



Relaties landbouwpraktijk en waterkwaliteit met focus op mais

Co Daatselaar, Sinne van der Veer, Paul van Leeuwen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Relaties landbouwpraktijk en waterkwaliteit met focus op mais

Co Daatselaar, Sinne van der Veer, Paul van Leeuwen

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Economic Research binnen het project Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

Wageningen Economic Research
Wageningen, oktober 2023

RAPPORT
2023-141
ISBN 978-94-6447-899-0

Daatselaar, Co, Sinne van der Veer, Paul van Leeuwen, 2023. *Relaties landbouwpraktijk en waterkwaliteit met focus op mais*. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2023-141. 46 blz.; 6 fig.; 34 tab.; 21 ref.

Dit onderzoek beschrijft de relaties tussen de opbrengsten van mais, de bodemoverschotten van stikstof bij mais en de nitraatconcentraties na de oogst van de mais. In tabellen en grafieken worden relevante gegevens uit de jaren 2006-2019 getoond. Een verklarende analyse met Fixed Effects- en Random Effects-modellen geeft de belangrijkste invloedsfactoren op opbrengst, bodemoverschot stikstof en nitraatconcentratie weer. De agrariër kan een aantal van deze factoren, zoals de grondsoort, niet beïnvloeden. Uit het onderzoek komt het telen van een geslaagde groenbemester als belangrijkste factor waarop de agrariër wel grip heeft naar voren om de nitraatconcentratie te verlagen waarbij de opbrengst niet daalt en het bodemoverschot stikstof niet toeneemt.

Trefwoorden: mais, opbrengst, stikstofbodemoverschot, nitraatconcentratie

This research describes the relations between the yields of maize, the nitrogen soil surpluses for maize and the nitrate concentrations after the maize harvest. Relevant data over the years 2006-2019 are shown in tables and graphs. An explanatory analysis with Fixed Effects and Random Effects models depicts the most important influential factors on yield, nitrogen soil surplus and nitrate concentration. The farmer is not able to influence some of these factors, such as soil type. The research shows that cultivation of a successful cover crop after the maize harvest is the most important factor which the farmer can manage to decrease the nitrate concentration and where the yield doesn't decrease and the nitrogen soil surplus doesn't increase.

Keywords: maize, yield, nitrogen soil surplus, nitrate concentration

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/639032> of op www.wur.nl/economic-research (onder Wageningen Economic Research publicaties).

© 2023 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, 2023

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 2023-141 | Projectcode 2282200366

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
S.1 Belangrijkste uitkomsten	6
S.2 Overige uitkomsten	6
S.3 Methoden	7
Summary	8
S.1 Main results	8
S.2 Other results	8
S.3 Methods	9
1. Aanleiding	10
1.1 Achtergrond	10
1.2 Doelstelling	10
1.3 Afbakening	11
1.4 Opbouw van het rapport	11
2 Literatuuronderzoek	12
3 Materiaal en methoden	16
3.1 Materiaal	16
3.2 Methoden	17
4 Beschrijving nutriëntenboekhoudingen en nitraatconcentraties	20
4.1 Resultaten voor geheel Nederland	20
4.1.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken	20
4.1.2 Stikstofboekhouding	20
4.1.3 Fosfaatboekhouding	22
4.1.4 Nitraatconcentraties	24
4.2 Resultaten per grondsoortregio	25
4.2.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken	25
4.2.2 Stikstofboekhouding	26
4.2.3 Fosfaatboekhouding	27
4.2.4 Nitraatconcentraties	27
4.3 Resultaten per bedrijfstype	28
4.3.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken	28
4.3.2 Stikstofboekhouding	28
4.3.3 Fosfaatboekhouding	29
4.3.4 Nitraatconcentraties	30
4.4 Resultaten per vorm van vruchtwisseling	30
4.4.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken	30
4.4.2 Stikstofboekhouding	31
4.4.3 Fosfaatboekhouding	32
4.4.4 Nitraatconcentraties	32
4.5 Resultaten naar de mate van groenbemesting	33
4.5.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken	33
4.5.2 Stikstofboekhouding	33
4.5.3 Fosfaatboekhouding	34
4.5.4 Nitraatconcentraties	35


4.6	Conclusies op basis van de beschrijving van nutriëntenboekhoudingen en nitraatconcentraties bij mais	35
5	Verklarende analyses voor opbrengst, bodemoverschot stikstof en nitraatconcentratie bij mais	36
5.1	Verklarende analyse voor de opbrengst van mais	36
5.2	Verklarende analyse voor het bodemoverschot stikstof bij mais	37
5.3	Verklarende analyse voor de nitraatconcentraties bij mais	39
5.4	Conclusies op basis van de verklarende analyses	40
6	Discussie, conclusies en aanbevelingen	41
	Bronnen en literatuur	43

Woord vooraf


Het project Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) is een gezamenlijk project van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Wageningen Economic Research. Wageningen Economic Research selecteert de bedrijven waarvan de landbouwpraktijk (onder andere technische, financiële en milieugegevens) wordt vastlegt. RIVM meet bij deze bedrijven de waterkwaliteit en bodemkenmerken.

Mais, vooral in de vorm van snijmais, is een belangrijk gewas in Nederland: met een areaal van ongeveer 200.000 ha ofwel rond 10% van het landbouwareaal is het grootste bouwlandgewas. Snijmais is een aantrekkelijk product in het rantsoen van melkkoeien maar mais is ook een gewas waar relatief veel stikstof uitspoelt naar het grondwater. Dat leidt vooral op drogere gronden nogal eens tot nitraatconcentraties boven 50 mg per liter, de norm vanuit de nitraatrichtlijn van de Europese Unie. Dit heeft geleid tot de vraag op welke manieren de opbrengst van mais ongeveer behouden kan blijven of verhoogd worden terwijl daarbij het stikstofbodemoverschot en de nitraatconcentratie bij mais dalen.

