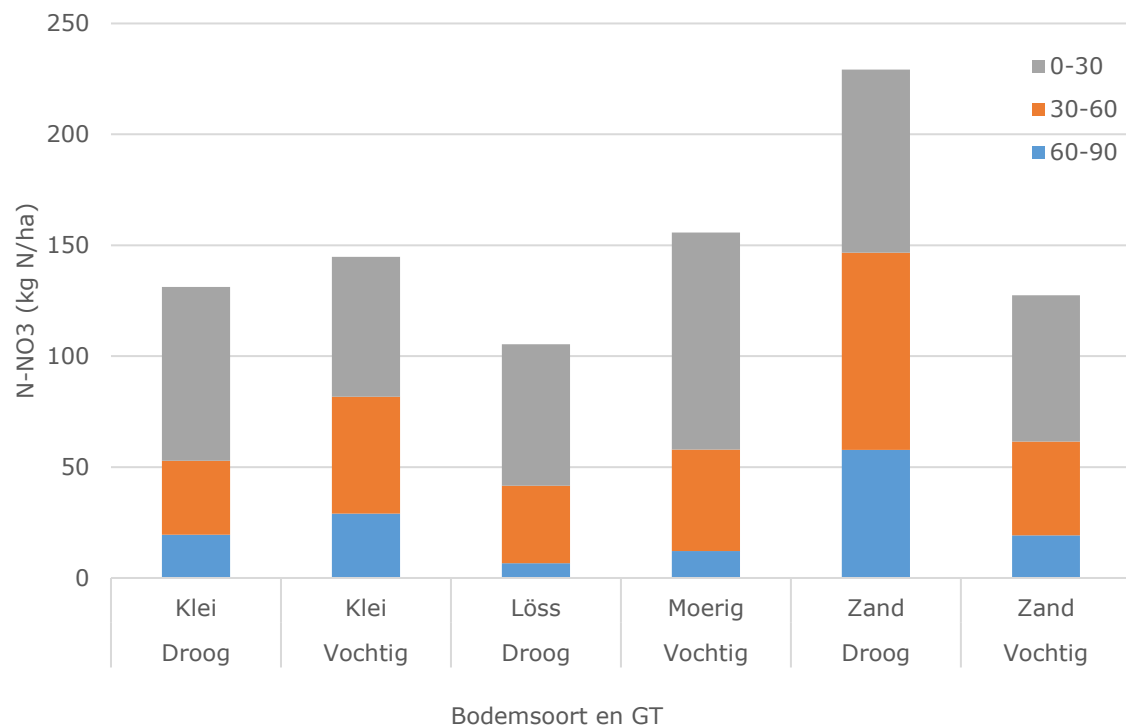
De maïspercelen vertonen hogere NR waarden dan de andere bouwlandpercelen (Figuur 6.7), maar iets lagere dan de vollegrondsgroentenpercelen (Figuur 6.8). Ook de spreiding in NR is vergelijkbaar tussen maïs en overig bouwland (excl. VGG); met name de maxima van de VGG percelen springen eruit (Figuren 6.10-6.13). Ook de pootaardappelen springen eruit met hoge NR waarden (Tabel 6.1).

In het algemeen is de spreiding in NR groot op alle gewassen. Het is daarom belangrijk nader te onderzoeken of verschillen in management deze spreiding kunnen verklaren, want dan is er perspectief om NR terug te dringen.

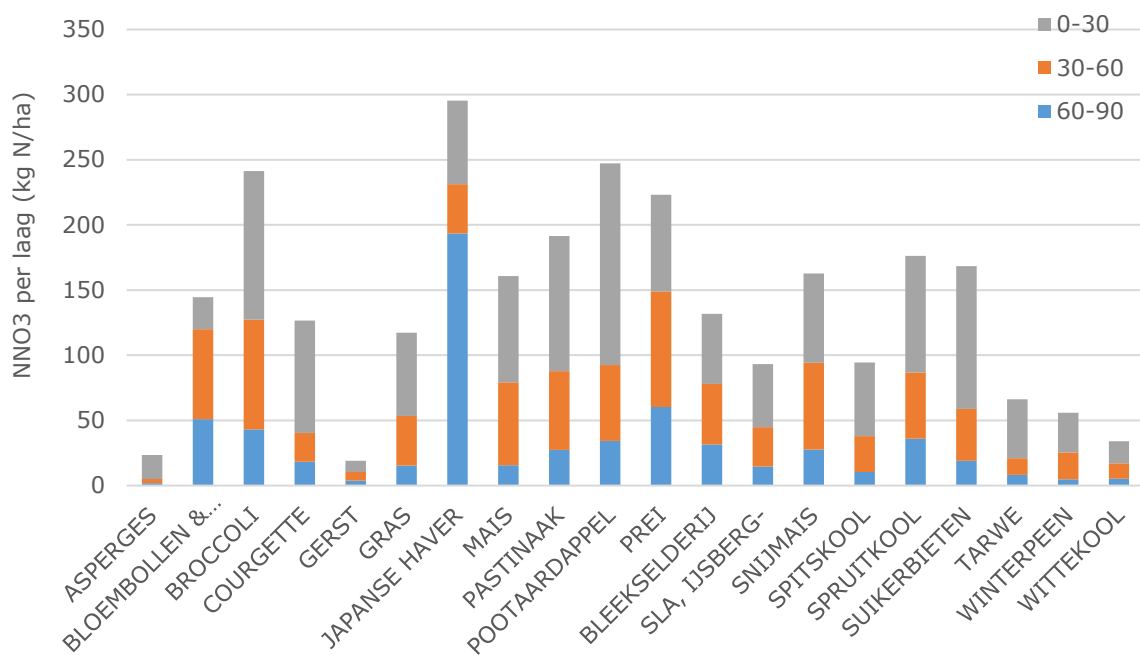
6.3.3 Verdeling NR over bodemlagen en over ammonium en nitraat

Uit de resultaten (Figuren 6.16 en 6.17) blijkt dat het grootste deel van het NR nog in de bovenste deel van het bodemprofiel aanwezig is. Dit hangt ongetwijfeld samen met het droge weerjaar, en het neerslagtekort op de monsterdatum. Deze zal als factor opgenomen worden in de statistische analyse. Op droge zandgronden is het aandeel van de laag 60-90 cm -mv in het totaal (0-90 cm) nitraatresidu groter dan voor de andere grondsoorten (Figuur 6.16). Dit kon worden verwacht vanwege de grotere uitspoelingsgevoeligheid van de droge zandgronden. Toch is ook hier (waarschijnlijk door de droogte van 2018) dat aandeel slechts 25%. Als we naar de gewassen kijken (Figuur 6.17) dan blijkt het grootste aandeel onderin (60-90) voor te komen bij de groenten, pootaardappelen en bollen, die relatief vroeg geoogst worden.

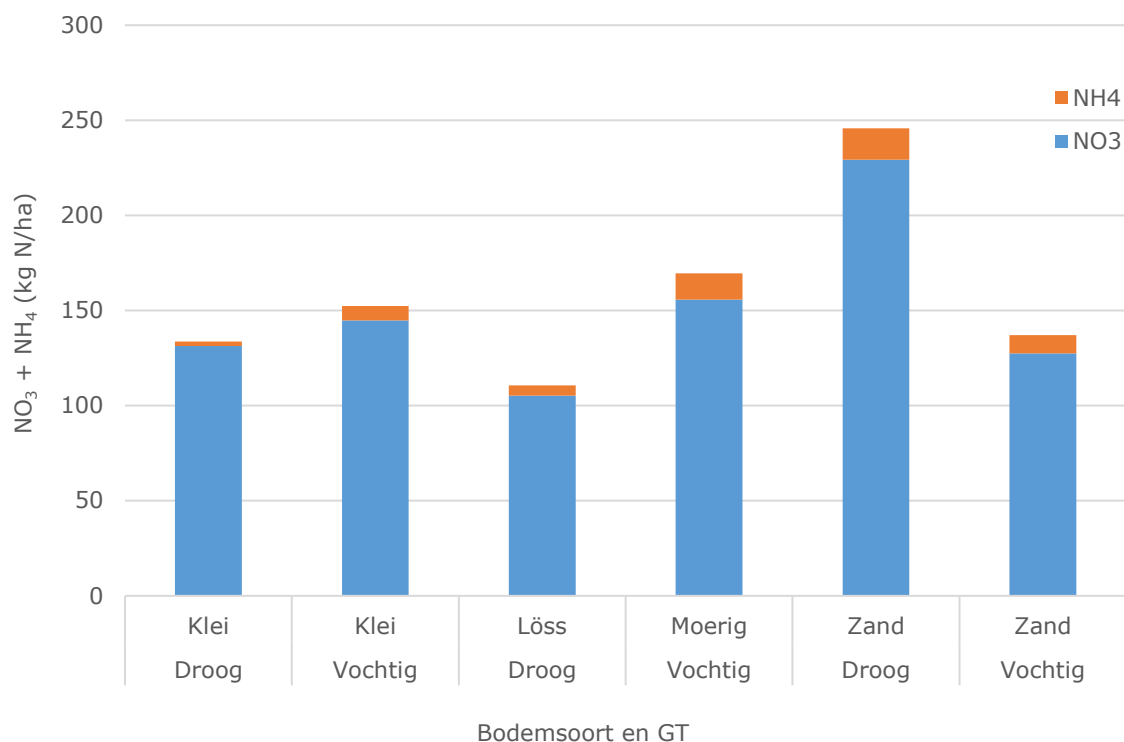
Zowel in Vlaanderen als Duitsland wordt uitsluitend beoordeeld op nitraat en niet op ammonium (Nitraatresidu, NR). In Sturen op Nitraat kwam ook het nitraatdeel als beste verklarende factor naar voren (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004). Ook in de hier gerapporteerde pilot blijkt het overgrote deel van het gemiddelde stikstofresidu te bestaan uit nitraat (Figuren 6.18 en 6.19). Er is één opvallende uitzondering, nl. het perceel rode kool (Figuur 6.19), waar het aandeel ammonium 36% bedraagt. Bij gerst is de ammoniumfractie ook hoog (43%), maar onbetekenend in absolute zin. Het overall gemiddelde van de ammoniumfractie is 7,6%, maar er komt (in de afzonderlijke percelen) een maximum aandeel voor van bijna 50% en een maximum hoeveelheid van iets meer dan 70 kg N/ha, beide onder gras op een veldpodzol. Voorgesteld wordt om hier in vervolgonderzoek aandacht aan te schenken.



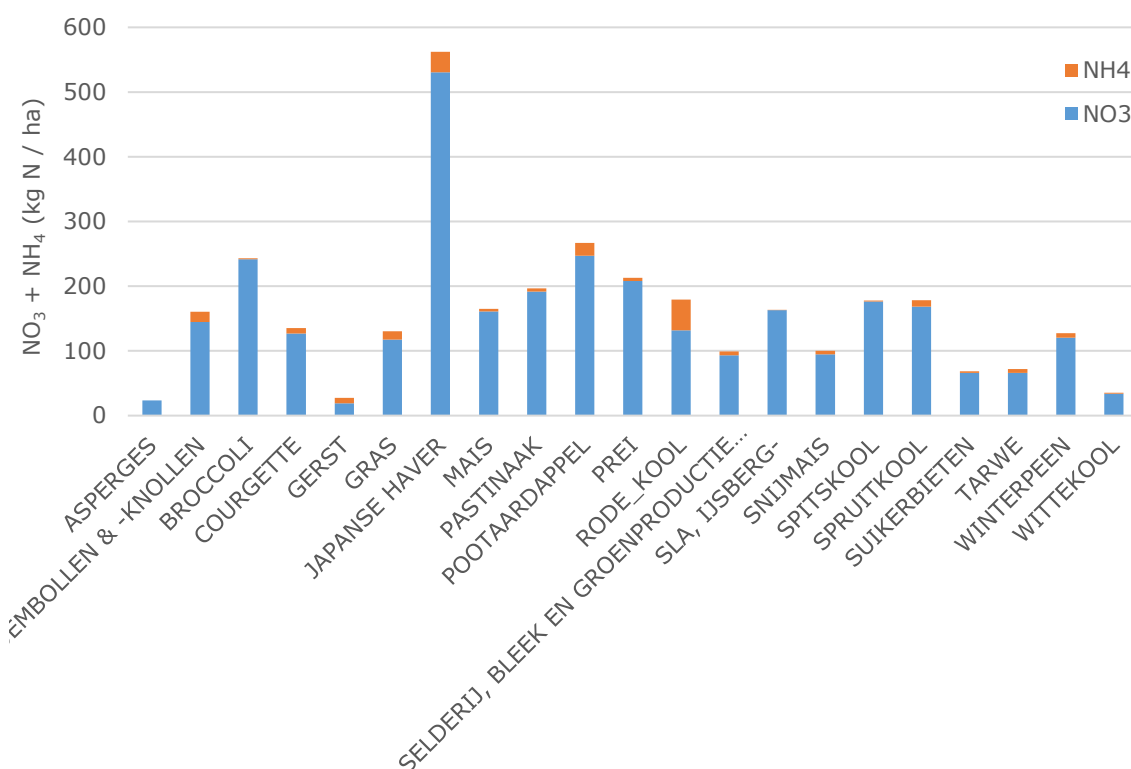
Figuur 6.16 Verdeling van het Nitraatresidu over de drie bodemlagen voor 6 combinaties van bodem en GT.



Figuur 6.17 Verdeling van het Nitraatresidu over de drie bodemlagen voor alle gewassen.



Figuur 6.18 Verdeling van het stikstofresidu over nitraat (NO₃) en ammonium (NH₄) in de laag 0-90 cm -mv.



Figuur 6.19 Verdeling van het stikstofresidu over nitraat (NO₃) en ammonium (NH₄) in de laag 0-90 cm -mv voor de gewassen in 2018.

6.3.4 Statistische analyse

Er werd een voorlopige statistische analyse uitgevoerd van de data uit Bijlage 3 om na te gaan welke factoren bepalend waren voor de aangetroffen nitraatresiduen (NR). In de definitieve analyse, die eind 2019 zal worden gerapporteerd, zullen ook de dan beschikbare nitraatconcentraties in het bovenste grondwater betrokken worden. Dan wordt onderzocht wat opname van NR in een statistisch regressiemodel bijdraagt aan de verklaarde variantie van nitraat in het grondwater; in die analyse zal ook het neerslagoverschot als mogelijke regressor worden onderzocht. Zo kan worden vastgesteld welke voorspellende waarde NR heeft – naast aanvullende grootheden – voor de nitraatconcentratie in het grondwater, in deze dataset.

Er zijn nu twee typen analyse uitgevoerd, een zogenaamde LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator; Tabel 6.2) en een ANOVA met lineaire regressieanalyse. De tabel kan als volgt gelezen worden. Als voorbeeld wordt genomen de grof ingedeelde factor grondsoort. Daar scoort Löss -5,4. Dit betekent dat op löss bij overigens gelijke omstandigheden een lagere NR werd gevonden dan op de andere grondsoorten. Het effect van moerig is +32,9, dat effect is dus sterker dan van löss en bovendien omgekeerd: bij moerige grond werd een hoger NR gevonden. Een lagere index voor löss duidt erop dat löss gemiddeld gunstiger is voor een (gewenst) lage NR, en moerige grond ongunstig. Mogelijk was het ongunstige effect van moerige grond relatief sterk in 2018 (droge en warme zomer) door verhoogde mineralisatie van aanwezige organische stikstof¹⁰. Het effect van gras in het jaar van meting (2018) is nihil, dus gemiddeld, terwijl het effect van bouwland (+41) een flinke verhoging van NR veroorzaakte. Tevens kan uit deze analyse worden geconcludeerd dat een hoger aandeel gras in de afgelopen tien jaar een hogere NR veroorzaakte, en een hoger neerslagoverschot vóór de meting juist een lagere NR. Dit stemt overeen met de verwachting: onder grasland wordt mineraliseerbare organische stof opgebouwd; en een hoger neerslagoverschot in de periode vóór de NR meting veroorzaakt uitspoeling of denitrificatie, waardoor NR afneemt.

Tabel 6.2 Resultaat van de LASSO analyse (data in Bijlage 3) naar het effect van een aantal factoren op NR. Een hoge positieve index betekent meer positieve invloed (hogere NR). Een lage negatieve index meer negatieve invloed (lagere NR), (Tussen haakjes het aantal klassen van de betreffende factor).

Bij grove indeling

Invloedsfactoren	Index
Intercept	139.4
Löss (vier grondsoorten)	-5.4
Moerig (vier grondsoorten)	32.9
Bouwland (versus gras)	41.0
Gras (versus bouwland)	0.0
Aantal jaren Gras in 2009-2017 (9)	3.6
Neerslagoverschot in periode voor meting (mm)	-1.5

Bij meer gedetailleerde indeling

Invloedsfactoren	Index
Intercept	157.4
KEILEEM (negen grondsoorten)	-4.2
MOERIG (negen grondsoorten)	17.9
GT Vb/IIIb (14 Gt klassen)	98.9
GT VI/Vb (14 Gt klassen)	0.5
GT VII (14 Gt klassen)	9.0
MAÏS (21 Gewassen in 2018)	34.2
SUIKERBIETEN (21 Gewassen in 2018)	-10.1
Neerslagoverschot voor meting (mm)	-1.2

¹⁰ Dit effect moet niet worden verward met het effect van grondsoort op de uitspoelfractie. Die fractie is juist kleiner op moerige gronden (zie De Ruijter *et al.*, 2007).

Het valt op dat Gt geen invloed geeft gehad in de grove indeling (2 klassen droog en nat), maar wel bij de gedetailleerde indeling (Tabel 6.2), hoewel dat beperkt blijft tot een positief effect bij Gt VII (hogere NR waarde). Deze verhoging bij Gt VII is voorstelbaar omdat dergelijke gronden droogtegevoelig zijn waardoor een hoger bodemoverschot mag worden verwacht. De positieve effecten bij de twee andere Gt klassen vragen nadere analyse. De effecten van de gewassen maïs en suikerbieten zijn zoals verwacht: maïs is een relatief ondiep en suikerbieten een relatief diep wortelend gewas met respectievelijk een ongunstig en een gunstig effect op de stikstofbenutting. Het effect van moerige grond is ook bij de gedetailleerde indeling positief. Het negatieve effect van keileem vergt nadere analyse.

Uit de lineaire regressieanalyse bleek dat er een significante interactie bestaat tussen bodem en Gt, zowel bij de grove als de gedetailleerde indeling, maar niet tussen bodem en gewas in 2018. Als ook naar de interacties tussen bodem, gewas en grondwater wordt gekeken blijkt vooral de interactie tussen bodem en Gt belangrijk met gewas als hoofdeffect. In de analyse met de meer gedetailleerde variabelen is bovendien de interactie tussen bodem en gewas nog relevant.

In een lineair regressiemodel op basis van bodem, neerslagoverschot vóór meting en vochtgehalte van het bodemonmonster blijkt vochtgehalte minder belangrijk en is het beste model gebaseerd op de interactie tussen grondsoort en neerslagoverschot.

Samenvattend blijken de factoren bodem, Gt, gewas en in mindere mate het aantal jaren gras in de rotatie en het neerslagoverschot (al dan niet met interacties) relevant voor een goed lineair regressiemodel voor NR.

6.4 Pilot Nmin najaar 2018 op melkveebedrijven in Noord Limburg

Door het NMI werd in het najaar van 2018 een pilot uitgevoerd bij melkveebedrijven in Noord Limburg (Bijlage 4). De studie maakte geen deel uit van project Nitraatwijzer, maar de resultaten werden wel beschikbaar gesteld ten behoeve van Nitraatwijzer. Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in Tabel 6.3.

Bedrijven 3, 4 en 9 vallen op door hoge Nmin waarden op de maïspercelen. In elk van deze gevallen was sprake van te ruime bemesting. Op bedrijf 4 werd maïs gezaaid op een gescheurd rogge-perceel. De hoge Nmin waarden laten zien dat deze indicator, in elk geval in deze case study, geschikt is om excessen in de bemestingspraktijk op te sporen. De overschrijdingen van het bemestingsadvies bedroegen resp. 108, 139 en 144 kg werkzame N per ha, op de betreffende maïspercelen in bedrijven 3, 4 en 9.

Tabel 6.3 Hoeveelheid minerale N (Nmin, kg/ha; nitraat-N plus ammonium-N) in de laag 0-90 cm -mv op drie tijdstippen in het najaar van 2018, voor 10 percelen op 9 melkveebedrijven in Noord Limburg.

Bedrijf	Gewas	10-okt	6-nov	12-dec
1	Maïs	34	59	62
2	Gras	38	46	52
3	Maïs	351	270	269
4	Maïs	198	241	233
5	Gras	43	43	49
6	Voederbiet	33	36	44
7	Gras	26	17	77
8	Maïs	48	33	26
9	Gras	59	41	30
9	Maïs	129	108	94

7 Gebruik van sensoren en snelle meetmethoden

Een bezwaar van het meten van nitraat in het bovenste grondwater als indicator voor nitraatuitspoeling is de kostprijs. Dat is een belangrijke reden waarom naar alternatieve indicatoren (zoals NR) voor nitraatuitspoeling wordt gezocht. Wanneer echter het direct en eventueel continu meten van nitraat in het grondwater (of diepere bodemvocht) door innovatie veel goedkoper kan worden uitgevoerd, dan komt gemeten nitraatconcentratie opnieuw in beeld als aantrekkelijke indicator, óók op perceelsniveau.

Het continu meten met behulp van sensoren kan tegemoet komen aan het bezwaar van de temporele variabiliteit van de nitraatconcentratie. Bij verlaagde kostprijs wordt tevens het probleem van de hoge ruimtelijke variabiliteit (ook binnen een perceel) opgelost, indien bemonstering op een groot aantal plekken binnen het perceel mogelijk wordt. Om deze redenen werd in het kader van *Nitraatwijzer* een deelstudie uitgevoerd om het perspectief voor snellere meetmethoden van nitraat in de nabije toekomst te verkennen (Bijlage 5).

Uit deze deelstudie komt geen eenvoudige, praktisch toepasbare methode naar voren waarmee op korte termijn voortgang kan worden geboekt. De auteurs van de deelstudie raden een gecombineerde aanpak met drievoudige metingen aan, met als basis NR, ondersteund met nitraatmetingen in het grondwater en een klein aantal continue metingen van nitraat om de temporele variabiliteit te ondervangen. Voor continue nitraatmetingen achten de auteurs optische UV nitraatsensoren het meest kansrijk. Deze zijn ook geschikt te maken voor afzonderlijke metingen, maar er zijn daarnaast voldoende goedkope technieken aanwezig om nitraat direct in het veld of in het lab te meten. De ruimtelijke variatie binnen een perceel zou kunnen worden ondervangen door gebruik te maken van een speciaal daarvoor aangelegde horizontale bemonsteringsdrainbuis.

Wij beoordelen, evenals de auteurs van de deelstudie, een dergelijke aanpak als interessant voor verder onderzoek; maar wij zien hierin nog geen methode die op korte termijn op praktijkbedrijven, bijvoorbeeld in een vervolgfase van *Nitraatwijzer*, zou kunnen worden toegepast.

Bij het beoordelen van innovatieve methoden voor nitraatmeting moet worden bedacht dat de hoge kosten van de huidige meetmethode - als toegepast in LMM - vooral bepaald worden door de moeite bij het verkrijgen van een representatief grondwatermonster. De meting zelf is daarbij relatief goedkoop. Als gevolg van de hoge ruimtelijke variabiliteit van nitraat moet een groot aantal monsters per perceel of per bedrijf genomen worden, om een betrouwbaar perceelsgemiddelde resp. bedrijfsgemiddelde nitraatwaarde vast te stellen (tenzij drainwater kan worden bemonsterd). Innovatie in de meettechniek voor de nitraatmeting zelf verandert daar niets aan. Ook dan zijn immers boringen volgens zeker protocol nodig om het grondwater te bereiken zonder dit te verontreinigen en een representatief (juiste dikte van de waterlaag) watermonster te nemen. Overigens is Nederland op dit punt vrij uniek, omdat vrijwel overal het grondwater binnen bereik is, wat niet weg neemt dat het kostbaar is om op veel plekken per perceel naar grondwater te boren.

