Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Toetsing van het *Nitraatuitspoelingsmodel* Zuid-Limburg

Vergelijking van modeluitkomsten met meetresultaten

Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Toetsing van het Nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg

Vergelijking van modeluitkomsten met meetresultaten

RIVM-rapport 2021-0202

Colofon

© RIVM 2022
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2021-0202

B. Fraters (auteur), RIVM
E. Kusters (auteur), AgriConnection
J.W.A.M. Crijns (auteur), Delphy
G.H. Ros (auteur), Nutriënten Management Instituut

Contact:
Dico Fraters
Centrum voor Milieukwaliteit
dico.fraters@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het project Slim Bemesten (projectnummer M/350606/01/SB).

Dit is een uitgave van:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Toetsing van het Nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg
Vergelijking van modeluitkomsten met meetresultaten

Nitraat uit mest spoelt vanuit de lössgronden in Zuid-Limburg makkelijk weg naar het grondwater. Dat komt omdat het nitraat, dat na de oogst onder de zogeheten wortelzone achterblijft, in löss bijna niet wordt afgebroken. In de pilot Slim Bemesten probeerde deze regio de kwaliteit van het grondwater te verbeteren. Tegelijkertijd wilde de regio de landbouw de ruimte geven om de gewassen genoeg kunstmest te geven.

Om de balans hiertussen te vinden, gebruikten de bedrijven in de pilot een eigen model om de nitraatconcentratie te berekenen in het water dat wegspoelt uit de wortelzone. De wortelzone is het bovenste deel van de bodem waaruit de wortels van de gewassen voedingstoffen en water halen. Het Nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg moet duidelijk maken met welke maatregelen de landbouwbedrijven op lössgronden de nitraatconcentratie kunnen verlagen. Voorbeelden zijn het soort gewas dat wordt geteeld en de gebruikte hoeveelheid en soort mest.

Het Nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg blijkt lagere concentraties nitraat te berekenen dan het RIVM heeft gemeten bij de deelnemers van de pilot. Het verschil kan uitmaken of een bedrijf wel of niet voldoet aan de norm van 50 milligram nitraat per liter. Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM.

Het RIVM heeft de metingen op dezelfde manier uitgevoerd als voor het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM), in de pilot is voor bepaling van de nitraatconcentratie een andere methode gebruikt. Daarnaast zijn er andere mogelijke oorzaken van het verschil tussen de metingen en de berekeningen. .

De pilot Slim Bemesten is afgelopen (het liep tussen 2015 en 2021). Er deden 24 landbouwbedrijven aan mee. Andere landbouwbedrijven op lössgronden kunnen de resultaten van dit onderzoek gebruiken als zij met het Nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg de effecten van maatregelen op de nitraatconcentratie in beeld willen krijgen. Het RIVM-onderzoek is in opdracht van het ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) gedaan.

Kernwoorden: nitraat, model, meting, LMM, lössgrond, slim bemesten, bodemvocht, uitspoeling, mest

Synopsis

Assessment of Nitrate Leaching Model for South Limburg
Comparison of model outcomes with measurement results

Fertiliser-derived nitrate easily leaches into the groundwater table in the loess soils in South Limburg, as almost none of the nitrate remaining in the soil below the root zone after harvesting is broken down. Through the Smart Fertilisation (*Slim Bemesten*) pilot project, the region of South Limburg has tried to improve groundwater quality, while also giving farmers room to use sufficient amounts of artificial fertiliser for their crops.

To strike the right balance between these two priorities, the farms in the pilot used a region-specific model to calculate the nitrate concentration in the water leaching into the groundwater table from the root zone. The root zone is the upper soil layer from which crop roots take up nutrients and water. The Nitrate Leaching Model for South Limburg should show which measures can be used to reduce the nitrate concentration in farmland on loess soils, such as in terms of the crops grown and amounts and type of fertiliser used.

The Nitrate Leaching Model for South Limburg appears to calculate lower nitrate concentrations than RIVM measured at the farms participating in the pilot. This can make the difference as to whether or not a farm is within the maximum nitrate concentration of 50 milligrams per litre. This is evident from research carried out by RIVM.

The measurements carried out by RIVM at the farms were done in the same way as those in the National Minerals Policy Monitoring Programme (*Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid*, LMM). Within the pilot another method was used to determine the nitrate concentrations. In addition, there are other possible causes of the difference between the results of measurements and the outcomes calculated based on the model. As a result, it is not possible to conclude whether the model used in Smart Fertilization predicts an acceptable nitrate concentration at farm level if the systematic difference between model outcomes and measurement were taken into account.

A total of 24 farms participated in the Smart Fertilisation pilot, which ran between 2015 and 2021. The research can be used by other farms on loess soils that want to gain insight into the effects on the nitrate concentration of measures taken on the basis of the Nitrate Leaching Model for South Limburg. The research by RIVM was commissioned by the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality.

Keywords: nitrate, model, measurement, LMM, loess soils, smart fertilisation, soil moisture, leaching, manure

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11
1.1 Aanleiding — 11
1.2 Doel en opzet — 12

2 Opzet en uitvoering van het onderzoek — 15
2.1 Globale opzet — 15
2.2 Gebruikte gegevens — 15
2.3 Statistische analyses — 17

3 Resultaten statistische analyse — 19
3.1 Toets op juistheid van voorspelling — 19
3.2 Toets op precisie van voorspelling — 20

4 Discussie — 23
4.1 Aandachtspunten — 23
4.2 Verschil in beschouwd dieptetraject tussen meting en model — 25
4.3 Representativiteit van bemonsteringspunten — 26
4.4 Verschillende bedrijfstypen in onderzoeksgroep — 27
4.5 Verschil in meetmethoden — 28
4.6 Effect van extreme droogte in meetperiode — 29
4.7 Samenvatting en overwegingen — 30

5 Conclusies — 33

Referenties — 35

Met dank aan — 37

Bijlage 1 Toepassen van t-toets — 39

Bijlage 2 Analyse met gemengd regressiemodel — 40

Bijlage 3 Beschouwing aanpak koppeling meet- en modelresultaat — 43

Bijlage 4 Vergelijking van akkerbouw en melkveehouderij — 46

Samenvatting

De Lössregio in Zuid-Limburg is gevoelig voor nitraatuitspoeling. Het project Slim Bemesten beoogt de waterkwaliteit in deze regio te verbeteren en tegelijkertijd de landbouw voldoende bemestingsruimte te geven. Hiervoor wordt het zogenoemde Nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg gebruikt. Het model gaat uit van bekende relaties tussen landbouwkundig handelen en de nitraatconcentratie in het uitspoelende bodemvocht. Voor de toetsing van dit model is in de winters van 2019/'20 en 2020/'21 bij 24 deelnemers van het project Slim Bemesten het bodemvocht bemonsterd uit de bodemlaag onder de wortelzone en geanalyseerd op nitraat. De bemonsteringen zijn uitgevoerd volgens de methode van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). De meetresultaten zijn vergeleken met de modelresultaten. Bij de vergelijking zijn de tweejarig bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties gebruikt.

Met 24 waarnemingen kunnen alleen relatief grote verschillen worden aangetoond, dit wil zeggen verschillen die statistisch significant zijn. Verder waren er meerdere hindernissen die genomen moesten worden om de berekende en de gemeten nitraatconcentratie te kunnen vergelijken. Dit speelde vooral bij vergelijking op bedrijfsniveau. Zo week het beschouwde areaal voor de modelberekeningen soms af van het bemonsterde areaal en waren de gewasverhoudingen niet altijd hetzelfde. Dit hing samen met verschillen in gehanteerde uitgangspunten tussen het LMM en het project Slim Bemesten. Ook droeg het relatief beperkte aantal van zestien meetpunten per bedrijf hier aan bij. Er was geen oplossing beschikbaar om met deze verschillen bij de analyse rekening te kunnen houden. Verder lijkt de droogte van de afgelopen jaren de vergelijking te hebben bemoeilijkt. Het model kent impliciet een vaste transportafstand voor het bodemvocht van één meter per jaar, terwijl de droogte tijdens de meetperiode geleid zal hebben tot een geringere transportdiepte.

De conclusie is dat het gemiddelde en de mediaan van de voorspelde nitraatconcentraties ongeveer 16 mg/l (25%) lager zijn dan van die van de metingen. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat het model de nitraatconcentratie berekent in het bodemvocht, gemeten via de schudmethode, terwijl de metingen van het LMM zijn gebaseerd op de centrifugemethode. De analyse laat zien dat de relatie tussen de berekende en gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau zwak is. Dit wordt vooral veroorzaakt door de genoemde verschillen in uitgangspunten tussen LMM en Slim Bemesten en de droogte in de meetperiode. Verwacht zou mogen worden dat er een relatie is tussen landbouwkundig handelen en de nitraatconcentratie in het uitspoelende bodemvocht. Er zijn aanwijzingen dat het model mogelijk minder goed werkt voor de melkveehouderij dan voor de akkerbouw. Aanbevolen wordt dit verder te onderzoeken.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Lössregio in Zuid-Limburg is gevoelig voor nitraatuitspoeling. Lössgronden hebben andere eigenschappen dan de eveneens uitspoelingsgevoelige zandgronden. Tot nu toe wordt in het mestbeleid nagenoeg geen onderscheid gemaakt tussen zand- en lössgronden en zijn de stikstofgebruiksnormen voor de meeste gewassen voor beide grondsoorten hetzelfde.

Het project Slim Bemesten heeft tot doel een systeem te ontwikkelen waarbij op lössgrond voldaan kan worden aan de doelstelling van de Nitraatrichtlijn. Binnen dat systeem moet het dan mogelijk zijn om af te wijken van de generieke gebruiksnormen om zo beter te kunnen aansluiten bij het landbouwkundige advies (Crijns et al., 2014). In het project berekent men voor elk deelnemend bedrijf de nitraatconcentratie in het bodemvocht op 2,5 m diepte. Hiervoor gebruikt men een eenvoudig stikstof-balansmodel, waarbij de landbouwpraktijk als invoer wordt gebruikt. De deelnemers mogen kunstmest toepassen boven de stikstofgebruiksnorm als de verwachting is dat de nitraatconcentratie op hun bedrijf beneden een bepaalde waarde is.

Het zogenoemde Nitraatuitspoelingsmodel Lössgrond is ontwikkeld door Delphy en AgriConnection binnen het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG) van de Waterleidingmaatschappij Limburg (WML). De expertise van het Nutriënten Management Instituut (NMI) is ingeroepen om het model te verbeteren qua processen en betrouwbaarheid. Dit heeft geleid tot modelaanpassingen (Ros et al., 2017). Bij de ontwikkeling en actualisaties van het model is gebruikgemaakt van meetgegevens verzameld in het DSG-project. In 2021 zijn de resultaten van de onzekerheidsanalyse van het Nitraatuitspoelingsmodel gepubliceerd (Ros en de Pater, 2021) waarbij geconcludeerd is dat het model een robuuste voorspelling doet van de nitraatconcentratie in het bodemvocht dat zich na twee jaar bevindt op 2,5 m diepte onder het bedrijf.

Bij de laatste actualisatie van het model (Ros et al., 2018) werd aanbevolen de toetsing uit te breiden met een aantal voorbeeldbedrijven waarbij voor alle gewassen in het bouwplan nitraatmetingen zijn uitgevoerd. In de voortgangsrapportages van het project Slim Bemesten is een eerste aanzet gegeven door modelresultaten te vergelijken met de meetresultaten van twaalf deelnemers aan het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) die ook aan het project Slim Bemesten deelnamen (Anoniem, 2020 en 2018).

Het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) heeft op 31 oktober 2019 het RIVM een aanvullende opdracht gegeven. Deze opdracht hield ten eerste in om gedurende twee jaar metingen te verrichten op twaalf bedrijven deelnemende aan het project Slim Bemesten, maar die geen deelnemer waren aan het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). Ten tweede, is het RIVM gevraagd om deze

gegevens samen met de gegevens van twaalf LMM-bedrijven die ook deelnemen aan het project Slim Bemesten te gebruiken om het Nitraatuitspoelingsmodel van het project Duurzaam Schoon Grondwater te toetsen.

1.2 Doel en opzet

Het doel van het in dit rapport beschreven onderzoek is om de resultaten van het Nitraatuitspoelingsmodel te toetsen aan metingen uitgevoerd conform de methodiek gebruikt in de LMM op de bedrijven deelnemende aan het project Slim Bemesten.

