



Uitbreiding bio-economische modellering met waterkwaliteitsmodule

Validatie van resultaten en testen van model

P.W. Blokland, C. Daatselaar, A. Greijdanus, T. de Koeijer



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Uitbreiding bio-economische modellering met waterkwaliteitsmodule

Validatie van resultaten en testen van model

P.W. Blokland, C. Daatselaar, A. Greijdanus, T. de Koeijer

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Economic Research in opdracht van en gefinancierd door het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid

Wageningen Economic Research
Wageningen, oktober 2021

RAPPORT
2021-037
ISBN 978-94-6395-942-1

P.W. Blokland, T. de Koeijer, C. Daatselaar en A. Greijdanus, 2021. *Uitbreiding bio-economische modellering met waterkwaliteitsmodule; Validatie van resultaten en testen van model*. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2021-037. 32 blz.; 2 fig.; 10 tab.; 8 ref.

In deze rapportage is de implementatie en validatie van de waterkwaliteitsmodule in het bio-economisch optimalisatiemodel FLAME beschreven. Deze module richt zich op het berekenen van de nitraatconcentratie in het grondwater in relatie tot de landbouwpraktijk op individuele melkveebedrijven op zandgrond. Het RIVM voert, in het kader van het project Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM), metingen uit op landbouwbedrijven. De gemeten nitraatconcentratie van 55 melkveebedrijven op zandgrond is vergeleken met de voor deze bedrijven berekende nitraatconcentratie van FLAME. De gemiddelde concentratie op bedrijfsniveau berekend door FLAME is hoger dan de gemeten gemiddelde concentratie. Het verschil is 2,8 mg/l en dat is een afwijking van 9%. Dit verschil is gemiddeld over de 55 melkveebedrijven niet significant. Op basis hiervan en op basis van een betrouwbaarheidsanalyse van het populatiegemiddelde wordt geconcludeerd dat de waterkwaliteitsmodule goed bruikbaar is bedrijfseconomische evaluaties van het mestbeleid voor groepen bedrijven.

This report describes the implementation and validation of the water quality module in the bio-economic optimisation model Flame. The module focuses on the calculation of groundwater nitrate concentration in relation to agricultural practices on individual dairy farms on sandy soil. Within the framework of the Minerals Policy Monitoring Programme (LMM), the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) carries out measurements on agricultural farms. The measured nitrate concentration of 55 dairy farms has been compared with FLAME's calculated nitrate concentration. The average farm-level concentration calculated by FLAME is higher than the measured average concentration. The difference is 2.8 mg/L, which is a deviation of 9%. Averaged over the 55 dairy farms, this difference is not significant. Based on this and on a reliability analysis of the population average, it is concluded that the water quality module is well suited for operational evaluations of the manure policy for groups of farms.

Trefwoorden: LMM, nitraatconcentratie, bio-economische modellering, optimalisatie

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/555374> of op www.wur.nl/economic-research (onder Wageningen Economic Research publicaties).

© 2021 Wageningen Economic Research
Postbus 29703, 2502 LS Den Haag, T 070 335 83 30, E communications.ssg@wur.nl,
www.wur.nl/economic-research. Wageningen Economic Research is onderdeel van Wageningen University & Research.



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Economic Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2021
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Economic Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Economic Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Wageningen Economic Research Rapport 2021-037 | Projectcode 2282200366

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	6
	S.1 Belangrijkste uitkomsten	6
	S.2 Overige uitkomsten	6
	S.3 Methode	7
	Summary	8
	S.1 Key findings	8
	S.2 Complementary findings	8
	S.3 Method	9
1	Inleiding	5
	1.1 Aanleiding en uitgangspunten	10
	1.2 Doelstelling en afbakening	10
	1.3 Opbouw van het rapport	11
2	Data en methode	12
	2.1 Dataselectie	12
	2.2 Testen en valideren waterkwaliteitsmodule	13
3	Nitraatconcentratie in grondwater	14
	3.1 Nitraatconcentratie per gewas	14
	3.1.1 STONE	14
	3.1.2 WOG-WOD	15
	3.1.3 Regressietechnieken op basis van paneldata	16
	3.1.4 Keuze nitraatconcentratie berekeningsmethode	17
	3.2 Stikstofbodemoverschot per gewas	17
4	Waterkwaliteitsmodule in FLAME	19
	4.1 Moduleopzet	19
	4.2 Technische modelopzet	19
5	Testen en validatie	23
	5.1 Testen	23
	5.1.1 Arealen	23
	5.1.2 Gebruik dierlijke mest en gebruiksnormen	23
	5.1.3 Kunstmest	24
	5.1.4 Nitraatconcentratie	24
	5.2 Validatie van de nitraatconcentratie	25
6	Discussie	26
7	Conclusies en aanbevelingen	28
	7.1 Conclusies	28
	7.2 Aanbevelingen	28
	Bronnen en literatuur	29
	Bijlage 1 Bedrijfsgegevens FLAME	30

Woord vooraf

Het Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research en de databases van het RIVM bevatten veel gegevens met betrekking tot de landbouwpraktijk en de nitraatconcentratie van bedrijven in het Landelijk meetnet effecten mestbeleid (LMM). Het modelleren van stikstofuitspoeling in relatie tot deze landbouwpraktijk is binnen de huidige bedrijfsmodellen van Wageningen Economic Research echter niet mogelijk. De mogelijkheid om de stikstofuitspoeling te kunnen modelleren voor vraagstukken met betrekking tot waterkwaliteit zoals bijvoorbeeld het identificeren van handelingsperspectieven van ondernemers om de waterkwaliteit te verbeteren, of het evalueren van mogelijke beleidsopties ten aanzien van de waterkwaliteit is een aanvulling op het modelinstrumentarium.

Om handelingsperspectieven van ondernemers te identificeren, of het evalueren van mogelijke beleidsopties met betrekking tot de waterkwaliteit mogelijk te maken is een waterkwaliteitsmodule ontwikkeld binnen het bio-economisch optimalisatiemodel FLAME. Deze module is ontwikkeld binnen het project Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

Deze nota beschrijft: de implementatie van de waterkwaliteitsmodule in het bio-economisch bedrijfsmodel FLAME, het testen en de validatie van de module. De auteurs willen graag iedereen bedanken die een bijdrage heeft geleverd aan deze nota.



Ir. O. (Olaf) Hietbrink
Business Unit Manager Wageningen Economic Research
Wageningen University & Research

Samenvatting

S.1 Belangrijkste uitkomsten

Voor economische evaluaties van landbouw- en milieubeleid is het gebruik van bio-economische modellen die de besluitvorming van ondernemers simuleren een belangrijk hulpmiddel. Met deze modellen kunnen de effecten van beleid op de bedrijfsvoering en de daarmee samenhangende effecten op inkomen en milieu-indicatoren als bijvoorbeeld stikstofoverschot, ammoniakemissie en areaal natuurbeheer in beeld worden gebracht. Tot op heden ontbrak een indicator voor de waterkwaliteit waardoor economische evaluaties van beleid gericht op het verbeteren van de waterkwaliteit niet goed mogelijk waren. Daarom is het bio-economisch optimalisatiemodel FLAME uitgebreid met een module voor de berekening van de nitraatconcentratie in het grondwater.

Uit een vergelijking van de met het model berekende waarden voor een groep melkveebedrijven op zandgrond en de op deze bedrijven gemeten waarden van de nitraatconcentraties in het grondwater, blijkt dat de berekende waarden op basis van een 'paired T-test' niet significant afwijken van de gemeten waarden. Dit betekent dat het model kan worden toegepast voor economische evaluaties van beleid gericht op de waterkwaliteit op melkveehouderijbedrijven op zandgrond. Ook kan het model worden ingezet voor verkenningen gericht op de uitruil tussen inkomen en waterkwaliteit en de bijbehorende bedrijfsvoering en kosteneffectieve opties voor beleid voor melkveebedrijven op zandgrond.

S.2 Overige uitkomsten

Met het bio-economisch optimalisatiemodel FLAME is voor 55 melkveebedrijven op zandgrond die opgenomen zijn in het LMM (Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid) de nitraatconcentratie berekend. De modeluitkomsten zijn vergeleken met de door het RIVM gemeten nitraatconcentraties op deze bedrijven. De berekende waarde op deze bedrijven is met gemiddeld 33,9 mg nitraat per liter 9% hoger dan de gemeten waarde (tabel S.1).

Voor individuele bedrijven kan het verschil tussen de berekening met de waterkwaliteitsmodule in FLAME en de meting wel groter zijn. De 95% betrouwbaarheidsinterval ligt tussen de -3,1 en 8,7 mg/l. Het betrouwbaarheidsinterval geeft een marge aan waarbinnen het populatieverschil zit. Meer bedrijfsspecifieke invoergegevens, zoals bijvoorbeeld grondwaterstand, organischestofgehalte in de bodem, neerslagoverschotten en gewasopbrengsten kunnen helpen om de nauwkeurigheid van de berekende nitraatconcentratie verbeteren. Overigens moet bedacht worden dat het model alleen geschikt is voor analyses op regio- en of sectorniveau en niet voor analyses op individueel bedrijfsniveau. Dit komt doordat in het model, naast een aantal belangrijke bedrijfsspecifieke kengetallen, ook een aantal normatieve uitgangspunten zijn opgenomen.

Tabel S.1 laat de gemiddelde nitraatconcentraties zien voor grasland en bouwland (snijmais). Hiervoor zijn geen vergelijkbare meetresultaten van RIVM beschikbaar. Duidelijk te zien is dat de FLAME-nitraatconcentratie van grasland lager is dan de concentratie van bouwland (snijmais); dit is overeenkomstig de praktijk en literatuur.