Voor een echte sprong voorwaarts is een prikstok nodig die tot in het grondwater kan worden gedrukt om ter plaatse nitraat te meten, zoals de EC prikstok die al wordt gebruikt voor het meten van zoutgehalten (Van Wirdum, 2004). Gerard Ros (persoonlijke communicatie, 6 juni 2019) verwijst naar technieken die dit op termijn mogelijk binnen bereik brengen, zoals bijvoorbeeld een gecoat glasvezelkabel waarmee nitraat gemeten kan worden, ontwikkeld door TNO en momenteel ook binnen WUR gebruikt in oriënterend onderzoek in het kader van precisielandbouw. Mogelijk biedt Publiek Private Samenwerking perspectief voor verdere ontwikkeling van een dergelijke sonde.

8 Conclusies en aanbevelingen

Indicatoren: relatie met nitraatuitspoelingsrisico

Er zijn weinig studies voorhanden om de verschillende indicatoren voor het nitraatuitspoelingsrisico (zoals N-aanvoer, werkzame N-aanvoer, N-bodemoverschot, en 'werkzame-N bodemoverschot') rechtstreeks met elkaar te kunnen vergelijken met betrekking tot hun nauwkeurigheid als schatter voor de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater ($[\text{NO}_3]$, mg NO_3/l) in het opvolgend jaar. Niettemin komt uit het verzameld materiaal naar voren dat het nitraatresidu (NR, kg N/ha) in 0-90 cm -mv in het najaar een (veel) beter verband vertoont met $[\text{NO}_3]$ dan enige andere indicator. Nmin (de som van nitraat en ammonium in 0-90 cm -mv) is een iets minder goede indicator dan NR.

Voorspellingen van $[\text{NO}_3]$ bij zekere indicatorwaarde zijn met een grote onzekerheid omgeven. Deze ligt steeds in de orde van tientallen mg/l. Dat geldt voor de verwachte waarde van $[\text{NO}_3]$ voor een klasse (onzekerheid van het model) en in nog sterkere mate voor de $[\text{NO}_3]$ waarde van het individueel object (perceel of bedrijf) waar de indicator gemeten werd. Dit geldt voor alle indicatoren. Onze verwachting is dat verder onderzoek deze bandbreedte weliswaar zal kunnen verkleinen, maar dat die toch in de orde van enkele tientallen mg/l zal blijven.

Uit Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) bleek een duidelijk en significant verband te bestaan tussen NR en $[\text{NO}_3]$ in alle bestudeerde combinaties van bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep (de zgn. clusters; zie Hoofdstuk 2). De verbanden zijn niet erg sterk, met fracties verklaarde variantie (op proefplekniveau) in de orde van 35 tot 50% (akker- en tuinbouw), 20 tot 26% (grasland) en 22 tot 27% (maïs). De standaardfout van de modellen (Sd) op meetplek-niveau bedraagt 55 tot 60 (akker- en tuinbouw), 48 tot 50 (grasland) en 61 tot 66 (maïs) mg NO_3/l . Deze waarden hebben betrekking op de gehele range van getoetste en 'best bevonden' modellen, dus inclusief modellen waarin naast NR en cluster (bodem, gewas, Gt) nog extra verklarende variabelen opgenomen waren, zoals het neerslagoverschot of bodemeigenschappen. Werden de modellen opgeschaald naar cluster- of bedrijfsniveau, bij een bemonstering van 40 meetpunten per cluster, dan bleek de verwachte $[\text{NO}_3]$ waarde voor een bedrijf bestaande uit één cluster een betrouwbaarheidsinterval ($2 \cdot \text{se}$) te hebben van circa ± 40 mg/l (akkerbouwgewassen, Gewasgroep a+b+r) of ± 50 mg/l (Gewasgroep t). Is de voorspelde $[\text{NO}_3]$ waarde dus 60 mg/l, dan ligt de werkelijke waarde (voor betreffende cluster of bedrijf) met 95% zekerheid tussen 20 en 100 mg/l (Gewasgroep a+b+t).

Toepassing van NR als indicator voor het uitspoelingsrisico vereist in alle gevallen ten minste onderscheid naar bodem, grondwater en gewas, er is niet één relatie die geldt voor alle situaties (clusters). In Sturen op Nitraat werd op basis van de beste modellen met NR de voorspelde nitraatconcentratie voor ieder cluster vastgesteld bij een NR waarde van 30 kg/ha, met bijbehorende standaardfout. De voorspelde waarde van $[\text{NO}_3]$ op diep ontwaterde gronden (GHG-groep 3) lag – afhankelijk van Bodemgroep – tussen 50 en 84 mg/l in de akkerbouwgewassen (gewasgroep 'a+b+r'), en tussen 116 en 150 mg/l voor gewasgroep 't'. Bij grasland lag de voorspelde $[\text{NO}_3]$ voor deze GHG-groep tussen 48 en 56 mg/l, en bij maïs tussen 83 en 89 mg/l. Deze waarden kunnen na verloop van jaren, onder een aangepast beheer, veranderen.

Ondanks dat NR als beste indicator naar voren kwam is de voorspelfout dus groot. In Sturen op Nitraat werd echter geen uitvoerig onderzoek op perceelsniveau gedaan. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen in hoeverre de onzekerheid in voorspelde $[\text{NO}_3]$ gereduceerd wordt indien gewerkt wordt met relaties op basis van perceelsgemiddelde NR en $[\text{NO}_3]$, in plaats van relaties op basis van proefplekken (20 m²), zoals in Sturen op Nitraat.

Machine Learning (ML) is een techniek die vooral meerwaarde heeft bij (zeer) grote datasets met lokaal-specifieke factoren en niet-lineaire verbanden. Toegepast op de beperkte dataset uit Sturen op Nitraat (in totaal circa 1400 records; op meetplek-niveau) gaf ML bij strenge validatiecriteria geen hogere verklaarde variantie in $[\text{NO}_3]$ dan regressie-analyse, circa 20% à 25%. Dit heeft betrekking op toetsing waarbij in de validatie-set geen bedrijven zitten die ook al in de trainingsset voorkwamen. Kruisvalidatie op twee meetseizoenen, waarbij eenzelfde bedrijf wel in trainings- en validatieset mag voorkomen, leverde een veel hoger percentage verklaarde variantie, circa 44%. Betreffende NMI onderzochters oordeelden dat dergelijke aanpak (gebruik van bedrijfsspecifieke informatie bij voorspelling voor een nieuw seizoen) bij toepassing in de praktijk geen groot probleem vormt.

Daarmee biedt ML bij grote datasets een realistisch perspectief om de voorspelbaarheid van [NO₃] uit lokale factoren te vergroten. Mocht regressie-analyse onvoldoende resultaat bieden in eventueel vervolgonderzoek in het kader van project Nitraatwijzer, dan verdient het aanbeveling om de meerwaarde van alternatieve methoden zoals ML verder te onderzoeken en daarbij extra lokaal-specifieke factoren te betrekken. Mede daarom is registratie van de coördinaten van de proefpercelen in vervolgonderzoek van belang.

Indicatoren: respons op maatregelen en locatie-factoren

Factoren en maatregelen die niet of nauwelijks tot uitdrukking komen in het N-bodemoverschot¹¹ maar wel in NR en in [NO₃] zijn o.a. het scheuren van grasland, uitrijperiodes van dierlijke mest, beweidingsintensiteit, het gebruik van vanggewassen, grondbewerking, de aard van de meststof (langzaam of snelwerkend), het N leverend vermogen van de grond (jaarlijkse N mineralisatie), het toedieningsregime van de meststof (timing en grootte van N deelgiften) en de verdeling van de stikstofgebruiksruimte binnen het bedrijf. Beperkende maatregelen in Vlaanderen en Baden-Württemberg zijn in belangrijke mate op juist deze factoren gericht.

Omdat NR reageert op deze factoren en maatregelen, de responstijd van NR kort is en NR eenvoudig op perceelsniveau gemeten kan worden, is NR een geschikte indicator voor feedback aan de teler. Deze kan daarmee de noodzaak van aanpassingen in N beheer vaststellen, evenals de doelmatigheid daarvan om het uitspoelingsrisico te verlagen. De respons van [NO₃] op maatregelen is trager dan die van NR, omdat [NO₃] de resultante kan zijn van uitspoeling uit meerdere seizoenen.

Indicatoren: kosten

De nitraatconcentratie in het bovenste grondwater [NO₃] is zelf uiteraard ook een indicator voor het uitspoelingsrisico. Bepaling van deze indicator kost in de orde van €1000 tot €2000 per perceel (bij resp. 5 of 10 meetpunten/perceel voor een betrouwbare schatting van het perceelsgemiddelde); dit is 15 à 40 keer duurder dan perceelsgemiddelde NR bepaling.

Wegens de hoge kosten is directe meting van [NO₃] ongeschikt om gemiddelden op perceels- of bedrijfsniveau vast te stellen. Ook bij de [NO₃] monitoring in LMM wordt het aantal meetpunten per bedrijf onvoldoende geacht om bedrijfsgemiddelde [NO₃] waarden voldoende nauwkeurig te bepalen. Het percentage bedrijven dat een zekere waarde overschrijdt kan wel voldoende nauwkeurig worden gerapporteerd (B. Fraters, persoonlijke communicatie, 12 juni 2019). Het LMM is bedoeld om het mestbeleid (Nitraatrichtlijn) te evalueren op het niveau van bedrijfscategorieën per grondsoortregio.

Jaarlijks wordt circa €420.000 door de Vlaamse overheid besteed aan het verzamelen en analyseren van monsters uit ongeveer 7.500 eenheden (een eenheid is een perceel of deel van perceel), bij een bedrag van ca €55 per bemonsterde eenheid; voor dit bedrag wordt het nitraatresidu in drie lagen afzonderlijk bepaald (resp. 0-30, 30-60, en 60-90 cm diep). Daarnaast worden jaarlijkse circa 17.500 eenheden bemonsterd ten laste van de telers, nl. ten gevolge van eerdere overschrijdingen van wettelijke NR drempelwaarden, of omdat het bedrijf gelegen is in een focusgebied.

In Baden-Württemberg kostte het SchALVO systeem circa 22 M€ aan compensatie-betalingen (door consument aan landbouwer, via heffing op drinkwaterprijs) en ca 7 M€ aan voorlichting en monitoring (schatting 2013, niet geactualiseerd). Circa 17.000 percelen worden jaarlijks bemonsterd.

Bruikbaarheid van NR bij handhaving van mestbeleid

Het nitraatresidu (NR) wordt zowel in Vlaanderen als Baden-Württemberg als indicator gebruikt en is in beide regio's ingekaderd in een veelomvattend systeem van maatregelen. NR wordt in Vlaanderen gebruikt in het kader van de handhaving van generiek beleid. Bij overschrijding van de wettelijk vastgelegde NR drempelwaarden worden aan de teler beperkende maatregelen opgelegd, maar geen geldboetes. Wel komen de kosten van NR bepaling in navolgende jaren (na overschrijding) ten laste van de teler en volgen boetes bij het nalaten van verplichte bemonstering. NR wordt daar door de agro-sector gezien als te onzeker en als te afhankelijk van niet-stuurbare factoren, om geldelijke boetes op te baseren.

In Baden-Württemberg wordt NR gebruikt in aanvulling op generiek beleid en alleen in waterwingebieden. De NR meting dient daar veeleer om vast te stellen of een a priori voorgeschreven

¹¹ Tenzij een aantal moeilijk te kwantificeren correcties worden aangebracht; zie onderschrift bij Fig. 3.1.

beheer naar behoren door de teler werd uitgevoerd en de gepaste vergoeding toegekend kan worden. Bij overschrijding volgen geen andere maatregelen dan het inhouden van de vergoeding. Het budget voor de vergoedingen wordt door de drinkwater-consument bijeengebracht via een heffing op de waterprijs. De drempelwaarde voor NR ligt hier op circa de helft van die in Vlaanderen waardoor er een groter risico op opbrengstderving is.

Genoemde aanpak heeft in deze regio's geleid tot daling van zowel NR als van de nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater (Vlaanderen) en waterwinputten (Baden-Württemberg). In Baden-Württemberg nam tevens het aantal 'saneringsgebieden' af (wingebieden met hoge of sterk stijgende nitraatconcentratie). In geen van beide regio's wordt een kwantitatieve relatie tussen NR en [NO₃] gebruikt in de handhaving; handhaving gebeurt rechtstreeks op basis van drempelwaarden voor NR.

Vanuit de praktijk wordt gepleit voor een bedrijfsspecifieke indicator omdat die meer ruimte van handelen geeft aan bedrijven in minder uitspoelingsgevoelige situaties. Een indicator die in de procesketen 'dicht bij' de doelgrootheid (nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater) staat, lijkt voor deze toepassing het meest geschikt. Het doelvoorschrift zou dan in de plaats komen van middelvoorschriften ('wat mag/moet een teler wel/niet doen'). In de praktijk van Vlaanderen en Baden-Württemberg heeft de aanpak op basis van NR echter geleid tot complexe regelgeving, inclusief een groot aantal middelvoorschriften. Deze worden ingezet afhankelijk van de mate en frequentie van overschrijding van drempelwaarden voor NR. In risicogebieden, waar NR drempelwaarden vaak overschreden worden, is van vrijheid van handelen geen sprake.

De klankbordgroep gaf de optie in overweging om een relatief lage gebruiksnorm te combineren met een voorwaardelijke toeslag daarop die wordt toegekend mits NR beneden een bepaalde grens blijft. De teler dient dan aan te tonen dat hij/zij aan die voorwaarde voldoet. In een dergelijke toepassing is het wel nodig om de lokale geldende relatie tussen NR en [NO₃] te kennen. Ter relativisering van een dergelijke aanpak wordt hier vermeld dat over heel Vlaanderen in 2017 slechts 17 landbouwers op basis van meerjarige NR waarden een verruiming van de gebruiksnorm aanvroegen, waarvan er 11 werden toegekend.

In Vlaanderen wordt, in het voordeel van de teler, een grote marge in NR gehanteerd bij het opleggen van beperkende maatregelen. De marge is het verschil tussen twee drempelwaarden, resp. DW1 en DW2 en is gebaseerd op de onzekerheid in de perceelsgemiddelde NR. De onzekerheid in de NR --> [NO₃] relatie - ten gevolge van jaarvariatie en andere omgevingsfactoren - is daarbij nog niet verdisconteerd. Daar staat tegenover dat reeds DW1 (veel) hoger is ingesteld dan de NR waarde waarbij - in risicogebieden - [NO₃] de grens van 50 mg/l wordt bereikt. In Vlaanderen (meetjaar 2016) werd DW2 overschreden op slechts 4% van de bemonsterde percelen. Echter op 18% van de bemonsterde aardappelpercelen (alle grondsoorten) werd DW2 overschreden.

De grote bandbreedte in voorspelde [NO₃] waarde bij een bepaalde (gemeten) NR waarde kan genoemd worden als reden waarom handhaving op basis van NR geen goed idee is. De grote bandbreedte vormt ontegenzeggelijk een probleem. Analogie: een automobilist zou pas een bekeuring krijgen wanneer hij sneller dan 100 km/u rijdt in de bebouwde kom waar slechts 50 km/u is toegestaan. Tegenover dit argument kan worden gesteld dat sommige bestuurders 200 km/u rijden. Duidelijk verkeerd N-management op perceelniveau (zeer hoge NR score; zie pilots Hoofdstuk 6) komt bij handhaving met NR in elk geval wel in beeld. Bovendien heeft het huidige handhavingsbeleid in Nederland geen indicator ter beschikking die wel met grote zekerheid ernstige lokale overschrijding van de nitraatnorm aanwijst. De huidige registratie van aan- en afvoerstromen op bedrijfsniveau in Nederland, het daaruit berekend meststoffengebruik, en zeker de daarbij behorende [NO₃] waarde zijn eveneens met zeer grote marges omgeven, nog afgezien van mogelijk onjuiste registratie door het bedrijf, en afwijkingen op perceelsniveau. Op perceelsniveau is nu zelfs helemaal geen handhaving mogelijk, bij gebrek aan een indicator. Een melkveehouder is vrij om alle mest binnen zijn gebruiksruimte op een paar percelen te concentreren, waardoor lokaal beduidend meer nitraat kan uitspoelen dan volgens de onderbouwing van het huidige mestbeleid. Hetzelfde geldt voor de akkerbouwer die gebruiksruimte verplaatst van graangewassen naar aardappelen of groenten.

Samenvattend: ondanks de grote jaarvariatie in NR en bronnen van onzekerheid in de vertaling van NR naar [NO₃] achten wij NR geschikt voor handhaving op perceelsniveau, mits gecombineerd met een ruime onzekerheidsmarge. NR is dan als handhavingsinstrument alleen geschikt om excessief meststoffengebruik op te sporen. Een andere perceelsgerichte indicator daartoe heeft het Nederlandse stelsel momenteel niet. In deze toepassing (handhaving) is het wenselijk de relatie tussen NR en

[NO₃] te kennen voor clusters (bodem-gewas-Gt combinatie) met een hoog uitspoelingsrisico, om zo het draagvlak voor NR als indicator te vergroten.

Bruikbaarheid van NR bij monitoring en rapportage over effecten van mestbeleid

Nederland rapporteert, in het kader van de Nitraatrichtlijn, de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (zandgrond), in drainwater (kleigrond) en in hangwater (lössgrond), omdat dit water snel reageert op veranderingen in beleid. Hierbij gaat het om de trend ('heeft het mestbeleid effect?'). Hiertoe dient het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). Dit is in de rapportage verwoord als: "*Veranderingen in de landbouwpraktijk werken het snelst door in het water dat uitspoelt uit de wortelzone van een landbouwperceel (uitspoelingswater). Daarom heeft de Nederlandse overheid besloten de effecten van de actieprogramma's te monitoren in de bovenste meter van het grondwater, in het drainwater of in bodemvocht van lagen juist onder de wortelzone van het landbouwperceel*" (Fraters et al., 2016). Daarnaast wordt de kwaliteit van het diepere grondwater en verschillende oppervlaktewateren gerapporteerd. De nadruk ligt hier vooral op de toestand in relatie tot de 50 mg/l nitraatnorm.

Hoewel ook NR een indicator is die trends ten gevolge van maatregelen snel inzichtelijk maakt, wordt invoering van deze indicator voor het doel van monitoring en rapportage over de effectiviteit van het generiek mestbeleid hier niet aanbevolen. Inmiddels zijn reeds lange tijdreeksen van [NO₃] in LMM opgebouwd; een trendbreuk is daarbij niet wenselijk. Bovendien zou de vertaling van NR naar de doelvariabele [NO₃] behept zijn met grote onzekerheid (bandbreedte), ook wanneer daartoe sterk (naar invloedsfactoren) gedifferentieerde relaties zouden worden ontwikkeld. NR zou echter voor veel andere landen – met veel dieper grondwater – juist wel een goede indicator bij rapportage kunnen zijn.

Bruikbaarheid van NR voor sturing en bewustwording (bijvoorbeeld in gebiedsgericht beleid)

NR is in de eerste plaats een indicator die feedback geeft over het landbouwkundig handelen (bewustwording), doordat NR snel beschikbaar is na het groeiseizoen en op perceelsniveau eenvoudig en relatief goedkoop meetbaar is. Ondanks de grote jaarvariatie is NR voor de teler de meest geschikte indicator om zijn/haar N management in relatie tot het nitraatuitspoelingsrisico te beoordelen. In eerdergenoemde analogie van de automobilist in de bebouwde kom: met NR heeft de bestuurder tenminste een eigen snelheidsmeter en wéét die wanneer zijn/haar snelheid met zekerheid hoger ligt dan 50 km/u. NR is ook de meest geschikte indicator om (meerjaren-) trends in het uitspoelingsrisico op perceelsniveau vast te stellen. NR heeft tevens als voordeel dat hiermee gemakkelijk een 'lerend systeem' ontstaat, waarbij aanscherping van maatregelen alleen daar plaats vindt waar dat nodig is gebleken. Aanscherping kan gaandeweg plaatsvinden zolang het doel van voldoende lage [NO₃] in het grond- en oppervlaktewater in de regio niet is bereikt.

Voor deze toepassingen van NR (feedback aan teler; zelf-evaluatie ten opzichte van groep; vaststellen van trends; lerend systeem) hoeft de relatie met [NO₃] in grond- of oppervlaktewater niet precies bekend te zijn, en is dan ook geen aanvullend onderzoek nodig. Niettemin gaven leden van de klankbordgroep bij *Nitraatwijzer* aan dat het ook in deze toepassing van NR gewenst is om de relatie met [NO₃] te kennen, ter 'legitimatie' van de indicator.

Het verdient aanbeveling om NR als indicator te introduceren in beleid gericht op probleemgebieden en deze aanvullend te gebruiken naast het N-bodemoverschot (KLW), kaartinformatie over gewas, bodem en grondwater (BRP, GIS), en nitraatmonitoring. Door het goed afgestemd combineren van deze indicatoren kunnen de kosten van monitoring worden beperkt. Er kan worden gefocust op risicopercelen op basis van administratieve data (KLW) en kaartinformatie, waar het risico vervolgens met NR kan worden geverifieerd. Tegelijk kunnen regionale trends in nitraatconcentratie worden vastgesteld met een gestratificeerde nitraatmonitoring op gebiedsniveau waarvoor aanzienlijk minder nitraatmeetpunten noodzakelijk zijn, en kan met NR de doelmatigheid van maatregelen op perceelsniveau worden bepaald.

Perspectief voor verdere benutting van LMM database

Het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) vormt de grondslag in Nederland voor het vaststellen van de relatie tussen het N-bodemoverschot en de nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater. Uit gegevens verzameld in dit meetnet op 350 tot 400 landbouwbedrijven wordt de uitspoelfractie berekend, deze geeft aan welk deel van het N-bodemoverschot wordt teruggevonden (in het

opvolgend seizoen) als nitraat in grondwater. Deze fractie, op zijn beurt, vormt een bouwsteen bij het opstellen van stikstofgebruiksnormen. Naast deze (huidige) toepassing zou het LMM echter verder benut kunnen worden om de relatie tussen het N-bodemoverschot en nitraatuitspoeling te verbeteren, gebruikmakend van data op gewasniveau (geregistreerde Nitrachek waarden per meetpunt). Daarbij kunnen geregistreerde managementfactoren in de analyse worden betrokken, die wel invloed hebben op nitraat maar niet, of slechts ten dele, op het N-bodemoverschot. Zo kan de uitspoelfractie mogelijk verder gedifferentieerd worden naar gewas, en kan de invloed van management- en omgevingsfactoren op deze fractie worden onderzocht.

Her-analyse van de LMM dataset inclusief vijf nieuwe LMM meetjaren op basis van de tot dusver gevolgde methode leverde slechts een kleine aanpassing aan de uitspoelfracties op. Wel kon door de langere meetreeks nu ook voor de lössgronden een eigen uitspoelfractie worden vastgesteld. Deze ligt voor bouwland met 0,83 op het niveau van zandgrond met Gt VII, en voor grasland met 0,23 tussen de waarden voor Gt Vb en Gt VI. In Vlaanderen en Baden-Württemberg wordt bij het stellen van NR drempelwaarden inderdaad ook onderscheid gemaakt tussen zandgronden (meer uitspoelingsgevoelig) en lössgronden (minder uitspoelingsgevoelig).

Is het nodig de relatie tussen NR en [NO₃] te kennen?

In Vlaanderen en Baden-Württemberg, waar NR als formeel instrument wordt gebruikt, speelt de relatie tussen NR en [NO₃] geen directe rol. Weliswaar werd deze relatie in Vlaanderen voor introductie en ook nog daarna onderzocht, maar de geografisch en teeltkundig gedifferentieerde gewenste drempelwaarden werden daaruit niet overgenomen bij het vaststellen van de wettelijke drempels voor NR.