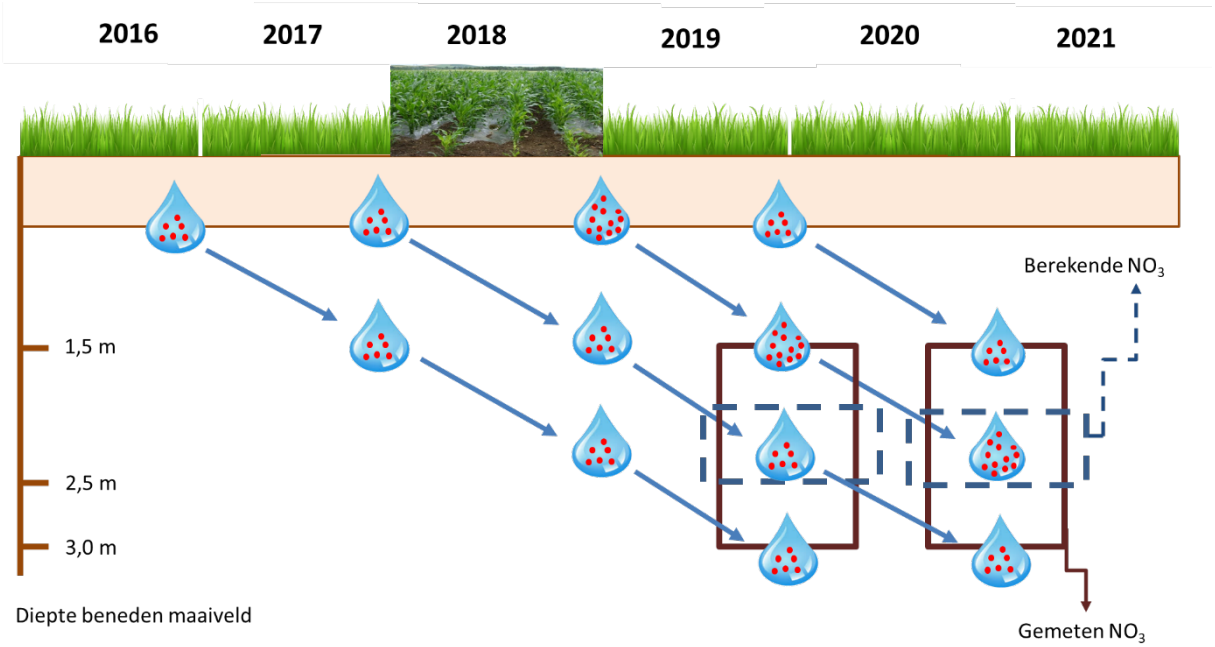
Het vergelijken van de modelresultaten met de metingen kent verschillende hindernissen. Zo berekent het model de nitraatconcentratie op een ander schaalniveau en andere diepte dan waarop de metingen worden uitgevoerd in het LMM. Daar komt bij dat het model is gekalibreerd met meetgegevens van het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG). In DSG wordt een ander meetprotocol gebruikt dan in het LMM is gebruikt. Dit verschil in meetprotocol leidt tot gemiddeld lagere nitraatconcentraties in DSG dan in het LMM (Ros et al., 2014). Een andere hindernis is dat zowel het model (Ros en De Pater, 2021) als de metingen (Lukacs, 2021) voor een specifiek bedrijf in een specifiek jaar een relatief grote onzekerheid kennen. Ros en de Pater (2021) concluderen na een onzekerheidsanalyse: '*Uit de analyse blijkt dat de variatiecoëfficiënt (dat wil zeggen de gemiddelde relatieve fout)* [van de berekende nitraatconcentraties] *varieert van <5 tot 15%. Onzekerheid op de gebruikte uitspoelfracties heeft hierbij relatief de grootste invloed. Omdat de ruimtelijke variatie in nitraatconcentraties binnen en tussen percelen een grotere spreiding heeft dan het gebruikte model betekent dit ook dat het Nitraatuitspoelingsmodel een robuuste inschatting geeft van het gemiddelde nitraatgehalte op bedrijfsniveau.*'

Schaalniveau en diepte
Het model berekent de te verwachten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in het bodemvocht op een diepte van 2,5 m beneden het maaiveld na twee jaar. De berekeningen zijn gebaseerd op de bedrijfskenmerken op gewasniveau (bodem, landgebruik, bemesting en opbrengst) en weersomstandigheden van het desbetreffende landbouwjaar (1/1-31/12). Met andere woorden: met de actuele informatie van jaar x wordt voor het bedrijf de nitraatconcentratie in het bodemvocht berekend op 2,5 m diepte in jaar x+2. Wat betreft de bemesting wordt de direct werkzame N uit meststoffen in jaar x meegenomen en de nalevering van N door toegediende mest, overige organische meststoffen en groenbemesters uit jaar x-1 ook in jaar x. Daarnaast wordt gerekend met een lagere uitspoelfractie bij een diep wortelend gewas als hoofdteelt in jaar x+1. Dat geldt voor akkerbouwgewassen exclusief maïs op melkveehouderijbedrijven. Bij de melkveebedrijven wordt gerekend met de KringloopWijzer en daardoor met N-totaal voor gras en maïs op basis van kalenderjaar.

Het LMM bemonstert op bedrijfsniveau waarbij er per bedrijf zestien meetpunten zijn. In de Lössregio wordt per meetpunt de nitraatconcentratie bepaald in het bodemvocht van de laag tussen 1,5 m en 3,0 m beneden maaiveld. Het LMM is opgezet om op regioniveau

uitspraken te doen, uitspraken op bedrijfsniveau zijn onzeker. Op regioniveau zijn er zoveel metingen dat de onzekerheid klein is. Voor een individueel bedrijf is de gemeten gemiddelde concentratie minder goed bruikbaar om een uitspraak te doen op bedrijfsniveau (Lukacs, 2021).

Er is gepoogd het verschil in diepte tussen model en metingen kleiner te maken door de modelresultaten (de gemodelleerde nitraatconcentraties) van drie jaren te combineren. Het model gaat namelijk uit van een vocht- en stoftransport van één meter per jaar. Door de gemodelleerde nitraatconcentratie voor de landbouwpraktijk 2016, 2017 en 2018 te middelen in een verhouding van 1:2:1, zou je een redelijke voorspelling moeten krijgen van de concentratie tussen 1,5 en 3,0 m diepte in winter 2019/'20 (zie Figuur 1.1). Dit gemiddelde, dat we de modelvoorspelling noemen, zou daardoor in principe overeen moeten komen met de concentratie van de metingen verricht in winter 2019/'20.

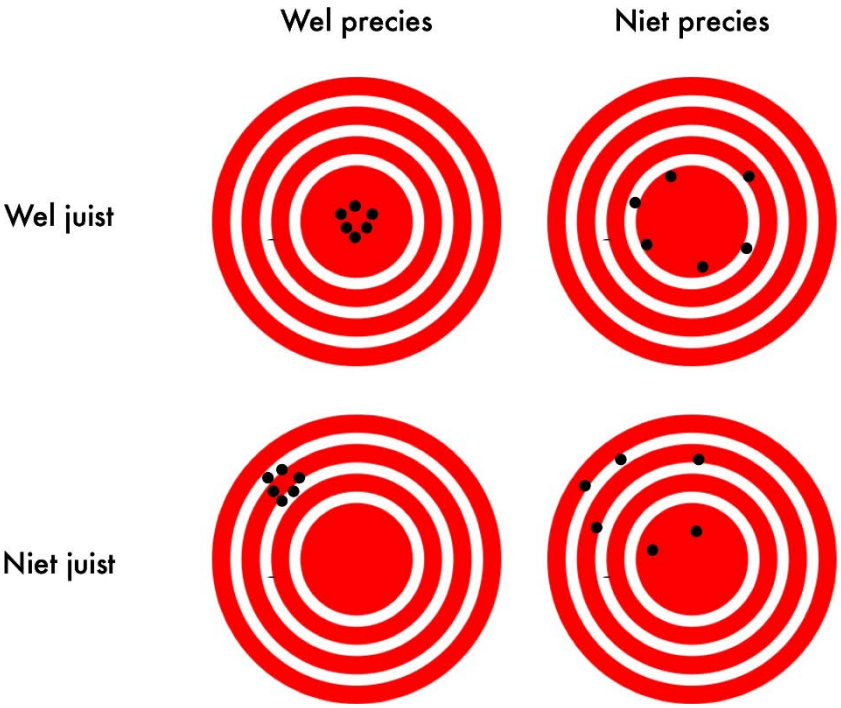


Figuur 1.1 Relatie tussen landbouwpraktijk en berekende en gemeten nitraatconcentratie voor twee meetjaren zoals gebruikt voor de vergelijking

Onzekerheid in modelvoorspellingen en meetresultaten
De onzekerheid in de modelvoorspellingen en de meetresultaten en de vergelijking van beide kan verkleind worden door de vergelijking niet op jaarbasis te doen, maar door eerst te middelen naar periode. In dit geval een periode van twee jaar waarin op alle bedrijven in Slim Bemesten een bemonstering is uitgevoerd.

Daarnaast kan er bij de statistische analyse rekening mee worden gehouden dat zowel modelvoorspellingen als meetresultaten een onzekerheid kennen. Bij het vergelijken van de modelvoorspellingen en de meetresultaten is daarom de groep van de 24 bedrijven in Slim Bemesten als geheel beschouwd. Er zijn twee soorten vergelijkingen uitgevoerd. Ten eerste is gekeken of de modelvoorspellingen gemiddeld

genomen overeenkomen met de meetresultaten (juistheid, zie Figuur 1.2). Ten tweede is gekeken naar de precisie van de modelvoorspellingen. Dat wil zeggen: hoe dicht liggen de modelvoorspellingen in de buurt van de meetresultaten voor elk van de bedrijven?



Figuur 1.2 Grafische weergave van verschil tussen juistheid en precisie
Bron: Koomans en Bouwmeester (2016)

2 Opzet en uitvoering van het onderzoek

2.1 Globale opzet

Alle bedrijven deelnemende aan het project Slim Bemesten (SB) zijn bemonsterd in de winter van 2019/'20 en 2020/'21. De bemonstering is uitgevoerd door RIVM conform de LMM-werkwijze voor de Lössregio (Van Duijnen et al., 2021). Aan het project Slim Bemesten nemen 24 bedrijven deel, twaalf daarvan nemen ook deel aan het LMM. Voor die bedrijven zijn ook metingen beschikbaar uit eerdere jaren. De helft van de SB-bedrijven zijn akkerbouwbedrijven en de andere helft, op één na, zijn melkveehouderijbedrijven met in een aantal gevallen enkele akkerbouwgewassen. Eén bedrijf is een gemengd akkerbouw-melkveehouderijbedrijf.

De modelberekeningen met het Nitraatuitspoelingsmodel voor Zuid-Limburg (Ros et al., 2018, 2017) zijn uitgevoerd door Delphy en AgriConnection voor de landbouwpraktijk in de jaren 2015 tot en met 2020. Hierbij is voor elk jaar de resulterende nitraatconcentratie berekend op 2,5 m diepte. De berekening is uitgevoerd op basis van het werkzame N-bodemoverschot (als resultante van bemesting en gewasopname) en het neerslagoverschot (de gemodelleerde nitraatconcentratie). Voor de melkveehouderijbedrijven geldt dat het stikstofbodemoverschot voor het areaal grasland en mais uit de KringloopWijzer invoer is voor het Nitraatuitspoelingsmodel. In tegenstelling tot het Nitraatuitspoelingsmodel berekent de KringloopWijzer het stikstofbodemoverschot op basis van N-totaal en voor het kalenderjaar.

Het RIVM heeft in overleg met AgriConnection en Delphy de bij de metingen op 1,5-3,0 m diepte behorende modelvoorspellingen berekend via weging van de gemodelleerde nitraatconcentraties in het bodemvocht op 2,5 m diepte (zie paragraaf 1.2).

Per bedrijf is een tweejarig gemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties en van de modelvoorspellingen berekend voor de winters 2019/'20 en 2020/'21. De statistische analyses zijn uitgevoerd op basis van deze gepaarde tweejarig gemiddelden.

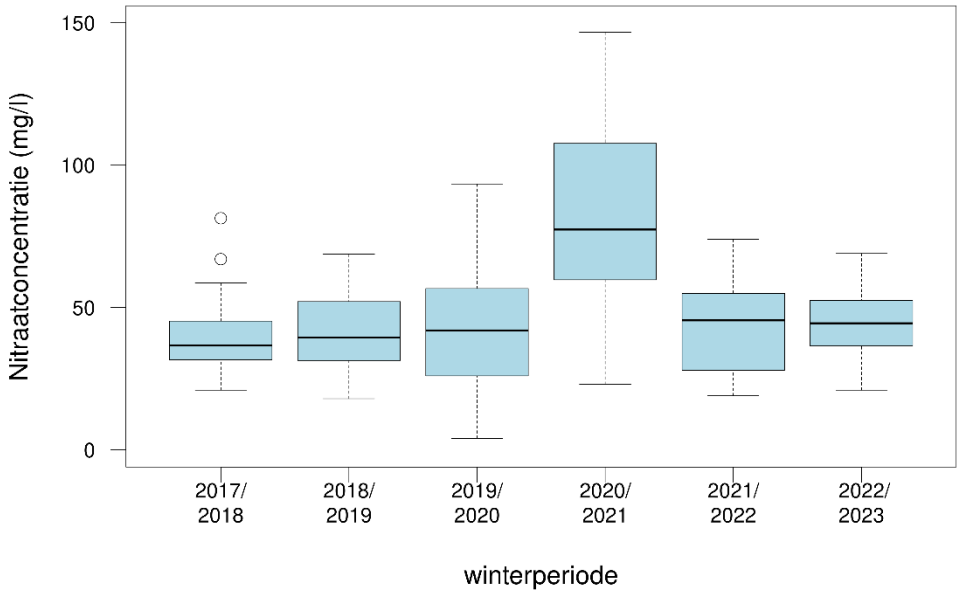
Bij de nadere beschouwing van de resultaten, zijn ook analyses uitgevoerd met resultaten van alle beschikbare individuele jaren.