Tabel S.1 Berekende en gemeten nitraatconcentraties in mg/l voor 55 LMM-melkveebedrijven op zandgrond voor LMM-jaar 2016

	Berekend a)	Gemeten b)
Grasland	30	
Bouwland	55,7	
Bedrijf	33,9	31,1

Bron: a) FLAME-berekeningen; b) RIVM.

Ook de modelresultaten ten aanzien van de landbouwpraktijk zijn vergeleken met de uitkomsten op basis van monitoringsdata van LMM-bedrijven. De vergelijking op het gebied van arealen, gebruik van dierlijke mest en kunstmest gaf de volgende uitkomsten:

- Gemiddeld over alle doorgerekende melkveebedrijven, berekent FLAME een iets lagere oppervlakte snijmais per bedrijf dan de LMM-bedrijven in werkelijkheid hebben. Het verschil bedraagt gemiddeld 0,85 ha per bedrijf, oftewel minder dan 10% van het waargenomen areaal snijmais. De 95% betrouwbaarheidsinterval van dit verschil ligt tussen de -0,30 en 2,00 ha snijmais.
- De LMM-bedrijven hebben, zowel op grasland als op snijmais, een hogere stikstofaanwending uit dierlijke mest dan dat wordt berekend in FLAME. Mogelijke verklaring hiervoor is dat de verhouding tussen stikstof en fosfaat in de aangewende mest verschillend is tussen FLAME en LMM-2016.
- De aanwending van stikstofkunstmest verschilt tussen FLAME en het LMM vooral voor snijmais (bouwland). In FLAME wordt meer stikstofkunstmest aangewend op bouwland. Dit is mogelijk een gevolg van een lagere stikstofbemesting uit dierlijke mest op bouwland.

S.3 Methode

De uitbreiding van het bio-economisch bedrijfsmodel FLAME met een module voor de waterkwaliteit is gebaseerd op een literatuuronderzoek naar methodieken om de nitraatconcentratie in het grondwater te kunnen schatten. Op basis van dit literatuuronderzoek is een methodiek geselecteerd die is toegepast in de waterkwaliteitsmodule in FLAME. Vervolgens is de waterkwaliteitsmodule in FLAME geïmplementeerd, getest en gevalideerd.

Voor het berekenen van de nitraatconcentratie, het testen en het valideren van de waterkwaliteitsmodule zijn de landbouwpraktijkgegevens gebruikt van 55 zuivere melkveebedrijven op zandgrond in het LMM jaar 2016. Van deze bedrijven zijn binnen het LMM-programma door Wageningen Economic Research de agro-economische landbouwpraktijkdata verzameld en zijn de bijbehorende waterkwaliteitsdata door het RIVM gemeten.

De FLAME-modeluitkomsten op het gebied van grondgebruik (areaal snijmais en gras), bemesting en nitraatconcentratie zijn vergeleken met de gemonitorde data. De berekende nitraatconcentratie is gevalideerd met de RIVM-metingen die binnen LMM op de doorgerekende bedrijven zijn uitgevoerd.

Summary

S.1 Key findings

An important tool when performing economic evaluations of agricultural and environmental policy is the use of bio-economic models that simulate the decision-making process of entrepreneurs. These models can visualise the effects of policy on business operations and the associated effects on income and environmental indicators such as nitrogen surplus, ammonia emissions and acreage under nature management. Up until now, there was no indicator for water quality, which meant that it was not really possible to perform economic evaluations of policy focused on improving water quality. The bio-economic optimisation model FLAME has therefore been expanded to include a module for calculating the concentration of nitrate in groundwater.

A comparison between the values calculated with the model for a group of dairy farms on sandy soil and the values of the nitrate concentrations measured in the groundwater on these farms shows that the calculated values do not deviate significantly from the measured values on the basis of a paired T-test. This means that the model can be used to perform economic evaluations of policy focusing on the water quality at dairy farms on sandy soil. The model can also be used for explorations focusing on the exchange between income and water quality and the corresponding business practices and cost effective options for policy for dairy farms on sandy soil.

S.2 Complementary findings

The bio-economic optimisation model FLAME was used to calculate the nitrate concentration of 55 dairy farms on sandy soil that are included in the Minerals Policy Monitoring Programme (*Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid*, LMM). The model outcomes were compared with the nitrate concentrations measured on these farms by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). With an average of 33.9 mg of nitrate per litre, the calculated value on these farms is 9% higher than the measured value (Table S.1).

The difference between the calculation using the water quality module in FLAME and the measurement may be greater for individual farms. The 95% confidence interval lies between -3.1 mg/L and 8.7 mg/L. The confidence interval provides a margin in which the population difference can be found. More farm-specific input data, such as groundwater level, organic matter content in the soil, precipitation surpluses and crop yields can help to improve the accuracy of the nitrate concentration calculated. It should also be noted that the model is only suitable for analyses at regional and/or sector level and not for analyses at individual farm level. This is because, in addition to a number of important farm-specific key figures, the model also includes a number of normative assumptions.

Table S.1 shows the average nitrate concentrations for grassland and arable land (green maize). No comparable measurement results from RIVM are available for this. It is clear that the FLAME nitrate concentration for grassland is lower than the concentration for arable land (green maize), which is in accordance with practice and literature.

Table S.1 Calculated and measured nitrate concentrations in mg/L for 55 LMM dairy farms on sandy soil for LMM year 2016

	Calculated a)	Measured b)
Grassland	30	
Arable land	55.7	
Farm	33.9	31.1

Source: a) FLAME calculations; b) RIVM.

The model results regarding agricultural practice were also compared with the outcomes based on monitoring data for LMM farms. The comparison with regard to acreages, use of animal manure and artificial fertiliser produced the following outcomes:

- On average, across all the dairy farms analysed, FLAME calculates a slightly lower area of green maize per farm than the LMM farms actually have. The difference amounts to an average of 0.85 hectares per farm, or less than 10% of the observed acreage of green maize. The 95% confidence interval of this difference lies between -0.30 hectares and 2.00 hectares of green maize.
- For both grassland and green maize, the LMM farms have a higher nitrogen application from animal manure than is calculated in FLAME. A possible explanation is that the ratio between nitrogen and phosphate in the manure applied is different between FLAME and LMM-2016.
- The application of artificial nitrogen fertiliser differs between FLAME and the LMM especially for green maize (arable land). In FLAME, more artificial nitrogen fertiliser is applied on arable land. This may be the result of lower nitrogen fertilisation from animal manure on arable land.

S.3 Method

The expansion of the bio-economic business model FLAME with a module for water quality is based on a literature study into methods for estimating nitrate concentrations in groundwater. On the basis of this literature study, a method was selected that was used in the water quality module in FLAME. This water quality module was then implemented, tested and validated.

In order to calculate the nitrate concentration and to test and validate the water quality module, agricultural practice data was used that was taken from 55 pure dairy farms on sandy soil in the LMM year 2016. As part of the LMM programme, the agro-economic agricultural practice data of these farms was collected by Wageningen Economic Research and the corresponding water quality data was measured by RIVM.

The FLAME model outcomes relating to land use (acreage of green maize and grass), manure application and nitrate concentration were compared with the monitored data. The calculated nitrate concentration was validated using the RIVM measurements carried out on the analysed farms as part of LMM.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en uitgangspunten

De derogatie is in 2020 voor twee jaar toegekend waarna in 2021 opnieuw wordt bezien of de derogatie voor na 2021 ook zal worden verleend. De waterkwaliteit van derogatiebedrijven is de laatste jaren verbeterd, onder andere door de verplichting om 80% grasland in het bouwplan op te nemen. De uitspoeling van stikstof van grasland is lager dan van bijvoorbeeld maisland. Het verlies van derogatie zou kunnen betekenen dat melkveehouders niet meer hoeven te voldoen aan de 80% grasland eis. Hierdoor zou het areaal snijmais uit kunnen breiden, waardoor de stikstofuitspoeling kan toenemen.

In het verleden is een vergelijking gemaakt van het stikstofbodemoverschot en de waterkwaliteit tussen melkveebedrijven met en zonder derogatie. Hieruit bleek dat het erg lastig is om deze vergelijking te maken omdat bijna alle melkveehouders in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) derogatie hebben. Hierdoor zijn er te weinig vergelijkbare melkveebedrijven zonder derogatie beschikbaar voor een zinvolle vergelijking (Hoogeveen en Van Leeuwen, 2016).

Met een bio-economisch model voor de melkveehouderij, waarmee alle LMM-bedrijven kunnen worden doorgerekend, kunnen de effecten van een eventueel verlies van derogatie op de waterkwaliteit wel worden geanalyseerd. Om dit te kunnen doen, is het noodzakelijk dat met dit model ook de waterkwaliteit kan worden berekend in relatie tot het bedrijfsmanagement, -karakteristieken en handelingsperspectieven. Hiertoe is het model FLAME uitgebreid met een module voor de waterkwaliteit. FLAME is een bio-economisch model voor de melkveehouderij dat op basis van optimalisatie het ondernemersgedrag simuleert. Het model geeft de agronomische, milieu en economische effecten weer van een verandering in prijzen, beleid en/of technische ontwikkeling. Na toevoeging van deze module kan het model ook worden gebruikt voor andere analyses met betrekking tot waterkwaliteit zoals bijvoorbeeld het identificeren van handelingsperspectieven van ondernemers om de waterkwaliteit te verbeteren, of het evalueren van mogelijke beleidsopties ten aanzien van de waterkwaliteit.