De auteurs zijn Richard van Duijn van RIVM erkentelijk voor zijn meedenken, met name ten aanzien van de nitraatconcentraties. Verder gaat een woord van dank uit naar de deelnemers in het LMM: deze studie kon alleen op deze manier worden uitgevoerd dankzij de informatie die met behulp van deze ondernemers wordt verzameld.



Prof.dr.ir. J.G.A.J. (Jack) van der Vorst
Algemeen Directeur Social Sciences Group (SSG)
Wageningen University & Research

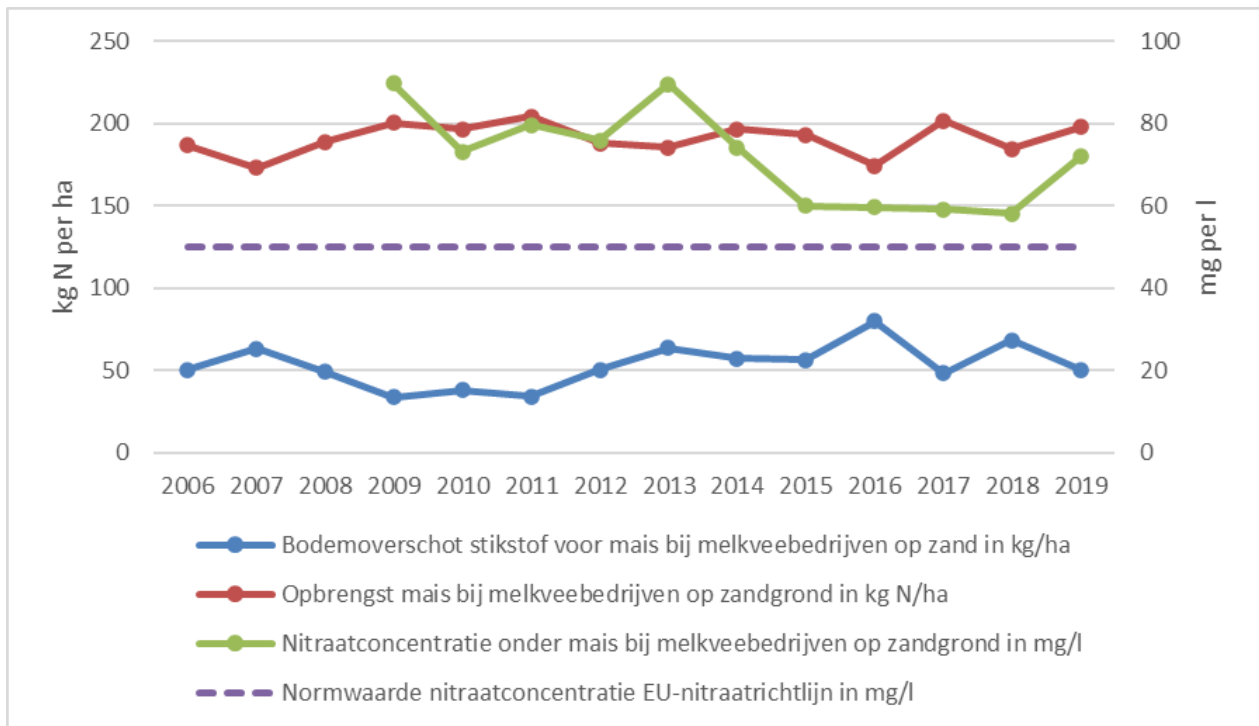


Ir. O. (Olaf) Hietbrink
Business Unit Manager Wageningen Economic Research
Wageningen University & Research

Samenvatting

S.1 Belangrijkste uitkomsten

Figuur S.1 geeft weer dat in de loop van de jaren 2006-2019 de opbrengsten van mais in kg stikstof per ha en het bodemoverschot stikstof bij mais in kg per ha geen duidelijke trends vertonen. Daarentegen is de nitraatconcentratie onder percelen met mais als gewas in het voorgaande groeiseizoen wel gedaald in dezelfde periode, al is er sinds 2015 geen verdere daling meer te zien.



Figuur S.1 Opbrengst mais, stikstofbodemoverschot en nitraatconcentratie voor mais bij melkveebedrijven op zandgrond in de periode 2006-2019

De verklarende analyse geeft aan dat het goed doen slagen van een groenbemester na de teelt van de mais, en de bemesting knoppen zijn waar de agrariër aan kan draaien. De bemesting heeft een beperkt effect op de opbrengsten maar tikt wel door in het stikstofbodemoverschot en wat minder sterk in de nitraatconcentratie. Teelt van een goede groenbemester leidt gemiddeld tot hogere opbrengsten en lagere stikstofbodemoverschotten en lagere nitraatconcentraties.

S.2 Overige uitkomsten

Uit het onderzoek komen verder de volgende punten naar voren:

- Op zand- en lössgrond is het aanzienlijk moeilijker om nitraatconcentraties beneden de waarde van 50 mg/l uit de EU-Nitraatrichtlijn te realiseren dan op klei- en veengrond. De verschillen in opbrengst van mais zijn gering tussen de grondsoorten en ook de verschillen in het stikstofbodemoverschot zijn beperkt. De grondwaterstand, bij zand en löss vaak lager dan bij klei en veen, en de grondsoort zelf spelen hierin een belangrijke rol.