2.2 Gebruikte gegevens

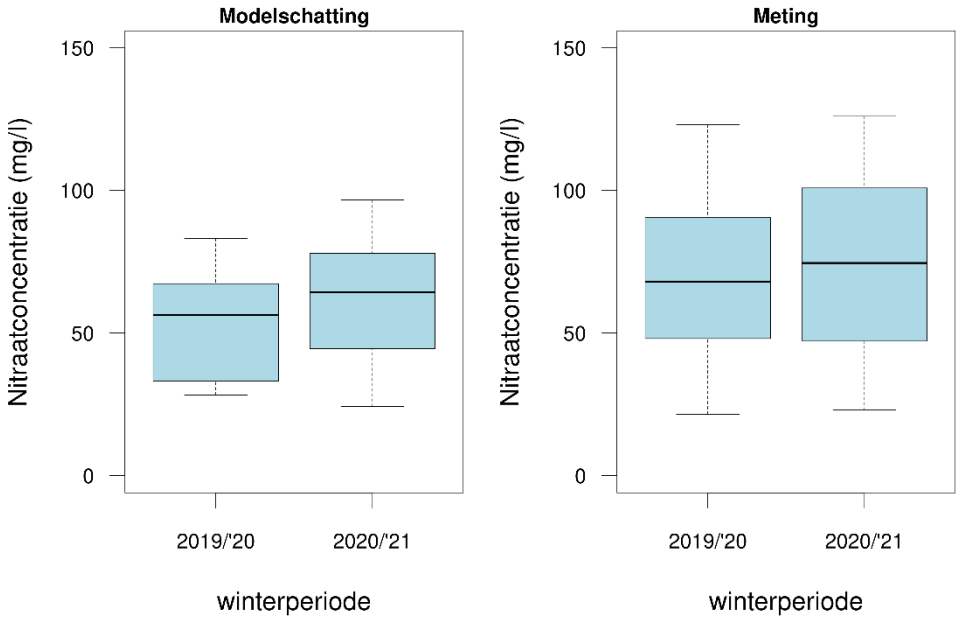
De gemodelleerde nitraatconcentraties in het bodemvocht op 2,5 m diepte variëren zowel tussen bedrijven in een jaar als tussen jaren (zie Figuur 2.1). De gemodelleerde concentraties voor 2020/'21, die samenhangen met het zeer droge jaar 2018, zijn duidelijk hoger dan die in de andere jaren.

De voorspelde nitraatconcentraties voor het traject 1,5-3,0 m diepte verschillen veel minder tussen 2019/'20 en 2020/'21 (Figuur 2.2 links), omdat hierin de gemodelleerde nitraatconcentraties van drie jaren

meewegen. De gemeten nitraatconcentraties geven een vergelijkbaar verschil tussen beide jaren te zien (Figuur 2.2 rechts). Wel zijn de voorspelde nitraatconcentraties lager dan de gemeten concentraties.



Figuur 2.1 Gemodelleerde nitraatconcentratie (mg/l) op 2,5 m diepte. Boxplots van de moderesultaten voor de 24 SB-bedrijven per jaar. Resultaten voor winter 2017/'18 zijn gebaseerd op de bedrijfskenmerken en weer in 2015



Figuur 2.2 Nitraatconcentratie (mg/l) op 1,5-3,0 m diepte; modelvoorspelling links en meting rechts. Boxplots van de resultaten voor de 24 SB-bedrijven per jaar. Een uitschieter in de meetresultaten van winter 2020/'21 van 242 mg/l is niet weergegeven om de modelvoorspellingen en meetresultaten op dezelfde schaal te kunnen projecteren

2.3 Statistische analyses

Voor de toetsing zijn er 24 gepaarde waarnemingen, namelijk 24 tweejarig gemiddelde gemeten en voorspelde nitraatconcentraties. De hypothese die is getoetst is dat er geen verschil is tussen de modelvoorspellingen en de gemeten concentraties.

De meest gebruikte toets is in dit geval een student-t-toets op het gemiddelde van de 24 verschillen (gemeten minus voorspeld). De Wilcoxon rangtekentoets is een verdelingsvrije toets voor de mediaan.

De t-toets en de Wilcoxon-toets laten zien in hoeverre het model correct voorspelt (juistheid). Dit zegt alleen niets over de precisie. Hiervoor is een lineaire regressie uitgevoerd met de *Bivariate Least Square*-methode (BLS). BLS-regressie is een geschikte methode voor een analyse waarbij zowel de voorspelling als de meting een grote onzekerheid kent (Francq en Berger, 2017). Er is gekeken of het voorspellingsinterval (dit is breder dan het betrouwbaarheidsinterval) binnen een acceptatie-interval blijft. Het leek redelijk dit acceptatie-interval op 10 mg/l te zetten. Ros et al. (2017) bevelen aan om richting de gebruikers een onzekerheid te rapporteren van (minimaal) 10 mg/l op de gemodelleerde nitraatconcentratie. Het model is daarna verbeterd. Bovendien zijn de grenzen op basis waarvan meer stikstof mag worden gegeven vrij nauw (zie Tabel 2 uit Kusters et al., 2018).

Aanvullend zijn de meetresultaten en modelvoorspellingen per bedrijf met elkaar vergeleken. Voor de meetresultaten zijn een gemiddelde, mediaan en 95%-betrouwbaarheidsinterval van gemiddelde berekend op basis van de individuele metingen in de twee meetjaren. Voor de modelvoorspellingen is een gemiddelde en betrouwbaarheidsinterval berekend. Als betrouwbaarheidsinterval is tweemaal de relatieve fout van 10% aangehouden (NO_3-model ± 2 * 10/100 * NO_3-model). Er is 10% aangehouden aangezien Ros en De Pater (2019) meldden dat de variatiecoëfficiënt (dat wil zeggen de gemiddelde relatieve fout) varieert van kleiner dan 5% tot maximaal 15%.

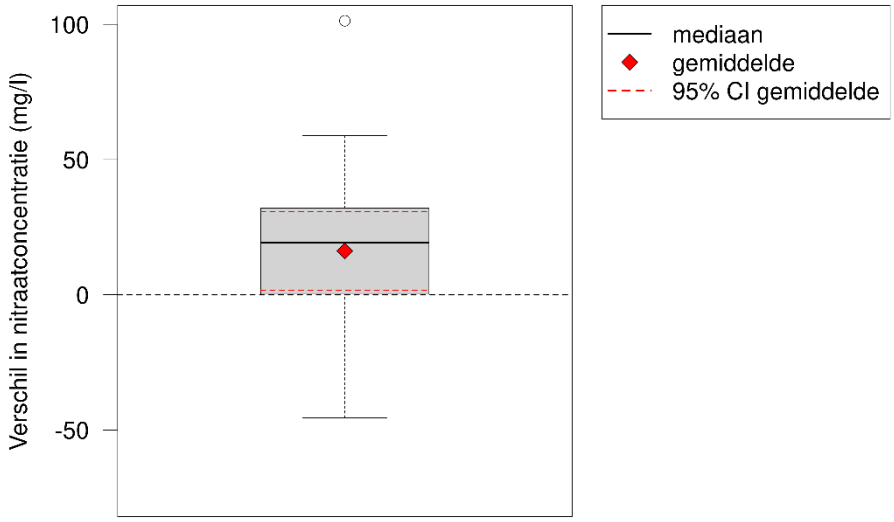
Ten behoeve van de discussie is gekeken in hoeverre andere factoren een rol spelen bij het verschil tussen modelvoorspelling en meetresultaat. Het gaat hierbij om bedrijfstype, netto-neerslag en onbekende jaareffecten. Voor deze analyse is een gemengd model gebruikt.

De verwerking van de gegevens en de statistische analyses zijn uitgevoerd met het pakket R (*R Core Team*, 2021, versie 4.0.5) in *R Studio Server* (versie 1.4.1103) op de RIVM-server. Voor de dataverwerking is gebruik gemaakt van het R-pakket *tidyverse* (Wickham et al., 2019; versie 1.3.1). De QQ-plot is aangemaakt met het R-pakket *ggpubr* (Kassambara, 2020; versie 0.4.0). De BLS-regressie is uitgevoerd met het R-pakket *BivRegBLS* (Francq en Berger, 2019; versie 1.1.1). De analyse met een gemengd model is uitgevoerd met het R-pakket *nlme* (Pinheiro et al., 2021; versie 3.1-152).

3 Resultaten statistische analyse

3.1 Toets op juistheid van voorspelling

Het verschil tussen de in het LMM gemeten en de voorspelde nitraatconcentratie is gemiddeld 16,2 mg/l (zie Figuur 3.1 en tekstkader 3.1). De mediaan van de verschillen is bijna hetzelfde (16,4 mg/l). De gepaarde t-toets laat zien dat het gemiddelde van de verschillen significant van nul afwijkt (p-waarde is 0,03)(zie Bijlage 1). Ook de mediaan van de verschillen tussen de meetwaarden en de modelvoorspellingen is significant verschillend van 0 (Wilcoxon-toets, p-waarde is 0,04; zie Tekstkader 3.1).



Figuur 3.1 Verschillen in tweejarig-gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l) tussen meetresultaat en modelvoorspelling. Boxplot van de verschillen voor de 24 SB-bedrijven. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (BI) is nagenoeg hetzelfde voor de mediaan en het gemiddelde van de verschillen

Tekstkader 3.1 Resultaten van toetsen

Student-t-toets
R: t.test(NO_3verschil, mu=0, alternative = 'two.sided')
t = 2,3095, df = 23, p-waarde = 0,03024
Alternatieve hypothese: echte gemiddelde van de verschillen is niet gelijk aan 0
95%-Betrouwbaarheidsinterval: 1,689544 - 30,713789
Gemiddelde van verschillen: 16,20167

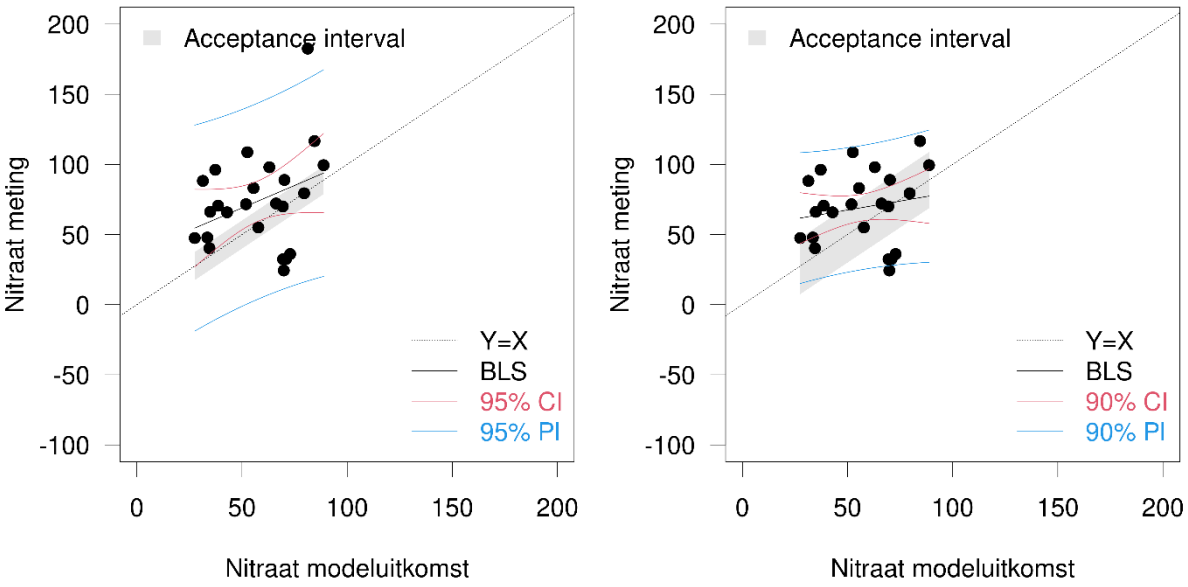
Wilcoxon-rangtekentoets
R: wilcox.test(NO_3verschil, conf.level=0.95,alternative='two.sided', conf.int=TRUE, correct=TRUE)
V = 222, p-waarde = 0,03948
alternatieve hypothese: echte mediaan van de verschillen is niet gelijk aan 0
95%-betrouwbaarheidsinterval: 1,583375 – 29,755375
(pseudo)mediaan van verschillen: 16,447

Samenvattend: Dit resultaat laat zien dat de gevonden verschillen tussen het gemiddelde en de mediaan van gemeten en voorspelde waarden statistisch significant zijn. De voorspelde concentraties zijn significant lager dan de gemeten concentraties.