1.2 Doelstelling en afbakening

De doelstelling voor dit onderzoek is het uitbreiden, testen en valideren van het bio-economisch model FLAME met een waterkwaliteitsmodule voor het evalueren van effecten van beleidsinitiatieven en/of handelingsperspectieven op de waterkwaliteit met betrekking tot de nitraatconcentratie in het grondwater in relatie tot het bedrijfsmanagement.

De volgende afbakening van het onderzoek is hierbij van belang:

Voor het testen en valideren zijn alleen sterk gespecialiseerde melkveebedrijven (niet biologisch) op zandgrond gebruikt waarvan zowel de landbouwpraktijkdata als de nitraatconcentratie zijn gemonitord in het LMM. De afbakening tot bedrijven op zandgrond is gedaan omdat de kans op uitspoeling van stikstof op de zandgronden groter is dan op bijvoorbeeld klei- en veengronden. Op lössgronden speelt uitspoeling ook, maar binnen het LMM zijn er niet genoeg bedrijven om voor deze grondsoort de modeluitkomsten te kunnen valideren.

1.3 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 worden de gebruikte data en de test en validatiemethodiek beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een overzicht geven van verschillende technieken/methoden om de nitraatconcentratie in het grondwater te schatten en wordt een keuze gemaakt welke methodiek in FLAME wordt toegepast. Hoofdstuk 4 beschrijft de technische implementatie van de waterkwaliteitsmodule in FLAME en hoofdstuk 5 de test- en validatieresultaten. Tot slot worden in hoofdstuk 6 de discussiepunten benoemd die in ogenschouw moeten worden genomen bij het gebruik van de waterkwaliteitsmodule en in hoofdstuk 7 worden de conclusies en aanbevelingen beschreven.

2 Data en methode

In dit hoofdstuk worden de gebruikte data en de methode die is gebruikt voor het testen en valideren beschreven. In paragraaf 2.2 wordt eerst de dataselectie beschreven, waarna in paragraaf 2.3 de methode voor het testen en valideren wordt beschreven.

2.1 Dataselectie

Voor het berekenen van de nitraatconcentratie, het testen en valideren van de waterkwaliteitsmodule zijn de gegevens gebruikt van zuivere melkveebedrijven, waar de waterkwaliteit wordt gemeten, in het LMM-jaar 2016. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de selectie van de melkveebedrijven (selectie wordt hieronder toegelicht):

1. Geen Koeien & Kansen-bedrijven
2. Minder dan 10 dieren van derden
3. Meer dan 10 ha cultuurgrond
4. Zuivere melkveebedrijven (beperkte overige activiteiten)
5. Niet biologisch
6. 100% zandgrond
7. Alleen gras en mais (bedrijf mag geen andere gewassen hebben)
8. Komt in RIVM bestand van bemonsterde bedrijven voor (informatie over de grondwatertrappen per bedrijf).

De bovenstaande uitgangspunten bij het selecteren van de bedrijven zorgen voor een dataset met uiteindelijk 55 melkveebedrijven. Deze bedrijven zijn geschikt om met het FLAME-model doorgerekend te worden. Vooral de uitgangspunten 2, 4, 5 en 7 zijn nodig voor een goede werking van het FLAME-model. De reden is dat FLAME uitgaat van melkveebedrijven zonder overige activiteiten. Dit betekent dus dat er geen/weinig dieren van derden aanwezig mogen zijn en er bijvoorbeeld geen andere veehouderijtak aanwezig is. Daarnaast is FLAME niet geschikt om biologische bedrijven door te rekenen omdat alle modeluitgangspunten en normen gericht zijn op gangbare melkveebedrijven. In de huidige versie van FLAME kan de ondernemer in de optimalisatie alleen kiezen tussen gras en snijmais. Vandaar dat alleen bedrijven met gras en/of snijmais zijn meegenomen in het onderzoek en in de vergelijking met betrekking tot waterkwaliteit.

Om de resultaten van de waterkwaliteitsmodule te testen zijn vooral de uitgangspunten 1, 2, 3, 6 en 8 van belang. Het primaire doel van het Koeien & Kansen-project is om verwachte milieuwetgeving te implementeren. Hierdoor kunnen deze bedrijven afwijkende bemestingsgegevens hebben, waardoor ze niet representatief zijn voor de melkveebedrijven die niet meedoen aan het project. Daarom zijn deze bedrijven uitgesloten. Ook het houden van meer dan 10 dieren van derden is uitgesloten omdat dit de bemestingsgegevens kan beïnvloeden. Bedrijven met minder dan 10 ha cultuurgrond zijn uitgesloten om een zekere mate van oppervlakterepresentativiteit te waarborgen (Lukács, 2019). Uitgangspunt 6 zorgt ervoor dat alleen de waterkwaliteit op melkveebedrijven met alleen zandgrond wordt geanalyseerd. Hiervoor is gekozen omdat de gemeten nitraatconcentraties in zandgrond dichter tegen de nitraatconcentratie grenswaarde liggen dan in de overige gronden. Daarnaast is het analyseren van melkveebedrijven met één grondsoort qua overzichtelijkheid en interpretatie van de resultaten eenvoudiger dan melkveebedrijven met meerdere grondsoorten. Tot slot moeten de melkveebedrijven voorkomen in het RIVM-bestand. Hierin staan gegevens van bemonsterde bedrijven over LMM-jaar 2016. Onder andere de gemeten nitraatconcentratie en de grondwatertrappen per bedrijf zijn beschikbaar. De gemeten nitraatconcentratie is nodig om de modelresultaten te kunnen valideren en de grondwatertrappen om de nitraatconcentratie te berekenen in het FLAME-model.

Van deze melkveebedrijven zijn bedrijfsgegevens gebruikt bij de FLAME-berekeningen. In bijlage 1 is hiervan een overzicht te vinden.

2.2 Testen en valideren waterkwaliteitsmodule

Voor het testen van de rekenregels worden in FLAME bedrijfsdata van LMM melkveebedrijven van 2016 gebruikt, zie paragraaf 2.1. De FLAME-modeluitkomsten (areaal, gebruik dierlijke mest en kunstmest) worden vergeleken met de LMM-2016 landbouwpraktijk. De nitraatconcentratie (waterkwaliteit) op basis van FLAME-berekeningen wordt gevalideerd met de RIVM-metingen (LMMrivm_2018Aug29.csv) die binnen het LMM-programma op deze bedrijven zijn uitgevoerd. Om de waterkwaliteitsdata te kunnen relateren aan de landbouwpraktijkdata zijn de RIVM-metingen van het jaar 2017 in de analyse meegenomen. Immers, de waterkwaliteit in het jaar t is afhankelijk van de landbouwpraktijk in het jaar $t-1$ (Lukács et al., 2019). De nitraatconcentraties, zoals gemeten door het RIVM, zijn per bedrijf beschikbaar.

De berekende gemiddelde nitraatconcentratie door middel van de waterkwaliteitsmodule in FLAME wordt dus vergeleken met de gemiddeld per bedrijf gemeten concentraties. Uit de test- en validatieanalyse komen conclusies en eventuele aanbevelingen voor verbetering en eventueel aanpassingen aan de waterkwaliteitsmodule in FLAME.

3 Nitraatconcentratie in grondwater

Het actieprogramma nitraat beoogt een goede waterkwaliteit gebaseerd op een maximale nitraatconcentratie. Dit betekent dat voor een analyse van de effecten van mogelijke aanpassingen in het mestbeleid met FLAME de nitraatconcentratie als belangrijke parameter van de waterkwaliteit in het model moet worden ingebouwd. De nitraatconcentratie hangt onder andere af van het stikstofoverschot op de bodembalans en de mate waarin nitraat wordt afgebroken (denitrificatie). Het stikstofoverschot op de bodembalans wordt ook wel de potentiële nitraatuitspoeling genoemd. Dit zogenoemde stikstofbodemoverschot is het gedeelte van de stikstofaanvoer dat niet door het geproduceerde gewas is opgenomen. Het stikstofbodemoverschot kan afbreken tot gasvormige stikstofverbindingen (denitrificatie) of het kan uitspoelen naar grond- of oppervlaktewater (RIVM, 2017). Dit onderzoek richt zich op de nitraatconcentratie in het grondwater.

3.1 Nitraatconcentratie per gewas

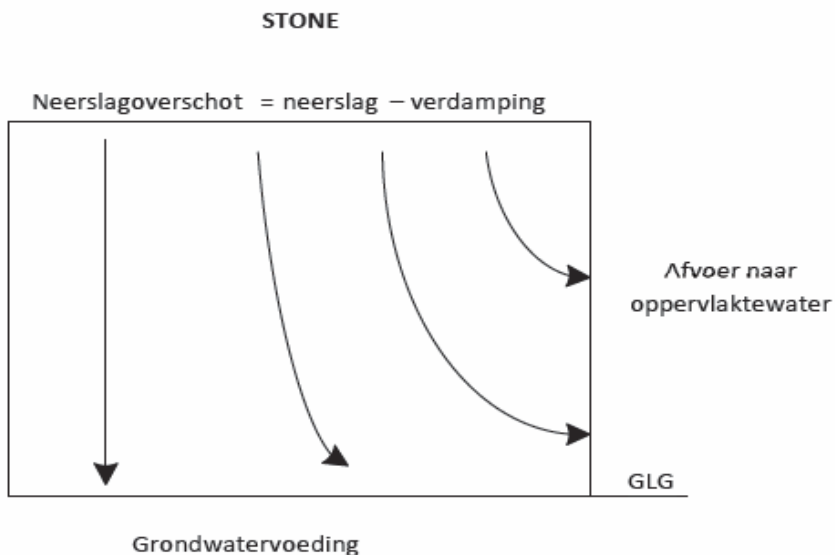
Voor het schatten van de nitraatconcentratie in het grondwater kan gebruik worden gemaakt van een aantal methodes. Twee belangrijke modellen die binnen Wageningen UR worden gebruikt zijn STONE en WOG-WOD. Deze modellen gebruiken verschillende methoden om de concentratie te schatten. Ook zijn de doelen verschillend. Het doel van STONE is vooral gericht op het zo goed mogelijk schatten van de nitraatconcentratie gegeven een bepaalde bemesting en gegeven gedetailleerde bodemkenmerken en hydrologie. Dit model wordt onder andere ingezet voor het milieukundig evalueren van beleidsopties. Het WOG-WOD wordt gebruikt om gegeven een bepaalde benodigde waterkwaliteit een toelaatbare combinatie van mest en kunstmest te bepalen. Dit model wordt onder andere ingezet voor het bepalen van de hoogte van de gebruiksnormen. Echter, in deze modellen is geen directe relatie met de economische besluitvorming van ondernemers opgenomen. Hierdoor ontbreekt de optie om de keuzes die ondernemers maken ten aanzien van bijvoorbeeld bouwplan en bemesting en de bijbehorende waterkwaliteit in hun samenhang te analyseren.