Zoals hierboven gesteld is precieze informatie over de NR-[NO₃] relatie, in afhankelijkheid van teelt en omgevingsfactoren, inderdaad niet strikt noodzakelijk waar NR in de eerste plaats toegepast wordt om de teler te informeren (feedback op maatregelen; zelf-evaluatie ten opzichte van andere bedrijven), om trends te volgen, of bij de ontwikkeling van een 'lerend systeem' in een gebiedsaanpak met aanscherping van maatregelen waar nodig. Ter illustratie wordt verwezen naar de NMI-pilot bij melkveehouders in Noord-Limburg (Paragraaf 6.4), waar op 3 van de 10 percelen excessen in N beheer werden vastgesteld op basis van NR.

Pilot Nitraatwijzer 2018-2019

In het kader van *Nitraatwijzer* werd in 2018-2019 een pilot uitgevoerd waar NR werd gemeten op 9 melkveebedrijven en 23 vollegrondsgroentenbedrijven in Nederland. De resultaten tonen aan dat NR in 2018 in het algemeen hoog lag, in de meeste gevallen hoger dan de grenswaarde van 90 kg N/ha die in Vlaanderen wordt gehanteerd; en daarmee uiteraard veel hoger dan de grenswaarde van 45 kg N/ha in Baden-Württemberg. De hoge waarden worden deels toegeschreven aan de extreem droge en warme zomer van 2018. In Vlaanderen – waar vergelijking met 'normale' jaren mogelijk is – lag NR in 2018 gemiddeld 50% hoger dan normaal (gemiddeld circa 90 kg N/ha i.p.v. 60 kg N/ha).

In de pilot is de spreiding in NR voor alle gewassen groot. Het is daarom belangrijk nader te onderzoeken of verschillen in management deze spreiding kunnen verklaren, want dan is er perspectief om NR terug te dringen.

Net als in Vlaanderen en Baden-Württemberg kunnen in Nederland gewassen en bodemtypen aangeduid worden met een relatief hoog of laag risico op nitraatuitspoeling. Met de pilot werd een basis gelegd voor de selectie van risicovolle gewas-bodem-Gt combinaties (clusters), waarop het onderzoek zich in een eventuele Fase-II zou kunnen richten. Daarbij zou een beperkt aantal clusters gedurende bijvoorbeeld vijf jaren onderzocht kunnen worden op perceelsniveau, om de relatie tussen NR en [NO₃] en de onzekerheid in die relatie per cluster vast te stellen.

Het verwachte resultaat (relaties tussen NR en [NO₃] op perceelsniveau, met bijbehorende onzekerheden) kan gebruikt worden om de overschrijdingskansen van gekozen [NO₃] doelwaarden bij gemeten perceels- of bedrijfsgemiddelde NR waarde vast te stellen.

Perspectief voor gebruik van sensoren en snelle meetmethoden

In het kader van *Nitraatwijzer* werd een verkenning uitgevoerd om het perspectief voor snellere meetmethoden van nitraat in de nabije toekomst te verkennen (Bijlage 5). Hieruit komt geen eenvoudige, praktisch toepasbare methode naar voren waarmee op korte termijn voortgang kan

worden geboekt. Een gecombineerde aanpak met drievoudige metingen wordt voorgesteld, met als basis NR, ondersteund met nitraatmetingen in het grondwater en een klein aantal continue metingen van nitraat om de temporele variabiliteit te ondervangen. De ruimtelijke variatie binnen een perceel wordt ondervangen door gebruik te maken van een daartoe aangelegde horizontale bemonsterings-drainbuis. Een dergelijke aanpak is interessant in de context van onderzoek, maar het ligt niet in de verwachting dat deze op korte termijn soelaas biedt voor toepassing in de praktijk.

Innovaties richten zich vooral op de analysemethode en minder op het bereiken van het grondwater of dieper bodemvocht. In dit verband wordt onderzoek aanbevolen, bijvoorbeeld in publiek-private samenwerking, dat wel daarop is gericht op basis van een zogenaamde prikstok die voor EC metingen in ecologisch onderzoek is ontwikkeld.

Eventueel vervolgonderzoek

Voorgesteld wordt om een eventuele vervolgfase van project Nitraatwijzer te richten op precisering van de relatie tussen NR en $[NO_3]$ op percelen die een relatief hoog nitraatuitspoelingsrisico hebben door hun combinatie van gewas, grondsoort en grondwatertrap. Door effecten van het weer en het gewas (gewasrotatie) op deze relatie is het nodig om dat onderzoek gedurende een aantal (bijvoorbeeld vijf) jaren op dezelfde percelen voort te zetten. Hiermee kan meer inzicht worden verkregen in de effecten van gewas, grondsoort, grondwatertrap, weersomstandigheden en management op $[NO_3]$, op de relatie tussen NR en $[NO_3]$, en op de onzekerheid in die relatie. Naar verwachting zal die onzekerheid weliswaar verkleind worden maar toch enkele tientallen mg/l blijven bedragen.

Experimenteel onderzoek naar NR- $[NO_3]$ relaties op perceelsniveau was tot nu toe beperkt, omdat het meten van een perceelsgemiddelde $[NO_3]$ waarde omslachtig en kostbaar is. In navolging van de klankbordgroep kan echter gesteld worden dat genoemde relaties, met hun onzekerheid, beter bekend moeten zijn om voldoende draagvlak in de praktijk te verwerven voor de inzet van de NR als indicator voor $[NO_3]$. Voorgesteld wordt om dat onderzoek uit te voeren in twee nader te bepalen uitspoelingsgevoelige regio's in samenwerking met de sectoren melkveehouderij en vollegrondsgroenteteelt (incl. aardappelteelt). Bij voorkeur wordt een vervolgfase gecombineerd met lopende projecten in het kader van DAW of de bestuursovereenkomst grondwaterbeschermingsgebieden. Zo kan voortzetting van het project Nitraatwijzer ook bijdragen aan de resultaten van betreffende projecten of programma's.

Literatuur

- Alterra, 2014. Bodemkaart van Nederland 1:50.000, versie 2014 [Computer file]. Alterra-Wageningen UR, the Netherlands.
- Anonymus, 2018. www.agrarischwaterbeheer.nl/content/boeren-voor-drinkwater
- Boels, D., 2003. Najaarsbodemnitraatvoorraad als prestatie-index voor limitering van de N-uitspoeling in Baden-Württemberg; verslag van een werkbezoek. Reeks Sturen op Nitraat 8. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 810, 366 blz.; 6 fig.; 9 tab.; 6 ref.
- Boeren voor Drinkwater, z.d. Geraadpleegd op 29 mei 2019 van www.boerenvoordrinkwater.nl/
- Boumans, L.J.M., B. Fraters & G. van Drecht, 2001. Nitrate in the upper groundwater of 'De Marke' and other farms. *Neth J Agric Sci.* 49:163–177.
- Boumans, L.J.M., B. Fraters & G. van Drecht, 2005. Nitrate leaching in agriculture to upper groundwater in the sandy regions of the Netherlands during the 1992-1995 period. *Environ Monit Assess* 102: 225-241.
- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi & G.J.W. Krajenbrink, 1989. Nitraatconcentratie en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden [Nitrate concentration and the quality of shallow groundwater of grassland in the sandy areas of the Netherlands]. RIVM report 728472013, Bilthoven, The Netherlands.
- Buczko, U. & R.O. Kuchenbuch, 2010. Environmental indicators to assess the risk of diffuse nitrogen losses from agriculture. *Environmental Management* 45(5): 1201-1222.
- Buczko, U., R.O. Kuchenbuch & B. Lennartz, 2010. Assessment of the predictive quality of simple indicator approaches for nitrate leaching from agricultural fields. *Journal of Environmental Management* 91(6): 1305-1315.
- Carey, B.M., C.F. Pitz & J.H. Harrison, 2017. Field nitrogen budgets and post-harvest soil nitrate as indicators of N leaching to groundwater in a Pacific Northwest dairy grass field. *Nutr Cycl Agroecosyst* 107:107–123.
- Deltaplan Agrarisch Waterbeheer, z.d. Slim bemesten. Geraadpleegd op 29 mei 2019, van <https://agrarischwaterbeheer.nl/content/slim-bemesten>
- De Goffau, A., G.J. Doornewaard & B. Fraters, 2010. Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. LMM-Jaarrapport 2006. LEI, onderdeel van Wageningen UR, RIVM Rapport 680717010/2010, RIVM, Bilthoven.
- De Ruijter, F.J., L.J.M. Boumans, A.L. Smit & M. van den Berg, 2007. Nitrate in upper groundwater on farms under tillage as affected by fertilizer use, soil type and groundwater table. *Nutr Cycl Agroecosyst* 77, 155-167. DOI 10.1007/s10705-006-9051-9.
- Fraters, B., A.E.J. Hooijboer, A. Vrijhoef, J. Claessens, M.C. Kotte, G.B.J. Rijs, A.I.M. Denneman, C. van Bruggen, C.H.G. Daatselaar, H.A.L. Begeman & J.N. Bosma, 2016. Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2012-2014) en trend (1992-2014), Resultaten van de monitoring voor de Nitraatrichtlijn. RIVM Rapport 2016-0076, Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0076.pdf>
- Fraters, B., H.A. Vissenberg, L.J.M. Boumans, T. de Haan & D.W. de Hoop, 1997. Resultaten Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven in het zandgebied (MKBGL-zand) 1992-1995. RIVM rapport 714801014, Bilthoven. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/714801014.pdf>
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans & J.W. Reijs, 2012. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven: Herberekening van uitspoelfracties. RIVM rapport 680716006, Bilthoven,. DOI: 10.13140/RG.2.1.2837.8649.
- Fraters, Dico, Ton van Leeuwen, Leo Boumans & Joan Reijs, 2015. Use of long-term monitoring data to derive a relationship between nitrogen surplus and nitrate leaching for grassland and arable land on well-drained sandy soils in the Netherlands. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 65:sup2, 144-154, <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.956789>.

- Fraters, Dico & Ton van Leeuwen, 2018. Actualiseren uitspoelfracties t.b.v. project 'Nitraatwijzer'. Interne Notitie MIL-BW-N-18-25, RIVM, Bilthoven.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., S.L.G.E. Burgers, A. Smit, H.F.M. ten Berge, J.J. de Gruijter, I.E., Hoving, M. Knotters, S. Radersma & G.L. Velthof, 2004. Ontwikkeling van een indicator om te Sturen op Nitraat; Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003). Reeks Sturen op Nitraat 12. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 1053, 117 blz.
- ISO/TS-14256-1: 2003. Soil quality: Determination of nitrate, nitrite and ammonium in field-moist soils by extraction with potassium chloride solution. Part 1: Manual method.
- Jenkinson, D.S. & K. Coleman, 1994. Calculating the annual input of organic matter to soil from measurements of total organic carbon and radiocarbon. In: European Journal of Soil Science 45.2, p. 167-174.
- Knotters, Martin, Dennis Walvoort, Fokke Brouwer, Lodewijk Stuyt & Joop Okx, 2018. Landsdekkende, actuele informatie over grondwatertrappen digitaal beschikbaar. H2O-Online / 28 november 2018: 1-11.
- LTA (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg), 2008. Die Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung Praktische Umsetzung im Ackerbau und auf Grünland. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Merkblatt 20, 2008. 12 pp.
- LTA (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg), 2016. SchALVO Nitratbericht; Ergebnisse der Beprobung 2016. 146 pp.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2017. Zesde Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2018 - 2021). 163 pp.
- Oenema, Jouke, Koos Verloop & Gerjan Hilhorst, 2018. De PerceelVerdeler; optimaal verdelen van de beschikbare mest op het melkveebedrijf. Koeien & Kansen, Rapportnummer 78, Wageningen Livestock Research, info@koeienenkansen.nl www.koeienenkansen.nl. Wageningen Plant Research, Rapport 676, Wageningen.
- Oenema, O., H. Kros & W. de Vries, 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. European-journal-of-agronomy. dec 2003; 20 (1-2): 3-16.
- Prins, W.H., K. Dilz & J.J. Neeteson, 1988. Current recommendations for nitrogen fertilisation within the E.E.C. in relation to nitrate leaching. Paper presented at The Fertiliser Society of London, 14 december 1988.
- Ros, G.H., 2014. Kennisbundeling nitraatmeting bodemvocht lössgronden Vergelijking meetprotocollen WML, LMM en BVM. Rapport 1559.N.14. Nutriënten Management Instituut NMI B.V., Wageningen.
- Ros, G.H. & J. de Pater, 2018. Nitraatonderzoek Limburg (2011-2017). Rapport 1753.N.18. Nutriënten Management Instituut NMI B.V., Wageningen.
- Ros, Gerard H., J. de Pater, E. Kusters, S. Crijns & F. Vaessen, 2018. Update nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg. Rapport 1731.N.18. Nutriënten Management Instituut NMI B.V. Wageningen.
- Schröder, J.J. & B. Rutgers, 2018. Kringloopwijzer akkerbouw, Rekenmodel, versie 'april 2018'. Rapport WPR-797, Wageningen Plant Research, WUR, Wageningen.
- Schröder, J.J., D. Scholefield, F. Cabral & G. Hofman, 2004. The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation. Environmental-science-and-policy. 2004; 7 (1): 15-23.
- Schröder, J.J., P. van Asperen, G.J.M. van Dongen & F.G. Wijnands, 1996. Nutriënt surpluses on integrated arable farms. Eur. J. of Agronomy 5, pp 181-191.
- Smit, A., M.J.D. Hack-ten Broeke, H.F.M. ten Berge, S.L.G.E. Burgers, W. Chardon, P.L.A. van Enckevort, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving & G.L. Velthof, 2003. Gegevensverzameling Sturen op Nitraat. Op zoek naar een indicator. Reeks Sturen op Nitraat 3. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 658, 48 blz.; 5 fig.; 7 tab.; 20 ref.
- Smit, A., S.L.G.E. Burgers, H.F.M. ten Berge, J.J. de Gruijter, M. J. D. Hack-ten Broeke, I.E. Hoving, M. Knotters, S. Radersma & G.L. Velthof, 2004. Ontwikkeling van een indicator om te Sturen op Nitraat; Toetsing van de regressiemodellen voor nitraat. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1058, 56 blz. 6 fig.; 18 tab.; 6 ref.
- Ten Berge, H.F.M., 2002. A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Reeks Sturen op Nitraat 2. Wageningen, Plant Research International, Report 2, Wageningen.

- Ten Berge, H.F.M. & S.L.G.E. Burgers, 2006. Nitraat in het bodemprofiel als responsvariabele. In: Ten Berge, H.F.M. (Red.). Enkele afrondende notities uit Sturen op Nitraat. Alterra, Reeks Sturen op Nitraat 17. Wageningen.
- Ten Berge, H.F.M. & M.J.D. Hack-ten Broeke, 2004. Eindrapportage van de milieuresultaten behaald in de Nitraatprojecten (1999-2003). Deel I. Synthese en conclusies. PRI-rapport 75A, WUR, Wageningen.
- Ten Berge, H.F.M., S.L.G.E. Burgers, H.G. van der Meer, J.J. Schröder, J.R. Van der Schoot & W. Van Dijk, 2007. Residual inorganic soil nitrogen in grass and maize on sandy soil. *Environmental Pollution* 145 (2007).
- Ten Berge, H.F.M., S.L.G.E. Burgers, M.J.D. Hack-ten Broeke, A. Smit, J.J. de Gruijter, G.L. Velthof, J.J. Schröder, J. Oenema, F.J. de Ruijter, S. Radersma, I.E. Hoving & D. Boels, 2004. Nitrogen rate, surplus or residue? Performance of selected indicators for nitrate leaching. In: D.J. Hatch, D.R. Chadwick, S.C. Jarvis, and J.A. Roker (Eds.), 2004. *Controlling nitrogen flows and losses*. IGER, North Wyke Research Station, Devon, UK. Pp. 397-405.
- Tits, M., K. van Overtveld, P. van de Vreken, D. vandervelpen, L. Peeters, O. Batelaan, J. van Orshoven, J. Vanderborght, A. Elsen, J. Bries, H. Vandendriessche, P. Kuhr, F. Wendland & J. Diels, 2010. Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm. Eindrapport fase 1, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (K.U.Leuven), de Bodemkundige Dienst van België en het Agrosphere Institute, Forschungszentrum Julich. 157 pp.
- Van Overtveld, K., M. Tits, P. van de Vreken, D. Vandervelpen, L. Peeters, O. Batelaan, J. van Orshoven, J. Vanderborght, A. Elsen, J. Bries, H. Vandendriessche, P. Kuhr, F. Wendland & J. Diels, 2011. Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm. Eindrapport fase 2 en fase 3. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (K.U.Leuven), de Bodemkundige Dienst van België en het Agrosphere Institute, Forschungszentrum Julich. 216 pp.
- Van Wirdum, G., 2004. Investigation into the direction and magnitude of water through peat at Thorne Moors, UK. TNO rapport, 2004.
- Vellinga, T.V., A.H.J. van der Putten & M. Mooij, 2001. Grassland management and nitrate leaching, a model approach. *Neth. J. Agr. Sc.* 49: 229-253.
- Verloop, Koos, Gert-Jan Noij, Idse Hoving & Michel de Haan, 2018. BedrijfsWaterWijzer Versie 2018.01. Redactie Koeien & Kansen, Wageningen Livestock Research: info@koeienenkansen.nl www.koeienenkansen.nl. Rapportnummer 80, Wageningen Plant Research 791. <https://doi.org/10.18174/455615>.
- VLM (Vlaamse Landmaatschappij), 2001. N(eco)² studie. www.vlm.be/nl/themas/Mestbank/Achtergrond/cijfers-en-studies/studies/n_eco2_studie/Paginas/default.aspx
- VLM (Vlaamse Landmaatschappij), 2017. Nitraatresidurapport 2017; Resultaten van de nitraatresidumetingen in Vlaanderen tot en met de staalnamecampagne van 2016. www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Mestbank/Studies/Nitraatresidurapport_2017.pdf
- VLM (Vlaamse Landmaatschappij), 2018. Mestrapport 2018. www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Mestrapport_2018.pdf
- Vrijhoef, Astrid, 2011. LMM e-nieuws 16. https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/201102%20e-nieuws%2016%20201808_DEF.pdf
- Waterleiding Maatschappij Limburg, z.d.-a. Duurzaam schoon grondwater. <https://www.wml.nl/projecten/duurzaam-schoon-grondwater>
- Waterleiding Maatschappij Limburg, z.d.-b. Slim bemesten. <https://www.wml.nl/projecten/duurzaam-schoon-grondwater/slim-bemesten>

Bijlage 1 NMI notitie Data-analyse “Sturen op nitraat” met behulp van machinelearning: Een verkenning



Soil for life

Nitraatwijzer

Data-analyse “Sturen op nitraat” met behulp van machine learning: Een verkenning

NMI-notitie 1748.N.18c

Auteur(s): Dr. Ir. W. Bussink
 Ir. S. Verweij
 Dr. ir. G.H. Ros

Datum 22-1-2019

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

1 Achtergrond

Tussen 2000 en 2003 is het project “Sturen op nitraat” uitgevoerd gericht op het zoeken naar indicatoren om de nitraatconcentratie in het grondwater te voorspellen (Burgers et al., 2004). Uit een analyse van de meetresultaten van drie meetseizoenen (2000-2003) bleek dat de nitraatconcentratie het best was te voorspellen uit het nitraatgedeelte van de hoeveelheid Nmineraal (Nmin) die zich in het najaar in de bovenste 90 cm van de bodem bevond en een combinatie van bodemsoort, grondwatertrap en gewas. De voorspelnauwkeurigheid was echter beperkt.

De gegevens vanuit het project “Sturen op nitraat” (SON) zijn complex omdat er allerlei soorten variabelen en percelen geanalyseerd zijn. Destijds is deze set statistisch geanalyseerd, maar de vraag is of alle informatie die in de data zit daarmee naar boven is gekomen. De laatste jaren is *machine learning* sterk in opkomst met nieuwe innovatieve algoritmes zoals *Random Forest* en *XGboost*. Hiermee kunnen in de praktijk vaak betere relaties worden gelegd dan met multiple lineaire regressie technieken (Bussink et al., 2019). De verwachting is dat dit ook opgaat voor de SON-data en er betere relaties gevonden kunnen worden tussen nitraatgehaltes in grondwater en Nmin en co-variabelen betreffende bemesting, weer, bodem en landgebruik. Ook kan de robuustheid van een indicator goed getoetst worden. Uit een lopend onderzoek voor het voorspellen van ANR, N-levering en N-opname met een database met daarin vrijwel alle graslandbemestingsproeven van Nederland kwam de meerwaarde van *machine learning* duidelijk naar voren (Bussink et al., 2019).

In deze verkennende studie uit is nagegaan of *machine learning* meerwaarde heeft met betrekking het leggen van relaties tussen nitraatgehaltes in het grondwater en Nmin, bemesting, weer, bodem en landgebruik en wat dit kan betekenen voor toekomstige studies.

2 Materiaal en Methode

2.1 De data

De data die verzameld zijn in Sturen op Nitraat zijn gerapporteerd in Smit et al. (2003) en Hack-ten Broeke et al. (2003). De gegevens zijn afkomstig van 34 bedrijven uit Oost Nederland, verspreid over de Nederlandse zand- en lössgronden. Soms lagen deze bedrijven erg dichtbij elkaar (Figuur 2.1).

Op deze bedrijven zijn in het eerste meetseizoen (2000/2001) in totaal 478 proefplekken geloot volgens een gestratificeerde aselechte steekproef, waardoor na 3 jaar 1434 records met gegevens beschikbaar zijn. De stratificatie is gebaseerd op een indeling in grondsoorten, grondwatertrappen en gewassen. Op de proefplekken zijn in het najaar van 2000, 2001 en 2002 grondmonsters genomen, waarin het Nmin-gehalte (zowel op NO_3 als NH_4) is bepaald. Voor het bepalen van de nitraatconcentratie in het grondwater zijn grondwater- of bodemvochtmonsters genomen in het voorjaar van 2001, 2002 en 2003 genomen. Grondwatermonsters van de bovenste 80 cm grondwater werden genomen als de grondwaterstand ondieper was dan 150 cm-maaiveld. Als het grondwater zich dieper bevond, dan werd het bodemvocht tussen 120 en 180 cm-mv bemonsterd. Naast Nmin over drie bodemlagen (0-30, 30-60 en 60-90 cm) zijn diverse andere parameters bepaald (zie Bijlage 1) waaronder de potentiële denitrificatie van 6 bodemlagen en de denitrificatie- en mineralisatie capaciteit (decap en potcap) van de bouwvoor. Dit zijn geen routinematige metingen. Daarom is de dataset zowel compleet geanalyseerd als wel met weglating van de potentiële denitrificatie als wel met weglating én de potentiële denitrificatie én

Notitie 1748.N.18b (NMI, 2019)

de denitrificatie- en mineralisatiecapaciteit. Daarbij is voor Nmin de parameter Nmin_NO3 gebruikt.



Figuur 2.1 Kaart met locaties van de bedrijven.

2.2 Data analyse met Random Forest en Gradient Boosted Trees

Machine learning is het laatste decennium sterk in opkomst. Er zijn legio algoritmen maar algoritmen die vaak gebruikt worden zijn *Random Forest* en *Gradient Boosted Trees*. Deze zijn dan ook gebruikt in de verkennende analyse naast lineaire regressie dat gebruikt is als benchmark ten opzichte van de andere twee algoritmen. Zowel Nitraat in het grondwater als Nmin zijn geanalyseerd als te verklaren variabele.