3.2 Toets op precisie van voorspelling

Dat er verschillen voorkomen tussen de voorspelde nitraatconcentratie en de gemeten concentratie is al duidelijk te zien in Figuur 3.1 waar de verschillen fluctueren tussen -50 mg/l en meer dan +50 mg/l.

Het voorspellingsinterval van de nitraatconcentratie, berekend op basis van de voorspelde concentraties, (blauwe lijnen in Figuur 3.2) valt niet binnen het acceptatie-interval (grijze balk). Dit is noch het geval indien we uitgaan van het 95%-voorspellingsinterval (Figuur 3.2 links), noch als we veel minder streng zijn (Figuur 3.2 rechts). In dat laatste geval is de 'uitschieter' in de meetcijfers weggelaten en is uitgegaan van een 90%-voorspellingsinterval en een acceptatie-interval van 20 mg/l.



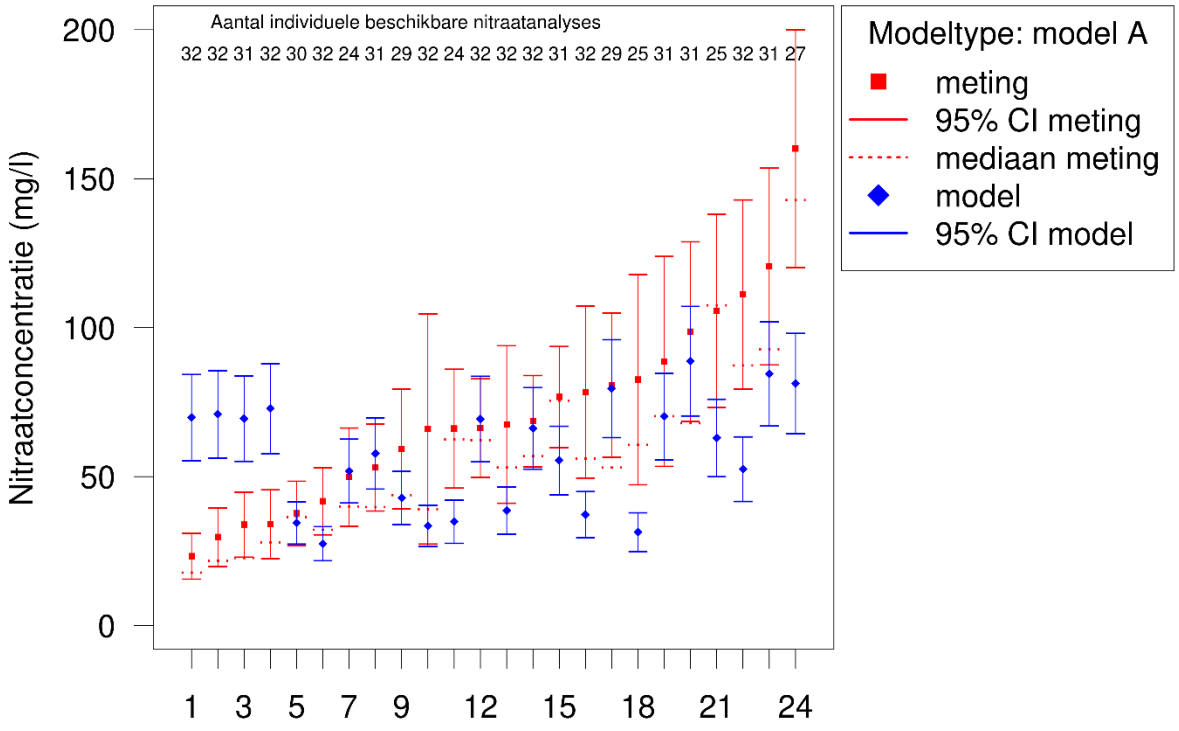
Figuur 3.2 Nitraatconcentratie (mg/l) gemeten versus modelvoorspelling met het betrouwbaarheidsinterval (CI, rood) en voorspellingsinterval (PI, blauw). Links 95% CI en PI en rechts van 90% CI en PI. Rechts zonder uitschieter in meetcijfers. In grijs het acceptatie-interval waarbinnen het voorspellingsinterval zou moeten liggen (acceptance interval). Links een acceptatie-interval van 10 mg/l rechts van 20 mg/l.

Samenvattend: De resultaten laten zien dat niet wordt voldaan aan de vooraf gestelde eis dat het voorspellingsinterval binnen het acceptatie-interval moet liggen.

4 Discussie

4.1 Aandachtspunten

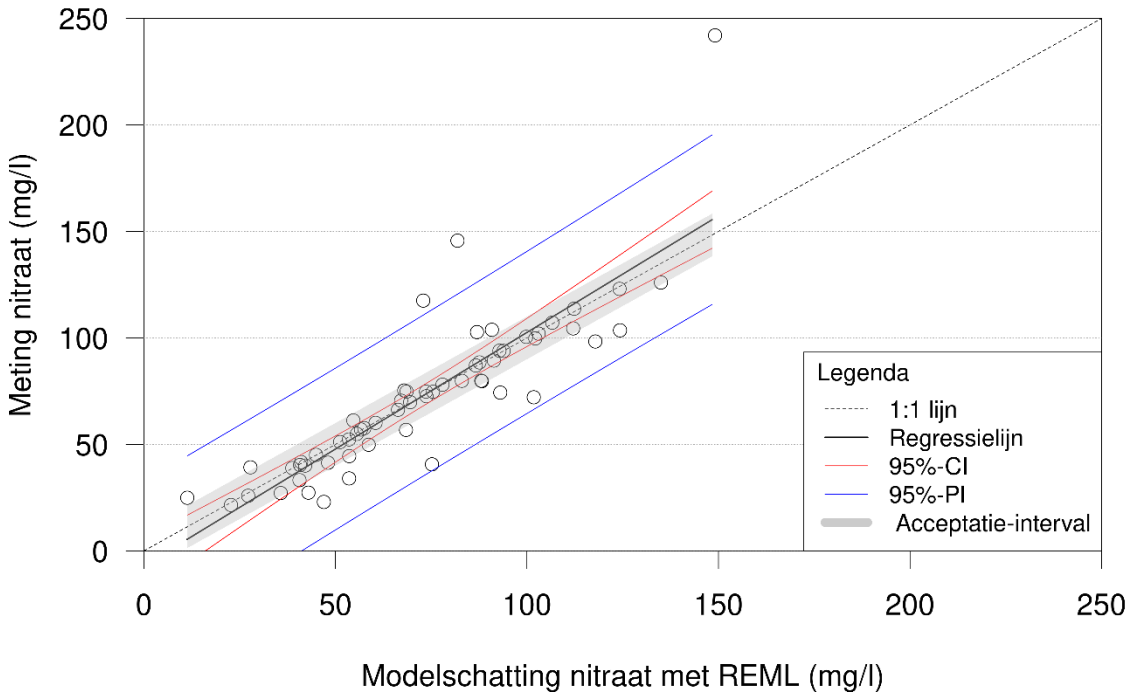
De modelvoorspellingen komen gemiddeld lager uit dan de meetresultaten. Als we in meer detail kijken naar de gemeten en voorspelde nitraatconcentraties, zien we dat er soms duidelijke verschillen zijn tussen meting en modelvoorspelling op bedrijfsniveau, zelfs als we rekening houden met de spreiding in beide (zie Figuur 4.1). Bij vijftien van de 24 paren (63%) is er een overlap van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van meting en voorspelling. Bovendien lijken de voorspellingen relatief hoog bij de lage meetconcentraties en relatief laag bij de hoge meetconcentraties. Voor de twee individuele jaren geldt dat ongeveer 69% van de voorspellingen valt binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde van de meting en bijna 65% binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de mediaan.



Figuur 4.1 Nitraatconcentratie (mg/l) gemeten versus voorspeld gerangschikt op gemiddelde van metingen per bedrijf over 2019/'20 en 2020/'21. Gemiddelde en mediaan van individuele metingen en 95%-betrouwbaarheidsinterval (CI), en modelvoorspelling (95% CI berekend met VC=10%). Bovenste regel geeft aantal individuele meetpunten waarvoor nitraatanalyses beschikbaar waren (maximum is 32; elk jaar 16 punten)

Bij de vergelijking op het niveau van het individueel bedrijf kan zowel het feit dat het gemiddelde van de modelvoorspelling afwijkt van het gemiddelde van de metingen nog van invloed zijn als het feit dat andere factoren, zoals bedrijfstype, jaareffecten en neerslagoverschot, deze relatie kunnen versluieren. Een analyse waarbij rekening wordt

gehouden met beide geeft inderdaad een gunstiger beeld (zie Figuur 4.2 en Bijlage 2). Het voorspellingsinterval ligt echter nog steeds niet binnen het hier ruim gedefinieerde acceptatie-interval van 20 mg/l. Bovendien blijkt uit de analyse dat voor melkveebedrijven de gemeten concentratie afneemt bij een toename van de voorspelde concentratie (Bijlage 2). Dit is niet in overeenstemming met de verwachting. Voor de akkerbouwbedrijven is er wel een positieve correlatie, dat wil zeggen toename van de gemeten concentraties bij een toename van de voorspelde concentraties.



Figuur 4.2 Nitraatconcentratie (mg/l) gemeten versus een verbeterde model voorspelling met het 95%-betrouwbaarheidsinterval (CI, rood) en 95%-voorspellingsinterval (PI, blauw). In grijs het acceptatie-interval van 20 mg/l waarbinnen het voorspellingsinterval zou moeten liggen

Het in Slim Bemesten gebruikte uitspoelingsmodel kent een duidelijk gedefinieerde relatie tussen datgene wat de deelnemer heeft bemest, de gerealiseerde afvoer aan stikstof (N), vastlegging N, enzovoort, enerzijds en de gemodelleerde nitraatconcentratie anderzijds. Als er geen relatie zou zijn tussen landbouwkundig handelen en de nitraatconcentratie in het uitspoelende bodemvocht, dan zijn er ook geen manieren waarop een deelnemer zou kunnen sturen met maatregelen. Uitgangspunt van de modellering is dat die relatie er wel is. Het model wil voor deelnemers inzichtelijk maken wat de consequenties zijn van specifieke maatregelen op de nitraatuitspoeling. Dit is een ander doel dan dat van het LMM. Het doel voor het LMM is om op regioniveau te laten zien of een pakket van (beleids)maatregelen leidt tot een verandering in de waterkwaliteit in samenhang met veranderingen in de landbouwpraktijk.

Door dit verschil in doel en uitwerking daarvan in concrete aanpak zijn er verschillende hindernissen bij het vergelijken van de modelvoorspellingen met de metingen op de bedrijven in het project Slim Bemesten. Ten eerste is het aantal van 24 bedrijven vanuit statistisch oogpunt klein. Met dit aantal zullen alleen relatief grote verschillen statistisch significant kunnen worden aangetoond.

Ten tweede zijn er meer methodische problemen. Dit betreft:

a. het verschil in het beschouwde dieptetraject tussen meting en de modelberekening;
b. de representativiteit van bemonsteringspunten voor het gehele areaal en, daarmee samenhangend, de verhouding van de geteelde gewassen;
c. het voorkomen van zowel akkerbouw- als melkveehouderijbedrijven in de onderzoeksgroep;
d. het verschil in meetmethode tussen LMM en het project Duurzaam Schoon Grondwater, waarvan de metingen gebruikt zijn voor modelkalibratie (zie paragraaf 1.2);
e. de extreme droogte in de zomer van 2018 voorafgaande aan de meetperiode 2019/'20 en 2020/'21.

Deze meer methodische problemen kunnen hebben bijgedragen aan het verschil tussen meetresultaat en modelvoorspelling (zie paragraaf 3.1) en aan het feit dat het voorspellingsinterval van de gemeten nitraatconcentratie, berekend op basis van de modelvoorspellingen, breder is dan het acceptatie-interval (zie paragraaf 3.2). Hieronder zullen we per punt aangeven wat het probleem is en in welke mate we verwachten dat dit invloed heeft gehad op het resultaat.

4.2 Verschil in beschouwd dieptetraject tussen meting en model

Het model berekent een nitraatconcentratie in het bodemvocht op 2,5 m diepte. De metingen representeren de concentratie in het bodemvocht tussen 1,5 en 3,0 m diepte. Door de modelberekeningen van drie opeenvolgende jaren via weging te middelen (zie paragraaf 1.2) is een voorspelling gemaakt van de nitraatconcentratie in het meettraject. De vraag is of een andere aanpak van het omzetten van de gemodelleerde nitraatconcentratie naar een modelvoorspelling een heel ander resultaat van de vergelijking van voorspellingen met de metingen zou hebben opgeleverd.

Uit een analyse van de resultaten van twee alternatieven voor de huidige aanpak blijkt dat die maar een beperkte invloed hebben op de conclusies (zie Bijlage 3). Beide alternatieven laten zien dat de modelvoorspellingen een lagere nitraatconcentratie geven dan de metingen. Tevens geldt ook voor beide alternatieven dat niet wordt voldaan aan de vooraf gestelde eis dat het voorspellingsinterval binnen het acceptatie-interval moet liggen.