-
- Bij melkveebedrijven zijn de maisopbrengsten en de bijkomende stikstofbodemoverschotten niet heel anders dan bij andere bedrijfstypen waar mais wordt geteeld. Wel zijn bij melkveebedrijven de nitraatconcentraties lager. Factoren als een groot aandeel grasland bij melkveebedrijven en doorgaans gronden met een hogere grondwaterstand leiden tot deze effecten.
 - Telen van mais in continueelt of in afwisseling met andere gewassen maakt weinig uit voor de opbrengst, het stikstofbodemoverschot en de nitraatconcentraties.

S.3 Methoden

Vanwege de focus op het gewas mais zijn enkele voorwaarden gesteld aan de te onderzoeken bedrijven. Een belangrijke voorwaarde is dat een bedrijf een areaal van minimaal 5 ha mais moet hebben. Bij de beschrijvende statistiek zijn gegevens uit de jaren 2006-2019 gebruikt. Bij de verklarende analyses is, mede op advies van RIVM, de dataset beperkt tot melkveebedrijven op zandgronden over de periode 2009-2019.

De beschrijvende statistiek geeft gemiddelden weer van diverse kengetallen voor de verschillende jaren op nationaal niveau maar ook voor de LMM-hoofdgrondsoortregio's (Zand, Klei, Veen en Löss). Ook wordt ingedeeld naar bedrijfstype en of de mais in vruchtwisseling of meer continu wordt geteeld. Verder is er nog een indeling naar gebruik van een groenbemester na de teelt van mais en de mate waarin deze groenbemester geslaagd is.

Er is een paneldataset gebruikt omdat de dataset meerdere jaren beslaat en eenzelfde bedrijf in meerdere jaren voor kan komen. Om bij de verklarende analyses de paneldata modellen te kunnen schatten, wordt gebruikgemaakt van zowel een Fixed Effects (FE) model als een Random Effects (RE) model.

Summary

S.1 Main results

Figure S.1 shows no clear trends in the yields of maize in kg nitrogen per ha and in the nitrogen surplus for maize over the period 2006-2019. Conversely, the nitrate concentration below parcels with maize in the previous growing season has decreased in the same period although there is no further decrease visible since 2015.

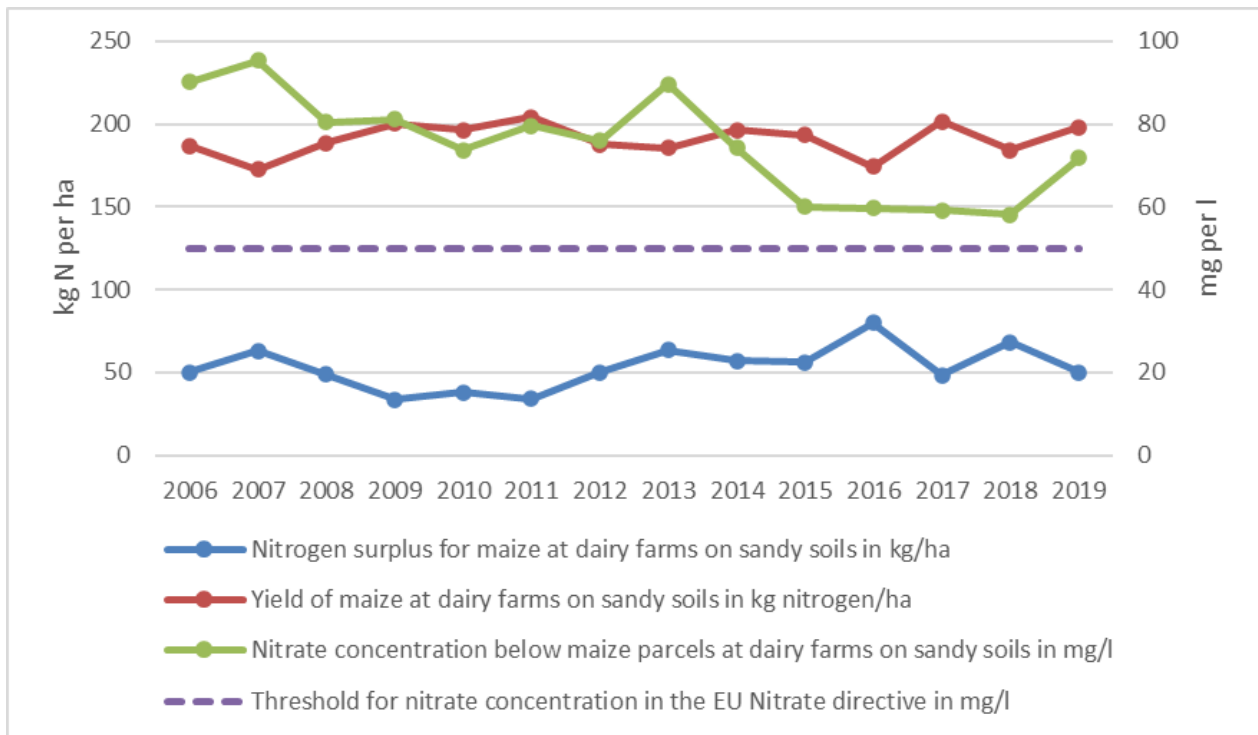


Figure S.1 Yield of maize, nitrogen surplus and nitrate concentration for maize at dairy farms on sandy soils in the period 2006-2019

The explanatory analysis indicates that a successful cover crop after the growing of maize and the fertilisation are possibilities which the farmer can use. Fertilisation has a limited effect on yields but affects the nitrogen surplus and, less strongly, the nitrate concentration. Cultivation of a good cover crop on average causes higher yields, lower nitrogen surpluses and lower nitrate concentrations.

S.2 Other results

Furthermore, the following points arise from the research:

- On sandy and loess soils it is considerably more difficult to realise nitrate concentrations below the threshold of 50 mg/l in the EU-Nitrate directive than on clay and peat soils. The differences in the yield of maize are small between soil types and the differences in soil surpluses are also limited. Here the groundwater table, on sandy and loess soils often lower than on clay and peat soils, and the soil type itself play an important role.