Random Forest is een algoritme dat gebruik maakt van meerdere *decision trees* (beslisbomen) om een zo goed mogelijke voorspelling te maken. Tijdens de training wordt de data door een *decision tree* opgesplitst in clusters die zoveel mogelijk gelijke waarden voor de variabelen hebben. Elke split zoekt een verklarende variabele met een waarde die de data zo sterk mogelijk opsplijst. Als er meerdere van die splits achter elkaar worden gemaakt, ontstaat er een boomstructuur. Wanneer de data niet verder kunnen of mogen worden opgesplitst dan is er het eindpunt (node). Als er een voorspelling wordt gedaan, dan volgen de nieuwe data de splits tot het een node bereikt. De voorspelling voor de nieuwe observatie is dan het gemiddelde van de observaties uit de trainingsdata in dat eindpunt. Wanneer er bij *Random Forest* meerdere *decision trees* worden getraind, wordt voor elke split een willekeurige fractie van de verklarende variabelen bekeken. Hierdoor ontstaat er variatie tussen de verschillende *decision trees*. De nauwkeurigheid van een individuele *decision tree* uit een *Random Forest* is lager dan een "complete" *decision tree*, maar de gemiddelde voorspelling van de *decision trees* uit een *Random Forest* is beter. *Gradient Boosted Trees* is een algoritme dat ook gebruik maakt van *decision trees*, maar in tegenstelling tot *Random Forest* worden de *decision trees* "achter elkaar" getraind met een fractie van

de observaties uit de trainingsdata. Deze fractie is niet willekeurig, maar heeft een voorkeur voor observaties, waarbij in de vorige *decision trees* in de training de voorspelling een grote fout heeft. Hierdoor stijgt de nauwkeurigheid van het model. Voor meer achtergrond informatie wordt verwezen naar Chen et al. (2016) en Friedman (2001). De data-analyse is uitgevoerd met R (v3.5.2) met voor de implementatie voor *Random Forest* de package *ranger* (v0.10.1) en voor *Gradient Boosted Trees* de package *xgboost* (v0.71.2). De relevantie van de parameters in een analyse kan op verschillende manieren worden weergegeven. In deze analyse hebben we permutation importance toegepast om de "variable importance" te berekenen (Altman et al., 2010). Deze aanpak kan voor beide tree methodieken toegepast worden. Daarbij worden alle gemeten waarden voor een parameter per proefplek gerandomiseerd toegekend aan de proefplek en bepaald welk effect dat heeft op de RMSE.

Voor de ontwikkeling van voorspellende modellen op de SON-dataset zijn drie typen validatie gedaan:

- De eerste is een achtvoudige kruisvalidatie op bedrijfsniveau. Er is gekozen voor 8 omdat het aantal bedrijven relatief gering was; er zijn namelijk 34 bedrijven. Dit geeft 2 blokken met 4 bedrijven en 6 blokken met 4 bedrijven. Bij kruisvalidatie worden de data in verschillende blokken opgedeeld. Daarna wordt elke keer één blok gebruikt voor het valideren en de overige blokken voor het trainen van een model. Dit totdat elke blok één keer is gebruikt voor valideren. De gemiddelde score voor de validatieblokken is dan de uiteindelijke score van het model. Door kruisvalidatie op bedrijfsniveau te doen, zitten de data van een bedrijf altijd bij elkaar in één blok (over de drie jaren). Hierbij test je dan eigenlijk hoe het model in de praktijk zou werken bij bedrijven die niet in de trainingsdata zitten.
- Voor de kruisvalidatie op seizoen 1&2 zijn alleen data van seizoen 1&2 gebruikt en de trainingsdata willekeurig verdeeld over de 8 blokken.
- Voor de validatie seizoen 3 is het model gebaseerd op data uit seizoen 1&2 en gevalideerd op data uit seizoen 3. Met andere woorden, het model is getraind op metingen uit de eerste twee seizoenen en het model is gevalideerd op metingen uit seizoen 3.

De selectie van bedrijven is willekeurig gebeurd, omdat in de beschikbare dataset geen informatie over de ruimtelijke locatie (geo-positie) aanwezig was.

Uit een eerste screening van de data bleek dat soms forse uitschieters zijn in de meetwaarden. Om die reden is de Y-variabele (Nitraat, Nmin) log-getransformeerd.

Naast het modelleren van nitraatgehalte in het grondwater is ook getoetst of er modellen ontwikkeld kunnen worden om de hoeveelheid Nmineraal in de bouwvoor te voorspellen (zie bijlage 2).

3 Resultaten

3.1 Algemeen

De dataset is zo volledig mogelijk gebruikt. De dataset bevatte diverse aggregatieniveaus van landgebruik / geteelde gewassen. Opvolgend op de eerdere analyses in het project SON is in de analyse gebruik gemaakt van de classificatie in teeltgroepen grasland, maisland en akkerbouw; de individuele gewassen worden als zodanig niet meegenomen als verklarende variabele.

3.2 Nitraat

De kruisvalidatie op bedrijfsniveau laat erg lage percentages verklaarde variantie zien voor zowel de standaard lineaire regressie als de beide *machine learning* algoritmes (Tabel 3.1). Met deze aanpak wordt getoetst hoe het model in de praktijk zou werken bij bedrijven die niet in de trainingsdata zitten. Dit blijkt slecht te werken: het percentage verklaarde variantie varieert tussen 20 en 25%. Tegelijk moet opgemerkt worden dat het aantal bedrijven beperkt is én er een grote spreiding zit tussen bedrijven. Dit suggereert dat de conclusies van de voorliggende analyse richtinggevend zijn. Ook suggereert het dat het zinvol is om voor de ontwikkeling van robuuste modellen die het nitraatgehalte in het grondwater gegevens te gebruiken van een grotere set aan bedrijven.

Als de kruisvalidatie niet op bedrijfsniveau maar op seizoen 1 en 2 wordt uitgevoerd, dan betekent dit dat er informatie van een bedrijf in zowel het trainingsblok als validatieblok kan voorkomen. Het is dan ook logisch dat het percentage verklaarde variantie een stuk hoger is dan de kruisvalidatie op bedrijfsniveau; het percentage verklaarde variantie neemt toe tot 44%. Voor daadwerkelijke toepassing van deze modellen in de praktijk, is dat geen groot probleem.

Bij kalibratie van de modellen op de eerste twee seizoenen en validatie op het derde seizoen neemt de verklaarde variantie toe tot 52%. Voor deze laatste toetsing varieert de RMSE op log-schaal zo rond de 1.4. Zonder logtransformatie van het nitraatgehalte wordt de analyse sterk beïnvloed door de aanwezige uitschieters in de database. Bij toepassing van *XGBoost* zakt de verklarende variantie bijvoorbeeld van 40 naar 26% bij kruisvalidatie op de eerste twee seizoenen, en van 43 naar 36% bij validatie op het derde seizoen.

Tabel 3.1. Validatieresultaten (R^2 en de RMSE op log basis) voor de modellen voor nitraat in grondwater (mg NO_3/l) met denitrificatiemetingen, decap en potmin. De gemiddelde nitraatconcentratie is 72,3 mg/l

	n	Lineaire regressie	Random Forest	XGBoost
Kruisvalidatie bedrijfsniveau	1434	0,21 (1,73)	0,26 (1,54)	0,24 (1,56)
Kruisvalidatie seizoen 1 & 2	909	0,23 (1,53)	0,44 (1,31)	0,40 (1,35)
Validatie seizoen 3	454	0,43 (1,44)	0,52 (1,39)	0,43 (1,40)

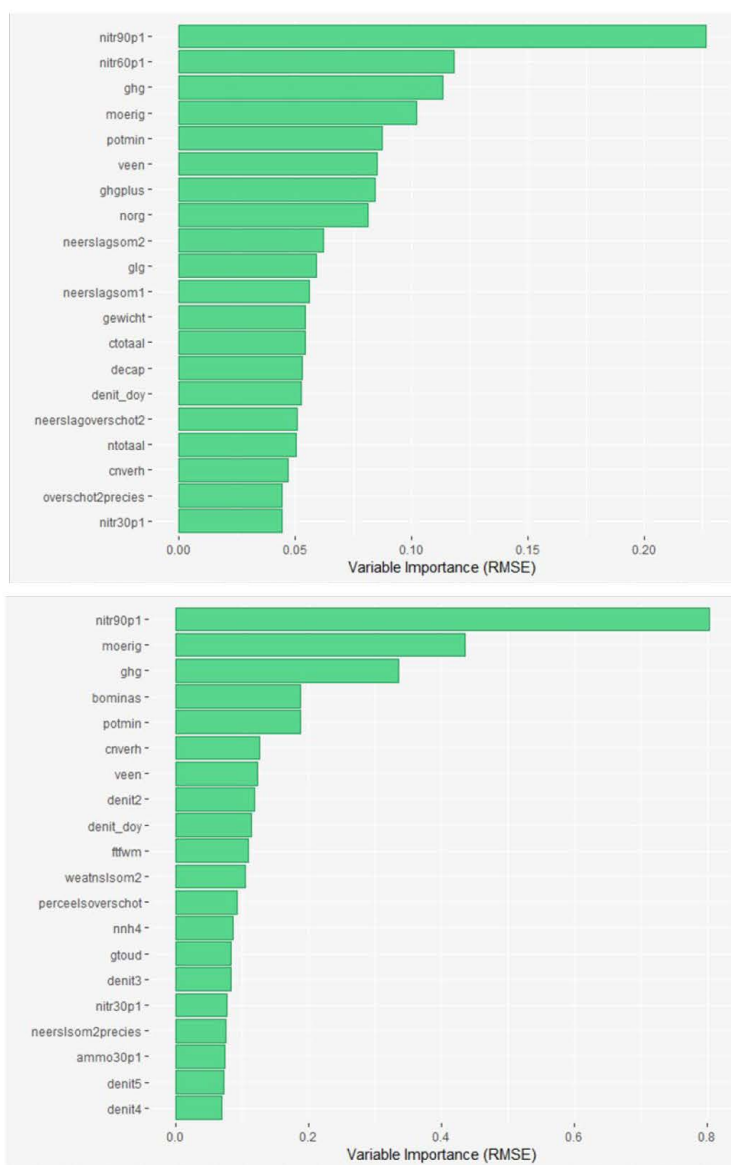
Het weglaten van de denitrificatiemetingen, decap en potmin zorgde voor een vergelijkbaar resultaat (Tabel 3.2). Wel nam de voorspelfout licht toe. Dit suggereert dat deze metingen weinig aanvullende informatie geven om ruimtelijke en temporele variatie in nitraatconcentraties te verklaren.

Tabel 3.2. Validatieresultaten (R^2 en de RMSE op log basis) voor de modellen voor nitraat in grondwater (mg NO_3/l) zonder denitrificatiemetingen, decap en potmin.

	n	Lineaire regressie	Random Forest	XGBoost
Kruisvalidatie bedrijfsniveau	1434	0,25 (1,67)	0,25 (1,61)	0,24 (1,63)
Kruisvalidatie seizoen 1 & 2	909	0,27 (1,48)	0,43 (1,32)	0,39 (1,37)
Validatie seizoen 3	454	0,43 (1,44)	0,48 (1,43)	0,40 (1,43)

Als het verklarend model alleen gebruik maakt van de top-20 relevante parameters, dan blijft het percentage verklaarde variantie vergelijkbaar voor zowel *Random Forest* als *XGBoost*, maar halveert het percentage verklaarde variantie van het lineaire regressiemodel (niet weergegeven).

De ranking van de top 20 meest verklarende variabelen (Figuur 3.1.) laat zien dat zowel bij *XGBoost* als *Random Forest* de variatie in het nitraatgehalte van het grondwater het sterkst samenhangt met variatie in de hoeveelheid nitraat in de bouwvoor op een diepte van 60-90 cm-mv (nitr90p1) dan wel de hoeveelheid op een diepte van 30-60 cm-mv (nitr60p1).



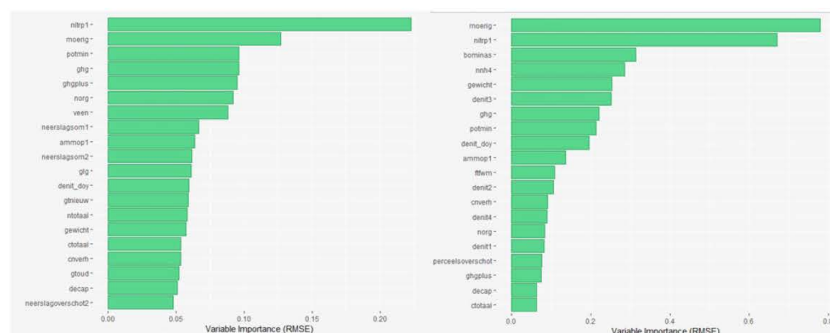
Figuur 3.1. De 20 meest verklarende variabelen voor *Random Forest* (boven) en *Gradient Boosted Trees* (onder) voor nitraat in grondwater (kruisvalidatie seizoenen 1 & 2). (parameters zie Smit et al. 2003)

Een mogelijke verklaring is dat deze laag zich het dichtst bij de grondwaterzone bevindt, waarbij de meeste omzettingen (denitrificatie) al hebben plaatsgevonden. De hoeveelheid nitraat in de bouwvoor van 0-30 cm-mv is voor beide modellen niet relevant. Dit is ook logisch gezien de grote variatie in nitraatgehaltes die optreden in de bouwvoor als reactie op gewasgroei, bemesting, weer en perceelseigenschappen. Ook bodemkenmerken die van invloed zijn op het transport van water (en nitraat) vanuit de bouwvoor naar het grondwater komen in beide modellen voor bij de top-20 parameters. De top 20 parameters zijn verder vooral parameters die redelijk eenvoudig zijn vast te stellen. De denitrificatiecapaciteit van de verschillende bodemlagen komt alleen bij *Gradient Boosted Trees* naar voren als relevante variabele. Hoewel de denitrificatiecapaciteit van de 6 bodemlagen niet heel belangrijk zijn (zie tabellen 3.1 en 3.2), geeft de *variable importance* aan dat deze weinig gecorreleerd zijn; indien twee parameters sterk gecorreleerd zijn kiest *XGBoost* één van beiden terwijl *Random Forest* ze allebei kiest en de bijdrage verdeelt over beide parameters.

Omdat de hoeveelheid Nmin in de bouwvoor een relevante parameter lijkt te zijn én de verschillende Nmin-metingen op verschillende dieptes met elkaar samenhangen, is aanvullend geanalyseerd of het mogelijk is om gebruik te maken van een gemiddelde nitraatgehalte in de bouwvoor. Hiermee zou in de praktijk het aantal metingen gehalveerd kunnen worden. De voorspelbaarheid van de gebruikte modellen blijft vergelijkbaar (Tabel 3.1). In beide machine learning algoritmes blijven de Nmin-voorraad in de bodem, de bodemsoort en grondwaterstand de belangrijkste verklarende variabelen die samenhangen met variatie in het nitraatgehalte.

Tabel 3.3. Validatieresultaten (R^2 en de RMSE op log basis) voor de modellen voor nitraat in grondwater (mg NO_3/l) met denitrificatiemetingen, decap en potmin en Nmin gemiddeld over de complete bouwvoor.

	n	Lineaire regressie	Random Forest	XGBoost
Kruisvalidatie bedrijfsniveau	1363	0,16 (1,74)	0,24 (1,67)	0,18 (1,66)
Kruisvalidatie seizoen 1 & 2	909	0,25 (1,50)	0,43 (1,31)	0,37 (1,36)
Validatie seizoen 3	454	0,44 (1,44)	0,51 (1,40)	0,41 (1,41)



Figuur 3.2. De 20 meest verklarende variabelen voor Random Forest (links) en Gradient Boosted Trees (rechts) voor nitraat (kruisvalidatie seizoen 1 en 2). De Nmin-voorraden in de bodemlagen zijn hierbij omgezet naar één Nmin-voorraad in de bouwvoor. (parameters zie Smit et al. 2003)

Het nitraat in het bovenste grondwater is voor een deel afkomstig van de hoeveelheid Nmin die een jaar

eerder is uitgespoeld. Om die reden is onderzocht of het mogelijk is om het nitraatgehalte in het grondwater te verklaren met als co-variabele het nitraatgehalte van grondwater van het voorgaande jaar. Tabel 3.4 laat resultaten zien dat hiermee het percentage verklaarde variantie licht toeneemt. Overigens zijn er wel minder data om de analyse mee uit te voeren.

Tabel 3.4. Validatieresultaten (R^2 en de RMSE op log basis) voor de modellen voor nitraat in grondwater met de nitraat van het voorgaande jaar (mg NO_3/l) als co-variabele. De dataset is daardoor ingeperkt tot seizoen 2001/2002 en 2002/2003. Gemiddeld bedraagt de nitraatconcentratie 68,6 mg/l.

	n	Lineaire regressie	Random Forest	XGBoost
Kruisvalidatie bedrijfsniveau	936	0,26 (1,63)	0,38 (1,49)	0,36 (1,42)
Kruisvalidatie seizoen 2	444	0,04 (1,61)	0,46 (1,24)	0,45 (1,25)
Validatie seizoen 3	454	0,31 (1,96)	0,54 (1,42)	0,53 (1,42)

De belangrijkheid van verklarende variabelen blijft vrijwel gelijk (niet weergegeven), behalve dat – uiteraard – het nitraatgehalte van het voorgaande jaar een belangrijke verklarende variabele is geworden. Dit suggereert dat bij toepassing in de praktijk het mogelijk is om zelflerende modellen in te zetten - die gebruik maken van historische meetgegevens - om de optimale meetdichtheid te bepalen als een goede voorspelling te geven van een verwacht nitraatgehalte.

4 Discussie

Oriënterend is nagegaan of *machine learning* technieken perspectief kunnen bieden om een relatie te leggen tussen nitraat in grondwater en de hoeveelheid N_{min} in de bouwvoor, bodemeigenschappen, N-overschot, en weerparameters op perceelsniveau. Bij de meest scherpe toetsing kruisvalidatie op bedrijfsniveau (34 bedrijven gedurende 3 jaar) bedroeg het percentage verklaarde variantie ongeveer 25% zowel bij lineaire regressie, *Random Forest* en *Gradient Boosted Trees*. Idealiter zou deze toetsing ook gebruik maken van de geo-component van de locatie (met daaraan gekoppelde gegevens), maar deze kon helaas niet op tijd beschikbaar gemaakt worden voor analyse. Omdat *machine learning* technieken vooral meerwaarde krijgen bij grotere datasets, is het verschil in verklaarde variantie klein op deze dataset. Dit suggereert ook dat het onmogelijk is harde conclusies te trekken op basis van de SON-database alleen; er zijn simpelweg te weinig onafhankelijke locatie-gedreven metingen beschikbaar.

Bij Kruisvalidatie voor jaar 1 en 2 nam de verklaarde variantie toe tot ruim 40% bij beide *machine learning* modellen. Zoals verwacht, blijft lineaire regressie in deze situatie duidelijk achter. Bij validatie op de meetgegevens van het derde meetseizoen kon tot 50% van de variatie in het nitraatgehalte worden verklaard. De belangrijkste variabele was de hoeveelheid N_{min} in de bouwvoor, in het bijzonder in de bodemlaag van 60-90 cm-mv. Het meenemen van nitraat in grondwater in het voorafgaande jaar verhoogde de voorspelkracht van het model. Terugbrengen van het aantal variabelen tot de top-20 meest invloedrijke variabelen verlaagde het percentage verklaarde variantie met ongeveer 10%. Dit laat zien dat er mogelijkheden zijn om die variabelen te kiezen die én makkelijk én goedkoop beschikbaar te maken zijn zonder grote verliezen in voorspelbaarheid. Gegeven de beperkingen van de gebruikte dataset, biedt dit perspectief om N_{min}-metingen in de bouwvoor te combineren met beschikbare locatie-kenmerken om zo een robuuste schatting te geven van het risico op N-verliezen naar het grondwater.

Belangrijkste knelpunt in de huidige analyse was de beperkte grootte van de database, waarbij de gps-locatie van de bedrijven niet bekend was. Bij een kleine dataset betekent een eerste analyse met een verklaarde variantie van 40 tot 50% dat er perspectief is voor het gebruik van voorspellende modellen om inzicht te geven in de ruimtelijke variatie in nitraat als gevolg van bodem, bemesting, weer en landgebruik. Er zijn ook *machine learning* technieken (neurale netwerken) die nog beter in staat zijn om niet lineaire verbanden te ontdekken in meetseries dan *XGBoost* en *Random Forest*, maar deze technieken vereisen een substantiële grotere hoeveelheid metingen. Een mogelijkheid is om de SON-database uit te breiden met de data van meetnetten van DSG, SANS en het LMM. In al deze meetnetten dan wel meerjarige monitoringsprogramma's worden (of werden) naast het nitraatgehalte in het grondwater vrijwel alle stuurvariabelen gemonitord, waardoor het mogelijk is om het perspectief van bovenstaande aanpak ook daadwerkelijk met cijfers te onderbouwen. Informatie vanuit het agrarische meetnet van Eurofins Agro zou inzicht kunnen geven in de ruimtelijke variabiliteit in Nmin voorraden in het voorjaar.

Voor elke analyse die gericht is op het voorspellen van nitraatgehalten in het grondwater, heeft men te maken met grote ruimtelijke en temporele variatie. Dit is vooral het geval voor de hoeveelheid Nmin in het ondiepe bodemvocht. Eerdere studies in Noord-Limburg hebben laten zien dat binnen percelen het nitraatgehalte met meer dan 70 mg N/l kan variëren in het bodemvocht op 150 en 250 cm-mv (Ros et al., 2018). Deze variatie zal nog groter zijn voor de hoeveelheid Nmin in de bouwvoor. Dit beperkt een grondige analyse om verbanden te ontdekken, omdat deze verbanden overheerst worden door lokale variatie op niveau van percelen. Dat de beide geteste modellen in staat zijn om desondanks ruim 40% van de variatie in nitraatgehalten te verklaren, biedt daarom perspectief. Oplossingen hiervoor zijn het gebruik van mengmonsters (zoals de praktijk is voor de hoeveelheid Nmin in de bouwvoor) als ook het verzamelen van grondwater over een groter oppervlak via een verzameldrain (zie Bussink et al., 2019c). In een separate studie wordt dan ook voorgesteld om de oplossingsrichting van meten op drie niveaus: Nmin, nitraat grondwater incrementeel en nitraat grondwater continu te verkennen met verschillende intensiteiten (ruimtelijke dichtheid van metingen). Het is mogelijk om hiervoor gebruik te maken van continue nitraatsensoren (Van de Eertwegh, 2018, Cirkel et al., 2017 en samengevat in Bussink et al., 2019c).

In de voorliggende analyse zijn de geteelde gewassen op het hoogste aggregatieniveau meegenomen en wel een indeling naar grasland, mais en akkerbouw conform zoals het in de analyse van Hack et al. (2004) ook is gedaan. Uit een recente analyse in het kader van Duurzaam Schoon Grondwater was het mogelijk om op basis van N-balans per perceel en gewasspecifieke uitspoelfracties het nitraatgehalte in bodemvocht in de ondergrond goed te voorspellen (Ros et al., 2018). Belangrijk waren het N-overschot, het neerslagoverschot en de vruchtopvolging. Gewassen die diep wortelen dan wel weinig bemesting krijgen, zorgen voor een lagere nitraatconcentratie in het opvolgende jaar dan ondiep wortelende en goed bemeste gewassen. Vruchtopvolging heeft op veel percelen dan ook een grote invloed op het nitraatgehalte in zowel het diepe als ondiepe bodemvocht). De vruchtopvolging is in deze analyse niet meegenomen omdat deze niet als zodanig in de dataset aanwezig was. Deze bevindingen suggereren wel dat het belangrijk is om rekening te houden met de tijdscomponent bij de ontwikkeling van statistische modellen die variatie in nitraatgehalte in het grondwater willen verklaren. Deze tijdscomponent is afhankelijk van de (grond)waterdynamiek op de desbetreffende locatie: in gebieden met hoge infiltratiesnelheden en lage grondwaterstanden is het effect van hogere N-aanvoer (dan wel lagere N-benutting) veel sneller zichtbaar in het grondwater dan in gebieden met grote waterbuffering.