De wijze waarop de gemodelleerde nitraatconcentraties worden geaggregeerd tot een modelvoorspelling voor het meettraject van 1,5-3,0 m diepte heeft daarom maar een zeer beperkte invloed op de bevindingen.

4.3 Representativiteit van bemonsteringspunten

Het LMM is er op ingericht om uitspraken te doen op regioniveau of op het niveau van landbouwsectoren binnen een regio of gebieden binnen een regio. Het aantal meetpunten per bedrijf is daardoor voor dit doel minder belangrijk en beperkt tot zestien. Dit betekent dat het betrouwbaarheidsinterval van het bedrijfsgemiddelde, vooral bij hogere nitraatconcentraties, vaak groot is (zie Figuur 4.1). Dit is echter niet het enige probleem. Andere punten die een rol spelen bij een mogelijk verschil tussen het bemonsterd areaal en het areaal gebruikt bij het modeleren zijn:

a. verschillen tussen model en meting in de selectiecriteria voor de percelen op een bedrijf die moeten worden meegenomen;
b. het maximaal aantal van zestien meetpunten in het LMM;
c. de wijze van toekennen van meetpunten aan percelen in het LMM;
d. het ontbreken van nitraatanalyseresultaten door gebrek aan vocht in de genomen grondmonsters.

Bij de verschillen in areaal gaat het niet alleen om het totaal van het landbouwareaal, maar ook om het areaal per gewas. De verhouding van de meetpunten tussen de gewassen hoeft niet precies evenredig te zijn met de arealen van de verschillende gewassen op het bedrijf. Dit areaal per gewas is sturend in de berekening van het gemiddelde nitraatgehalte per bedrijf in het Nitraatuitspoelingsmodel.

Ad. a) Verschillen in selectiecriteria
In het LMM wordt het areaal meegenomen dat langdurig (2-3 jaar) in gebruik is door de deelnemer. Recent aangekochte of gehuurde percelen blijven buiten beschouwing omdat op die percelen de invloed van de vorige gebruiker op de waterkwaliteit aanwezig is. Er waren elf bedrijven waar één of meer percelen om die reden buiten beschouwing bleven. De modelberekeningen worden uitgevoerd voor het volledige in gebruik zijnde areaal. Bij de berekening wordt gekeken naar de potentiële invloed, en daarbij maakt het niet uit of er sprake is van perceelwisselingen.

Verder is de definitie van een bedrijf in het LMM gelijk aan die gehanteerd in het Bedrijfsinformatienet van *Wageningen Economic Research*. Hierdoor kan een bedrijf bestaan uit meer dan één landbouwtellingsbedrijf. In SB wordt uitgegaan van het landbouwtellingsbedrijf.

Ad. b) Maximaal aantal meetpunten
In het LMM worden op elk bedrijf zestien meetpunten geselecteerd. Dit aantal is gebaseerd op een afweging tussen statistische, praktische en financiële overwegingen. Op veel van de SB-bedrijven (vijftien van de 24) zijn er meer dan zestien percelen. Dat betekent dat in bepaalde percelen geen monsterpunt geplaatst zal worden. Het probleem dat in sommige percelen geen meetpunt is, kan echter ook bij zestien of minder percelen al optreden. Dit hangt af van de grootte van de verschillende percelen (zie punt C).

Ad. c) Wijze van toekennen van meetpunten aan percelen
De plaatsing in het LMM van de 16 meetpunten over het bedrijf is gestratificeerd-aselect. Dat wil zeggen dat aan elk perceel een of meerdere meetpunten worden toegekend op basis van de perceelgrootte. Om te zorgen dat kleinere percelen zoveel als mogelijk worden meegenomen, kent de procedure deze percelen eerder een meetpunt toe dan een extra punt aan een groter perceel. De plaatsing binnen een perceel van een meetpunt of meetpunten gebeurt aselect met een met de computer gegenereerde x- en y-coördinaat.
Dit leidt ertoe dat de verhouding van het aantal punten per gewas op een bedrijf, zeker bij veel verschillende soorten gewassen, verschilt van de areaalverhouding tussen de gewassen op dat bedrijf.

Ad. d) Ontbreken van analyses door vochttekort
De meetresultaten gebruikt voor de vergelijking zijn gebaseerd op het gemiddelde van twee mengmonsters, elk samengesteld uit acht puntmonsters. Bij veertien van de 24 bedrijven kwam het in een of beide jaren voor dat er onvoldoende vocht voor analyse gewonnen werd bij centrifugeren van de individuele monsters. In de winter 2019/’20 ging het om 5,2% van de meetpunten en in de winter van 2020/’21 om 7,6% van de punten. In Figuur 4.1 is het aantal geslaagde nitraatanalyses vermeld in de individuele monsters in de twee beschouwde jaren.

Er lijkt geen reden om aan te nemen dat het ontbreken van enkele waarnemingen als gevolg van vochttekort een groot effect heeft gehad op de analyse. Voor drie van de vier bedrijven met de grootste afwijking in Figuur 4.1 (laagst gemeten nitraatconcentratie) zijn voor alle individuele monsters resultaten beschikbaar. Dat neemt niet weg dat dit bij andere bedrijven wel een rol kan hebben gespeeld.

Wat betreft de andere punten: een analyse laat zien dat bij zes bedrijven meer dan 10% van het gewasareaal niet wordt bemonsterd. Het areaal gewassen op bemonsterde percelen is dan <90% van het totale areaal in enig jaar. Voor vijftien bedrijven geldt dat de procentuele verdeling van de monsterpunten over de gewassen afwijkt van de gewaspercentages. Wanneer het percentage wel overeenkomt, betreft dit meestal veehouderijbedrijven. In een aantal gevallen wordt duidelijk dat monsterpunten geen representatief beeld geven van vruchtopvolging. Dit is vooral van belang bij de verdeling diep en ondiep wortelend volggewas, omdat dit bij de modelberekeningen tot verschillende concentraties leidt.

De hierboven genoemde punten kunnen er een reden voor zijn dat de met het model op bedrijfsniveau voorspelde nitraatconcentratie niet overeenkomt met de gemeten concentratie. Het was in dit onderzoek niet mogelijk om het effect van deze punten op het verschil tussen gemeten en voorspelde nitraatconcentratie te kwantificeren.

4.4 Verschillende bedrijfstypen in onderzoeksgroep

In de onderzoeksgroep komen zowel akkerbouw- als melkveehouderijbedrijven voor. Het is bekend dat de relatie tussen het stikstofoverschot en de nitraatconcentratie anders is voor bedrijven met

overwegend akkerbouwgewassen dan voor bedrijven met overwegend grasland. Dit is mede de reden om in het LMM onderscheid te maken tussen de verschillende bedrijfstypen.

Het Nitraatuitspoelingsmodel is gemaakt voor bouwland en is gebaseerd op een N-balans voor werkzame stikstof. Bij mais en grasland op veehouderijbedrijven wordt gerekend met de uitkomsten van de KringloopWijzer. De KringloopWijzer werkt met de totale stikstofgift in het rekenjaar en houdt geen rekening met jaar-overstijgende effecten. Dat betekent dat geen rekening wordt gehouden met werkzame stikstof of stikstof die via mineralisatie weer vrijkomt.

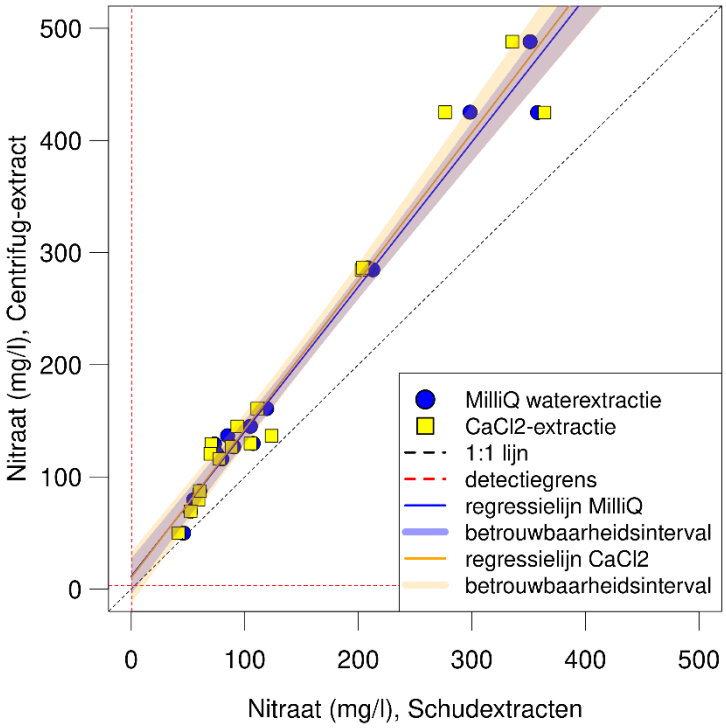
Toch laat een nadere analyse (Bijlage 4) geen verschillen zien tussen beide bedrijfstypen als het gaat om de beoordeling van de afwijking tussen gemeten en voorspelde nitraatconcentraties. Echter, bij deze analyse wordt, net als bij de analyse waarbij rekening werd gehouden met storende factoren (zie paragraaf 4.1), een onwaarschijnlijke negatieve relatie gevonden tussen voorspelde en gemeten nitraatconcentratie bij de melkveebedrijven. Dit is vreemd, omdat juist bij deze bedrijven er vaak wel een goede overeenkomst is tussen het gemeten en gemodelleerd areaal (zie paragraaf 4.3). Het in SB gebruikte uitspoelingsmodel is ontwikkeld voor de akkerbouw; voor de melkveehouderij wordt een iets afwijkende invoer gebruikt. Of dit bijdraagt aan het geconstateerde probleem of dat er andere oorzaken zijn, zou onderzocht moeten worden.

4.5 Verschil in meetmethoden

Een van de belangrijke parameters in het Nitraatuitspoelingsmodel voor Zuid-Limburg is de uitspoelfractie. De uitspoelfractie geeft aan welk deel van het stikstofoverschot uitspoelt als nitraat-stikstof. De uitspoelfractie voor de akkerbouwgewassen is gekalibreerd op metingen uit het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG). In DSG gebruikt men de schudmethode voor het extraheren van bodemvocht, terwijl in het LMM de centrifugemethode wordt gebruikt (zie voor details Ros, 2014). De schudmethode geeft duidelijk lagere nitraatconcentraties dan de centrifugemethode (zie Figuur 4.3).

Het verschil in extractiemethodiek zou kunnen verklaren waarom het model gemiddeld lagere concentraties voorspelt dan worden gemeten. Het verschil van 16 mg/l bij een gemiddelde voorspelde nitraatconcentratie van 63 mg/l komt neer op een 25% lagere concentratie dan gemeten. Dit valt binnen het traject van 15-38% hogere concentraties bij centrifugeren dan bij schudden die gevonden zijn in verschillende onderzoeken (Boumans et al., 2016; Fraters, 2021).

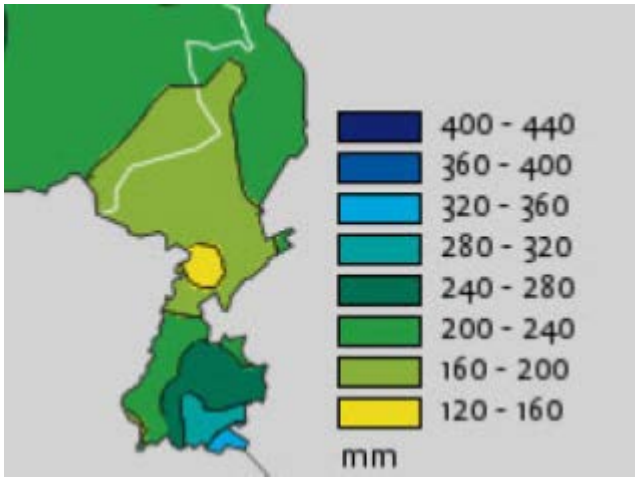
Het verschil in meetmethodiek kan echter niet verklaren waarom er sterk wisselende verschillen voorkomen tussen individuele model- en meetresultaten. Uit diezelfde onderzoeken blijkt namelijk dat er een goede relatie is tussen de resultaten van de schud- en centrifugemethoden.



Figuur 4.3 Relatie tussen de nitraatconcentratie in het centrifuge-extract en in de twee schudextracten; 1:1 v/v milliQ-water en 1:2 v/v 0,01 N $CaCl_2$-oplossing (Fraters, 2021)

4.6 Effect van extreme droogte in meetperiode

Het model berekent de nitraatconcentratie in het bodemvocht dat zich na twee jaar bevindt op 2,5 m diepte. Dit houdt in dat het bodemvocht zich gemiddeld één meter per jaar heeft verplaatst. Het model houdt rekening met de neerslaghoeveelheid in de zin dat de concentratie wordt berekend door de hoeveelheid voor uitspoeling beschikbaar stikstof te delen door het neerslagoverschot. Een kleiner neerslagoverschot leidt zo tot een hoger berekende concentratie. Een kleiner of groter neerslagoverschot heeft echter in het model geen effect op de reistijd. De berekende concentratie bereikt altijd na twee jaar een diepte van 2,5 m. Verder zijn de neerslag- en verdampingscijfers die in het model worden gebruikt afkomstig van het KNMI-station Maastricht. Lokaal kunnen grote verschillen opgetreden zijn. Ook langjarig gemiddeld zijn er verschillen in het neerslagoverschot binnen deze regio (zie Figuur 4.4).