Naast modellen zijn er ook technieken/methoden om op basis van bedrijfsspecifieke data de nitraatconcentraties te schatten. In de onderstaande paragrafen wordt ingegaan op de verschillende methoden. Tot slot wordt op basis van deze methoden bepaald welke wordt gehanteerd om in FLAME de nitraatconcentratie te berekenen.

3.1.1 STONE

STONE voorspelt op basis van bemestingen de effecten op de bodemvruchtbaarheid, nitraatconcentraties in het grondwater en de stikstof- fosforbelasting van het oppervlaktewater. Het model is ontwikkeld om op nationale schaal effecten van mestbeleid (rekenvarianten van dierlijke mest- en kunstmestgiften) zichtbaar te maken voor verschillende combinaties aan bodemgebruik, grondsoort en hydrologische omstandigheden (Groenendijk et al., 2014), zie ook figuur 3.1.

STONE simuleert een nitraatconcentratie in het bovenste grondwater. Hierbij wordt per rekentijdstap de grondwaterstand vastgesteld en worden de gemiddelde nitraatconcentraties bepaald over de bovenste meter van het grondwater, gerekend vanaf de op dat moment geldende grondwaterstand. Om tot een jaargemiddelde nitraatconcentratie te komen wordt vervolgens het rekenkundige gemiddelde van alle concentraties per tijdstap bepaald (Groenendijk et al., 2014).



Figuur 3.1 Schematische weergave van hydrologisch concept in het STONE-model
Bron: Groenendijk et al. (2014).

STONE veronderstelt behalve verticale waterstroming ook een laterale stroming naar oppervlaktewaterrivieren. Tussen maaiveld en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) is een substantieel deel van het neerslagoverschot al afgestroomd naar het oppervlaktewater. Voor het landbouwareaal op zand- en lössgrond in de zandgebieden is een netto-neerslagoverschot gegeven van 347 mm jr⁻¹. Hiervan wordt 99 mm jr⁻¹ (circa 25%) afgevoerd in de zone tussen maaiveld en GLG zodat de waterflux op GLG diepte 248 mm jr⁻¹ bedraagt. Met het lateraal uit- en afgespoelde water spoelt ook nitraat mee (11 kg ha⁻¹ jr⁻¹), maar dat is niet proportioneel. De laterale waterafvoer vindt plaats in de winter bij hogere grondwaterstanden, in de periode dat nitraatconcentraties lager zijn (Groenendijk et al., 2014).

3.1.2 WOG-WOD

Het WOG-WOD-model berekent op basis van grondsoort, bouwplan, mestsamenvoeging, oogstwijze en aan de bemesting gerelateerde maatregelen (toedieningswijze en -tijdstip, vanggewassen), de N-uitspoeling en de N-concentratie in het bovenste grondwater (zandgrond) of nabij oppervlaktewater (klei- en veengrond). Ook kan het model gebruikt worden om vanuit een gegeven N-concentratiedoelstelling terug te rekenen wat een toelaatbare combinatie van mest en kunstmest bij een gegeven bouwplan zou kunnen zijn (Groenendijk et al., 2014 en 2016).

Voor het bepalen van de nitraatconcentratie per gewas kan gebruik worden gemaakt van de formule uit het WOG-WOD-model. De formule voor het bepalen van de nitraatconcentratie is (Groenendijk et al., 2014 en 2016):

$$c_{NO_3} = \frac{62 \text{ Bemesting} + \text{Depositie} - \text{Aanwendingsemissie} - \text{Opname}}{14 \times \text{Neerslagoverschot}} \text{Uitspoelfactor}$$

Waarbij:

- 62/14: omrekeningsfactor van nitraat stikstof naar nitraat
- Bemesting + depositie – aanwendingsemissie – opname in kg per hectare per gewas
- Neerslagoverschot in mm per jaar
- Uitspoelfactor is afhankelijk van grondwatertrap (Fraters et al., 2012) en van het grondgebruik
- zijnde bouwland of grasland
- 10: omrekeningsfactor om kg per hectare om te rekenen naar gr per m²

Dit komt neer op: $62/14 * N$ bodemoverschot per gewas * uitspoelfactor per gewas * 0,1 / (Neerslagoverschot/1.000).

Het WOG-WOD-model veronderstelt alleen verticale waterstroming, het neerslagoverschot plant zich voort in het grondwater waarbij de verticale waterflux in het bovenste grondwater gelijk is aan het neerslagoverschot, zie figuur 3.2. Nadeel van deze berekening is dat er geen rekening wordt gehouden met neerslag die wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. In het model STONE wordt hier wel rekening mee gehouden (Groenendijk et al., 2014).



Figuur 3.2 Schematische weergave van hydrologisch concept in het WOG-WOD model (Groenendijk et al., 2014)

Deze verschillen in de wijze van berekening, te weten relatief veel neerslagoverschot afvoer naar het oppervlaktewater met weinig stikstof, kunnen mede verklaren dat met STONE hogere nitraatconcentraties worden berekend dan met het WOG-WOD-model doordat in de STONE-berekeningen het stikstofbodemoverschot in een relatief kleinere waterhoeveelheid uitspoelt naar het bovenste grondwater. Het valt vooralsnog niet aan te geven of de tijd-gewogen nitraatconcentratie volgens STONE, een betere weerspiegeling van de werkelijke nitraatconcentratie in het bovenste grondwater geeft dan de 'snap shot'-concentratie volgens WOG-WOD. De 'snap shot'-concentratie van WOG-WOD sluit per definitie precies aan op de toestandkoming van de, eveneens op LMM gebaseerde, cijfers die naar de Europese Commissie gerapporteerd worden (Groenendijk et al., 2014). Belangrijk om te realiseren bij deze methode is dat de resultaten niet voor een individueel bedrijf gelden maar alleen voor een groep van bedrijven. Dit omdat de uitspoelfactoren niet per bedrijf beschikbaar zijn. Deze zijn afgeleid voor landelijk gemiddelde neerslagoverschotten en landbouwpraktijk. Zo zijn de uitspoelfracties alleen op grondsoortniveau beschikbaar en niet op een lager aggregatieniveau, zie ook Fraters et al. (2012).

3.1.3 Regressietechnieken op basis van paneldata

Er is ook gekeken naar meer bedrijfsspecifieke methoden van het schatten van de nitraatconcentratie, zie bijvoorbeeld Daatselaar et al. (2010). Ook is gekeken naar de methodiek die is gebruikt in de rapportage van De Koeijer et al. (in bewerking). In deze rapportages is de nitraatconcentratie geschat met regressietechnieken geschikt voor paneldata, zoals fixed effect regressie, random effect regressie en de Hausman-Taylor methode.

Deze methodieken lijken bruikbaar om de nitraatconcentratie te schatten. Echter, deze methodieken vereisen bij ieder gebruik een update omdat ze veelal voor een bepaalde periode zijn geschat. Dit betekent dus dat het toevoegen van een extra jaar in de paneldata de regressieformule kan beïnvloeden. Er is meer onderzoek nodig om dit te kunnen implementeren.

3.1.4 Keuze nitraatconcentratie berekeningsmethode

STONE hanteert een andere berekeningswijze voor het vaststellen van de jaargemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (middeling van de variatie in nitraatconcentraties) dan het WOG-WOD-model dat zich baseert op het jaarlijkse N-overschot en het jaarlijkse neerslagoverschot. De uitspoelfracties in het WOG-WOD-model zijn direct uit de resultaten van het LMM afgeleid en in STONE worden LMM-resultaten gebruikt om procesconstanten teijken en valideren. De relatie tussen STONE en LMM is daarmee minder direct dan de relatie tussen WOG-WOD en LMM (Groenendijk et al., 2014).

Regressietechnieken lijken bruikbaar om de nitraatconcentratie in het grondwater te schatten. Echter, er is meer onderzoek nodig om deze methodiek specifiek binnen FLAME toe te kunnen passen. In een aantal rapportages wordt deze techniek wel gebruikt, maar deze regressievergelijkingen zijn specifiek voor een bepaald project ontwikkeld.