Vooruitkijken zou een combinatie van eenvoudige nitraatmetingen in de bouwvoor, slimme statistiek en continue metingen in het grondwater goed ingezet kunnen worden bij het ontwerp van early warning systemen voor nitraat. Gebruik makend van deze gegevens, in combinatie met perceelskenmerken kan het meetnet optimaal worden ontworpen om zo met minimale meetgegevens maximale uitspraken te doen over effect van weer, bodemkenmerken, bemesting en gewas op de uitspoeling van nitraat. Hieraan gekoppeld kunnen ook adviezen worden gegeneerd om op basis van verwacht weer en lokale teeltkenmerken het nutriënten management zodanig vorm te geven dat de nitraatverliezen worden beperkt.

Literatuur

- Altmann A, Toloşi L, Sander O & Lengauer T (2010). Permutation importance: A corrected feature importance measure. *Bioinformatics*, 26(10), 1340–1347.
- Bussink DW, Verweij S & GH Ros (2019) Voorspellen van de N-opname en ANR via machine learning en de mogelijkheden voor verfijning van N-bemestingsadviezen grasland. NMI-rapport 1587.N.15. in press.
- Chen T. & C. Guestrin (2016) XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - KDD '16* (pp. 785–794). New York, New York, USA: ACM Press.
- Cirkel G, Fuijta Y & J Rozemeijer (2017) Kwantificeren van nutriëntenuitspoeling met sensoren. BTO-rapport 2017.087, 37 pp.
- Van den Eertwegh, Gé, 2018. Sensor-gestuurd boeren. Inventarisatie van online sensoren ter meting van chemische samenstelling van oppervlaktewater. KnowH2O rapport.
- Friedman J.H. (2001). Greedy function machine: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232.
- Hack-ten Broeke MJD, Burgers SLGE, Smit A, ten Berge HFM, de Gruijter JJ, Hoving IE, Knotters M, Radersma S en Velthof GL (2004). Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat; Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003). Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1053. Sturen op Nitraat 12. 117 blz.
- Ros GH & J de Pater (2018) Nitraatonderzoek Limburg (2011-2017). NMI-rapport 1753.N.18, 87 pp.
- Ros GH, de Pater J, Kusters E, Crijns S & F Vaessen (2018) Update nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg. NMI-rapport 1731.N.18, 40 pp.
- Smit A, Hack-ten Broeke MJD, ten Berge HFM, Burgers SLGE, Chardon W, van Enckevort PLA, de Gruijter JJ, Hoving IE, en Velthof GL (2003). Gegevensverzameling Sturen Op Nitraat; op zoek naar een indicator. Wageningen, Alterra. Rapport 658. Reeks Sturen Op Nitraat 3.

Bijlage 1

Hieronder volgt een overzicht van de gebruikte begrippen met een omschrijving van beschikbare gegevens en wat ermee bedoeld wordt. Een uitgebreide beschrijving van deze begrippen en de wijze waarop ze bepaald zijn is te vinden in het rapport over de gegevensverzameling op de proefplekken (Smit et al., 2003).

- **Grondsoort (bodemgroep), Gt-groep en gewasgroep:** De indeling in gewasgroepen die bij de bemonsteringscampagnes is gebruikt (stratificatie ten behoeve van loting) werd bij de uiteindelijke analyse herzien en voor enkele gewassen aangepast. Alle typen snijmais (GPS, MKS, CCM) zijn in de gewasgroep 'm' terecht gekomen en triticale, graszaad en cichorei aan gewasgroep 'r' toegevoegd;
- **Nitraat:** De nitraatconcentraties zijn gemeten in grondwater of bodemvocht in het 'voorjaar van 2001' (19 maart t/m 5 juni, na de MKZ-crisis) en in het 'voorjaar van 2002' (25 maart t/m 17 mei) en 'voorjaar van 2003' (18 maart t/m 22 april);
- **Verduuningsfactor voor nitraatconcentraties:** Door het RIVM is op basis van de gemeten grondwaterstand bij bemonstering, de locatie van de proefplek, de meetdatum en de neerslag een correctiefactor voor de nitraatconcentratie berekend (Boumans et al., 1997);
- **Nmin:** Dit betreft Nmineraal-waarnemingen (nitraat en ammonium) gesommeerd over de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm – mv. voor de meetperiode oktober-december 2000, oktober-november 2001 of oktober-november 2002. Nminnitraat : nitraatdeel van Nmin; Nminammonium : ammoniumdeel van Nmin;
- **Perceeloverschot:** Het perceeloverschot is opgebouwd uit kunstmestgift en dierlijke mestgift (zowel als werkzame N en als de totale N), atmosferische depositie en afvoer. De berekening is conform de berekeningswijze van 'Telen met Toekomst' en 'Koeien en Kansen' (Smit et al., 2003); alle plekken op één perceel hebben dezelfde gift en overschot;
- **Bedrijfsoverschot (berekend m.b.v. perceelsoverschotten en arealen) en MINASoverschot** (forfaitaire afvoer i.p.v. gemeten afvoer, zonder depositie): Alle proefplekken van één bedrijf hebben hetzelfde overschot;
- **Weidemest op grasland,** in kg N/ha;
- **Groenbemester** gezaaid in 2000, 2001 en 2002 (ja/nee) op bouwland of mais;
- **N-afvoer met het gewas** (gemeten of geschat);
- **Weersgegevens:** Neerslagsom1 is de neerslagsom voor het groeiseizoen (1 april -1 oktober) en Neerslagoverschot1 is het overschot voor dezelfde perioden. Neerslagsom2 is de neerslagsom voor het uitspoelingsseizoen (1 oktober -1 april) en Neerslagoverschot2 is het overschot voor dezelfde periode. Neerslag2precies is de neerslagsom (in de winterperiode) over de periode tussen de meetdata van Nmin en de nitraatmeting. Bovenstaande neerslagsommen en -overschotten zijn berekend op basis van data van KNMI-stations. Op de bedrijven zelf zijn ook neerslaggegevens verzameld, maar hierin ontbraken teveel gegevens om een betrouwbaar overschot te kunnen berekenen. Er is nog een vergelijking gemaakt tussen het gebruik van zoveel mogelijk van deze bedrijfswaarnemingen of alleen data van weerstations en dit bleek voor deze studie niet veel uit te maken. De referentie-gewasverdamping en gemiddelde correctiefactoren per gewasgroep zijn altijd berekend op basis van de gegevens van de weerstations;
- **Denitrificatie:** Denitrificatiecapaciteit (potentiële denitrificatie) voor zes bodemlagen, namelijk 2-7 cm, 13-18 cm, 23-28 cm, 33-38 cm, 50-55 cm en 70-75 cm;

- **Bouwvoorgegevens:** Voor gegevens over mineralisatiecapaciteit, denitrificatiecapaciteit, C-totaal en N-totaal, oplosbaar organisch N en hot-KCl-extraheerbaar ammonium is de bouwvoor bemonsterd (grasland: 10 cm; bouwland: 25 cm) (Velthof, 2003);
- **Profielbeschrijvingen:** Op alle proefplekken is een profielbeschrijving gemaakt, waarin gegevens over organische-stofgehalte, de aanwezigheid van veenlaagjes en de GHG en GLG (de gemiddeld hoogste respectievelijk laagste grondwaterstand) zijn opgenomen;
- **DOCgrondwater:** Opgelost organisch koolstof in het grondwater (mg/l). In het grondwater is naast nitraat ook DOC gemeten in 2001 en 2002.

Bijlage 2. Voorspelling Nmin in bodem

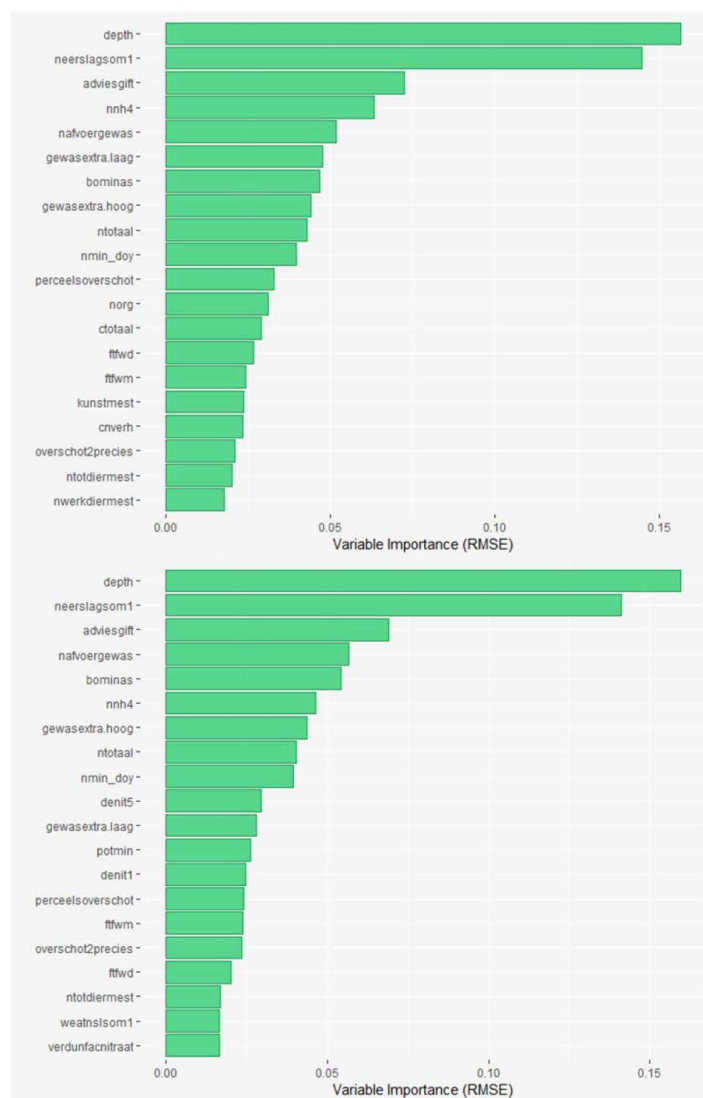
De data-analyse voor het schatten van Nmin in de bouwvoor is uitgevoerd zonder potentiële denitrificatie en decap en potmin. Deze parameters hadden weinig toegevoegde waarde maximale dataset met betrekking tot het verhogen van het percentage verklaarde variantie. De database en de gebruikte validatiemethoden zijn toegelicht in de hoofdttekst van deze notitie. De resultaten worden weergegeven in tabel 2.a.

Tabel 2.a. Validatieresultaten (R^2 en RMSE op log schaal) voor de modellen voor Nmin (nitraat) (kg N/ha) in de bouwvoor. De gemiddelde waarde voor Nmin is 23,2 mg / L.

	n	Lineaire regressie	Random Forest	XGBoost
Kruisvalidatie bedrijfsniveau	3606	0,15 (0,76)	0,33 (0,67)	0,37 (0,64)
Kruisvalidatie seizoen 1 & 2	2239	0,14 (0,75)	0,28 (0,68)	0,32 (0,66)
Validatie seizoen 3	1367	0,19 (0,74)	0,34 (0,67)	0,40 (0,64)

De kruisvalidatie op bedrijfsniveau laat zien dat 15 tot 37% van de variatie in de hoeveelheid Nmin in de bouwvoor verklaart kan worden op basis van bedrijfskenmerken zoals bodem, bemesting en weer. Bij kruisvalidatie op de eerste twee seizoenen is de voorspelbaarheid lager, waarbij zowel *Random Forest* en *Gradient Boosted Trees* beter in staat zijn om de variatie te verklaren dan lineaire regressie. Opvallend is dat de "onafhankelijk" validatie seizoen 3 zelfs nog wat hogere R^2 geeft dan het kruisvalidatie resultaat van het eerste seizoen. Dit resultaat betekent in feite dat de hoeveelheid Nmin in de bouwvoor redelijk goed te voorspellen is zodra je Nmin-metingen beschikbaar hebt van voorgaande jaren. De belangrijkste parameters die de hoeveelheid Nmin beïnvloeden zijn de diepte, de neerslag, het bodemoverschot en bemesting (Figuur 2.a).

Wanneer alleen de top 20 meest verklarende variabelen worden gebruikt voor kruisvalidatie seizoen 1 & 2 dan wordt het percentage verklaarde variantie circa 0-10% lager, afhankelijk van het gebruikte model. Wanneer alleen de top 10 meest verklarende variabelen worden gebruikt voor kruisvalidatie seizoen 1 & 2 dan verklaart het lineaire model 8% van de variatie, *Random Forest* 36% van de variatie en *XGBoost* 32% van de variatie in Nmin.



Figuur 2.a. De 20 meest verklarende variabelen voor *Random Forest* (boven) en *Gradient Boosted Trees* (onder) voor Nmin (kruisvalidatie seizoen 1 & 2).

Bijlage 2 NMI notitie Validatie metingen Ndroog N veldvochtig



Soil for life

Nitraatwijzer: Validatie metingen Ndroog Nveldvochtig

NMI-notitie 1748.N.18b

Auteur(s): Dr. Ir L. van Schöll
Dr. Ir. W. Bussink

Datum 11-1-2019

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

1 Achtergrond

Nitraatgehalten meten in gedroogde grond geeft een grotere nauwkeurigheid. In de praktijk wordt het nauwelijks toegepast omdat het langer duurt voordat de uitslag terug is bij de boer en omdat het drooggewicht (percentage vocht) van het monster bepaald dient te worden. In principe zou het vochtgehalte ook goed met NIRS kunnen worden gemeten (maar dat is nog niet operationeel).

Bij het drogen neemt zowel N-totaal als N-NH₄ toe. De verwachting is dat N-NO₃ niet toeneemt bij drogen. In dat geval zou er geen verschil te verwachten zijn tussen het nitraatgehalten van metingen in veldvochtige monsters en gedroogde monsters, mits uitgedrukt per kg grond.

Om deze aanname te toetsen is een toetsing uitgevoerd op monsters waarin zowel N-NO₃ gemeten is in zowel veldvochtige als gedroogde monsters.

2 Metingen

Gebruik is gemaakt van 4 databestanden met in totaal 313 monsters:

- A 144 monsters
- B 19 monsters
- C 96 monsters (waarvan 20 klei, 69 zand)
- D 54 monsters

De databestanden bevatten metingen die gedaan zijn in kader van AIO-project van Gerard Ros. Hierbij zijn N-NH₄, N-NO₃ en N-totaal in het bodemvocht (CaCl₂ extractie) in zowel veldvochtige monsters als gedroogde monsters (40°C) bepaald. In de databestanden zijn alle metingen weergegeven en de omrekening naar kg droge grond al gemaakt. Hier worden dan ook alleen de berekende waarden van N-NO₃ per kg grond gebruikt. Eén databestand (C) bevat tevens een aanduiding van grondsoort.

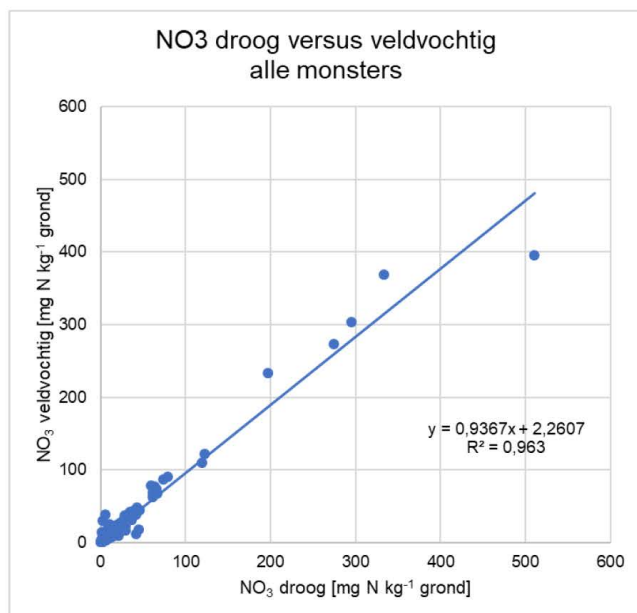
3 Vergelijking

Van de 313 monsters zijn er 7 met een N-NO₃ gehalte dat hoger is dan 100 mg N-NO₃ per kg grond. Plotten van zowel de gehele dataset (Figuur 1, 313 monsters) als enkel de monsters met gehalten <100 mg N-NO₃ kg grond (Figuur 2; 306 monsters) laat zien dat de nitraatgehalten in veldvochtige grond en gedroogde grond sterk overeenkomen.

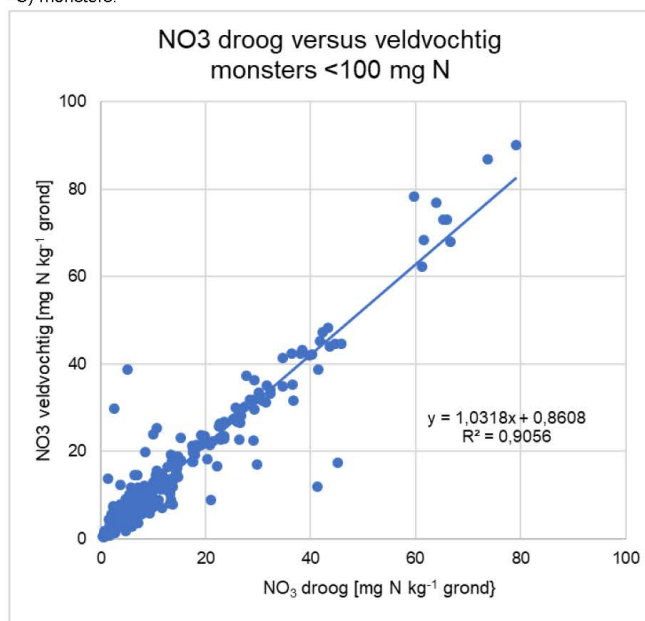
Statische gegevensanalyse met regressiepakket van EXCEL geeft:

alle data:	$y = 0,9367x + 2,2607$	$R^2 = 0,96$	standaardfout 8,1
data <100 N-NO ₃ :	$y = 1,0318x + 0,8608$	$R^2 = 0,91$	standaardfout 4,7

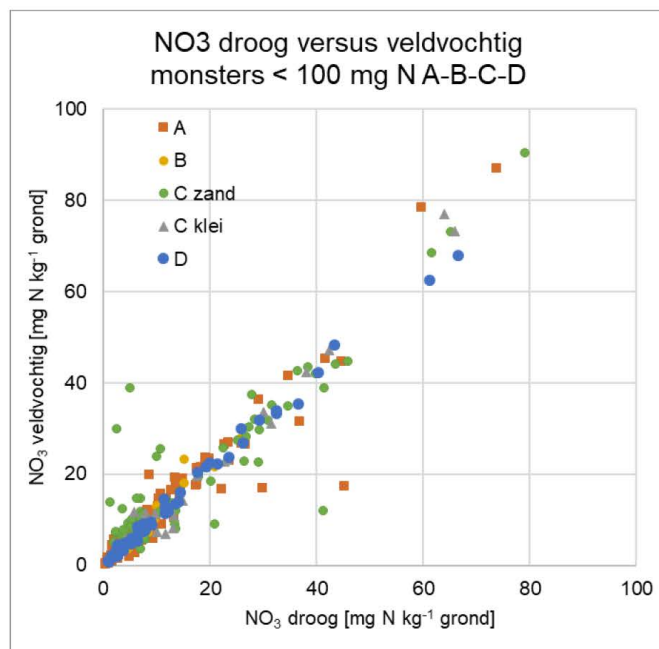
met als y N-NO₃ veldvochtig, en als x N-NO₃ droog



Figuur 1 Nitraat gehalten (mg N kg⁻¹ grond droog) gemeten in 313 veldvochtige dan wel gedroogde (40 °C) monsters.



Figuur 2. Nitraatgehalten (mg N kg⁻¹ grond droog) gemeten in 306 veldvochtige dan wel gedroogde (40 °C) monsters.



Figuur 3. Nitraatgehalten (mg N kg^{-1} grond droog) gemeten in 306 veldvochtige dan wel gedroogde (40C) monsters. Kleuren geven databestanden A-B-C-D, waarbij in C onderscheid naar zand en klei.

Uitsplitsing naar de verschillende databestanden, met daarbij in databestand C een onderscheid tussen zand en kleigronden geeft aan dat de afwijkende waarden vooral afkomstig zijn van de zandgronden uit databestand C (Figuur 3). Er is geen systematische verschil tussen de databestanden of tussen zand of klei.

4 Conclusie

De meetwaarden voor nitraat, uitgedrukt op basis van mg per kg gedroogde grond, komen voor zowel veldvochtige als gedroogde monsters overeen.

Er lijkt op basis van een beperkt aantal monsters, geen systematisch verschil te zijn tussen nitraat metingen in zand of kleimonsters. Wel zijn er bij de zandmonsters meer afwijkende waarden tussen nitraat gemeten in veldvochtige dan wel gedroogde monsters.