Figuur 4.4 Gemiddelde hoeveelheid neerslagoverschot (mm/jaar) voor de periode 1981-2010 (KNMI, 2021)

De afgelopen jaren werden gekenmerkt door droogte. Zeker de zomer van 2018 was extreem droog. Het is niet uit te sluiten dat hierdoor het bodemvocht zich over geringe afstand heeft verplaatst. In dat geval heeft de gemeten concentratie een relatie met eerdere jaren van landbouwpraktijk dan waar het model nu van uitgaat.

Het effect van droogte op het neerwaarts transport kan worden geschat door een indicatieve transportafstand te berekenen met behulp van de netto neerslag. In Bijlage 3 is een alternatieve aanpak (B) besproken waarin geprobeerd is zo goed als mogelijk rekening te houden met verschillen in transportlengte tussen de voor dit onderzoek relevante jaren. Het verschil tussen gemeten en voorspeld is dan zoals verwacht iets groter.

In paragraaf 4.2 is al geconcludeerd dat een andere benaderingswijze voor het omrekenen van de gemodelleerde nitraatconcentratie op 2,5 m diepte naar die in het traject van 1,5-3,0 m diepte geen verbetering opleverde.

4.7 Samenvatting en overwegingen

Het vergelijken van de gemeten nitraatconcentraties met de modelvoorspellingen wordt bemoeilijkt door zowel het verschil in doel van het LMM en het model gebruikt in Slim Bemesten, als door de wijze waarop dit doel bij beide is uitgewerkt in een aanpak. Uitgangspunt bij de modellering is dat er een relatie is tussen landbouwkundig handelen en de nitraatconcentratie in het water dat uitspoelt uit de wortelzone. Met het model wil men in het project Slim Bemesten het voor de deelnemers inzichtelijk maken wat de consequenties zijn van specifieke maatregelen op de nitraatuitspoeling. Het doel voor het LMM is om op regioniveau te laten zien of een pakket van (beleids)maatregelen leidt tot een verandering in de waterkwaliteit in samenhang met veranderingen in de landbouwpraktijk

Gemiddeld is de modelvoorspelling van de nitraatconcentratie lager dan de gemeten concentratie. Deze bevinding is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van het gebruik van een andere extractiemethode voor

bodemvocht bij de metingen voor de modelkalibratie (schudmethode) dan wordt gebruikt in het LMM (centrifugemethode).

De relatie tussen gemeten en voorspelde nitraatconcentraties op bedrijfsniveau is beperkt. Dit is vooral toe te schrijven aan het verschil in het gerepresenteerde areaal op bedrijfsniveau tussen LMM en model en, ten tweede, het feit dat het model geen rekening kan houden met verschillen in de transportafstand van het bodemvocht tussen jaren en tussen locaties in de Lössregio binnen een jaar. Daarnaast kunnen nog een rol gespeeld hebben: (a) de keuze voor de wijze van aggregeren van modeluitkomsten (concentratie op 2,5 m diepte) voor het koppelen aan de meetgegevens (meetdiepte 1,5-3,0 m diepte) en (b) verschillen in de benaderingswijze in het model tussen akkerbouw en melkveehouderij.

Op basis van de resultaten van de huidige studie lijkt het plausibel dat het model de nitraatconcentratie systematisch onderschat ten opzichte van het LMM. Door methodische verschillen tussen het LMM en het model gebruikt bij Slim Bemesten, is geen uitspraak te doen of het model de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau acceptabel voorspelt, als rekening wordt gehouden met het systematische verschil tussen model en meting. Er zijn aanwijzingen dat het model mogelijk minder goed werkt voor de melkveehouderij dan voor de akkerbouw.

5 Conclusies

Het model voorspelt gemiddeld een 16 mg/l (25%) lagere nitraatconcentratie in het bodemvocht in de ondergrond van de bedrijven deelnemende aan het project Slim Bemesten dan wordt gemeten met de LMM-methode. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in de methode gebruikt voor het extraheren van het bodemvocht tussen de metingen gebruikt voor de modelkalibratie (schudmethode) en voor de metingen in het LMM (centrifugemethode).

Er is geen uitspraak te doen of het model gebruikt bij Slim Bemesten de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau acceptabel voorspelt als rekening zou worden gehouden met het systematische verschil tussen model en meting. Dit komt door het verschil in het doel tussen het LMM en het model en de uitwerking hiervan in een concrete aanpak. De belangrijkste oorzaken zijn het verschil in het gerepresenteerde areaal op een bedrijf tussen LMM en het model en het feit dat het model geen rekening kan houden met verschillen in de afstand waarover het bodemvocht naar beneden wordt getransporteerd tussen jaren en tussen locaties in de Lössregio binnen een jaar.

Er zijn aanwijzingen dat het model mogelijk minder goed werkt voor de melkveehouderij dan voor de akkerbouw. Aanbevolen wordt dit verder te onderzoeken.

Referenties

Anoniem (2020) Voortgangsrapportage project Slim Bemesten. Periode voorjaar 2019 – 31 december 2019. Slim Bemesten, maatwerk in de regio, 30 januari 2020, Projectnummer: 1400010242.

Anoniem (2018) Voortgangsrapportage project Slim Bemesten. Periode 1 juli 2017 – 1 november 2018. Slim Bemesten, maatwerk in de regio, 28 november 2018, Projectnummer: 1300021493.

Boumans, L.J.M., Van Elzakker, B.G., Fraters, B., Masseling, N.J. (2016) Invloed van veldmethoden op de gemeten waterkwaliteit. Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM. Rapport 2015-0033.

Crijns, S., Kusters, E., Kager, H. (2014) Project 'Slim Bemesten' Maatwerk voor de akkerbouw en melkveehouderij in de Lössregio. Projectplan versie 7.2. Uitgave van DLV Plant, AgriConnection en LLTB.

Francq, B.G., Berger, M. (2019). *BivRegBLS: Tolerance Interval and EIV Regression - Method Comparison Studies. R package version 1.1.1.* https://CRAN.R-project.org/package=BivRegBLS.

Francq, B.G., Berger, M. (2017) *BivRegBLS, a new R package in method comparison studies with tolerance intervals and (correlated)-errors-in-variables regressions.* Presentatie conferentie Chimiométrie XVIII 2017 (http://www2.agroparistech.fr/podcast/IMG/pdf/chimiometrie_2017_bivregbls_mberger-bgfrancq_final.pdf).

Fraters, D. (2021) LMM in de Lössregio, deel 11: Maakt het uit op welke manier je het bodemvocht wint? RIVM, Bilthoven, LMM E-nieuws, oktober, 2021 (https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-effecten-mestbeleid/nieuwsbrieven-landelijk-meetnet-effecten-mestbeleid/lmm-in-lossregio-deel-11-maakt-uit-op-welke-manier-je-bodemvocht-wint).

Kassambara, A. (2020) *ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.4.0.* https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr

KNMI (2021) Langjarige gemiddeld neerslagoverschot 1981-2010. Website bezocht op 12 oktober 2021. Webadres: https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten/neerslag-verdamping/gemiddelde-hoeveelheid-neerslagoverschot/jaar/Periode_1981-2010.

Koomans, R.L., Bouwmeester, W. (2016) Nauwkeurigheid van de metingen van de Wegenscanners. De Wegenscanners, Groningen/Deventer (https://dewegenscanners.nl/wp-content/uploads/2016/09/Nauwkeurigheid-metingen-van-de-Wegenscanners-1.pdf).

Kusters, E, Crijns, S., Deckers, H. (2018) Slim Bemesten 2. Slimme oplossingen voor een bijzonder gebied. Project Slim Bemesten, december 2018.

Lukacs, S. (2021) Het LMM is opgezet om op regioniveau uitspraken te doen, uitspraken op bedrijfsniveau zijn onzeker. RIVM, Bilthoven, LMM E-nieuws, september 2021 (https://www.rivm.nl/lmm-is-opgezet-om-op-regioniveau-uitspraken-te-doen-uitspraken-op-bedrijfsniveau-zijn-onzeker).

Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2021). *_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models_. R package version 3.1-152*, <URL: https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

R Core Team (2021). R: *A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. URL https://www.R-project.org/.

Ros, G.H., De Pater, J. (2021) Onzekerheidsanalyse Nitraatuitspoelingsmodel Duurzaam Schoon Grondwater. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1761.N.20.3.

Ros, G.H. & J de Pater (2018) Nitraatonderzoek Limburg (2011-2017). Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1753.N.18.

Ros, G.H., De Pater, J., Kusters, E., Crijns, S., Vaessen, F. (2018) Update nitraatuitspoelingsmodel Zuid-Limburg. Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V., rapport 1731.N.18.

Ros, G.H., De Pater, J., Kusters, E., Crijns, S., Vaessen, F. (2017) Update en Evaluatie Nitraatuitspoelingsmodel. Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V., rapport 1659.N.16.

Ros, G.H. (2014) Kennisbundeling nitraatmeting bodemvocht lössgronden - vergelijking meetprotocollen WML, LMM en BVM. Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V., rapport 1559.N.14.

Van Duijnen, R., Van Leeuwen, T.C., Hoogeveen, M.W. (2021) *Minerals Policy Monitoring Programme report 2015–2018 Methods and procedures. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands, RIVM report 2020-0163*.

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., D'Agostino McGowan, L., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Lin Pedersen, T., Miller, E., Milton Bache, S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Paige Seidel, D., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H. (2019). *Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software, 4(43), 1686,* https://doi.org/10.21105/joss.01686.

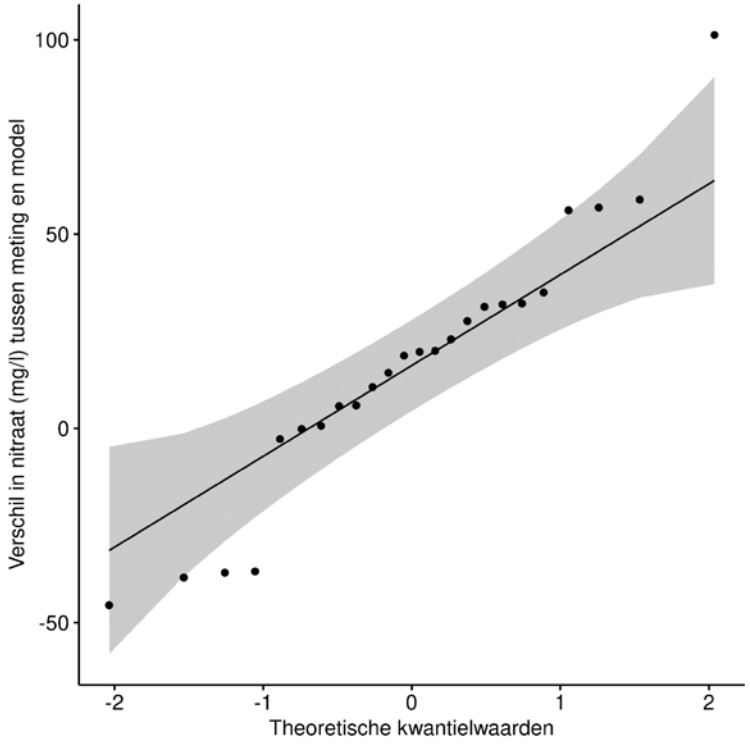
Met dank aan

Dit rapport is tot stand gekomen dankzij de bereidwillige medewerking van de deelnemers aan het project Slim Bemesten. Ook gaat dank uit naar de collega's bij RIVM en bij WSP Nederland B.V. die de bedrijven hebben bemonsterd, en de collega's bij TNO en Eurofins die zorg hebben gedragen voor de verwerking van de monsters en de chemische analyses van het bodemvocht.

De opzet van de analyse en concepten van het rapport zijn gereviewd door Maarten Schipper van de afdeling Statistiek, Informatica en Modellering van het RIVM en het eindconcept is geriewed door Timo Brussee van het Centrum voor Milieukwaliteit van het RIVM, waarvoor onze dank.

Bijlage 1 Toepassen van t-toets

De t-toets gaat er vanuit dat de populatie waaruit de steekproef komt normaal verdeeld is. Daarom is vooraf getoetst of de verschillen tussen de gemeten en de voorspelde nitraatconcentratie normaal zijn verdeeld. Er bleek geen aanleiding om te veronderstellen dat de verschillen niet afkomstig waren uit een populatie van verschillen met een normale verdeling (zie QQ-plot in Figuur 2.3). De Shapiro-Wilk normaliteitstoets was niet significant (p-waarde 0,2786). De conclusie is de we voor de andere toetsen er van uit kunnen gaan dat voldaan wordt aan de vereiste van een normale verdeling.