Omdat de regressietechnieken nog niet geschikt zijn om in FLAME te gebruiken, is gekozen om gebruik te maken van de WOG-WOD-formule. Deze formule wordt al in verschillende toepassingen gebruikt en sluit per definitie precies aan op de totstandkoming van de, eveneens op LMM gebaseerde, cijfers die naar de Europese Commissie gerapporteerd worden (Groenendijk et al., 2014). Om deze reden hanteren we in FLAME dan ook de bovenstaande manier om de nitraatconcentratie te berekenen. Wel moet rekening worden gehouden met het aggregatieniveau tussen de WOG-WOD-formule (neerslagoverschot en uitspoelingsfracties) en de bedrijfsspecifieke informatie in FLAME. In de toekomst kan er onderzoek gedaan worden naar meer bedrijfsspecifieke methoden om de nitraatconcentratie in FLAME te schatten.

3.2 Stikstofbodemoverschot per gewas

Voor het bepalen van de nitraatconcentratie in het grondwater op basis van de WOG-WOD-formule is het van belang om allereerst het stikstofbodemoverschot te bepalen aangezien dit mede de nitraatconcentratie bepaalt. In het volgende overzicht wordt de bepaling van het stikstofbodemoverschot per gewas weergegeven.

Tabel 3.1 Bepaling van het stikstofbodemoverschot voor gewas X (kg/ha)

Stikstofbodemoverschot per gewas	Gewas X
Aanvoer (+)	
Kunstmest	A
Dierlijke mest	B
Overige organische mest	C
Depositie	D
N-Binding	E
Totaal	$F=A+B+C+D+E$
Afvoer (-)	
Gewasopbrengst	G
Aanwendingsmissie mest	H
Totaal	$I=G+H$
Bodemoverschot	$J=F-I$

Voor het bepalen van het stikstofbodemoverschot zijn allereerst de aanvoerposten van stikstof op de bodem van belang. Deze aanvoerposten bestaan uit stikstof uit kunstmest, dierlijke- en overige organische mest. Dit is dus de bemesting van het gewas. Daarnaast is er nog stikstofaanvoer via depositie vanuit de lucht. Tevens kan er sprake zijn van binding van stikstof uit de lucht in het geval dat er vlinderbloemige gewassen zoals bijvoorbeeld klaver worden geteeld.

De afvoer van stikstof bestaat uit de stikstof die door het gewas wordt opgenomen en wordt geogst. Daarnaast is er stikstofafvoer door de aanwendingsemissie van dierlijke, kunst- en overige organische mest.

Door de aanvoer van stikstof met de afvoer te verminderen, blijft het eventuele bodemoverschot over. Het kan ook voorkomen dat er een bodemtekort is. In dat geval wordt netto stikstof aan de bodem onttrokken. Deze situatie komt in de landbouwkundige praktijk ten aanzien van stikstofbemesting nagenoeg niet voor. Daarom wordt alleen gesproken van een bodemoverschot dat eventueel ook negatief kan zijn.

4 Waterkwaliteitsmodule in FLAME

In dit hoofdstuk wordt de waterkwaliteitsmodule in het FLAME-model voor de melkveehouderij beschreven. Allereerst wordt de moduleopzet beschreven. Daarna wordt een overzicht gegeven van de technische opzet van de module en worden onder andere de variabelen en vergelijkingen die worden gebruikt, weergegeven.

4.1 Moduleopzet

De moduleopzet is gebaseerd op de in paragraaf 3.2 beschreven methodiek voor de bepaling van het stikstofbodemoverschot per gewas. De waterkwaliteitsmodule bestaat dus uit een deel dat het stikstofbodemoverschot bepaalt en uit een deel dat de nitraatconcentratie in het grondwater berekent volgens de formule in paragraaf 3.3. Het deel dat het stikstofbodemoverschot bepaalt, is onderdeel van het lineaire programma (LP) van FLAME. Dit betekent dat het stikstofbodemoverschot onderdeel is van de set van vergelijkingen binnen FLAME.

4.2 Technische modelopzet

In tabel 4.1 zijn de toegevoegde variabelen en de parameters weergegeven die worden gebruikt bij de berekening van de nitraatconcentratie in FLAME. Alleen de nieuwe variabelen en parameters in het model zijn weergegeven. De variabelen komen terug in de lineaire programmavergelijkingen in de FLAME-waterkwaliteitsmodule, die apart zijn uitgeschreven. Deze variabelen worden ook wel beslissingsvariabelen genoemd en worden in het lineaire programma, anders dan parameters, geoptimaliseerd. Uiteindelijk wordt de parameter nitraatconcentratie beschreven als resultante van het stikstofbodemoverschot op basis van de WOG-WOD-formule.

Tabel 4.1 Beschrijving toegevoegde variabelen per gewas per bedrijf gehanteerd voor de berekening van de nitraatconcentratie per gewas per bedrijf in FLAME

Variabelen	Beschrijving	Eenheid
CROPYIELDS	Gewasopbrengsten van stikstof en fosfaat per bedrijf per gewas	kg
EMISFERTILIZAPPL	Kunstmest aanwendingsemisatie van stikstof per bedrijf per gewas	kg
EMISMANUREAPPLFOR	Aanwendingsemisatie bedrijfsvreemde dierlijke mest van stikstof per bedrijf per gewas	kg
EMISMANUREAPPLOWN	Aanwendingsemisatie eigen dierlijke mest van stikstof per bedrijf per gewas	kg
EMISMANRUEGRAZ	Aanwendingsemisatie weidemest van stikstof per bedrijf per gewas	kg
SB_DEPOSITION	Depositie van stikstof per bedrijf per gewas	kg
SB_FERTILIZER	Kunstmestbemesting van stikstof en fosfaat per bedrijf per gewas	kg
SB_NBONDING	N-binding van stikstof per bedrijf per gewas	kg
TOTALAPPLICATIONEMISSION	Totale aanwendingsemisatie van stikstof per bedrijf per gewas	kg
TOTALMANUREAPPL	Totale mestaanwending dierlijke mest van stikstof en fosfaat per gewas	kg
SOILMINERALBALANCECROPLEVEL	Bodemoverschot van stikstof en fosfaat per bedrijf per gewas	kg
NITRATECONCENTRATION	Nitraat concentratie per gewas per bedrijf	mg NO ₃ /l

In tabel 4.2 zijn de symbolen weergegeven die in de lineaire programmavergelijkingen in FLAME worden gebruikt. Ook de eenheid wordt per symbool weergegeven. Tot slot zijn in tabel 4.3 de gebruikte parameters en variabelen weergegeven die in de vergelijkingen worden gebruikt.

Tabel 4.2 Symbolen en beschrijving voor berekening nitraatconcentratie per gewas per bedrijf in FLAME

Symbolen	Beschrijving	Eenheid	Inhoud
N	Nutrients	KG	N en P ₂ O ₅
L	Land use type	gras en bouwland type	grasland en bouwland
E	Enterprise	Nominaal	bedrijf ID
F	Fodder type	kg droge stof (ds)	gras of snijmais
G	Ground water level	% van oppervlakte	Nederlandse grondwatertrappen
e	Emissions	%	NH ₃ /N ₂ /N ₂ O
C	Cattle	#	Melkkoeien en jongvee
S	Manure source	bedrijfseigen en -vreemde	Bedrijfseigen of -vreemde ID
St	Soil type	Nominaal	Zand/klei/veen/löss
P	Plot of land	Ha	Aantal percelen
p	province	Nominaal	Nederlandse provincies

Tabel 4.3 Parameters en variabelen voor berekening nitraatconcentratie per gewas per bedrijf in FLAME

Parameter	Beschrijving	Eenheid
Fodder minerals	Mineraleninhoud van voedermiddelen	Kg droge stof
Fertilizer application emission	Aanwendingsemissiefactor kunstmest	%
TAN factor	TAN-factor	%
Animal manure emission factor	Aanwendingsemissiefactor dierlijke mest	%
Pasture emission factor	Emissiefactor weidemest	%
Deposition norm	Normatieve N-depositie	Kg/ha
Clover coverage	Klaverbedekking per ha	%
Fixation	Normatieve N-fixatie niet-grasgewassen	Kg/ha
Precipitation surplus	Neerslagoverschot	Mm/jaar
Fracleach	Uitspoelingsfractie	%

Variabele	Beschrijving	Eenheid
FODDERPROD	Voederproductie	ton droge stof
MANUREAPPLFOREIGN	Aanwending bedrijfsvreemde mest	Kg N en P ₂ O ₅
MANUREAPPLDOWN	Aanwending bedrijfseigen mest	Kg N en P ₂ O ₅
GRASMANURE	Weidemest	Kg N en P ₂ O ₅
FERTLSAPPL	Kunstmest aanwending	Kg N en P ₂ O ₅
LUTYPEAREA	Areaal per landgebruik	Ha

Gewasopbrengsten

$$CROPYIELDS_{N,L,E} = \sum_F [FODDERPROD_{F,L,E} * 1000 * fodder\ minerals_{N,F}]$$

De gewasopbrengsten worden berekend door de voederproductie in ton droge stof te vermenigvuldigen met de mineraleninhoud van stikstof en fosfaat per ton droge stof (N) van de verschillende voederproducten (F) zoals gras of snijmais. De uitkomst is de gewasopbrengst van stikstof en fosfaat (N) in kg per voederproduct per gewas (L) per bedrijf (E).

Aanwending dierlijke mest

$$TOTALMANUREAPPL_{N,L,E} = \sum_C [MANUREAPPLFOREIGN_{N,L,C,E} + MANUREAPPLDOWN_{N,L,C,E} + GRASMANURE_{N,L,C,E}]$$

De aanwending van dierlijke mest per nutriënt (N) per type grondgebruik (L) per bedrijf (E) wordt berekend door de optelling van de aanwending van vreemde, eigen en weidemest (C) per nutriënt (N), gewas/grondgebruik (L) en bedrijf (E).