Bijlage 3A Stikstofresidu (NR) in najaar 2018 en eigenschappen van de bemonsterde plekken voor melkvee bedrijven

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
MV001	ZEEKLEI	P1 A	Mn25A	IV	GRAS	77,22	17,94	95,16
MV001	ZEEKLEI	P1 B	Mn25A	IV	GRAS	73,71	17,55	91,26
MV001	ZEEKLEI	P2	Mn25A	IV	GRAS	39	14,82	53,82
MV001	ZEEKLEI	P8	Mn25A	IV	GRAS	105,69	9,75	115,44
MV001	ZEEKLEI	P5	Mn25A	IV	BLOEMBOLLEN & -KNOLLEN	168,48	14,82	183,3
MV001	ZEEKLEI	P6	Mn25A	IV	BLOEMBOLLEN & -KNOLLEN	120,51	17,55	138,06
MV001	ZEEKLEI	P10	Mn25A	IV	GRAS	54,99	12,87	67,86
MV002	ZAND DUN	1	Hn21g / Hn30	VI	GRAS	55,77	7,41	63,18
MV002	ZAND DIK	3	pZn23g	IV	GRAS	85,02	7,41	92,43
MV002	MOERIG	6	vWzg	III	GRAS	55,38	19,89	75,27
MV002	ZAND DUN	9	Hn21g / Hn30	VI	GRAS	20,67	8,97	29,64
MV002	ZAND DUN	11	Hn21g / Hn30	VI	GRAS	15,99	7,02	23,01
MV002	ZAND DUN	12	Hn21g / Hn30	VI	GRAS	17,16	4,29	21,45
MV002	ZAND DIK	14	EZg23g	VI	GRAS	23,4	8,97	32,37
MV003	MOERIG	1	zWp	VI / Vb	GRAS	257,4	22,62	280,02
MV003	MOERIG	2	zWp	Vb / IIIb	GRAS	335,79	20,67	356,46
MV003	MOERIG	3	zWp	VI / Vb	GRAS	160,68	49,92	210,6
MV003	ZAND DUN	4	Hn23	VI	GRAS	95,94	10,92	106,86
MV003	ZAND DUN	5	Hn23	VI	GRAS	55,38	6,63	62,01
MV003	ZAND DUN	6	Hn23	VI	GRAS	44,07	5,85	49,92
MV003	ZAND DUN	7	Hn23	VI	GRAS	158,34	11,31	169,65
MV003	ZAND DUN	8	Hn23	VI	GRAS	156,39	19,89	176,28
MV003	MOERIG	9	zWp	VI	GRAS	281,58	15,21	296,79
MV003	MOERIG	10	zWp	VI	GRAS	164,58	10,14	174,72
MV003	MOERIG	11	zWp	VI	GRAS	290,55	8,19	298,74
MV003	ZAND DUN	12	Hn23	VI	MAÏS	264,42	3,51	267,93
MV003	ZAND DUN	13	Hn23	VI	MAÏS	317,85	3,9	321,75

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
MV003	ZAND DUN	14	Hn23	VI	GRAS	130,65	11,31	141,96
MV003	ZAND DUN	16	Hn23	VI	GRAS	141,96	11,31	153,27
MV003	ZAND DUN	24	Hn23	VI	GRAS	72,93	5,85	78,78
MV003	ZAND DIK	25	pZn23	VI	SUIKERBIETEN	53,82	1,17	54,99
MV003	ZAND DUN	26ZuidWest	Hn23	VI	SUIKERBIETEN	54,21	0,78	54,99
MV003	ZAND DIK	26ZuidOost	pZn23	VI	SUIKERBIETEN	59,28	5,07	64,35
MV003	MOERIG	31	zWz/pZg23	Vb / VI	GRAS	122,85	2,73	125,58
MV003	ZAND DUN	32	Hn23/Zn23	Vb / VI	GRAS	68,25	8,58	76,83
MV003	MOERIG	32Zuid	zWz/pZg23	Vb / VI	GRAS	158,34	1,56	159,9
MV003	ZAND DIK	33A	pZn23	VI	MAÏS	230,88	1,56	232,44
MV003	ZAND DUN	33 A ZuidOost	Hn23	VI	MAÏS	251,55	1,95	253,5
MV003	ZAND DIK	33B	pZn23	VI	SUIKERBIETEN	97,5	2,34	99,84
MV004	ZEEKLEI	M1	Mn12A/Mn15A	VIIo	MAÏS	86,19	4,29	90,48
MV004	ZEEKLEI	M2	Mn15A	VIIo	MAÏS	96,33	2,34	98,67
MV004	ZEEKLEI	M3	Mn25A	VIIo	MAÏS	87,36	3,9	91,26
MV004	ZEEKLEI	M4	Mn15A	VIIo	MAÏS	82,68	1,17	83,85
MV004	ZEEKLEI	M5	AZW8a	IVc	GRAS	25,35	1,56	26,91
MV004	ZEEKLEI	M6	AZW8a	IVc	GRAS	21,84	1,17	23,01
MV005	MOERIG	Nieuweroord 1	iWpx	VI	GRAS	17,94	3,51	21,45
MV005	MOERIG	Nieuweroord 2	iWpx	VI	GRAS	93,99	7,41	101,4
MV005	MOERIG	Nieuweroord 3	iWpx	VI	GRAS	117,39	15,6	132,99
MV005	ZAND DUN	Nieuweroord 4	HN21	VI	GRAS	40,95	7,8	48,75
MV005	ZAND DUN	Nieuweroord 5	HN21	VI	GRAS	30,42	14,82	45,24
MV005	ZAND DUN	Nieuweroord 6	HN21	VI	GRAS	29,64	28,47	58,11
MV005	KEILEEM	Nieuweroord 8	Hn21x	VI	GRAS	15,99	3,51	19,5
MV006	ZEEKLEI	P1 Hoog	Mn82Cp	VIo	GRAS	193,44	26,52	219,96
MV006	ZEEKLEI	P18 No	Mn15A	Vbo	GRAS	39	7,02	46,02
MV006	ZEEKLEI	P18 Zw	Mv81A	Vbo	GRAS	58,11	22,23	80,34
MV006	KLEI OP ZAND	P24	kHn21	VIo	GERST	19,11	8,19	27,3
MV006	ZEEKLEI	P34 No	Mn15A	Vbo	GRAS	23,79	4,68	28,47
MV006	ZEEKLEI	P34 Zw	Mv81A	Vbo	GRAS	55,38	17,55	72,93
MV006	ZAND DIK	P31	EZg23w / pZg23w	VIo	MAÏS	91,26	5,85	97,11
MV007	ZEEKLEI	p1	Mn52Cp	VI	GRAS	61,62	1,17	62,79

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
MV007	ZEEKLEI	p2	Mn52Cp	VI	GRAS	137,28	1,95	139,23
MV007	KLEI OP ZAND	p4	kZn21	VI	GRAS	87,36	1,95	89,31
MV007	ZEEKLEI	p5	Mn52Cp	VI	GRAS	58,89	1,56	60,45
MV007	KLEI OP ZAND	p6	kZn21	VI	GRAS	138,84	1,17	140,01
MV007	ZEEKLEI	p7	Mn52Cp	VI	MAÏS	259,35	1,95	261,3
MV007	ZEEKLEI	p3	Mn52Cp	IV	GRAS	106,47	2,73	109,2
MV007	KLEI OP ZAND	p9	kZn21	IV	GRAS	44,85	1,95	46,8
MV007	ZEEKLEI	p10	Mn52Cp	IV	GRAS	45,24	3,12	48,36
MV007	ZEEKLEI	p11	Mn52Cp	IV	GRAS	25,74	3,51	29,25
MV007	KLEI OP ZAND	p12	kZn21	IV	GRAS	35,88	8,19	44,07
MV007	KLEI OP ZAND	p8	kZn21	IV	MAÏS	331,5	3,51	335,01
MV008	LÖSS	P1-3A	LÖSS	VIII	GRAS	95,55	4,29	99,84
MV008	LÖSS	P1-3B	LÖSS	VIII	GRAS	129,87	4,68	134,55
MV008	LÖSS	P1-3C	LÖSS	VIII	GRAS	194,61	3,9	198,51
MV008	LÖSS	P4A	LÖSS	VIII	MAÏS	122,85	3,9	126,75
MV008	LÖSS	P18	LÖSS	VIII	MAÏS	43,29	3,51	46,8
MV008	LÖSS	P19	LÖSS	VIII	MAÏS	78	3,51	81,51
MV008	LÖSS	P11	LÖSS	VIII	TARWE	55,77	5,85	61,62
MV008	LÖSS	P12	LÖSS	VIII	GRAS	129,09	7,02	136,11
MV008	LÖSS	P14LB	LÖSS	VIII	GRAS	104,13	4,29	108,42
MV008	LÖSS	P14Mid	LÖSS	VIII	GRAS	85,41	3,51	88,92
MV008	LÖSS	P21RO	LÖSS	VIII	GRAS	45,24	2,34	47,58
MV008	LÖSS	P21LB	LÖSS	VIII	GRAS	46,02	1,95	47,97
MV008	LÖSS	P Zuidrand	LÖSS	VIII	GRAS	129,09	10,53	139,62
MV008	LÖSS	P4 B	LÖSS	VIII	MAÏS	171,6	4,68	176,28
MV008	LÖSS	P5 1	LÖSS	VIII	GRAS	145,86	6,24	152,1
MV008	LÖSS	P5 2	LÖSS	VIII	GRAS	117,39	3,12	120,51
MV008	LÖSS	P7	LÖSS	VIII	GRAS	22,62	1,56	24,18
MV008	LÖSS	P8	LÖSS	VIII	GRAS	27,69	3,12	30,81
MV008	LÖSS	P9	LÖSS	VIII	GRAS	78	2,73	80,73
MV008	LÖSS	P10	LÖSS	VIII	GRAS	36,27	7,41	43,68
MV008	LÖSS	P23 Midden	LÖSS	VIII	GRAS	187,98	18,33	206,31
MV008	LÖSS	P23 West	LÖSS	VIII	GRAS	184,47	12,48	196,95

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
MV008	LÖSS	P24 Noord	LÖSS	VIII	GRAS	144,69	7,41	152,1
MV008	LÖSS	P24 Oost	LÖSS	VIII	GRAS	152,1	3,51	155,61
MV009	ZAND DUN	P1	Hn21	VII	GRAS	205,53	39,39	244,92
MV009	ZAND DUN	P2	Hn21	VII	GRAS	191,49	70,98	262,47
MV009	ZAND DUN	P3	Hn21	VII	GRAS	233,22	31,59	264,81
MV009	ZAND DUN	P4	Hn21	VII	GRAS	225,03	35,49	260,52
MV009	ZAND DUN	P5	Hn21	VII	GRAS	178,62	67,08	245,7
MV009	ZAND DUN	P6	Hn21	VII	GRAS	150,15	63,96	214,11
MV009	ZAND DUN	P7	Hn21	IV	GRAS	239,46	20,28	259,74
MV009	ZAND DUN	P8	Hn21	IV	GRAS	166,53	27,3	193,83
MV009	ZAND DUN	P9	Hn21	IV	GRAS	194,22	21,06	215,28
MV009	ZAND DUN	P10	Hn21	VI	GRAS	166,14	47,58	213,72
MV009	ZAND DUN	P11	Hn21	VI	MAÏS	168,48	15,99	184,47

Bijlage 3B Stikstofresidu (NR) in najaar 2018 en eigenschappen van de bemonsterde plekken voor akkerbouw bedrijven

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
AKK001	ZEEKLEI	1	pMn85A / Mn25A	Vio	GRAS	452,4	0,78	453,18
AKK001	ZEEKLEI	2	pMn85A / Mn25A	Vio	GRAS	486,72	1,56	488,28
AKK001	ZEEKLEI	3	pMo80/pMn85A & AEp7A	Vio	BROCCOLI	397,02	0,78	397,8
AKK001	ZEEKLEI	4	pMo80/pMn85A & AEp7A	Vio	BROCCOLI	209,82	0,39	210,21
AKK001	ZEEKLEI	5	AEp7A	Vio	BROCCOLI	201,63	1,56	203,19
AKK002	KLEIBRIK	1	BKd25m	VIII	SNIJMAÏS	70,2	10,92	81,12
AKK002	KLEIBRIK	2	BKd25m	VIII	SNIJMAÏS	118,95	0	118,95
AKK002	KLEIBRIK	3	BKd25m	VIII	SPRUITKOOL	305,76	-0,78	304,98
AKK003	ZEEKLEI	1	Mn25A	VIo	POOTAARDAPPEL	246,09	17,16	263,25
AKK003	ZEEKLEI	2	Mn25A	VIo	POOTAARDAPPEL	218,01	5,85	223,86
AKK003	ZEEKLEI	3	Mn25A	VIo	POOTAARDAPPEL	277,68	35,49	313,17
AKK003	ZEEKLEI	4	Mn25A	VIo	SLA, IJSBERG-	278,85	1,56	280,41
AKK003	ZEEKLEI	5	Mn25A	VIo	SLA, IJSBERG-	285,87	0,78	286,65
AKK003	ZEEKLEI	6	Mn25A	VIo	SLA, IJSBERG-	204,36	0	204,36
AKK004	ZAND DIK	1	bEZ21 / pZg21	VIo / VII	PREI	239,46	0,39	239,85
AKK004	ZAND DIK	2	bEZ21 / pZg21	VI / IV / VII	PREI	120,12	1,95	122,07
AKK004	ZAND DIK	3	bEZ21 / pZg21	VI / IV / VII	PREI	93,21	4,68	97,89
AKK005	ZEEKLEI	1	Mn15A	VIIo	ASPERGES	23,01	0	23,01
AKK005	ZEEKLEI	2	Mn15A	IVu / VIIo	WITTEKOOL	40,56	2,34	42,9
AKK005	ZEEKLEI	3	Mn15A	IVu	WITTEKOOL	27,3	-0,78	26,52
AKK006	ZEEKLEI	1	pMn85A	VIIo	SPITSKOOL	198,12	2,73	200,85
AKK006	ZEEKLEI	2	pMn85A	VIIo	SPITSKOOL	185,64	0,78	186,42
AKK006	ZEEKLEI	3	pMn85A	VIIo	SPITSKOOL	153,27	2,34	155,61
AKK006	ZEEKLEI	4	pMn85A	VIIo	SPITSKOOL	167,7	0,78	168,48
AKK007	ZAND DUN	1	Hn21	VII	PREI MISLUKT	357,24	3,12	360,36
AKK007	ZAND DUN	2	Zn23	VI	PREI MISLUKT	472,29	4,68	476,97
AKK008		18,1a			PREI	84	0	84

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
AKK008		18,2b			PREI	187	0	187
AKK008		34,1a			PREI	99	0	99
AKK009	ZAND DIK	P 1	bEZ23	VIII	SPRUITKOOL	31,2	19,5	50,7
AKK009	ZAND	P 2	Y23	VIII	MAÏS	140,01	3,9	143,91
AKK010	ZAND DUN	P Hoog 1	Hn21	VI		86,19	7,41	93,6
AKK010	KLEI OP ZAND	P Hoog 2	kpZg21	VI		67,08	11,31	78,39
AKK010	ZAND DUN	P Laag 1	Hn21	VI		122,46	3,12	125,58
AKK010	KLEI OP ZAND	P Laag 2	kpZg21	VI		96,72	2,73	99,45
AKK011	ZAND DUN	1	Hn21	VI	PREI	227,37	7,41	234,78
AKK011	ZAND DIK	2	zEZ21	VII	PREI	145,08	5,07	150,15
AKK011	ZAND DIK	3	zEZ21	VII	PREI	130,65	8,19	138,84
AKK012	ZAND DUN	1	Hn21	VI / VII	COURGETTE	121,68	6,24	127,92
AKK012	ZAND DUN	2	Hn21	VI / VII	COURGETTE	125,19	12,48	137,67
AKK012	MOERIG	3	zWp	IV / VI		60,84	8,19	69,03
AKK012	MOERIG	4	zWp	IV / VI		62,4	9,36	71,76
AKK013	ZAND DIK	1	zEZ23	III	PREI	228,93	9,36	238,29
AKK013	ZAND DIK	2	zEZ23	VII	PREI	231,27	9,75	241,02
AKK013	ZAND DIK	3	zEZ23	VII	PREI	299,13	7,8	306,93
AKK014	ZAND DIK	1	zEZ23	VII	JAPANSE HAVER	575,64	60,06	635,7
AKK014	ZAND DIK	2	zEZ23	VII	JAPANSE HAVER	485,16	3,12	488,28
AKK015	ZAND DUN	1	Hn21	VI	PREI	57,33	17,16	74,49
AKK015	ZAND DUN	2	Hn21	VI	PREI	154,83	34,32	189,15
AKK015	ZAND DUN	3	Hn21	VI	PREI	161,85	6,24	168,09
AKK016	ZEEKLEI	1	Mn15A	IVu	SLA, IJSBERG-			
AKK016	ZEEKLEI	2	Mn15A	IVu	SLA, IJSBERG-	147,03	1,56	148,59
AKK016	ZEEKLEI	3	Mn15A	IVu	SLA, IJSBERG-	42,9	-0,39	42,51
AKK016	ZEEKLEI	4	Mn15A	IVu	SLA, IJSBERG-	30,81	0,39	31,2
AKK017	ZAND DUN	1	Zb23	VIIId / VIII	PREI	192,66	0,78	193,44
AKK017	ZAND DUN	2	Zb23	VIII	PREI	115,05	-0,39	114,66
AKK018	ZEEKLEI	1	pMn85A/Mn25A	VIo	BROCCOLI	41,73	0	41,73
AKK018	ZEEKLEI	2	pMn85A/Mn25A	VIo	BROCCOLI	46,41	0	46,41
AKK018	ZEEKLEI	3	pMn85A/Mn25A	VIo	BROCCOLI	328,77	3,51	332,28
AKK018	ZEEKLEI	4	pMn85A/Mn25A	VIo	BROCCOLI	358,02	3,12	361,14

Eigenaar	Grondsoort	Perceel	Bodemtype	GT	Gewas_2018	NO ₃ -N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)	NMIN (kg/ha)
AKK018	ZEEKLEI	5	pMn85A/Mn25A	VIo	BROCCOLI	347,88	3,51	351,39
AKK019	ZAND DIK	1	Hn23 / Zn23	VIII	PREI	728,91	3,51	732,42
AKK019	ZAND DIK	2	Hn23 / Zn23	VIII	PREI	425,88	1,56	427,44
AKK019	ZAND DIK	3	Hn23 / Zn23	VIII	ASPERGE	15,99	-0,39	15,6
AKK019	ZAND DIK	4	Hn23 / Zn23	VIII	ASPERGE	31,2	-2,34	28,86
AKK020	ZAND DIK	1	zEZ21 / pZn21g	VIId	PREI	235,56	0,39	235,95
AKK020	ZAND DIK	2	zEZ21 / pZn21g	VIId	PREI	249,99	0	249,99
AKK020	ZAND DIK	3	zEZ21 / pZn21g	VIId	PREI	181,35	0,39	181,74
AKK020	ZAND DIK	4	zEZ21 / pZn21g	IVu	PREI	269,1	0	269,1
AKK021	ZAND DIK	1	zEZ23	VIId	PREI	232,05	3,9	235,95
AKK021	ZAND DIK	2	zEZ23	VIId	COURGETTE	133,38	6,24	139,62
AKK021	ZAND DIK	3	zEZ23	VIId	PASTINAAK	191,49	5,07	196,56
AKK022	ZAND DUN	1	Hn21	VII	PREI	106,47	10,53	117
AKK022	ZAND DUN	2	Hn21	IVu	WINTERPEEN	118,95	7,41	126,36
AKK022	ZAND DUN	3	Hn21	IVu	WINTERPEEN	122,07	6,24	128,31

Bijlage 4 NMI notitie Nmin metingen najaar 2018



Soil for life

Nitraatwijzer: Nmin metingen najaar 2018

Nitraatmetingen in een waardenetwerk met 10 melkveehouders te Noord-Limburg

NMI-notitie 1748.N.18a

Auteur(s): Ing. D. Thijssen
Dr. Ir. W. Bussink

Datum 10-1-2019

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

1 Achtergrond

In Noord-Limburg is in voorjaar 2018 een demo-project gestart op 10 melkveebedrijven met als doel om de uitspoeling van nitraat terug te dringen. Dit gebeurt door scherper te sturen op de stikstofbemesting van gras- en maisland gedurende het seizoen door inzet van praktijkrijpe tools en hulpmiddelen. Daarnaast wordt bij mais ingezet op het sturen van raskeuze in combinatie met vanggewassen en of onderzaai om zo stikstof optimaal te benutten. Door deze aanpak wordt verwacht dat er meer stikstof(eiwit) met de gewassen wordt opgenomen. Dit is gunstig voor de gewaskwaliteit en opbrengst en zal tegelijkertijd leiden tot een verlaging van de nitraatuitspoeling. Per bedrijf zijn 1-2 percelen die gemonitord worden op gewaskwaliteit en Nmin in de nazomer en najaar. In het kader van het project nitraatwijzer zijn extra Nmin metingen verricht en wel door percelen vaker te bemonsteren in het najaar.

2 Metingen

De fractie N-mineraal (Nmin) is op 3 momenten gemeten over verschillende diepten, te weten:

- 10 oktober 0-30 en 30-60;
- 6 november 0-30 en 30-60;
- 12 december 0-30, 30-60 en 60-90.

In totaal zijn er 70 grondmonsters geanalyseerd door Eurofins op Nmin via in een 1:2 (v/v) extract in veldvochtige grond (zie de bijlage 1 bij deze notitie voor de resultaten). De grondmonsters zijn per tijdstip binnen 1 dag genomen en de dag erna bij Eurofins aangeboden en geanalyseerd om nitraatverliezen te voorkomen.

Op elk perceel is een mengmonster van 10-15 steken genomen met een gutsboor van 12mm. Door de droge zomer waren de percelen met in de ondergrond (>30cm -mv) klei zeer droog en daarom zeer hard, waardoor het nemen van een monster van de 30-60 cm laag fysiek zwaar werk was. Soms was het zelfs onmogelijk om met een gutsboor een monster te steken. Dat was vooral het geval in de maand oktober.

De 10 percelen die zijn bemonsterd bestaan uit 5 mais-, 4 gras- en een voederbietenperceel. De grondsoort en bodemkenmerken staan omschreven in tabel 1. Op elk maisperceel is een vanggewas ingezaaid. Op perceel 3, 4 (beide gras) en 8 (bladrammenas) staat een homogeen gezaaid en hoog opgekomen vanggewas, zie figuur 1. Op perceel 1 is het vanggewas te laat gezaaid voor een goede opkomst, maar hier zijn de stikstofvoorraden in de bodem van zich zelf al laag. Op perceel 10 is als

Tabel 1. Omschrijving en kenmerken van de 10 percelen.

Bedrijf	Gewas	Grondsoort	P-bodem voorraad (P-AI)	Zuurgraad (pH)	Organische stof (%)	Klei (%)	Silt (%)	Zand (%)	Slib (%)
1	Mais	Zavel (grind op 40cm)							
2	Gras	Zavel/lichte klei							
3	Mais	Zand							
4	Mais	Zavel							
5	Gras 2	Zavel	45	5,2	6,6	13	27	53	21
6	Voederbiet	Dekzand	76		3,8				
7	Gras 2	Lemig zand (grind op 40cm)	57	5,8	4,9	3	21	71	
8	Mais	Zand	88	4,6	3,1	3	11	83	
9	Gras 2	Lemig zand	805 kg P/ha	6	3,6	4	13	79	
9	Mais	Lemig zand	2515 kg P/ha	5,9	2,3	3	19	76	

Notitie 1748.N.18a (NMI, 2019)

vanggewas gras gezaaid dat goed is gegroeid (20 cm) maar heel dun is opgekomen. Dat kan komen doordat er te weinig kilogrammen graszaad zijn gebruikt maar meer aannemelijk is dat het zaaibed niet goed was. Die conclusie wordt getrokken uit het feit dat de maisstoppels over het hele perceel nog goed zichtbaar waren. De voederbieten op het voederbietenperceel worden twee wekelijks gerooid en vers vervoerd en waren voor het overgrote deel nog niet gerooid ten tijde van de bemonsteringen (bij de derde bemonstering stond nog meer dan de helft op het land).



Figuur 1. Perceel 3 waar het vanggewas gras goed is opgekomen (datum foto 12-12-2018).

3 Resultaten

De resultaten in tabel 2 laten zien dat de Nmin resultaten sterk variëren op de maispercelen. Op bedrijf 3, 4 en 9 (Tabel 3) is te ruim bemest. Op bedrijf 4 is mais ingezaaid op gescheurde rogge. In

Tabel 2. De analyseresultaten van Nmin-metingen (kg N/ha) op 10 praktijkbedrijven (1 perceel per bedrijf). (blauw is totaal).¹

Bedrijf	Gewas	Diepte (cm)	10-okt	6-nov	12-dec
1	Mais	0-30	32	44	10
1	Mais	30-60	2	15	30
1	Mais	60-90			22
			34	59	62
2	Gras	0-30	31	35	14
2	Gras	30-60	7	11	21
2	Gras	60-90			17
			38	46	52
3	Mais	0-30	257	160	75
3	Mais	30-60	94	110	105
3	Mais	60-90			89
			351	270	269
4	Mais	0-30	157	174	23
4	Mais	30-60	41	67	64
4	Mais	60-90			146
			198	241	233
5	Gras 2	0-30	30	33	23
5	Gras 2	30-60	13	10	13
5	Gras 2	60-90			13
			43	43	49
6	Voederbiet	0-30	23	26	15
6	Voederbiet	30-60	10	10	17
6	Voederbiet	60-90			12
			33	36	44
7	Gras 2	0-30	22	15	69
7	Gras 2	30-60	4	2	6
7	Gras 2	60-90			2
			26	17	77
8	Mais	0-30	35	17	7
8	Mais	30-60	13	16	8
8	Mais	60-90			11
			48	33	26
9	Gras 2	0-30	47	35	8
9	Gras 2	30-60	12	6	11
9	Gras 2	60-90			11
			59	41	30
9	Mais	0-30	103	79	17
9	Mais	30-60	26	29	31
9	Mais	60-90			46
			129	108	94

¹ Kg N/ha wordt op basis van de Nmin resultaten door Eurofins berekend op basis van een volume (1:2) extractie.

Tabel 3. De bemesting op de maïspcelen en het voederbietenperceel (bedrijf 6).