-
- The yields of maize and the adjacent nitrogen surpluses do not really differ between dairy farms and other farm types where maize is cultivated. However, dairy farms have lower nitrate concentrations. Factors like a high share of grassland and higher groundwater tables lead to these effects.
 - Cultivation of maize continuously or in alternation with other crops makes little or no difference for the yield, the nitrogen surplus and the nitrate concentration.

S.3 Methods

Because of the focus on the crop maize some conditions have been set to the farms to be researched. An important condition is that a farm has an acreage of at least 5 ha maize. Data from the years 2006-2019 have been used for the descriptive analysis. In the case of the explanatory analysis, data from the years 2009-2019 from dairy farms have been used, as also advised by RIVM.

The descriptive analysis shows averages of several indicators for the various years at national level, but also for the main LMM soil type-regions (sand, clay peat and loess). Furthermore, there is classification into farm types, into continuous cultivation or alternation and into the use of a cover crop or not after the cultivation of the maize with (in the last few years) the rate of success of the cover crop.

A panel data set has been used because the dataset covers several years and the same farm can appear in multiple years. To be able to estimate the panel data models for the explanatory analysis, both a Fixed Effects (FE) model and a Random Effects (RE) model have been applied.

1 Aanleiding

1.1 Achtergrond

Voor melkveehouders is snijmais een interessant gewas om tot een meer uitgebalanceerd rantsoen te komen voor het melkvee, zeker in de zomer om een overmaat aan eiwit uit vers gras te compenseren. Mais heeft vaak een hogere opbrengst aan droge stof per ha dan gras, heeft minder verliezen tussen oogst en opname door het vee dan gras en grasproducten (Van Duijnen et al., 2021) en mais verdraagt beter droogte, vooral in het voorjaar en het begin van de zomer, omdat mais minder vocht nodig heeft dan gras. Over het algemeen is mais voor akkerbouwers minder interessant omdat het te behalen saldo lager is dan van gewassen zoals aardappelen en suikerbieten. Een aantal akkerbouwers, doorgaans met bedrijven op zandgrond in het oosten of zuiden van Nederland, kiest mais soms in plaats van graan omdat het saldo van mais net wat hoger uit kan vallen. Voor wat betreft de bodem (gehalte organische stof) scoort mais echter slechter dan bijvoorbeeld tarwe of gerst.

Het grootste deel van de mais in Nederland wordt geteeld op melkveebedrijven die naast de mais grasland hebben. Stikstof achterblijvend in een bodem onder mais, in Nederland voor het overgrote deel snijmais, is gevoeliger voor uitspoeling dan in een bodem onder grasland, zeker naarmate dat grasland meer permanent is. Daarbovenop komt dat mais gemiddeld genomen vooral op zandgrond wordt geteeld en dan met name de drogere zandgronden, die gevoeliger zijn voor uitspoeling van stikstof (Fraters et al., 2007, 2012).

In principe geldt de bovenstaande problematiek ook voor diverse andere gewassen op met name zandgrond zoals aardappelen en diverse groenten, geteeld in de open grond. Mais is op zandgrond, na gras, het gewas met het grootste areaal. Bij veel andere gewassen is het aantal waarnemingen dermate gering dat onderzoek daarnaar leidt tot conclusies met een beperkte waarde.

In het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) worden gegevens over de landbouwpraktijk voor een deel per gewas vastgelegd. Het gaat dan om bemesting en opbrengsten naast enkele bodemgegevens. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) legt gegevens vast van de 16 monsters per bedrijf via de Nitrachek-methode (RIVM, 2018) voordat deze 16 monsters tot bedrijfsmonsters worden gemengd. Door deze Nitrachek-gegevens per gewas te koppelen (via het verbinden van de puntmonsters aan de percelen met gewassen in de basisregistratie percelen) aan de landbouwpraktijkgegevens per gewas kan per gewas de invloed van de landbouwpraktijk op de waterkwaliteit onderzocht worden. Daarmee is dat ook specifiek voor mais mogelijk.

De resultaten van de analyse zoals beschreven in dit rapport bieden daardoor de gelegenheid om mogelijkheden te vinden waarmee maistelers de mate van stikstofuitspoeling onder mais kunnen verminderen. Daarmee kan de waterkwaliteit worden verbeterd en de milieudruk op het grondwater worden verlaagd. Lukt het niet om de stikstofuitspoeling onder mais te verminderen, dan kan krimp van het maisareaal nodig zijn. Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport biedt daarmee ook aanknopingspunten voor de beleidsvorming.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van de studie, zoals beschreven in dit rapport, is het vinden van mogelijkheden voor ondernemers om de mate van stikstofuitspoeling onder mais te verminderen met zo weinig mogelijk negatieve effecten op de gewasopbrengsten. Het analyseren van de nutriëntenboekhoudingen en waterkwaliteitscijfers per gewas om de relaties tussen nutriëntenboekhouding en waterkwaliteit per gewas vast te stellen, kan leiden tot het vinden van die mogelijkheden. Daarnaast spelen andere factoren mogelijk ook een rol in de nitraatconcentratie van het grondwater zoals vanggewassen en vruchtwisseling. Voor zover

mogelijk zal onderscheid gemaakt worden tussen mais in continueelt (≥ 3 -5 jaar mais op hetzelfde perceel), mais in wisselbouw (meestal met gras) en permanent grasland (≥ 5 jaar gras op hetzelfde perceel). Dit onderzoek betreft een integrale analyse van een groot aantal factoren onder Nederlandse omstandigheden met gegevens van praktijkbedrijven.