Aanwending kunstmest

$$SB_FERTILIZER_{N,L,E} = FERTLSAPPL_{N,L,E}$$

De aanwending van kunstmest per nutriënt (N) per type grondgebruik/gewas (L) per bedrijf (E) voor de bodem balans is gelijk aan de aanwending van kunstmest per nutriënt (N), gewas (L) en bedrijf (E).

Kunstmest aanwendingsemissie

$$EMISFERTILIZAPPL_{N,L,E} = \sum_e [FERTLSAPPL_{N,L,E} * fertilizer\ application\ emission_{e,N,L}]$$

De aanwendingsemissie van kunstmest per nutriënt (N), grondgebruik/gewas (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de kunstmestbemesting vermenigvuldigd met de kunstmeststikstof-emissiefactor. Deze laatste kan verschillen per bedrijf (E), en gewas/grondgebruik (L).

Aanwendingsemissie dierlijke mest

Aanwendingsemissie dierlijke mest van buiten het bedrijf

$$EMISMANUREAPPLFOR_{N,L,E} = \sum_{C,S,e} [MANUREAPPLFOREIGN_{N,L,C,E} * TAN\ factor_{S,C,L,E} * animal\ manure\ emission\ factor_{e,C,S,L,E}]$$

De aanwendingsemissie van bedrijfsvreemde dierlijke mest per nutriënt (N), gewas (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de som over diercategorieën (C) en mestsoorten (S) en de emissiefactoren (e) van aanwending van bedrijfsvreemde dierlijke mest per nutriënt (N), gewas (L), mestsoort (C) vermenigvuldigd met de TAN-fractie per diercategorie (C) en mest bron (S) (bedrijfsvreemd) en de stikstof-emissiefactor (e) per diercategorie (C) en mestsoort (S).

Aanwendingsemissie dierlijke mest van eigen bedrijf

$$EMISMANUREAPPLOWN_{N,L,E} = \sum_{C,S,e} [MANUREAPPLOWN_{N,L,C,E} * \sum TAN\ factor_{S,C,L,E} * \sum animal\ manure\ emission\ factor_{e,C,S,L,E}]$$

De aanwendingsemissie van bedrijfseigen dierlijke mest per nutriënt (N), gewas (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de som over de diercategorieën (C) en mestsoorten (S) en de emissiefactoren (e) van aanwending van bedrijfseigen dierlijke mest vermenigvuldigd met de TAN-fractie per diercategorie (C) en mest bron (S) (bedrijfseigen) en de stikstof-emissiefactor (e) per diercategorie (C) en mestsoort (S).

Aanwendingsemissie weidemest

$$EMISMANRUEGRAZ_{N,L,E} = \sum_{C,e} [GRASMANURE_{N,L,C,E} * TAN\ factor_{C,E} * pasture\ emission\ factor_e]$$

De weide-emissie per nutriënt (N), gewas (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de som over de diercategorieën (C) en emissiefactoren (e) van de aanwending van weidemest vermenigvuldigd met de TAN fractie per diercategorie (C) per bedrijf (E) en de weide-emissiefactor voor stikstof (e).

Totale aanwendingsemissie

$$TOTALAPPLICATIONEMISSION_{N,L,E} = EMISMANUREAPPLFOR_{N,L,E} + EMISMANUREAPPLOWN_{N,L,E} + EMISMANRUEGRAZ_{N,L,E} + EMISFERTILIZAPPL_{N,L,E}$$

De stikstofemissie per nutriënt (N), gewas (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de som van de emissie van vreemde en eigen dierlijke mest, weidemest en kunstmest.

Depositie

$$SB_DEPOSITION_{N,L,E} = \sum_{P,p} [LUTYPEAREA_{P,L,E} * Deposition\ norm_{N,p}]$$

De stikstofdepositie (N) per gewas (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de som over de percelen (P) en provincie (p) van het areaal (ha) per landgebruikstype (L) per bedrijf (E), vermenigvuldigd met de stikstofdepositienorm per provincie (p).

Stikstofbinding

$$SB_NBONDING_{N,L,E} = \sum [[FODDERPROD_{F,L,E} * clover\ coverage_E] * 0.82 * (\frac{4.5}{100})] + \sum_P [fixation_{N,L} * LUTYPEAREA_{P,L,E}]$$

Voor klaver in grasland (Kringloopwijzer, 2013): de hoeveelheid N-binding is afhankelijk gesteld van het klaveraandeel (clover coverage) (relatie klaveraandeel/klaverbezetting van 0,82, correctie vindt plaats) en de graslandopbrengst waarbij wordt gewerkt met een N-binding per kg drogestofopbrengst in de vorm van klaver van (4,5/100). Voor akkerbouwgewassen wordt de stikstofbinding per gewas normatief bepaald. De stikstofbinding wordt per gewas en bedrijf berekend.

De stikstofbinding (N) voor grasland (L) en bedrijf (E) is gelijk aan de som over de voederproductie van gras (F) vermenigvuldigd met het klaveraandeel, de klaveraandeel/klaverbezetting correctie en de N-binding per kg droge stof opbrengst van klaver. Voor overige fixerende gewassen is de stikstofbinding gelijk aan de som over de percelen (P) van het areaal (ha) per landgebruikstype (L) per bedrijf (E) vermenigvuldigd met de gewas specifieke (L) fixatienorm.

Nutriëntenbodembalans

$$\begin{aligned} SOILMINERALBALANCECROPLEVEL_{N,L,E} \\ = SB_FERTILIZER_{N,L,E} + TOTALMANUREAPPL_{N,L,E} + SB_DEPOSITION_{N,L,E} + SB_NBONDING_{N,L,E} \\ - CROPYIELDS_{N,L,E} - TOTALAPPLICATIONEMISSION_{N,L,E} \end{aligned}$$

De nutriëntenbodembalans per gewas (L) en per bedrijf (E) voor stikstof en fosfaat (N) is gelijk aan de som van de kunstmesttoevoering, bedrijfsvreemde en -eigen mesttoevoering, weidemesttoevoering, depositie en stikstofbinding, minus de gewasopbrengsten en de aanwendingsemisies.

Implementatie WOG-WOD formule

$$NITRATECONCENTRATION_{L,E} = (62/14) * \sum_{N,G,St} [[SOILMINERALBALANCECROPLEVEL_{N,L,E} / \sum_P LUTYPEAREA_{P,L,E}] * GT_{G,L,E}] / (10 * Precipitation\ surplus_{G,L,St}) * FracLeach_{G,L,St}$$

De nitraatconcentratie wordt via de WOG-WOD-formule berekend per gewas (L) per hectare per bedrijf (E). Het stikstof bodemoverschot (SOILMINERALBALANCECROPLEVEL) per gewas (L) per bedrijf (E) wordt gedeeld door de oppervlakte per gewas (L) per bedrijf (E). Vervolgens wordt dit vermenigvuldigd met de verdeling van de grondwatertrappen (GT) per gewas (L) en per bedrijf (L). Door te delen door het neerslagoverschot (Precipitation surplus) per grondwatertrap (G), gewas (L) en grondsoort (St), omgerekend naar gr/m², en te vermenigvuldigen met de gemiddelde uitspoelfractie (Fracleach) per grondwatertrap (G), gewas (L) en grondsoort (St) (Fraters et al., 2012) wordt de uitspoeling van stikstof berekend. Om van stikstof naar nitraat om te rekenen, wordt de uitspoeling van stikstof vermenigvuldigd met 62/14.

5 Testen en validatie

Na implementatie van de waterkwaliteitsberekeningen in het model, zijn deze rekenregels getest. Hiervoor zijn met FLAME voor de 55 geselecteerde melkveebedrijven op zand de uitkomsten vergeleken met de resultaten uit het LMM voor het jaar 2016 (LMM-2016). De verschillen tussen de model- en de empirische berekende waarden voor areaal, gebruik dierlijke mest en kunstmest worden beschreven. Voor het testen van de nitraatconcentratie wordt de berekende concentratie met FLAME vergeleken met de gemeten concentratie. De resultaten worden in dit hoofdstuk beschreven aan de hand van gemiddelden. Daarnaast wordt ook de validatie van de waterkwaliteitsresultaten (nitraatconcentratie) beschreven.

5.1 Testen

5.1.1 Arealen

Het totale areaal in FLAME is gelijk aan het totale areaal in LMM-2016, doordat in FLAME gerekend is met het LMM-areaal. De verdeling van dit areaal is tussen FLAME en LMM wel iets verschillend. FLAME berekent iets meer grasland ten koste van snijmaisareaal. Het verschil bedraagt 0,85 ha, oftewel minder dan 10%. De 95% betrouwbaarheidsinterval van dit verschil ligt tussen de -0,30 en 2,00 ha snijmais.

Tabel 5.1 Arealen in hectaren op basis van FLAME en LMM-2016

Derogatie	Grasland	Snijmais	Totaal cultuurgrond
FLAME	44,93	8,43	53,36
LMM-2016	43,98	9,28	53,26

Bron: FLAME berekeningen en Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

5.1.2 Gebruik dierlijke mest en gebruiksnormen

Het gebruik van dierlijke mest wordt weergegeven in tabel 5.2. In de tabel wordt de aanwending van dierlijke mest op basis van FLAME vergeleken met LMM-2016. De stikstofaanwending op grasland is in het LMM hoger dan in FLAME. Dit geldt ook voor de stikstofaanwending op bouwland (snijmais). Op bedrijfsniveau komt dit dan ook tot uiting. Het verschil in de aanwending van dierlijke mest tussen FLAME en het LMM is bijna 14 kg stikstof. Voor fosfaat geldt ongeveer hetzelfde, al zijn de verschillen minder groot. Voor bouwland is de fosfaatbemesting zelfs bijna gelijk.