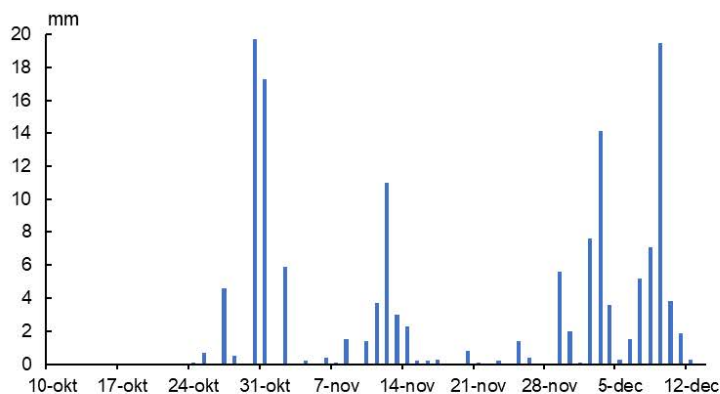
Bedr.	drm	kunstmest		groen-	overige	min. bodem advies		totaal	overschot	Nmin 0-60	opbrengst**
		N-werk	N-werkz	bemester	N-werk	vj 2018		10-okt			
	m3/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	ton ds/ha
1	35	84	31			20	140	135	-5	34	15-16
3	40	96	51	52	38	10	140	248	108	341	laag
4	30	65	29	15	160	10	140	279	139	198	11-13
6	35	64				20	140	84	-56	33	
8	40	96		40		10	140	146	6	38	14
9*	30	72	72	100	30	10	140	284	144	129	11-13"

* 4 ton gras/klover geoogst voor maiszaai

** Gebaseerd op de opbrengstschatting van de ondernemer

najaar 2017 is op 30 aug vaste mest toegediend (deze is in voorjaar 2018 niet ingerekend). De opbrengst bleef bijna 10 ton ds/ha achter ten opzichte van normaal. In combinatie met een hoge N-mineralisatie door een warme zomer leidt dit tot hoge Nmin-waarden op bedrijf 4. De maisopbrengst is niet gemeten op de bedrijven, wel geschat. Op bedrijf 4 was de aanvullende kunstmest en overige bemesting niet nodig geweest. Dit geldt ook voor bedrijf 9 met een hoge geschatte nalevering uit de gras/klover zode. In het droge jaar 2018 pakt het extra nadelig uit voor Nmin. Alleen op bedrijf 8 en 1 zijn lage Nmin waarden gerealiseerd door een krappe N-bemesting (minder dan 150 kg werkzame N uit (kunst)mest en vanggewas) ondanks een iets achterblijvende opbrengst. Op de graspercelen zijn (vrij) lage Nmin waarden gerealiseerd. Ook het voederbietenperceel op bedrijf 6 gaf lage Nmin waarden te zien.

De Nmin waarden dalen maar beperkt gedurende najaar 2018. Wel is er enige verplaatsing naar diepere lagen zoals blijkt uit Tabel 2 bij 12 december (pas toen was het mogelijk om een monster te nemen van de laag 60-90 cm). De hoeveelheid neerslag was beperkt in het najaar van 2018. Vanaf 25 september tot 10 oktober is er vrijwel geen neerslag gevallen. Tussen 10 oktober en 6 november is er 50 mm en tussen 6 november en 12 december is er 99 mm neerslag gevallen. De verdeling is in Figuur 1 weergegeven.



Figuur 2. De neerslaggegevens van meetstation Siebengewald tussen 10 okt en 13 dec 2018.

4 Aandachtspunten

In regio's van Limburg zijn op verscheidene percelen veel stenen en grind te vinden. Deze belemmeren een goede bemonstering van het perceel. Met de gutsboor kun je dan niet diep de grond in komen. Een goed mengmonster verkrijgen van de 30-60 cm laag is daarom lastig te realiseren.

Door de droogte in de (na)zomer van 2018 is de ondergrond moeilijk te penetreren met een gutsboor. Vooral de percelen met klei in de ondergrond zijn extreem hard. Een monster nemen van deze bodemlaag was daardoor niet mogelijk.

De percelen op bedrijf 1 en 7 met grind in de bodemlaag > 40cm -mv zijn voor de bemonstering van 60-90 cm genomen met een edelmanboor op twee plekken in het perceel. De bemonstering van de 30-60 cm laag was zeer lastig en niet elke steek is tot 60cm diepte gekomen.

Tabel 1b. De analysesresultaten van Nmin metingen op 10 praktijkbedrijven.

bedrijf	Gewas	Diepte (cm)	mg NH4-N/l			mg NO3-N/l			N-voorraad kg/ha		
			10-okt	6-nov	12-dec	10-okt	6-nov	12-dec	10-okt	6-nov	12-dec
1	Mais	0-30	0,5	0,5	0,5	5,4	7,3	1,6	32	44	10
1	Mais	30-60	0,5	0,5	0,5	2,4	2,5	5,0	2	15	30
1	Mais	60-90			0,5			3,6			22
2	Gras	0-30	0,5	0,5	0,5	5,2	5,9	2,4	31	35	14
2	Gras	30-60	0,5	0,5	0,5	3,5	1,8	3,5	7	11	21
2	Gras	60-90			0,5			2,9			17
3	Mais	0-30	0,5	0,5	0,5	42,8	26,6	12,5	257	160	75
3	Mais	30-60	0,5	0,5	0,5	15,7	18,4	17,5	94	110	105
3	Mais	60-90			0,5			14,9			89
4	Mais	0-30	0,5	0,5	0,5	28,1	29,0	3,9	157	174	23
4	Mais	30-60	0,5	0,5	0,5	13,6	11,2	10,7	41	67	64
4	Mais	60-90			0,5			24,3			146
5	Gras 2	0-30	0,5	0,5	0,5	5,0	5,5	3,8	30	33	23
5	Gras 2	30-60	0,5	0,5	0,5	2,2	1,6	2,2	13	10	13
5	Gras 2	60-90			0,5			2,1			13
6	Voederbiet	0-30	0,5	0,5	0,5	3,8	4,4	2,5	23	26	15
6	Voederbiet	30-60	0,5	0,5	0,5	1,6	1,7	2,9	10	10	17
6	Voederbiet	60-90			0,5			2,0			12
7	Gras 2	0-30	0,5	0,5	0,5	3,7	2,5	11,5	22	15	69
7	Gras 2	30-60	0,5	0,5	0,5	1,2	0,6	1,0	4	2	6
7	Gras 2	60-90			0,5			0,6			2
8	Mais	0-30	0,5	0,5	0,5	5,8	2,9	1,1	35	17	7
8	Mais	30-60	0,5	0,5	0,5	2,1	2,7	1,3	13	16	8
8	Mais	60-90			0,5			1,9			11
9	Gras 2	0-30	0,5	0,5	0,5	7,8	5,8	1,4	47	35	8
9	Gras 2	30-60	0,5	0,5	0,5	2,0	1,0	1,8	12	6	11
9	Gras 2	60-90			0,5			1,9			11
9	Mais	0-30	0,5	0,5	0,5	17,1	13,1	2,8	103	79	17
9	Mais	30-60	0,5	0,5	0,5	4,3	4,9	5,2	26	29	31
9	Mais	60-90			0,5			7,7			46

Notitie 1748.N.18a (NMI, 2019)

Bijlage 5 NMI notitie Quick scan nitraatsensoren



Soil for life



Nitraatwijzer: Quick scan nitraatsensoren

NMI-notitie 1748.N.18c

Auteur(s): Wim Bussink/NMI
Gerard Ros/NMI
Joachim Rozemeijer/Deltares
Gé van den Eertwegh/KnowH2O

Datum 21-1-2019

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

1 Achtergrond

Het streven van de Nederlandse overheid is om de uitspoeling van nitraat naar het grondwater verder te verminderen. In Vlaanderen (B) en Baden-Württemberg (D) wordt monitoring van Nmin-najaar gebruikt als regulerend instrument; dat maakt in Vlaanderen ook deel uit van het actie programma Nitraatrichtlijn. In Nederland is 15 jaar geleden onderzoek verricht of Nmin en varianten daarop perspectief bieden als sturingsinstrument. Op basis van de toenmalige resultaten is besloten om Nmin in het najaar niet als methodiek in te voeren, mede vanwege de slechte correlatie met nitraatconcentraties in het bovenste grondwater die werd gevonden (Hack- ten Broeke et al., 2004).

Het Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn (Par. 5.5.3.5) stelt een project in het vooruitzicht waarin 'Nederland in praktijksituaties gaat bezien hoe het beste het risico van nitraatuitspoeling van individuele percelen en landbouwbedrijven kan worden bepaald. In de motie Dik-Faber is de regering gevraagd dit versneld uit te werken met daarbij aandacht voor lokale metingen...'.
Dit proefproject heeft de naam "Nitraatwijzer". Het ministerie heeft Wageningen UR gevraagd een voorstel uit te werken. Dit voorstel is op 11 juni 2018 ambtelijk besproken met een breed palet aan vertegenwoordigers van sectoren (LTO, ZLTO, NAV, NMV, VBBM), kennisinstituten en onderzoeksbureaus (NMI, RIVM, Deltares, WUR) en de koepels IPO en UvW.

Het Nitraatwijzer-project heeft de naam "Nitraatwijzer". Het ministerie heeft Wageningen UR gevraagd een voorstel uit te werken. Dit voorstel is op 11 juni 2018 ambtelijk besproken met een breed palet aan vertegenwoordigers van sectoren (LTO, ZLTO, NAV, NMV, VBBM), kennisinstituten en onderzoeksbureaus (NMI, RIVM, Deltares, WUR) en de koepels IPO en UvW.

Het Nitraatwijzer-project omvat in eerste instantie twee onderdelen:

- 1) Een inventariserend deel, bestaande o.a. uit onderzoek van bestaande literatuur over indicatoren en risicofactoren van nitraatuitspoeling, diverse lopende initiatieven (onder meer op het gebied van sensormetingen), interviews en bezoeken aan Vlaanderen en Baden-Württemberg. Over dit geheel wordt een rapport opgesteld met daarin een voorstel voor kandidaat-uitspoelingwijzers;
 - 2) Het toetsen van kandidaat-uitspoelingwijzers op geldigheid en praktische toepasbaarheid in praktijknetwerken tijdens drie meetseizoenen bij verschillende bedrijfstypen en regio's/grondsoorten.
- Fase 1 bevat verschillende onderdelen, waaronder het verkennen van de mogelijkheden van sensoren. WUR heeft NMI gevraagd om in overleg met KnowH2O en Deltares een korte notitie op te stellen m.b.t. het perspectief van de inzet van sensoren en andere meettechnieken voor het meten van nitraat. De randvoorwaarden daarbij zijn dat de kosten relatief laag zijn voor de ondernemer en dat deze meetmethoden breed toepasbaar moeten zijn in de praktijk.

2 Methode

Recent zijn twee studies uitgevoerd (Cirkel et al., 2017 en Van den Eertwegh, 2018) naar het perspectief van het meten van het continu meten van nitraat voor monitoring doeleinden. Op basis van deze studies, aangevuld met gegevens over niet continu meten van nitraat, is via twee overlegsessies een aanvullende korte notitie opgesteld gericht naar de mogelijkheden van betaalbare nitraatmonitoring via direct en of indirecte metingen in de brede praktijk.

Uitgangspunt bij de notitie is metingen op perceelniveau. De basisgedachte daarachter is dat de metingen in principe zijn bedoeld om het management bij te kunnen sturen in de gewenste richting en om te (blijven) voldoen aan de nitraatdoelen voor het grondwater en N-totaal doelen voor het oppervlaktewater.

Vanuit de optiek van een vorm van nitraatmonitoring ten behoeve van de agrarische praktijk wordt

vooral gedacht aan relatief eenvoudige en goedkope metingen, omdat in principe alle (of een groot deel) van de agrarische percelen binnen Nederland bemeten dienen te worden. Bekend is dat meetresultaten in de tijd sterk kunnen variëren. Daarom wordt ook nagegaan of continue metingen op een beperkt aantal bedrijven meerwaarde kan bieden.

Van belang is dat een meting al dan niet met ondersteunende data over het weer, management en bodem een relatie heeft met de nitraatconcentratie in het grondwater (oppervlaktewater). Vanuit die optiek wordt ook gekeken naar de mogelijkheden van dubbele meting met als insteek een meting in het bodemprofiel aangevuld met een beperkt aantal metingen in het grondwater. Daarbij wordt ook kort ingegaan op de beperking van meten in het grondwater [zoals diepe grondwaterstanden en het feit dat de meetwaarden in grondwater meestal geen afspiegeling zijn van het door de boer gevoerde management in het voorbije seizoenen maar vaak van eerdere seizoenen]. Een van de technieken die een voorspeller kan zijn voor de nitraatconcentratie in het grondwater is de Nmin-meting. De ins en outs van deze meting worden in deze deelstudie buiten beschouwing gelaten (want dit komt elders aan bod).

De resultaten van deze compilatie en verkenning worden in deze notitie beknopt weergegeven in een samenvattende tabel Bijlage 1 met daarin een aantal veelbelovende technieken. De voor en tegens van de techniek worden hierin kort toegelicht. Een aantal worden in deze notitie meer in detail beschreven al dan niet met verwijzingen naar de uitgevoerde studies.

3 Compilatie van recente studies naar het perspectief van sensoren voor waterkwaliteitsmetingen

Er zijn recentelijk twee studies verschenen van Cirkel et al. (2017) en Van den Eertwegh (2018) over de mogelijkheden van sensoren voor nitraatmetingen en andere waterkwaliteitsparameters. De studies zijn gericht op het continu meten van parameters. De studie van Cirkel et al. (2017) richt zich daarbij vooral op wat het perspectief is van sensoren voor het actueel volgen van de nutriëntenuitspoeling vanuit percelen. De studie van Van den Eertwegh (2018) richt zich op meetprincipes en aspecten die te maken hebben met het inrichten van een betrouwbaar sensornetwerk voor continue monitoring van oppervlaktewater in een gebied. Beide studies zijn hieronder samengevat.

3.1 Studie KWR in het kort

In de studie van KWR en Deltares "Kwantificeren van nutriëntenuitspoeling met sensoren" (Cirkel et al., 2017) zijn een viertal methodieken onderzocht:

- Bodemvocht/waterbemonstering via een viertal meetprincipes: de cadmiumreductiemethode, nitraatelektrodes, UV absorptie, en natchemische spectrofotometrie
- Nitraat teststrips
- Incubatie methodes
- EX sensors (time domain reflectometry en niet invasieve elektromagnetische inductie
- In ontwikkeling zijn de methodes zoals supra moleculaire sensors

De focus in deze studie lag vooral op het continu en over langere tijdintervallen kunnen meten van nitraat. In het rapport van Cirkel et al. (2017) wordt geconcludeerd dat:

- Het in situ meten van de uitspoeling van nitraat en andere (sporen)elementen niet eenvoudig is.

- Het handmatig nemen en analyseren van bodemvochtmonsters zeer arbeidsintensief en kostbaar is.
- De huidige generatie sensoren, zoals ion-selectieve elektroden voor nitraat, veel onderhoud en (dagelijkse) kalibratie vragen. Ze zijn daarmee nog niet geschikt voor plaatsing in de bodem.
- Sensoren die gebruik maken van UV-absorptie, zijn vaak nog erg duur of niet praktisch voor integratie in de bedrijfsvoering van een agrariër. De meeste conventionele sensoren zijn daarnaast ingericht op het meten onder waterverzadigde condities.

De auteurs komen tot de conclusie dat direct en continu meten van nitraat in bodemvocht voorlopig praktisch nog niet mogelijk lijkt. Een vooralsnog robuuster en veelbelovend alternatief is het gebruik van de elektrische geleidbaarheid (in het Engels: EC - electrical conductivity) van bodemvocht, grondwater, drainwater en slootwater als maat voor de uitspoelende mestzouten, waaronder nitraat. Volgens de auteurs hebben meerdere studies laten zien dat in situ gemeten (schijnbare) EC (ECa) gebruikt kan worden om snelle veranderingen in de nitraatconcentraties te detecteren. De voorwaarden zijn dat het zoutgehalte en het vrije carbonaatgehalte niet te hoog zijn in de bodem. Door gebruik te maken van Electrical Resistivity Tomography (ERT) (Wehrer et al., 2016) kan een ruimtelijk beeld worden verkregen van de elektrische weerstand van de bodem. Door te corrigeren voor temperatuur en vochtgehalten kan dan aansluitend een ruimtelijk beeld van de nitraatuitspoeling worden verkregen. Dit is daarmee indirecte meting die via een berekeningsmethode EC waarden oplevert, geen directe meting. Veel sensoren moeten zich nog bewijzen onder veldcondities. Cirkel et al. (2017) adviseren dan ook om samen met overheden, agrariërs en sensorontwikkelaars een veldlocatie in te richten voor het gecontroleerd meten van nutriëntenuitspoeling met zowel traditionele als innovatieve technieken.

3.2 Studie KnowH2O in het kort

De chemische samenstelling van het oppervlaktewater is zeer variabel in de ruimte in de tijd en daarmee een meer dynamisch medium dan grondwater. Dat stelt eisen aan hoe een sensornetwerk dient te worden ingericht om een representatief beeld te krijgen van de samenstelling en van de stofvrucht over een bepaalde periode. In de studie van Van den Eertwegh (2018) is naast de mogelijkheden en beperking van sensoren dan ook vooral gekeken naar hoe een sensornetwerk ingericht dient te worden en wat daar bij komt kijken. Aandachtspunten zijn o.a.:

- De te bepalen waterkwaliteitsparameters, waaronder nitraat;
- Selectie van meettechniek en van sensoren: kosten, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid;
- Sensordichtheid in relatie tot de homogeniteit/variabiliteit van het gebied:
 - Veel puntbronnen of vooral veel diffuse belasting;
 - Eerst de randen van het stroomgebied bemeten (in en uit);
- Inrichten data-infrastructuur:
 - Automatisch loggen/opslaan;
 - Robuustheid;
- De waarde van co-variabelen.

Duidelijk is dat het inrichten van een sensornetwerk een kostbare en tijdrovende aangelegenheid is. Met betrekking tot geschiktheid van sensoren worden geen directe aanbevelingen gegeven, omdat dit afhangt van de meetvraag en het meetdoel. Wel worden meetprincipes van sensoren toegelicht. Voor zover het nitraat betreft komen dezelfde meet(principes) ter sprake als in de studie van Cirkel et al. (2017). De kwaliteit van de nitraatmeting is het hoogst bij het gebruik van optische sensoren (UV

absorptie technologie). Ion-selectieve NO₃-elektroden vragen meer onderhoud, kalibratie en vervanging (6 maanden). Van veel sensoren is achtergrondinformatie beschikbaar over leveranciers en kosten.

4 Mogelijke sensoren/mmeetprincipes voor het meten van nitraat

4.1 Algemeen Nmin

Indien er een vorm van perceelmonitoring komt naar het risico op de nitraatbelasting van het grondwater (en wellicht van het oppervlaktewater) dan betreft het grote aantallen metingen die naar verwachting in een kort tijdsbestek van enkele maanden dienen te worden uitgevoerd. Een belangrijke randvoorwaarde is dat de kosten beperkt dienen te zijn. Sinds meerdere jaren wordt in Vlaanderen en Baden-Württemberg een Nmin-meting in het najaar toegepast om te beoordelen of er een risico is op een te hoge nitraatuitspoeling. De Nmin-meting wordt in Nederland vooral in de akkerbouw gebruikt om in het voorjaar te bepalen hoeveel N-bemesting er nodig is en voor bijsturing van de bemesting in het groeiseizoen. Bij Nmin-metingen wordt bodemmateriaal uit verschillende steken samengevoegd om met één laboratoriumanalyse een representatieve (gemiddelde) waarde voor het perceel te krijgen.

De kosten van een Nmin-meting bedraagt op dit moment zo'n 50€ per monster (monstername plus analysekosten). Indien er over 3 diepten (0-30, 30-60, 60-90 cm-mv) gemeten wordt, bedragen de kosten 125-150€. De verwachting is dat bij grootschalige toepassing de kosten beneden de 100€ per perceel (<5 ha) kunnen blijven. Dit is gebaseerd op het feit dat in Vlaanderen de kosten voor een Nmin-meting tot 90 cm ongeveer €75 bedragen.

4.2 Nitraatmetingen en de bijbehorende infrastructuur

Op basis van de studies van Cirkel et al. (2017) en Van den Eertwegh (2018) en aanvullende gegevens zijn de volgende opties mogelijk interessant voor een vorm van nitraatmonitoring:

- De horizontale peilbuis (ingegraven drainbuis onder de GLG), die dient als monsternamebuis voor een perceel als geheel (goed gemengd grondwater);
- Drainagebuizen: bestaande drainagebuizen koppelen per perceel; uit veldmetingen blijkt (Meinardi en Van den Eertwegh, 1995; 1997) dat zowel de afvoer als de chemische samenstelling van drainwater per drainbuis sterk kan variëren in de ruimte op hetzelfde (afvoer)moment;
- Zandgebied NL: EC als proxy voor nitraat (nader te onderzoeken), wellicht aangevuld met één à twee extra variabelen;
- Een prikstok om over de gehele diepte EC en temperatuur te meten in de verzadigde zone;
- Een Multi Layer Sampler (MLS) voor de verzadigde zone, gevolgd door lab-analyse NO₃ in de cups, voor een gedetailleerd concentratie-diepte-profiel;
- Optische nitraatsensor in het drainagewater en/of grondwater (NB verversing van water in peilbuis/put is nodig);
- Een dubbele meting: Nmin op alle percelen aangevuld met een paar NO₃-metingen in het grondwater of in de grond (via een horizontale peilbuis in de bodem);
- Een dubbele meting: Nmin op alle percelen (variatie in de ruimte) op één moment, aangevuld met enkele continue NO₃-metingen op een paar percelen/bedrijven (op locaties die verschillen

in landgebruik, bemestingsniveau, bodemtype, hydrologie) om te corrigeren voor de variatie in de tijd;

- Toepassing van Sorbicells voor het meten van gemiddelde concentraties in drains en grondwater (ontwikkelingen voor bodemvocht-onverzadigde zone metingen zijn gaande);
- Koppeling LMM en/of de Nitraatkaart van Nederland (LMM) met Nmin.

Uit de eerdergenoemde studies komt naar voren dat kwalitatief goede NO₃-sensoren (UV-absorptie) kosten met zich meebrengen van tenminste 5.000€ (excl. BTW en toebehoren). Deze sensoren zijn ook als mobiele sensor inzetbaar. Daarmee is de inzet van deze sensoren toch interessant. Een monsternemer kan deze dan gebruiken voor veel metingen op een groot aantal percelen zodat de kosten per analyse op laag/acceptabel niveau uitkomen. Bijkomend voordeel is dat je dan direct een analysesresultaat hebt, ijking/kalibratie regelmatig uitgevoerd kunnen worden en storingsen direct kunnen worden ondervangen. De volgende nitraatsensoren op basis van UV absorptie zijn daarom meegenomen in deze verkenning: Ott ecoN, S::can Nitro::lyser en Hach NitraTax.