Figuur B1.1 QQ-plot voor verschillen tussen gemeten en voorspelde nitraatconcentraties (gemiddelden per bedrijf voor twee jaar). Plot geeft geen aanleiding te veronderstellen dat de verschillen niet afkomstig waren uit een populatie van verschillen met een normale verdeling

Bijlage 2 Analyse met gemengd regressiemodel

Het is mogelijk dat andere factoren van invloed zijn op de relatie tussen de met het model voorspelde en de op de bedrijven gemeten nitraatconcentratie. Zo kunnen bedrijfstype, neerslagoverschot en onbekende jaareffecten van invloed zijn. Om die reden zijn alle meetcijfers op de SB-bedrijven beschouwd vanaf landbouwpraktijkjaar (jb) 2017 en meegenomen in een analyse met een gemengd model. De reden van het gebruik van een gemengd model is dat in jb 2017 (winter 2018/'19) alleen de SB-bedrijven die deelnemen in het LMM bemonsterd zijn. Ook kan de variantie in de nitraatconcentratie tussen jaren verschillen. Hiermee kan in het gemengd model rekening gehouden worden. De resultaten moeten wel met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, omdat (waarschijnlijk) niet aan de voorwaarde wordt voldaan dat de fout in de verklarende variabele 'Gemodelleerde NO_3' (mno3; de nitraatconcentratie berekend op 2,5 m diepte) veel kleiner is dan die in de te verklaren variabele 'Gemeten NO_3' (xno3). De verschillen tussen akkerbouw en veehouderij die te zien zijn bij de BLS-analyse (Bijlage 4) waren aanleiding om ook de interactie tussen berekende nitraatconcentratie en bedrijfstype te beschouwen in deze analyse.

Het neerslagoverschot leverde geen significante verklaring op (p-waarde = 0,79) en is daarom weggelaten in de analyse getoond in het Tekstkader B2.1. Let op, de netto neerslag is al gebruikt in het model om de hoeveelheid stikstof die uitspoelt om te rekenen naar een concentratie. Na weglaten van deze parameter, is de conclusie dat ook 'jaar' geen significante bijdrage levert aan de verklaring van de gemeten concentratie. Dit betreft de landbouwpraktijkjaren 2017 (in het intercept), 2018 en 2019 (zie Tekstkader B2.1).

De verklarende variabelen 'Gemodelleerd NO_3' (mno3), bedrijfstype (cpt) en de interactieterm van beide (mno3:cptoverig) zijn alle significant en leveren ook een aanzienlijke bijdrage. Bij een stijging van de gemodelleerd nitraatconcentratie met 10 mg/l berekent het gemengd regressiemodel een 7,9 mg/l hogere gemeten nitraatconcentratie. De interpretatie van de andere twee variabelen is complex. Het levert een relatie op die in strijd is met de verwachting. De positieve waarde van 'cptoverig' betekent dat de nitraatconcentratie bij melkveebedrijven hoger is dan bij akkerbouwbedrijven. Echter, de interactieterm 'mno3:cptoverig' is negatief, dus naarmate de gemodelleerde nitraatconcentratie hoger is, neemt de met het gemengd regressiemodel berekende nitraatconcentratie af voor de melkveebedrijven (mno3 0,79 en mno3:cptoverig -1,50), maar juist toe voor de akkerbouwbedrijven (mno3). Dit komt overeen met het beeld dat we zien bij de BLS-analyse per bedrijfstype (zie Bijlage 4, Figuur B4.2). Een afname van de gemeten nitraatconcentratie bij een toename van de gemodelleerde concentratie bij melkveebedrijven is echter iets dat niet zou mogen gebeuren.

Tekstkader B2.1 Resultaten analyse met gemengd model

Model
NO_3[meting] = NO_3[gemodelleerd] * bedrijfstype + jaar
Random = bedrijf

Verklaring afkortingen hieronder
nr = bedrijf
xno3 = NO_3[meting]
mno3 = NO_3[gemodelleerd]
cpt = bedrijfstype, overig = melkvee
jb = jaar (waarin landbouwpraktijk plaats vindt)

```
Linear mixed-effects model fit by REML
 Data: z
   AIC      BIC      logLik
   553.1389 573.0287 -266.5694

Random effects:
 Formula: ~1 | nr
         (Intercept) Residual
StdDev:  26.76231    3.636424

Variance function:
 Structure: Different standard deviations per stratum
 Formula: ~1 | jb
 Parameter estimates:
  2018     2019     2017
  1.000000 7.027763 6.872233

Fixed effects: xno3 ~ mno3 * cpt + jb
                Value    Std.Error DF  t-value   p-value
(Intercept)    28.01842 23.111355 32  1.2123226 0.2343
mno3            0.79060  0.373834 32  2.1148428 0.0423
cptoverig      59.87170 28.452079 22  2.1042998 0.0470
jb2018         -0.66329  7.832816 32 -0.0846803 0.9330
jb2019          8.46795 10.836909 32  0.7813989 0.4403
mno3:cptoverig -1.49917  0.512943 32 -2.9226827 0.0063

 Correlation:
               (Intr)  mno3   cptvrg jb2018 jb2019
mno3           -0.893
cptoverig      -0.728  0.702
jb2018          0.029 -0.359 -0.209
jb2019          0.236 -0.506 -0.205   0.820
mno3:cptoverig 0.520 -0.558 -0.887   0.138  0.072

Standardized Within-Group Residuals:
Min          Q1         Med         Q3         Max
-1.38310252 -0.32847516 -0.06277172 0.16259519 3.63716359

Number of Observations: 60
Number of Groups: 24
```

Aanvullend is gekeken of er variabelen zijn die het verschil tussen modelvoorspelling en meting verklaren (zie Tekstkader 2.2). Geen van de geteste variabelen levert een statistisch significante bijdrage aan de

verklaring van het verschil. Getest zijn bedrijfstype, neerslagoverschot, jaar en wel of geen deelname aan LMM.

Tekstkader B2.2 Resultaten analyse 'verschillen'

Model
NO_3[verschil] = bedrijfstype + jaar + neerslagoverschot
+deelnemertype
Random = bedrijf

Verklaring afkortingen hieronder
nr = bedrijf
vmm.no3 = NO_3[meting]
cpt = bedrijfstype, overig = melkvee
jb = jaar (waarin landbouwpraktijk plaats vindt)
pn = neerslagoverschot (mm)
ptc = deelnemertype, ook LMM of alleen Slim Bemesten (= sbn)

```
Linear mixed-effects model fit by REML
  Data: z
       AIC      BIC    logLik
  564.2817 584.1716 -272.1409

Random effects:
 Formula: ~1 | nr
        (Intercept)    Residual
StdDev:    32.22395 0.005082311

Variance function:
 Structure: Different standard deviations per stratum
 Formula: ~1 | jb
 Parameter estimates:
    2018     2019     2017
   1.000 5280.334 5912.695

Fixed effects:  vmm.no3 ~ cpt + jb + pn + ptc
                Value Std.Error DF    t-value p-value
(Intercept)  85.26651 146.35628 33  0.5825955  0.5641
cptoverig    -4.83786  29.37087 21 -0.1647164  0.8707
jb2018      -22.78677  42.64904 33 -0.5342855  0.5967
jb2019       -3.06768  11.26185 33 -0.2723957  0.7870
pn           -0.01602   0.03619 33 -0.4426443  0.6609
ptcsbn       -5.01009  13.70924 21 -0.3654535  0.7184
 Correlation:
          (Intr) cptvrg jb2018 jb2019 pn
cptoverig -0.896
jb2018    -0.987  0.867
jb2019     0.365 -0.365 -0.247
pn        -0.996  0.886  0.979 -0.412
ptcsbn     0.096 -0.232 -0.129  0.054 -0.132

Standardized Within-Group Residuals:
Min         Q1        Med         Q3        Max
-1.3156   -0.3588  0.00005    0.04109  3.6734

Number of Observations: 60
Number of Groups: 24
```

Bijlage 3 Beschouwing aanpak koppeling meet- en modelresultaat

Het model berekent een nitraatconcentratie in het bodemvocht op 2,5 m diepte (gemodelleerde concentratie), de metingen representeren de concentratie in het bodemvocht tussen 1,5 en 3,0 m diepte. Door de modelberekeningen van drie opeenvolgende jaren via weging te middelen (zie paragraaf 1.2) is een voorspelling gemaakt van de concentratie in het meettraject (voorspelde concentratie). De vraag is of een andere aanpak van de middeling een heel andere resultaat zou hebben opgeleverd. In deze bijlage beschouwen we twee alternatieve en vergelijken de resultaten hiervan met die gepresenteerd in het hoofdrapport. De drie verschillende aanpakken om de gemodelleerde concentratie te vertalen naar een voorspelde concentratie in het bodemtraject tussen 1,5 en 3,0 m diepte zijn:

Basisaanpak:

sNO_3 [jaar X] = 0,25 * mNO_3 [jaar X-2] + 0,5 * mNO_3 [jaar X-1] + 0,25 * mNO_3 [jaar X]

Alternatieve aanpak A:

sNO_3 [jaar X] = 0,5 * mNO3 [jaar X-1] + 0,5 * mNO3 [jaar X]

Alternatieve aanpak B:

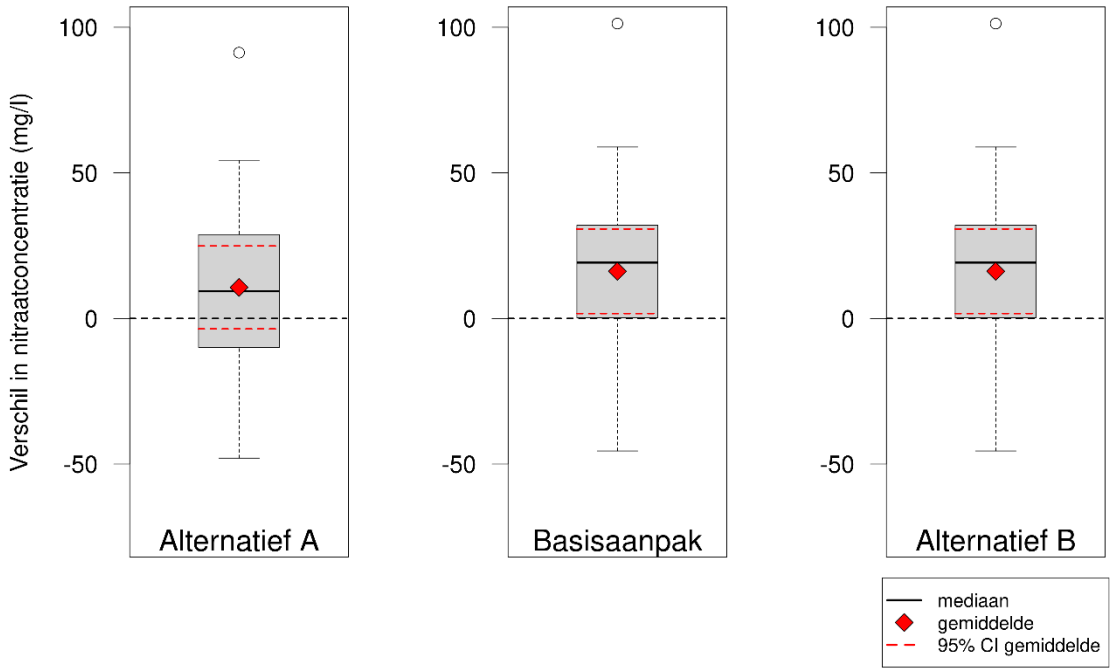
sNO_3 [jaar X] =
als X=2017: (40/150) * mNO3 [jaar X-1] + (110/150) * mNO3 [jaar X-2]
als X=2018: (44/150) * mNO3 [jaar X-1] + (116/150) * mNO3 [jaar X-2]
als X=2019: (76/150) * mNO3 [jaar X-1] + (74/150) * mNO3 [jaar X-2]

Hierbij is jaar X het jaar van landbouwpraktijk, sNO_3 de voorspelde nitraatconcentratie voor het traject 1,5-3,0 m en mNO3 de gemodelleerde concentratie voor de diepte 2,5 m beneden het maaiveld. Conform de LMM-methodiek wordt in de Lössregio de landbouwpraktijk uit bijvoorbeeld 2019 gekoppeld aan de nitraatmeting in de winter van 2020/’21 (X+1).

Bij alternatief A is de invloed van de landbouwpraktijk uit jaar X-2 afwezig en de invloed van de landbouwpraktijk uit het meer recente jaar X groter dan bij de basisaanpak.

Bij alternatief B is een inschatting gemaakt van het neerslagoverschot (station Maastricht) op de indringing in het bodemprofiel. Vandaar dat voor elk jaar een andere berekening is uitgevoerd. Bij dit alternatief is er geen invloed van de landbouwpraktijk van het meest recente jaar (X), en wisselt de invloed van de oudere jaren (X-1 en X-2) afhankelijk van de ontwikkeling van het neerslagoverschot in de tijd. In het laatste jaar (x=2019) is de invloed van beide jaren ongeveer even groot. In de eerdere jaren is de invloed van het oudste jaar (X-2) bijna drie keer zo groot als die van het een na oudste jaar (X-1).