Tabel 5.2 Gebruik dierlijke mest en gebruiksnormen (kg/ha) op basis van FLAME en LMM-2016

Nutriënt	Kg stikstof per hectare		Kg fosfaat per hectare	
	FLAME	LMM-16	FLAME	LMM-16
Aanwending grasland	244	260,0	83,1	80,3
Aanwending bouwland	170,5	183,7	60,6	60,0
Aanwending bedrijf	232,4	246,2	79,5	76,6
Gebruiksnorm	233,3		86,1	
Verhouding stikstof/fosfaat in aangewende mest			2,93	3,21
Verhouding stikstof/fosfaat in gebruiksnormen			2,71	

Bron: FLAME berekeningen en Landelijk meetnet effecten mestbeleid.

Mogelijke verklaring hiervoor is dat de verhouding tussen stikstof en fosfaat in de aangewende mest verschillend is tussen FLAME en LMM-2016. De stikstof/fosfaatverhouding in het LMM-2016 is hoger dan in FLAME, wat betekent dat per aangewende kg fosfaat er meer stikstof wordt aangewend dan in FLAME. FLAME rekent met de forfaitaire stikstof en fosfaatexcreties en daarnaast is de aanwending modelmatig gelimiteerd op basis van de huidige mestwetgeving. De LMM-stikstof-/fosfaatverhouding kan bijvoorbeeld beïnvloed zijn door voorraadmutaties met verschillende gehalten of door het wel of niet gebruik maken van de Handreiking bedrijfsspecifieke excretie (BEX).

5.1.3 Kunstmest

In tabel 5.3 wordt het gebruik van kunstmest weergegeven. De aanwending van stikstofkunstmest verschilt tussen FLAME en het LMM vooral voor bouwland. In FLAME wordt meer stikstofkunstmest aangewend op bouwland. Dit is mogelijk een gevolg van een lagere stikstofbemesting uit dierlijke mest op bouwland (zie ook tabel 5.2). Op bedrijfsniveau verschilt de aanwending van stikstofkunstmest ongeveer 9 kg per hectare. Het totale gebruik van zowel werkzame stikstof uit dierlijke mest als kunstmest is bijna gelijk tussen het LMM en FLAME en lager dan de gebruiksnorm.

Tabel 5.3 Gebruik kunstmest en gebruiksnormen (kg/ha) op basis van FLAME en LMM-2016

Nutriënt	Kg stikstof per hectare		Kg fosfaat per hectare	
	FLAME	LMM-16	FLAME	LMM-16
Aanwending grasland	147,4	141,8		
Aanwending bouwland	41,1	30,1		0,9
Aanwending bedrijf	130,6	121,9		0,2
Dierlijke mest met w.c. a)	111,6	118,2	79,5	76,6
Totaal gebruik	242,2	240,1	79,5	76,8
Gebruiksnorm	243,1		86,1	

a) werkingscoëfficiënt: 48% voor stikstof en 100% voor fosfaat.

Bron: FLAME berekeningen en Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

Het kunstmestfosfaatgebruik verschilt tussen FLAME en LMM-2016. Hoewel alle 55 melkveebedrijven gebruikmaken van derogatie wordt er wel fosfaatkunstmest toegepast, terwijl dit wettelijk niet is toegestaan. Dit kan het gevolg zijn een afwijkende kunstmestindeling, bijvoorbeeld mineralenconcentraat, in het LMM. Het LMM heeft dan ook nadrukkelijk niet het doel om te toetsen of aan wettelijke bemestingsvoorwaarden wordt voldaan. In FLAME is de optie van mineralenconcentraten voor aanwending als kunstmest niet mogelijk aangezien dit wettelijk (buiten pilots) niet is toegestaan.

5.1.4 Nitraatconcentratie

Om de nitraatconcentratie te testen is de berekende concentratie op basis van FLAME vergeleken met de gemeten concentratie op basis van meetgegevens van het RIVM in 2017. Deze meetgegevens relateren aan de LMM-2016 landbouwpraktijk.

In tabel 5.4 is de berekende FLAME-nitraatconcentratie naast de gemeten RIVM-nitraatconcentratie weergegeven. Voor FLAME berekenen we het onderscheid tussen grasland en bouwland. Voor de RIVM-metgegevens kunnen we dat onderscheid niet maken. Duidelijk te zien is dat de FLAME-nitraatconcentratie van grasland lager is dan de concentratie van bouwland (snijmais); dit is overeenkomstig de praktijk en literatuur. Gemiddeld is de FLAME-nitraatconcentratie op bedrijfsniveau 33,9 mg/l tegenover 31,1 mg/l op basis van RIVM-metingen. De afwijking tussen de metingen en de berekende concentratie is 9%.

Tabel 5.4 Berekende en gemeten nitraatconcentraties in mg/l voor 55 LMM-melkveebedrijven op zandgrond voor LMM-jaar 2016

	Berekend a)	Gemeten b)
Grasland	30	
Bouwland	55,7	
Bedrijf	33,9	31,1

Bron: a) FLAME-berekeningen; b) RIVM.

Dit verschil kan veroorzaakt worden doordat de RIVM een meting heeft gedaan van de nitraatconcentratie enerzijds en anderzijds doordat de berekende concentratie afhankelijk is van de modelberekeningen en uitkomsten die af kunnen wijken van de empirische gegevens (bijvoorbeeld berekend areaal snijmais en grasland in vergelijking tot waargenomen areaal snijmais en grasland). Dit heeft invloed op het berekende bodemoverschot in FLAME. Daarnaast is het neerslagoverschot en de uitspoelfracties niet bedrijfsspecifiek. Zo zijn de uitspoelfracties alleen op grondsoortniveau beschikbaar (zie ook paragraaf 3.1.2).

5.2 Validatie van de nitraatconcentratie

Gezien de afwijkingen, zowel in nitraatconcentratie als in onderliggende modelberekeningen op het gebied van areaal, dierlijke mest en kunstmest, is de berekende nitraatconcentratie getoetst. Met een 'paired T-test' is nagegaan of de met FLAME berekende nitraatconcentraties wel of niet afwijken van de door het RIVM gemeten concentraties. De gemeten concentraties zijn verkregen via een dataset van het RIVM. De nulhypothese is dat er geen verschil is tussen de gemiddelde nitraatconcentratie volgens FLAME en de gemiddelde nitraatconcentratie vanuit de RIVM-metingen (respectievelijk de waarden 33,9 en 31,1 in tabel 5.4).

De test geeft een t-waarde van 0,951 en een P-waarde (overschrijdingskans) van 0,346. Dat is duidelijk boven de P-waarde van 0,05 die doorgaans als drempel voor significantie wordt gebruikt. De nulhypothese wordt dus niet verworpen: er is geen significant verschil tussen beide gemiddelden. Dit geeft aan dat FLAME in combinatie met de WOG-WOD-formule bruikbaar is om nitraatconcentraties te schatten voor de geselecteerde populatie melkveebedrijven. Het gemiddelde verschil tussen de FLAME- en RIVM-nitraatconcentratie is 2,8 mg/l. De 95% betrouwbaarheidsinterval ligt tussen de -3.1 en 8.7 mg/l. Het betrouwbaarheidsinterval geeft een marge aan waarbinnen het populatieverschil zit.

6 Discussie

In dit hoofdstuk worden een aantal punten benoemd die in ogenschouw moeten worden genomen bij het gebruik van de waterkwaliteitsmodule in FLAME. Een aantal van deze punten komt terug als aanbeveling in het volgende hoofdstuk.

Resultaten specifiek voor zandgrond

Door gebruik te maken van de WOG-WOD-formule voor het berekenen van de nitraatconcentratie van het grondwater kan FLAME redelijk nauwkeurig de gemeten RIVM-concentraties reproduceren. Dit geldt echter voor de geselecteerde groep bedrijven en op groepsniveau. Aangezien het areaal van de geselecteerde melkveebedrijven volledig uit zandgrond bestaat, mogen de resultaten van dit onderzoek niet worden vertaald naar melkveebedrijven op overige grondsoorten.

Uitspoelfracties bedrijfsniveau

De berekende nitraatconcentratie geldt alleen voor een groep van bedrijven en niet voor individuele bedrijven aangezien de uitspoelfracties niet op bedrijfsniveau beschikbaar zijn. Deze zijn afgeleid voor landelijk gemiddelde neerslagoverschotten en landbouwpraktijk. Zo zijn de uitspoelfracties alleen op grondsoortniveau beschikbaar en niet op een lager aggregatieniveau, zie ook Fraters et al. (2012). De grondwatertrapinformatie is wel op bedrijfsniveau aanwezig. Echter, de gewasoort per grondwatertrap is niet bekend. Hiervoor is in FLAME aangenomen dat bouwland op de drogere gronden en grasland op de nattere gronden is gelegen. Daarnaast is ook informatie over het neerslagoverschot op bedrijfsniveau niet beschikbaar. Ook hier geldt dat dit op grondsoortniveau beschikbaar is (Fraters et al., 2012). Indien deze informatie op bedrijfsniveau beschikbaar zou zijn, zouden de berekende resultaten nauwkeuriger kunnen zijn.

Verouderde uitspoelfracties

De in de literatuur beschikbare meest recente uitspoelfracties zijn opgesteld in 2012. Sindsdien hebben er aanpassingen in zowel de mestwetgeving als de landbouwpraktijk plaatsgevonden. Idealiter worden meer recente uitspoelfracties gebruikt.