Ott ecoN

- UV Vis spectrometer
- Meetbereik NO₃ per sensor aanpasbaar voor medium (optische padlengte OPL 0,3, 1, 2, 5, 10 mm); met 1 mm optische padlengte: 0,5-60 mg/l NO₃-N
- Meetnauwkeurigheid ± (5% + 1 mg/l NO₃-N)
- Met voeding, wisser, toebehoren, interface box voor uitlezen en kalibratie
- Prijs: ca. € PM (op aanvraag) excl. 21% BTW
- Optioneel: aansluiting op (online) datalogger

S::can Nitro::lyser

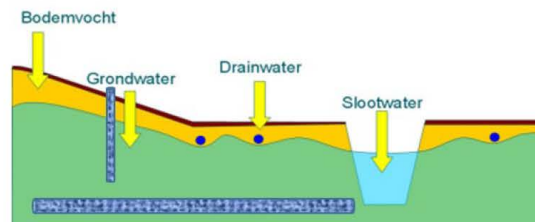
- UV Vis spectrometer
- Combinatie van NO₃-meting met TSS (total suspended solids) of NO₃ met troebelheid (turbidity); correctie van NO₃ voor TSS of troebelheid
- Meetbereik NO₃ per sensor aanpasbaar voor medium (optische padlengte OPL 2, 5, 35 of 100 mm); met 5 mm optische padlengte: 0-60 mg/l NO₃-N
- Meetnauwkeurigheid ± (3% + 1/OPL mg/l NO₃-N)
- Met voeding, wisser, toebehoren, moni::tool software voor uitlezen en kalibratie
- Prijs: ca. € PM (op aanvraag) excl. 21% BTW
- Optioneel: aansluiting op (online) datalogger

Hach NitraTax

- UV Vis spectrometer
- Meetbereik NO₃ afhankelijk van type 0,1-100; 0,1-50; 1-20; 0,1-25; of 0,5-20 mg/l NO₃-N
- Meetnauwkeurigheid ± 3-5% + 0,5-1 mg/l NO₃-N
- Met voeding, wisser, toebehoren, interface box voor uitlezen en kalibratie
- Prijs: ca. € PM (op aanvraag) excl. 21% BTW
- Optioneel: aansluiting op (online) datalogger

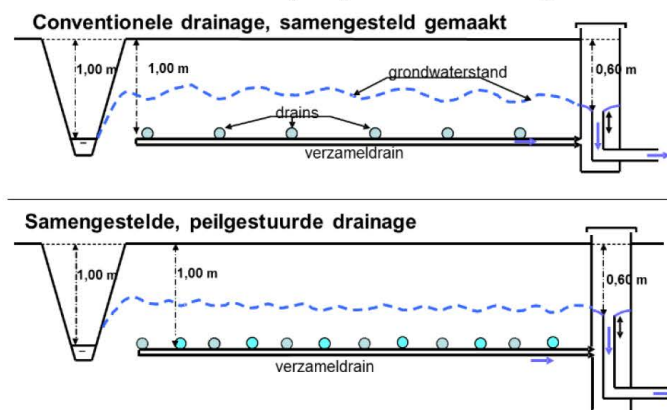
Zoals reeds aangegeven vertoont oppervlaktewater een sterke dynamiek in ruimte en tijd in NO₃-concentraties. Nitraatconcentraties in verzadigd freatisch grondwater kunnen ook reageren op buien, maar zijn minder dynamisch dan concentraties in oppervlaktewater. Nitraatconcentraties in het grondwater vertonen wel vaak een zeer grote ruimtelijke variatie. Binnen het LMM wordt voor een berekening van de bedrijfsgemiddelde NO₃-concentratie in het bovenste grondwater op 16 random

gekozen plekken een monster genomen via de open-boorgat-methode en worden alle monsters gemengd (één tot vier mengmonsters). Deze methodiek geeft echter soms nog steeds niet een goede (lees nauwkeurige) schatting op van de bedrijfsgemiddelde NO_3 -concentratie, omdat de ruimtelijke variatie van de samenstelling van het grondwater te groot is en deze dus meer monsterplekken vereist. In het diepere grondwater is zowel de ruimtelijke als de temporele variatie minder groot.



Figuur 4.1. Diverse soorten water ter bemonstering. Bron: RIVM-LMM (aangepast). Verticale peilbuis: meting op X, Y, Z op een bepaald moment via handmeting (t) of met sensor continu in de tijd $f(t)$; water stroomt langzaam, vervanging nodig! Horizontale peilbuis ter bemonstering van het grondwater: drainbuis over gehele perceel beneden GLG vangt water op in ruimte én tijd door verblijftijdspreiding van grondwater; af te pompen dan wel af te voeren; handmeting (t) dan wel sensormeting $f(t)$

Aandachtspunt betreffende het freatisch grondwater onder een perceel (als monsternamen-eenheid) is dus om een monster zodanig te nemen dat het een NO_3 -hoeveelheid bevat zoals gemiddeld onder het gehele perceel. Een belangrijk aspect bij het eventueel meten in grondwater is hoe/met welke techniek het grondwater bemonsterd kan worden om bij "het gemiddelde grondwater" te komen. Daarvoor zijn drainagebuizen goed geschikt, eventueel per perceel gekoppeld via een verzamelbuis (samengesteld systeem, al dan niet regelbaar, zie Figuur 4.2). Of een speciaal in het verzadigde grondwater aangelegde horizontale bemonsteringsbuis (zie Figuur 4.1) die over het gehele perceel loopt en die niet bedoeld is voor/niet werkt als drainagebuis, alleen voor bemonstering van het verzadigde grondwater.



Figuur 4.2. Samengestelde regelbare drainagesystemen: boven omgebouwd van conventioneel via aanleg van verzamelleiding en een put, beneden met aangepaste (verkleinde) drainafstand voor een vlakkere grondwaterspiegel.

Bijkomend voordeel ten opzichte van verticale peilbuizen is dat een horizontale bemonsteringsbuis naar de zijkant van een perceel afgewerkt kan worden en daardoor perceelmanagement in de bedrijfsvoering niet in de weg staat.

De diverse technieken en meettechnieken kunnen sterk verschillende kosten hebben (Cirkel et al., 2017 en Van den Eertwegh, 2018). In Bijlage 1 is op basis van deze informatie een indicatieve tabel gegeven voor de kosten van de infrastructuur en de kosten van de analyse (met sensoren).

Indien meervoudige (dubbele of drievoudige) metingen nodig zijn dan werkt dit kostenverhogend.

Bepalend daarbij wel is of de metingen met eenzelfde intensiteit (frequentie) moeten worden uitgevoerd.

Indien een drievoudige Nmin meting wordt uitgevoerd aangevuld met beperkt aantal discontinue nitraatmetingen via bijv peilbuizen of de horizontale drain en op een beperkt aantal plekken ook continue metingen (via peil buis of horizontale drain) dan kunnen de kosten beperkt blijven tot ongeveer 150 € indien deze volledig aan het Nmin monster worden toegerekend.

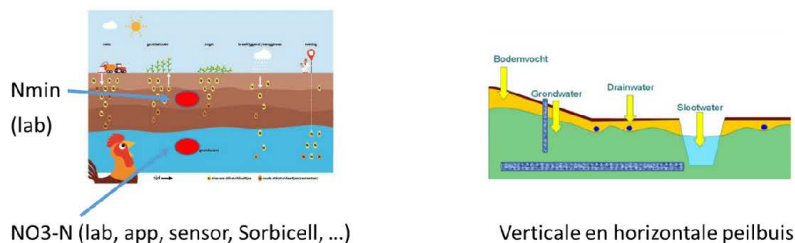
5 Discussie/Hoe verder

In het voorgaande is geschetst dat er verschillende technieken/sensoren zijn om nitraat te meten. Welke techniek het beste past hangt af van de beoogde toepassing zoals: in het veld of lab, meting op één tijdstip of continue meting, puntmeting of vlakdekkende meting. De prijs verschilt per meting. Daarnaast is er soms een investering nodig voor het inrichten van de infrastructuur. Onze conclusie is dat er niet één unieke methodiek is om de kernvraag te beantwoorden: hoe krijg je betrouwbare data en uiteindelijk een betrouwbaar beeld over (het risico op) nitraatuitspoeling met gebruikmaking van sensoren. Op veel plekken continue nitraat meten kan technisch, maar is duur. Daartegenover staat dat de relatief goedkope Nmin-meting (klassiek in lab) op zichzelf te weinig voorspellende waarde heeft voor nitraat in het bovenste grondwater, al lijkt verbetering mogelijk bij gebruikmaking van machine learning algoritmes (referentie Ros et al., in prep).

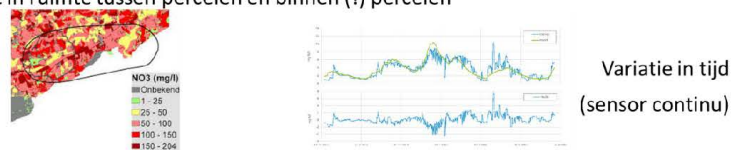
Wij stellen daarom een aanpak voor die gebruik maakt van metingen op meerdere niveaus en wel een drievoudige meting met verschillende intensiteiten (ruimtelijke dichtheid van metingen):

1. Nmin op een groot aantal percelen (bijv 3-5 percelen per bedrijf voor een groot deel van de bedrijven in het gebied) in het najaar na het groeiseizoen/na de oogst
2. Nitraatmetingen in het grondwater op dezelfde percelen in het najaar op basis van bemonstering van drainagewater (bestaande, gekoppelde drainagebuizen) of van grondwater vanuit een nieuw aan te leggen horizontale bemonsteringsbuis die onder de GLG ligt
3. Continue nitraatmetingen op ongeveer 100 representatieve percelen (landgebruik, bodemtype, hydrologie) van drainagewater of water vanuit een horizontale bemonsteringsbuis (zie boven)

Bodem en grondwater: perceelsgemiddelde informatie



Variatie in ruimte tussen percelen en binnen (!) percelen



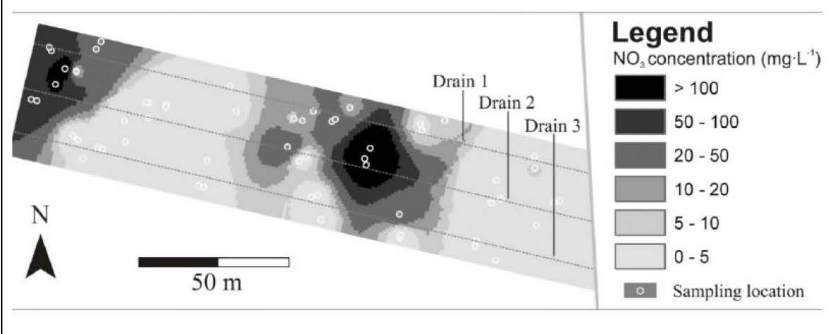
Figuur 5.1. Schematische weergave van metingen van nitraat (Nmin) op verschillende niveaus en met verschillende intensiteiten.

De Nmin-meting is wel bekend en kan in principe in een kort tijdsbestek in grote aantallen worden uitgevoerd (hoeveel metingen per bedrijf nodig zijn voor een representatief beeld dient nog te worden

vastgesteld). Het linken van deze data met bodem- en weerdata kan een voorspellend model opleveren van hogere kwaliteit dan in Sturen op Nitraat. Tegelijk is in Sturen op Nitraat (Burgers et al., 2004) geconstateerd dat de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie beter kon worden voorspeld dan de concentratie op puntniveau. Dit pleit ervoor om nitraatmetingen mede te bepalen via metingen aan de horizontale bemonsteringsbuis. Hiermee wordt een representatief beeld gekregen van een geheel perceel en bij continue meting is ook de ontwikkeling in de tijd bekend, wat mogelijk een betere matching geeft met N_{min} . Het installeren, bemonsteren en continu bemeten met behulp van horizontale bemonsteringsbuizen moet nog getest worden. Mogelijk kan daartoe eerst een proef met bijvoorbeeld 10 horizontale bemonsteringsbuizen worden ingericht. Daarmee kan mogelijk ook duidelijk worden of en in welke mate puntmetingen met peilbuizen nog nodig zijn (zie kader). Nitraatmetingen in het grondwater via open boorgaten (bij zand en veen) of drains (klei, ivm de langzame toestroming van water naar het boorgat) vindt nu op grote schaal plaats via het LMM en het derogatiemetnet (400 bedrijven, 16 plekken per bedrijf).

Nitraatmetingen aan het grondwater uit drains of uit de horizontale bemonsteringsbuizen kunnen op verschillende manieren gedaan worden. Voor continue metingen zijn de niraatsensoren op basis van UV-absorptie momenteel het meest geschikt. De reguliere metingen van de monsters kunnen in het laboratorium uitgevoerd worden. De agrariërs kunnen zelf de ruimtelijke en temporele resolutie van de meetinformatie op hun bedrijf vergroten door de Nitraat-App in te zetten (ca. 0,50 EUR per meting). Als alternatief voor de reguliere bemonstering kunnen ook Sorbicells geïnstalleerd worden. Sorbicells geven tegen vergelijkbare kosten als labmetingen een tijdgemiddelde nitraatconcentratie over de periode van installatie.

Bekend is dat er een grote ruimtelijke variatie kan optreden bij gebruik van peilbuizen of open boorgaten. Bij metingen van nitraatconcentraties in het bovenste grondwater op een beweide perceel in het stroomgebied van de Hupselse beek gaf het bemonsteren van 3 drains een veel beter beeld van de gemiddelde concentratie dan de monsters uit de 16 aanwezige peilbuizen. Aanvullend zijn toen nog eens via 61 open boorgaten op 1 ha nitraatmetingen uitgevoerd.



Voorbeeld van de variatie in nitraatmetingen bij gebruik van peilbuizen (Rozemeijer, 2010)

6 Samenvatting en aanbevelingen

Het bepalen van de perceelgemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater is lastig door de variatie ervan in ruimte en tijd. Er zijn diverse technieken, waarbij de meeste technieken gebaseerd zijn op puntmetingen in de tijd via de open-boorgat-methode en of verticale peilbuizen. Het watermonster dat genomen wordt kan in het lab geanalyseerd worden. Dat vergt aandacht voor het behandelen en bewaren van het monster. Bovendien duurt het enige tijd voordat het analyseresultaat bekend is. In situ meten met sensoren is in ontwikkeling. Wij dichten de optische nitraatsensoren van Ott ecoN, S::can Nitro::lyser en Hach NitraTax zeker kansen toe. Deze sensoren kosten tussen 5000 en 10.000€. Ze kunnen gebruikt worden voor continue metingen maar ook voor routings (veel metingen in de ruimte). Een monsternemer kan met deze sensoren veel metingen verrichten op een groot aantal percelen, zodat de kosten per analyse op laag/acceptabel niveau uitkomen. Bijkomend voordeel is dat het analyseresultaat direct bekend is. Bij inzet voor routings is er dan nog wel aandacht nodig voor de stroomvoorziening van deze UV meters. Voor een dergelijk mobiel systeem voor routings heeft het aanpassen van de UV meters wellicht weinig meerwaarde ten opzichte van de nitraat-app of de wat preciezere cuvette-test. Voor niet continu meten zijn de goedkopere ion-selectieve elektrodes ook te gebruiken, maar dan moet er wel rekening worden gehouden met ijkings (voor en na meetsessie) en de beperkte levensduur van een nitraatelektrode (ca. 6 maanden). Het is dus geen plug en play zoals bij een EC-meter.

Een uitdaging is dat puntmetingen een zeer variabel beeld geven van de NO₃-concentratie in het grondwater onder een perceel. Dit pleit enerzijds voor het doen van vele puntmetingen die gemiddeld een groot oppervlak representeren, waarbij dan ook parallel op een aantal/geselecteerde punten continu gemeten kan worden om de variatie in de tijd vast te stellen. Meer puntmetingen uitvoeren op een bepaald oppervlak/perceel kan, maar daarmee wordt de puntmeting duur in monsternamen-tijd en/of analysekosten. Een meer kansrijke optie is continu nitraat meten via sensoren bij gebruikmaking van horizontale bemonsteringsbuizen, want deze bestrijken een groot oppervlak (NB ontwerp bij aanleg). Zo kunnen 'traditionele' puntmetingen, via het lab of al dan niet bemonen in het veld met hand-held sensoren, op meerdere locaties gecombineerd worden met continue metingen in de tijd op een beperkt aantal vaste locaties (landgebruik, bodemtype, hydrologie-combinaties).

Bekend is dat de N_{min} meting zelf niet direct een 1:1 relatie heeft met nitraat in het bovenste grondwater. Wel kunnen relaties tussen nitraat in grondwater en N_{min} worden afgeleid bij gebruikmaking van allerlei co-variabelen maar laat de voorspelnauwkeurigheid nog te wensen over.

Dat brengt ons tot de volgende aanbevelingen:

- Zet in op metingen op meerdere niveaus en wel een drievoudige
 1. N_{min} op een groot aantal percelen in het najaar
 2. Nitraatmetingen op een deel van de percelen in het najaar;
 - a. Via bemonstering van drainagewater
 - b. Via een nieuw aan te leggen horizontale bemonsteringsbuis die onder de GLG ligt
 3. Continue nitraatmetingen op ongeveer 100 representatieve percelen bij gebruikmaking van een horizontale bemonsteringsbuis of reeds aanwezig (samengesteld) drainagesysteem.
- Richt een pilot in om het systeem te toetsen en de meerwaarde van de horizontale bemonsteringsbuis te staven

De kosten per meetplek/perceel nemen toe van 1 naar 2 naar 3. Het aantal meetplekken neemt daarentegen sterk af van 1 naar 2 naar 3. De kosten blijven daarmee beperkt en bedragen waarschijnlijk

< 150 EUR indien het volledig wordt toegerekend naar Nmin. Met deze aanpak kan een beter beeld worden verkregen van de nitraatuitspoeling in ruimte en tijd en kan de link met het landbouwkundig handelen (via Nmin) worden gelegd. De voorgestelde aanpak is breed toepasbaar in NL.

Nmin-metingen en nitraat in grondwater kunnen met conventionele technieken worden gemeten. Voor nitraat zijn er inmiddels ook alternatieven in de vorm van Sorbicells en/of de Nitraat App. Voor de continue metingen van nitraat in grondwater zijn er inmiddels dure sensoren op UV-basis.

Conclusies

- Er zijn kansrijke UV nitraatsensoren (Ott ecoN, S::can Nitro::lyser en Hach) voor continu meten van nitraat. Deze zijn mobiel te maken voor routings (veel metingen in de ruimte).
- Er zijn voldoende goedkope technieken aanwezig om nitraat direct in het veld of in het lab te meten.
- Door de grote variatie in ruimte en tijd zijn puntmetingen nodig. Om de kosten beheersbaar te houden is het gewenst om puntmetingen te combineren met metingen die groot oppervlakte bestrijken. Aangeraden wordt om in te zetten op drievoudige metingen met als basis Nmin najaar ondersteunt met nitraatmetingen in het grondwater en met een klein aantal continue metingen van nitraat.

Referenties

- Cirkel G, Fujita Y & Rozemeijer J (2017) Kwantificeren van nutriëntenuitspoeling met sensoren. BTO 2017.087 | December 2017
- Meinardi CR Van den Eertwegh (1995). Onderzoek aan drainwater in de kleigebeiden van Nederland Deel 1: Resultaten van veldonderzoek. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 714901007
- Meinardi CR Van den Eertwegh (1997). Onderzoek aan drainwater in de kleigebeiden van Nederland Deel 1: Resultaten van veldonderzoek. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 714801013
- Rozemeijer, J., 2010. Dynamics in groundwater and surface water quality. From field-scale processes to catchment-scale monitoring. Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht
- Van den Eertwegh, Gè, 2018. Sensor-gestuurd boeren. Inventarisatie van online sensoren ter meting van chemische samenstelling van oppervlaktewater. KnowH2O rapport
- Wehrer, M., Binley, A., & Slater, L. D. (2016). Characterization of reactive transport by 3- Delectrical resistivity tomography (ERT) under unsaturated conditions. Water Resources Research, 52(10), 8295-8316.

Bijlage 1a. Kosten indicatie voor de infrastructuur (om te kunnen meten) en de variabele kosten van de metingen

Om nitraat te kunnen bemonsteren moeten handelingen worden verricht om een monster te verzamelen. Dat kan via verschillende routes/technieken. Deze zijn hieronder in beknopte vorm weergegeven. Een aantal betreft het aanleggen van een infrastructuur die gedurende meerdere jaren gebruikt kan worden. In dat geval is er vanuit gegaan de structuur 15-20 jaar meegaat. De "kosten variabel" hebben betrekking op arbeid en onderhoud.

Bijlage 1a. Kosten voor de infrastructuur van het meten

infrastructuur	kosten eenmalig (€)	kosten variabel (€)	jaarkosten (€)	voordeel	nadeel	opmerkingen (bijv in combinatie met welke sensoren)
ingegraven nieuwe drainbuis (grondwater verzadigde zone)	1500	0	75-100	bemonstering grondwater van perceel als geheel	data interpreteren (verblijftijden)	kan met hand-held meters en met sensoren, (NB droogval)
aanwezige drainbuizen; NB koppelen (grondwater verzadigde zone)	750	0	40-65	bemonstering grondwater van perceel als geheel	data interpreteren (verblijftijden); op een groot deel van de percelen niet aanwezig	kan met hand-held meters en met sensoren, (NB droogval)
permanent "verticale buis" met Multi Layer Sampler (grondwater verzadigde zone)	500	50	25-30	bemonstering grondwater in verticaal profiel, dynamiek en menging in tijd zichtbaar	meerdere plekken om perceel-gemiddelde te kunnen berekenen	kan vrijwel niet met hand-held meters en met sensoren vanwege klein monstervolume water (20 ml); anders MLS fysiek aanpassen
grondboor: open boorgat methode à la LMM (grondwater verzadigde zone)	75	0	75	goedkoop en simpel	meerdere plekken om perceel-gemiddelde te kunnen berekenen	kan met hand-held meters en met sensoren, water aftappen en bemeten
peilbuis (grondwater verzadigde zone)	175	50	60-65	goedkoop en simpel	meerdere plekken om perceel-gemiddelde te kunnen berekenen	kan met hand-held meters en met sensoren, water aftappen en bemeten
rhizon (bodemvocht onverzadigde zone)	100	25	35-40	goedkoop en simpel	meerdere plekken om perceel-gemiddelde te kunnen berekenen	kan vrijwel niet met hand-held meters en met sensoren vanwege klein monstervolume water (<20 ml)

Er zijn verschillende meetprincipes om nitraat te meten (Cirkel et al. 2017, en Van de Eertwegh). Hier zijn de meest kansrijke metingen (op basis van sensoren weergegeven).

Daarnaast is het waarschijnlijk dat er gecombineerde metingen (dubbele, drievoudige) dienen te worden uitgevoerd voor het verkrijgen van betrouwbare data en een goed beeld. Bepalend voor de kosten van meervoudige metingen is of ze met dezelfde frequentie moeten worden uitgevoerd. Dat dient nader te worden vastgesteld. De kosten zijn dan ook zeer indicatief. Als uitgangspunt zijn de kosten van Nmin genomen, waarbij de aanvullende meting ook is toegerekend aan Nmin. Bij de indicatieve kostenraming voor de dubbele en drievoudige meting is er verondersteld dat per 10-20 Nmin metingen, één incrementele meting van nitraat nodig is en dat continu metingen gekoppeld zijn met 200- 500 Nmin metingen.

Bijlage 1b. Een schatting van de kosten van sensor gebaseerde metingen plus een indicatie van de kosten van gecombineerde metingen.

Meettechniek	aanschafkosten EUR	analysekosten per meting EUR	arbeidsduur per meting UUR	totale kosten EUR	accuraatheden	bodemvocht/grondwater (verzadigde zone)	beperkingen	Ontwikkelingsbehoefte/praktijkrijp
EC-meting/hand held EC-meter	500,00	-	< 15 min	20-25	hoog	rhizons voor bodemvocht, peilbuizen, drainagebuizen etc. voor verzadigde zone; voldoende monsterwater nodig om sensor in te zetten	apparatuur ijkken	is al praktijk; apparatuur gaat een tijdlang mee
NO3-sensor	10.000,00	-	< 15 min	30-35	hoog	rhizons voor bodemvocht, peilbuizen, drainagebuizen etc. voor verzadigde zone; voldoende monsterwater nodig om sensor in te zetten	apparatuur ijkken	nog geen praktijktoepassing, apparatuur is beschikbaar; apparatuur gaat een tijdlang mee
Sorbicell/ NMin klassiek		25-50	nvt					
Nitraat-app		0,50	<10 min					
Prikstok EC	7.500,00		<10 min	15-20				moet verder uitgetest worden: grote voordeel is een direct meetresultaat dat handig is voor de communicatie richting agrariers
Sensing continu		?? (jaarrond)						
Dubbele meting: Nmin + nitraat eenmalig		100-150			matig/hoog		delfde opmerking als bij nitraatmeting grondwater	is al praktijkrijp; nader onderzoek nodig naar de kwaliteit van een dubbele meting. Kosten nader uitzoeken. Hoe water eenmalig verdisconteren
Drievoudige meting: Nmin +nitraat grondwater eenmalig incrementeel + sensing continu via hor. drainbuis		125-200			hoog			sensing continu via horizontale drainbuis nog in ontwikkeling en moet nog getest worden. Hoeveel hor. Drainbuizen. Kosten nader uitzoeken. Hoe water eenmalig en continu verdisconteren (met Nmin)
Drievoudige meting (boven): + LMM informatie								Zie hierboven: LMM is bestaand netwerk. Kosten zullen hem vooral gaa zitten in het datamanagement en analyse

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-WPR-917

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