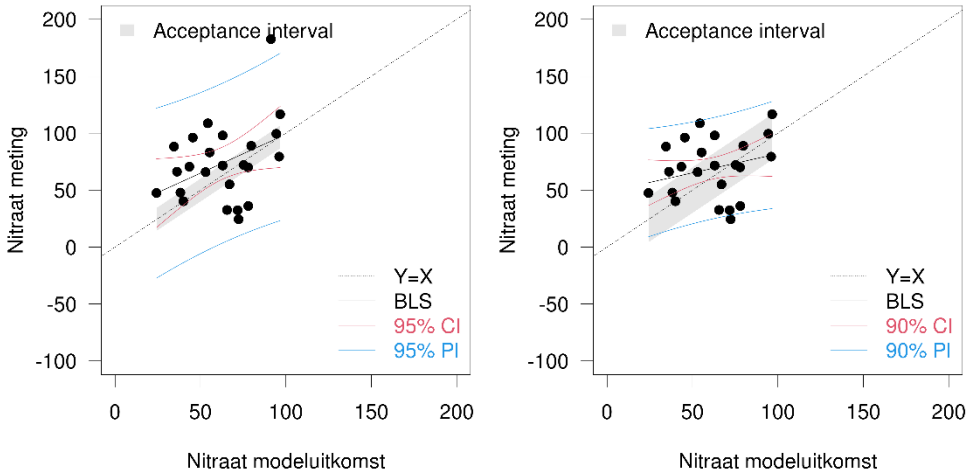
De verschillen tussen gemeten en voorspelde nitraatconcentratie zijn iets kleiner (en niet meer significant) bij alternatief A dan bij de basisaanpak en iets groter (en significant) bij alternatief B; zie Figuur B3.1.



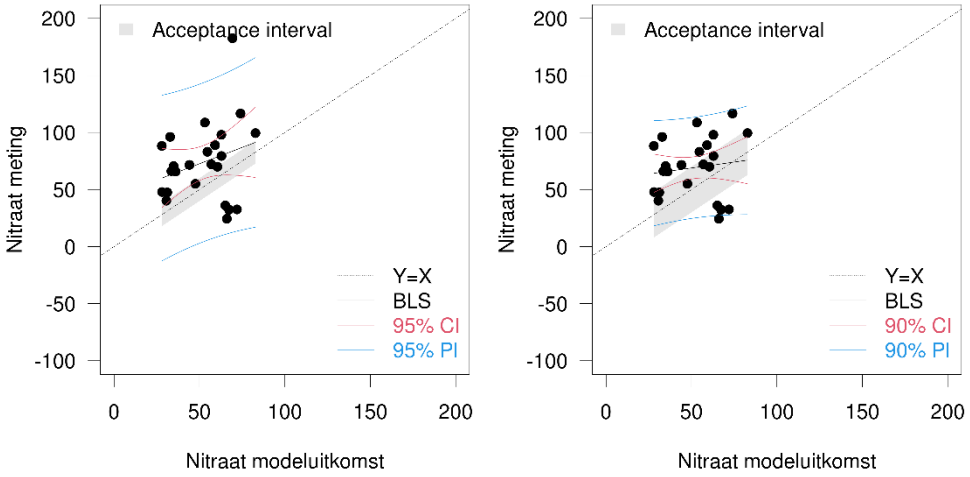
Figuur B3.1 Verschillen in tweejarig gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l) tussen meting en modelvoorspelling voor basisaanpak en de alternatieven A en B. Boxplot van de verschillen voor de 24 SB-bedrijven. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (BI) is nagenoeg hetzelfde voor de mediaan en het gemiddelde van de verschillen

De beide alternatieven leiden niet tot een zichtbare verbetering bij de vergelijking van het 95%-voorspellingsinterval (PI) en het acceptatie-interval; zie Figuren B3.2 en B3.3.

Het meenemen van meer invloed van de landbouwpraktijk uit recentere jaren of juist meer invloed van de landbouwpraktijk uit eerdere jaren dan bij de basisaanpak leidt niet tot relevante verschillen in de resultaten bij de vergelijking van de gemeten en voorspelde nitraatconcentraties.



Figuur B3.2 Alternatief A: Nitraatconcentratie (mg/l) gemeten versus voorspeld met het betrouwbaarheidsinterval (CI, rood) en voorspellingsinterval (PI, blauw). Links 95%-CI en -PI en rechts van 90%-CI en -PI. Rechts zonder uitschieter in meetcijfers. In grijs het acceptatie-interval waarbinnen het voorspellingsinterval zou moeten liggen (acceptance interval). Links een acceptatie-interval van 10 mg/l rechts van 20 mg/l

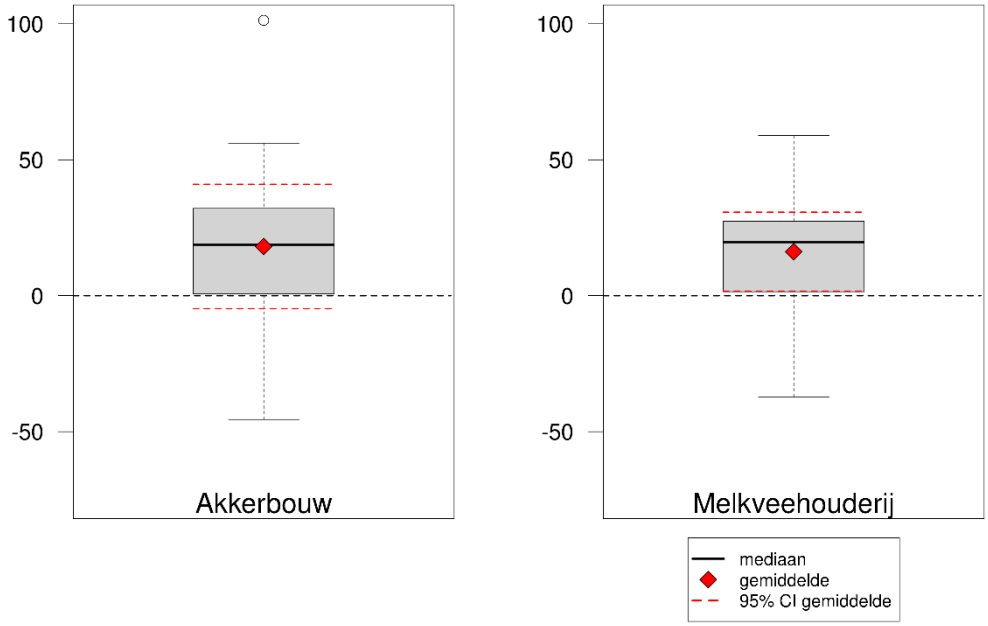


Figuur B3.3 Alternatief B: Nitraatconcentratie (mg/l) gemeten versus voorspeld met het betrouwbaarheidsinterval (CI, rood) en voorspellingsinterval (PI, blauw). Links 95%-CI en -PI en rechts van 90%-CI en -PI. Rechts zonder uitschieter in meetcijfers. In grijs het acceptatie-interval waarbinnen het voorspellingsinterval zou moeten liggen (acceptance interval). Links een acceptatie-interval van 10 mg/l rechts van 20 mg/l.

Bijlage 4 Vergelijking van akkerbouw en melkveehouderij

Er is ook gekeken of er sprake is van grote verschillen tussen de akkerbouw- en melkveebedrijven. De vergelijking geeft geen aanleiding te veronderstellen dat er relevante verschillen tussen akkerbouw en melkveebedrijven zijn bij de vergelijking van gemeten en voorspelde nitraatconcentraties

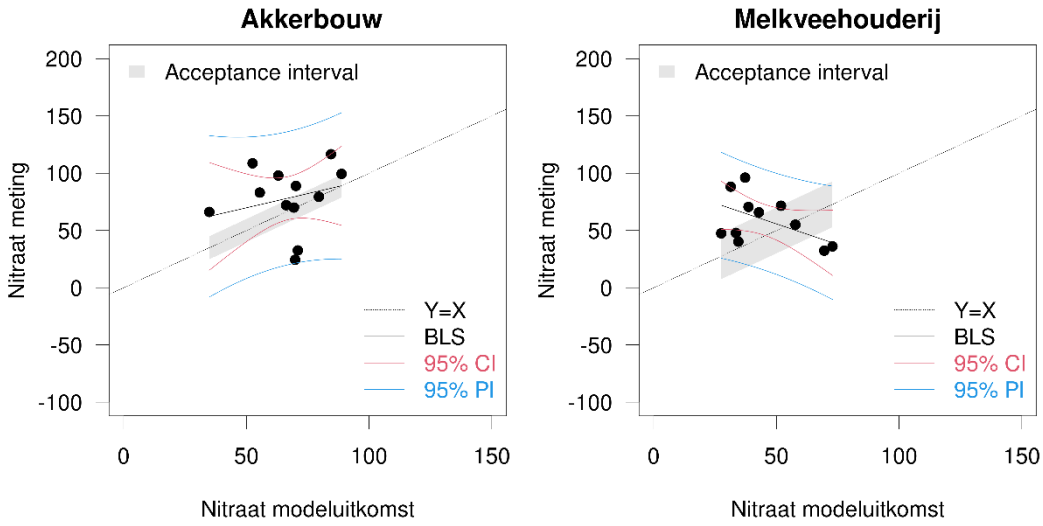
De afwijking tussen gemeten en voorspelde nitraatconcentratie verschilt niet tussen beide bedrijfstypen (Figuur B4.1).



Figuur B4.1 Verschillen in tweejarig gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l) tussen meting en modelvoorspelling voor akkerbouw en melkveehouderijbedrijven. Boxplot van de verschillen voor de 24 SB-bedrijven. Het 95% betrouwbaarheidsinterval (BI) is nagenoeg hetzelfde voor de mediaan en het gemiddelde van de verschillen

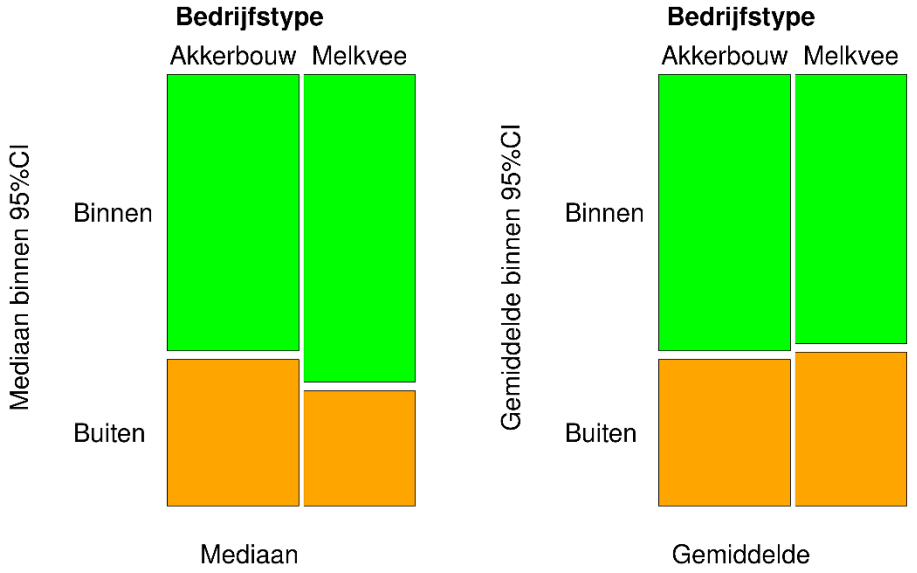
De BLS-analyse per bedrijfstype laat hier zien dat voor beide bedrijfstypen het voorspellingsinterval veel breder is dan het acceptatie-interval (zie Figuur B4.2). Hier speelt wel het zeer geringe aantal waarnemingen per bedrijfstype (circa tien) een rol. Er lijkt wel een verschil te zien te zijn voor wat betreft de regressiehelling.

Opmerkelijk is de negatieve relatie bij de melkveebedrijven (BLS in Figuur B4.2 rechts) tussen modelvoorspelling en de gemeten concentratie. Dit behoeft nader onderzoek (zie ook Bijlage 2).



Figuur B4.2 Nitraatconcentratie (mg/l) gemeten versus voorspeld met het betrouwbaarheidsinterval (CI, rood) en voorspellingsinterval (PI, blauw). Links akkerbouw (exclusief uitschieter) en rechts melkveehouderij. In grijs het acceptatie-interval (10 mg/l) waarbinnen het voorspellingsinterval zou moeten liggen (acceptance interval)

Verder is er weinig verschil tussen de bedrijfstypen als het gaat om het aandeel van de voorspelde nitraatconcentraties dat binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de metingen valt (zie Figuur B4.3). Dit geldt zowel voor het betrouwbaarheidsinterval van de mediaan als van het gemiddelde.



Figuur B4.3 Vergelijking van het aandeel voorspelde nitraatconcentraties binnen en buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de metingen per bedrijfstype. Links voor de mediaan van de metingen en rechts voor het gemiddelde

B. Fraters | E. Kusters | J.W.A.M. Crijns | G.H. Ros

RIVM-rapport 2021-0202

Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

februari 2022

013669

De zorg voor morgen begint vandaag