Invloed omgevingsfactoren

De nitraatconcentratie in het uitspoelende water wordt behalve door de landbouwpraktijk ook beïnvloed door omgevingsfactoren. Zo hebben met name neerslag en temperatuur effect op gewasopbrengsten en, in verband daarmee, de afvoer van stikstof, respectievelijk bodemoverschotten en stikstofuitspoeling, zie ook Lukács et al. (2019). De gemeten nitraatconcentratie door het RIVM en de uitspoelfracties zijn niet gecorrigeerd voor weersinvloeden (persoonlijke mededeling RIVM). Weersinvloeden worden dus indirect meegenomen in de berekening van de nitraatconcentratie. In de landbouwpraktijk is dit immers ook het geval.

Model versus 'werkelijkheid'

FLAME is een bio-economisch model voor de melkveehouderij. Modellen geven een vereenvoudiging van de werkelijkheid weer. FLAME is hierop geen uitzondering. De keuze van rekenregels binnen FLAME en de daarbij gehanteerde uitgangspunten en coëfficiënten hebben invloed op de resultaten. Bij het berekenen van de nitraatconcentratie per bedrijf is zo veel mogelijk bedrijfsspecifieke informatie gebruikt die beschikbaar is in het LMM. Echter, niet alle invoergegevens konden bedrijfsspecifiek worden gemaakt. Een voorbeeld hiervan zijn de gewasopbrengsten van zowel gras als snijmais. De gewasopbrengsten in kg droge stof zijn dan ook normatief vastgesteld. Wel is het zo dat de gehalten per kg droge stof (onder andere VEM, DVE, etc.) afhankelijk zijn van de in het LMM beschikbare waarden. Hoe meer gebruik kan worden gemaakt van empirische gegevens uit LMM, hoe beter de berekende waarden voor de waterkwaliteit zullen aansluiten bij de praktijk.

Een andere belangrijke vereenvoudiging is dat er in FLAME van uit wordt gegaan dat de ondernemer zijn winst maximaliseert en neutraal is ten opzichte van risico. In werkelijkheid spelen mogelijke

andere doelen dan winstmaximalisatie een rol zoals bijvoorbeeld het minimaliseren van risico's door het veiligstellen van voervoorziening door middel van zo hoog mogelijke gras- en snijmaisopbrengst of door meer aandacht voor biodiversiteit.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

- De met FLAME berekende gemiddelde nitraatconcentratie voor melkveebedrijven op zandgrond komt goed overeen met de gemiddeld gemeten nitraatconcentratie. Het verschil bedraagt minder dan 10%.
- De 'paired t-test' geeft aan dat er geen significant verschil is tussen de gemiddelde berekende nitraatconcentratie versus de gemiddeld gemeten nitraatconcentratie.
- Op basis van de resultaten en de validatie kan gesteld worden dat FLAME bruikbare resultaten geeft om voor een groep van melkveebedrijven op zandgrond de nitraatconcentratie te berekenen.
- Met regressietechnieken zou in de toekomst de berekening van de nitraatconcentratie in het grondwater meer bedrijfsspecifiek in kunnen worden geschat.

7.2 Aanbevelingen

- De analyse van de met FLAME berekende waterkwaliteit is gebaseerd op het LMM-jaar 2016 bestaande uit het nitraatconcentratie-meetjaar 2017 en de landbouwpraktijk van 2016. Een doorrekening van meerdere jaren kan de conclusie dat FLAME de nitraatconcentratie via de WOG-WOD-formule goed berekent ten opzichte van de RIVM-metingen extra bevestigen. Er is dan minder kans op toeval dat de berekeningen goed overeenkomen met de RIVM-metingen.
- De implementatie van de waterkwaliteitsmodule en de analyse van de resultaten is alleen gedaan voor melkveebedrijven met uitsluitend zandgrond. Om uitspraken te kunnen doen voor de overige grondsoorten of een mix van grondsoorten is aanvullend onderzoek nodig.
- Door gebruik te maken van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de uitspoelfracties kan een indruk worden verkregen van de range van de berekende nitraatconcentratie.
- Bedrijfsspecifieke(re) invoergegevens, bijvoorbeeld uitspoelfracties, neerslagoverschotten, gewasopbrengsten, kosten grasland, kosten snijmais, etc., kunnen helpen om de nauwkeurigheid van de berekende nitraatconcentratie te verbeteren.
- De inzet van regressietechnieken bij het schatten van de nitraatconcentratie vergt meer onderzoek naar de implementatie binnen FLAME.
- Bij het scheuren van grasland ten behoeve van de snijmaisteelt mineraliseert er extra stikstof. Dit is nog niet in het huidige model opgenomen. Implementatie hiervan zou de modeluitkomsten met betrekking tot de berekende waterkwaliteit kunnen verbeteren.
- De berekende nitraatconcentraties kunnen per bedrijf verschillen van de gemeten concentraties. Aanvullend onderzoek naar deze verschillen en systematische samenhang met bepaalde bedrijfskenmerken van deze bedrijven is aan te bevelen om beter inzicht te krijgen in de oorzaken van de afwijkingen. Het resultaat kan worden gebruikt om het gebruikte model verder te verbeteren.

Bronnen en literatuur

- Daatselaar C.H.G, G.J. Doornewaard, C. Gardebroek, D.W. de Hoop en J.W. Reijs, 2010.
Bedrijfsvoering, economie en milieukwaliteit; Hun onderlinge relaties bij melkveebedrijven.
Den Haag, LEI onderdeel van Wageningen Universiteit, Rapport 2010-053.
- Groenendijk, P., L. Renaud, O. Schoumans, J. Schröder, T. de Koeijer en H. Luesink, 2014.
Vergelijking van het WOG-WOD model en het MAMBO-STONE model; Berekende en gesimuleerde
nitraatconcentraties in de zandgebieden. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University &
Research centre), Alterra-rapport 2549. 58 blz.; 6 fig.; 15 tab.; 22 ref.
- Groenendijk, P., E. van Boekel, L. Renaud, A. Greijdanus, R. Michels en T. de Koeijer, 2016. Landbouw
en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren; Het aandeel van landbouw in de KRW-
opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit
landbouwgronden. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2749. 150 blz.;
30 fig.; 28 tab.; 89 ref.
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans en J.W. Reijs, 2012.
De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven.
Herberekening van uitspoelfracties. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM
rapport 680716006/2012.
- Koeijer, T.J. de, L. Ge, H. Prins, M.J.J. Hoogsteen, C.H.G. Daatselaar, W.C.A. van Geel en
W. van den Berg, in bewerking. De uitspoeling van stikstof bij de toediening van dierlijke mest en
kunstmest. Den Haag, Wageningen Economic Research.
- Lukács, S., P.W. Blokland, H. Prins, A. Vrijhoef, D. Fraters en C.H.G. Daatselaar, 2019.
Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie in 2017.
Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport 2019-0025.
- RIVM, 2017. Nitraatuitspoeling en stikstofoverschot op de bodembalans: verschillen tussen regio's en
tussen gewassen. Memo Evaluatie Meststoffenwet vraag 12 Ex Post, 1 maart 2017. RIVM,
Bilthoven.
- Hoogeveen, M. en T. van Leeuwen, 2016. Melkveebedrijven in de zandregio zonder derogatie.
Den Haag, Wageningen Economic Research, LMM e-nieuws, juni 2016.
<http://lmm.osnieuwsbrief.nl/nieuws/238/527>

Bijlage 1 Bedrijfsgegevens FLAME

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van bedrijfsspecifieke inputgegevens in FLAME:

- Aantal ondernemers
- Onbetaalde arbeidsjaareenheden
- Uren per ondernemer
- Bedrijfstoeslag
- Aantal melkkoeien
- Eiwitgehalte in de melk
- Melkproductie per koe
- Vervangingspercentage melkkoeien
- Vetgehalte in de melk
- Drogestofgehalte gras
- Drogestofgehalte snijmais
- Fosfaatgehalte gras
- Fosfaatgehalte snijmais
- Stikstofgehalte gras
- Stikstofgehalte snijmais
- VEM-gehalte gras
- VEM-gehalte snijmais
- Aantal percelen
- Bedrijfsoppervlakte eigendom
- Bedrijfsoppervlakte pacht
- Beteelde oppervlakte klei
- Beteelde oppervlakte löss
- Beteelde oppervlakte veen
- Beteelde oppervlakte zand
- Maaipcentage
- Oppervlakte cultuurgrond eigendom
- Oppervlakte cultuurgrond pacht
- Oppervlakte snijmais
- Melkprijs per 100 kg melk
- Prijs per kalf
- Prijs per melkkoe
- Kosten grond
- Onderhoud vee jongvee jonger dan 1 jaar
- Onderhoud vee jongvee ouder dan 1 jaar
- Onderhoud vee melkkoe
- Overige vaste kosten
- Werk door derden (exclusief btw)
- Geleverde melk januari tot en met december
- Ureumgehalte in geleverde melk
- Kg melk voor intern verkeer
- Kg melk dat verloren is gegaan
- Oppervlakte fosfaatarme of fixerende grond bouwland
- Oppervlakte fosfaatarme of fixerende grond grasland
- Aantal dagen weidegang beperkt
- Aantal dagen weidegang onbeperkt

Wageningen Economic Research
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
T 070 335 83 30
E communications.ssg@wur.nl
www.wur.nl/economic-research

Wageningen Economic Research
RAPPORT
2021-037

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Economic Research
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
T 070 335 83 30
E communications.ssg@wur.nl
www.wur.nl/economic-research

Rapport 2021-037
ISBN 978-94-6395-942-1

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.