Onder andere om het onderscheid in continueelt of wisselbouw van mais te kunnen maken is een analyse over meerdere jaren noodzakelijk, wat weer noopt tot de inzet van paneldata- of sterk aanverwante methoden.

De volgende onderzoeksvragen ten aanzien van mais in relatie tot bodemoverschotten en waterkwaliteit staan centraal:

- Welk effect is er op de nitraatconcentratie als het percentage mais op het bedrijf toe- of afneemt? In het licht van wel of geen derogatie is dat interessant.
- Welke invloeden zijn er in welke mate op de opbrengst van mais en op het bodemoverschot van stikstof bij mais? Daarbij valt onder andere te denken aan hoogten van stikstof (N)- en fosfaat (P_2O_5)-gebruiken, grondsoort, type bedrijf, voorvrucht/vruchtwisseling/perceel historie, bemestingstoestand en methode van grondbewerking.
- Spelen ten aanzien van de waterkwaliteit, vooral de nitraatconcentratie, de bij het voorgaande punt genoemde factoren wellicht ook een rol? Daar komen dan nog factoren bij zoals grondwaterstand (weergegeven in grondwatertrappen van Gt 1 tot en met Gt 8 waarbij 1 een hoge grondwaterstand weergeeft en 8 een lage grondwaterstand) en wel of geen vanggewas na de teelt van mais.

1.3 Afbakening

In dit onderzoek beperken we ons ten aanzien van akkerbouwgewassen tot het gewas mais. Voor het derogatiemetnet is het basismetnet van het LMM sinds 2006 aangevuld met vooral melkveebedrijven. De bedrijven in het LMM zijn vaak melkveebedrijven die deelnemen in het derogatiemetnet: dit zijn vooral melkveebedrijven die derogatie aanvragen. In het LMM bevinden zich ook akkerbouw- en staldierbedrijven met maisteelt maar dat zijn er samen wel minder dan de melkveebedrijven met maisteelt.

Bedrijven met een areaal mais van minder dan 5 ha in een bouwplan laten we buiten beschouwing: we betrekken alleen bedrijven met minimaal 5 ha mais in de analyse. Ook biologische bedrijven worden uitgesloten vanwege hun sterk afwijkende bedrijfsvoering (geen derogatie, geen gebruik kunstmest en pesticiden (geen pesticiden betekent vaak later zaaien om de onkruiddruk te beperken en/of minder/geen mais telen)). Daarnaast moet op minimaal 5% van het areaal cultuurgrond van een bedrijf mais worden geteeld en moet het mestgebruik binnen daarvoor gestelde grenzen (Van Duijnen et al., 2021) vallen. Verder beschouwen we de periode 2006-2019: in de jaren vóór 2006 was het aantal bedrijven in het LMM veel kleiner dan vanaf 2006 en bij de start van dit onderzoek waren de jaren na 2019 nog niet volledig beschikbaar bij het RIVM en/of in het Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research. In de jaren 2006-2008 was de bedrijvenregistratie van percelen nog niet beschikbaar, zodat niet op puntniveau het gewas vastgelegd kon worden.

1.4 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de literatuur omtrent onderzoek naar opbrengsten, stikstofbodemoverschotten en nitraatconcentraties bij (de teelt van) mais. Hoofdstuk 3 gaat in op de gebruikte gegevens en methoden van onderzoek. Hoofdstuk 4 toont een beschrijvende analyse van de teelt van mais met daaruit resulterende bodemoverschotten en nitraatconcentraties terwijl Hoofdstuk 5 een verklarende analyse bevat van opbrengsten, stikstofbodemoverschotten en nitraatconcentraties bij (de teelt van) mais. In Hoofdstuk 6 wordt afgesloten met een discussie van de resultaten, conclusies en aanbevelingen.

2 Literatuuronderzoek

Zoals in het vorige hoofdstuk reeds opgemerkt, is er een aanzienlijk aantal factoren die meespelen in:

- de opbrengst van mais in kg droge stof per hectare;
- het stikstofbodemoverschot bij mais in kg stikstof per hectare;
- de nitraatconcentratie in het water dat uitspoelt uit de wortelzone. Dit is het bovenste grondwater (veengrond en zandgronden), het bodemvocht (lössgrond) of drainwater (kleigrond).

Een lijst van factoren (mogelijk zijn er nog meer) is de onderstaande:

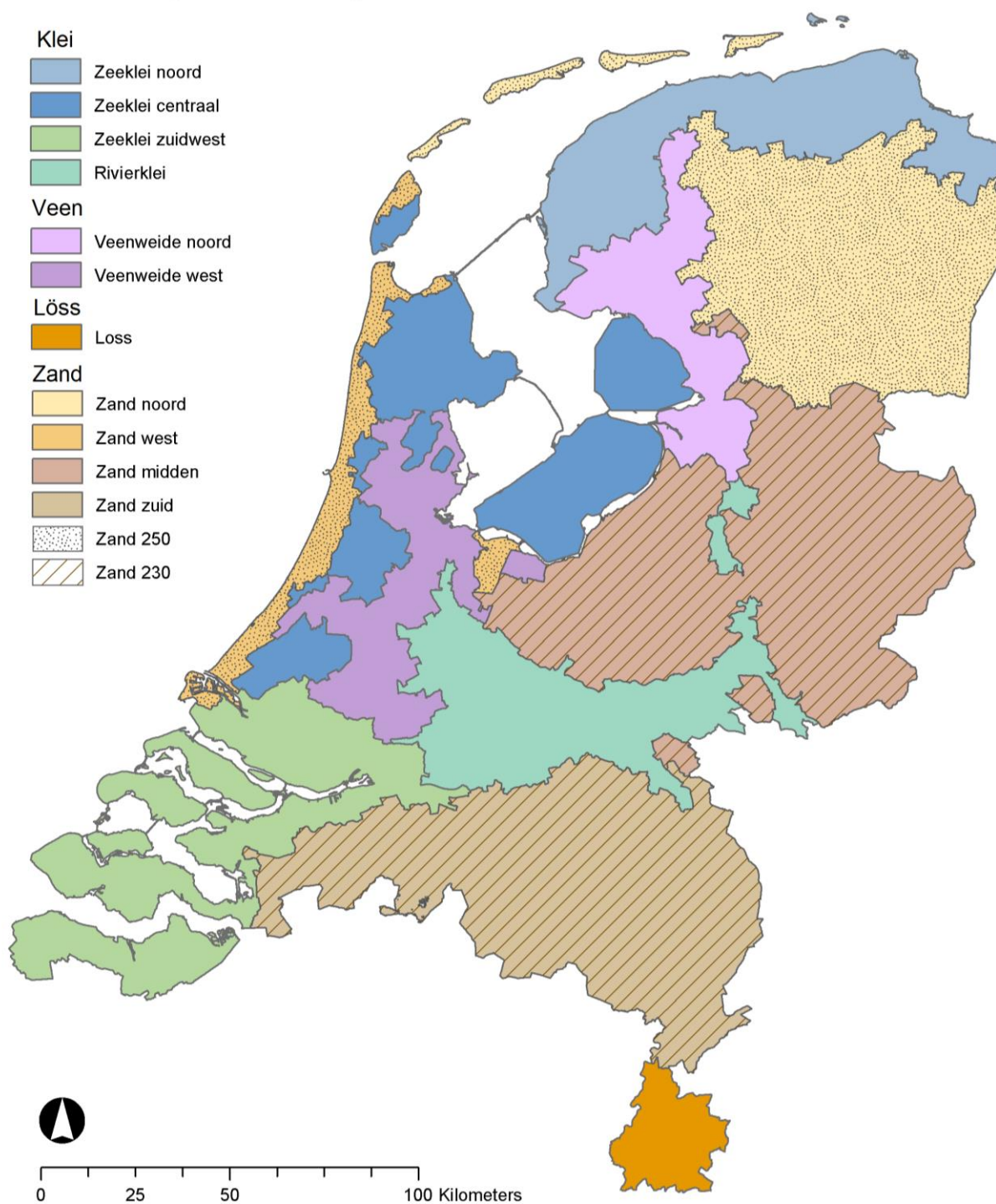
- bedrijfstype (akkerbouw/melkvee/staldieren/overig);
- regio (noord/midden/zuid);
- grondsoort (% zand, klei, veen en/of löss);
- grondwaterstand/grondwatertrap;
- hoeveelheid neerslag;
- verdeling neerslag over maanden tussen zaaien mais en bemonstering voor nitraatconcentratie;
- aandeel mais in bouwplan;
- duur maisteelt (continu/vruchtwisseling);
- grondbewerking (bijvoorbeeld wel/niet ploegen, zero tillage);
- hoogte bemesting met stikstof bij mais;
- aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof bij mais;
- hoogte bemesting met fosfaat bij mais;
- vanggewassen/groenbemesters;
- berekening.

Mais gedijt beter bij hogere temperaturen. Van zuid naar noord worden in Nederland dan ook vroeger afrijpende rassen geadviseerd die echter, door deze extra voorwaarde, een wat lagere opbrengst hebben. Dat is ook terug te zien in (de niet gepubliceerde) cijfers horend bij de jaarlijkse Derogatierapportage (Van Duijnen et al., 2021): de Zand-250 regio met de bedrijven in Noord-Nederland behaalt over de periode 2006-2019 een opbrengst die circa 500 kg droge stof per ha (of ongeveer 3%) lager is dan in de Zand-230 regio (Zuid- en Oost-Nederland). De Zand-250 regio mag 250 kg stikstof uit dierlijke mest per ha toedienen (evenals de Klei- en de Veenregio) en de Zand-230 regio (evenals de Lössregio) 230 kg. In deze cijfers scoren de klei- en lössregio het hoogst qua opbrengst, dan de Zand-230 regio, vervolgens veengrond en als laagste de Zand-250 regio. Regio en grondsoort zijn in Nederland nogal met elkaar verweven: klei- en veengrond bevinden zich vooral in het noorden en westen van het land, lössgrond alleen in het uiterste zuiden en zandgrond in de oostelijke helft van het land van noord naar zuid zoals in figuur 2.1 is te zien.

De grondsoort heeft een grote invloed op het bodemoverschot van stikstof en de nitraatconcentratie. Fraters et al. (2007, 2012) en Van Duijnen et al. (2021) rapporteren de hoogste bodemoverschotten van stikstof bij veengrond (vanwege een ingerekende hogere stikstofmineralisatie op deze grondsoort) en de hoogste nitraatconcentraties bij zand- en lössgrond. Op zand- en lössgrond zit het grondwater vaak dieper (lagere grondwaterstand ofwel hogere grondwatertrap) waardoor er meer zuurstof in de bodem aanwezig is. Denitrificatie (omzetting van stikstof tot stikstofgas (N_2) vindt dan minder plaats omdat daarvoor een zuurstofarme of zuurstofloze omgeving nodig is. Vervolgens kan er dan meer stikstof uitspoelen. Doorgaans zit er ook minder organische stof in zand- en lössgrond (Koopmans en Van Opheusden, 2019) waardoor minder stikstof gebonden kan worden, wat ook meer uitspoeling kan betekenen.

Tabel 2.1 en 2.2 uit Fraters et al. (2012) onderstrepen het bovenstaande ten aanzien van nitraatconcentraties. Tabel 2.1 laat zien dat de uitspoelingsfractie (dat deel van het stikstofbodemoverschot wat uitspoelt naar grond- of drainwater) varieert van 0,05 voor grasland op veengrond tot 0,90 voor bouwland op zeer droge zandgrond. Bij gelijke grondsoort spoelt vanuit grasland een kleiner deel van het stikstofoverschot uit dan vanuit bouwland. De uitspoelingsfractie is sterk afhankelijk van de grondsoort. Vanuit veengrond blijkt verhoudingsgewijs weinig stikstof uit te spoelen, vanuit kleigrond meer en vanuit droge zandgrond het meest.

LMM-beleidsgebiedenindeling



Figuur 2.1 Grondsoortregio's en hun beleidsgebieden in het LMM (Van Duijnen et al., 2021)

Tabel 2.1 Uitspoelfracties per bodemgebruik en grondsoort. Gemiddelde op basis van gegevens voor de periode 1991-2009

Bodemgebruik	Zand (GT8)	Klei	Veen
Bouwland	0,90	0,34	-
Grasland	0,44	0,11	0,05

Bron: Fraters et al. (2012).

In tabel 2.2 wordt getoond dat de uitspoelingsfractie afhangt van de diepte van het grondwater. Hoe hoger het grondwater staat, hoe lager de uitspoelfractie.

Tabel 2.2 Uitspoelfracties per bodemgebruik grondwatertrap op zandgrond. Gemiddelde op basis van gegevens voor de periode 1991-2009

Bodemgebruik	GT8	GT7	GT6	GT5*	GT5	GT4	GT3*	GT3	GT2-1
Bouwland	0,90	0,75	0,59	0,43	0,45	0,39	0,28	0,07	0,05
Grasland	0,44	0,37	0,29	0,21	0,22	0,19	0,14	0,04	0,02

Bron: Fraters et al. (2012).

Vanuit mais, dat een bouwlandgewas is, spoelt dus verhoudingsgewijs veel stikstof uit. Dit effect wordt daarnaast versterkt omdat veel mais op de drogere zandgronden wordt geteeld.

Fraters et al. (2007, 2012) geven aan dat de hoeveelheid neerslag van invloed is op nitraatconcentraties, vooral de hoeveelheid neerslag in het najaar. Bij veel neerslag in het najaar zijn de gemeten nitraatconcentraties doorgaans lager door meer verdunning. Neerslag speelt daarnaast ook een rol in het voorjaar en de zomer. In het voorjaar bepaalt neerslag wanneer het land klaargemaakt kan worden voor de maisteelt (tijdstippen van bemesten, grondbewerking en zaaien) en in de zomer heeft de neerslagverdeling grote invloed op de opbrengst. Een hogere opbrengst betekent meer afvoer van stikstof met het gewas waardoor het stikstofbodemoverschot lager wordt. De maisteler bemest alleen in het voorjaar, voorafgaand aan de inzaai van de mais en kan dus niet weten hoe de neerslagverdeling verderop in het groeiseizoen zal zijn. Daardoor kan de bemesting niet bijgestuurd worden, afhankelijk van de neerslag.

Mais heeft gemiddeld een lager stikstofbodemoverschot dan bijvoorbeeld gras (Hooijboer et al., 2017b; Van Duijnen et al., 2021). Dit komt vooral door de lagere bemesting met stikstof bij mais. De opbrengst in kg stikstof per ha is bij mais weliswaar lager dan bij gras maar het verschil tussen beide gewassen in kg stikstof per ha is bij de opbrengst kleiner dan bij de bemesting. Op bedrijfsniveau betekent een hoger aandeel mais dus in theorie een lager stikstofbodemoverschot maar ook een hogere nitraatconcentratie.

Over de effecten van vruchtwisseling bij mais op de nitraatconcentratie geeft de literatuur wisselende inzichten. De Boer (2017) en Hooijboer et al. (2017a) stellen dat continueelt van mais en van gras een lagere nitraatconcentratie oplevert dan vruchtwisseling tussen mais en gras, wel met de kanttekening dat bij continueelt van mais het gehalte aan organische stof in de bodem daalt en de mais ook kwetsbaarder wordt voor ziekten. Hooijboer et al. (2017b) geven echter aan dat vruchtwisseling wel tot lagere nitraatconcentraties kan leiden ten opzichte van continueelt mits een aantal handelingen in acht wordt genomen. Mais in het eerste jaar na gras dient dan nauwelijks of niet met stikstof bemest te worden en komt er in het jaar na de maisteelt weer gras in de rotatie, dan moet de mais vroeg geoogst worden om het gras tijdig te kunnen inzaaien. Het gras werkt dan als een groenbemester of vanggewas na de mais. Gras zou ook al tijdens de groei van de mais onder de mais gezaaid kunnen worden. In proefomstandigheden werkten deze maatregelen maar ze vinden mogelijk nog niet zo veel plaats in de praktijk. Manevski et al. (2015) melden dat vruchtwisseling met mais tot lagere nitraatconcentraties leidt dan continueelt van mais. In hun studie werd geen gebruikgemaakt van continueelt van gras terwijl die teelt wel in de andere studies omtrent vruchtwisseling voorkwam.

Naar grondbewerking bij de teelt van mais hebben Deru et al. (2015) onderzoek gedaan. Zij concluderen dat minder grondbewerking in de maisteelt kan leiden tot lagere opbrengsten maar ook dat de netto mineralisatie dan geringer is waardoor het gehalte aan organische stof in de bodem minder daalt. Dat kan gunstig zijn voor het vasthouden van stikstof in organische stof met minder uitspoeling.

Hogere bemestingen met stikstof betekenen volgens Alotaibi et al. (2018) hogere opbrengsten maar de grondsoort is volgens hen ook een belangrijke invloedfactor, zeker ook in de benutting van de toegediende stikstof. Het effect van stikstof op de opbrengst wordt bevestigd door Soler-Rivera et al. (2016). Het economische optimum voor de bemesting met stikstof is wel lager dan het fysieke optimum en in het licht van de waterkwaliteit moet de bemesting met stikstof nogal eens lager zijn dan het economische optimum.

Basso et al. (2016) geven, voor het Mediterrane gebied, aan dat de bemesting wellicht verder omlaag moet om de uitspoeling van nitraat te beperken als het klimaat wijzigt. Vaak zal dit opbrengstderving betekenen maar soms kan dit volgens hen meevallen.

Diverse onderzoeken bevestigen het nut van vanggewassen ofwel groenbemesters direct na de teelt van mais (of al onder de mais gezaaid in doorgaans de maand juni) om de uitspoeling van stikstof te beperken. Hooijboer et al. (2017b) melden dit maar ook De Waele et al. (2016) en Komainda et al. (2018). In Denemarken wordt aangegeven dat alleen vanggewassen een serieuze mogelijkheid zijn om nitraatconcentraties bij mais naar een lager niveau te krijgen (Sørensen, pers. med.). Het vanggewas moet wel tijdig gezaaid worden om effect te hebben: in Nederland is inzaai of onderzaai voor 1 oktober sinds 2020 verplicht op zand- en lössgrond. Maistelers in met name Noord-Nederland met mais op zandgrond zijn daardoor gedwongen om een vanggewas onder de mais te zaaien omdat vooral voor hen onzeker is of de mais voor 1 oktober geoogst zal zijn (in bijvoorbeeld 2021 is dat nogal eens niet het geval geweest). In zuidelijker gelegen delen van Nederland is inzaai van een vanggewas direct na de oogst van de mais vaker mogelijk voor 1 oktober.

De hierboven beschreven onderzoeken behandelen één of enkele factoren uit de lijst aan het begin van dit hoofdstuk. Het zijn geen integrale onderzoeken waarin een groot aantal factoren in samenhang wordt onderzocht. De onderzoeken zijn ook meestal gedaan als veldexperimenten en niet uitgevoerd op praktijkbedrijven. De praktijk kan meer of minder afwijken van experimenten omdat bij experimenten de omstandigheden beter beheerd kunnen worden. Verder is een aantal onderzoeken buiten Nederland uitgevoerd waar omstandigheden kunnen afwijken van die in Nederland zoals temperatuur of neerslagpatroon. Zoals al vermeld in paragraaf 1.2 betreft dit onderzoek een integrale analyse van een groot aantal factoren onder Nederlandse omstandigheden met gegevens van praktijkbedrijven.

3 Materiaal en methoden

3.1 Materiaal

De gegevens zijn verzameld in het kader van het LMM-project. Wageningen Economic Research verzamelt de gegevens omtrent de landbouwpraktijk en RIVM de gegevens omtrent waterkwaliteit. Vanwege de focus op het gewas mais zijn de volgende voorwaarden gesteld aan de te onderzoeken bedrijven:

- minimaal 5 ha mais in het bouwplan;
- geen bedrijven met een biologische bedrijfsvoering. Op biologische bedrijven komt maisteelt nauwelijks voor vanwege het niet mogen gebruiken van chemische middelen tegen onkruid en de bedrijfsvoering is afwijkend van die van gangbare bedrijven door onder andere het niet mogen gebruiken van kunstmest;
- minimaal 5% van het areaal cultuurgrond betreft mais;
- gebruik van mest valt binnen gestelde grenzen (Van Duijnen et al., 2021).

Waarnemingen die niet voldoen aan de criteria in bijlage 2 van Van Duijnen et al. (2021), zijn niet meegenomen. De gegevens hebben betrekking op de jaren 2006 tot en met 2019.

Het aantal bedrijven waar nitraatconcentraties worden gemeten, is kleiner dan het aantal bedrijven waarvan de landbouwpraktijk wordt vastgelegd. Op bedrijfsniveau zijn nitraatconcentraties beschikbaar geweest voor dit onderzoek over de jaren 2006-2019. Deze gegevens berusten op analyses van mengmonsters (8 meetpunten per mengmonster) in het laboratorium. Op gewasniveau is, zoals ook al gemeld in paragraaf 1.2, gebruikgemaakt van Nitrachek-gegevens. Dit zijn gegevens per afzonderlijk meetpunt die ten aanzien van mais alleen goed beschikbaar zijn van melkveebedrijven op zandgrond over de periode 2009-2019. Tabel 3.1 vermeldt de aantallen bedrijven per jaar.

Tabel 3.1 Aantallen beschikbare bedrijven over de periode 2006-2019, voor geheel Nederland

Jaar	Aantal bedrijven met nutriëntenboekhouding voor stikstof	gemeten nitraatconcentraties	
		Bedrijf (mengmonster)	Mais (Nitrachek), melkvee zand
2006	213	189	
2007	212	195	
2008	211	198	
2009	211	182	79
2010	205	162	70
2011	215	150	79
2012	209	154	83
2013	216	160	86
2014	218	171	92
2015	210	171	93
2016	212	173	85
2017	217	184	77
2018	227	187	87
2019	224	190	90

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research en gegevens van RIVM.

Ten opzichte van de in Hoofdstuk 4 te gebruiken dataset zoals weergegeven in tabel 3.1 is voor de verklarende analyse (zie volgende paragraaf), op advies van het RIVM, de dataset beperkt tot de melkveebedrijven in de Zandregio voor de jaren 2009 tot en met 2019. Daardoor is eventueel analyse op puntniveau ten aanzien van de waterkwaliteit mogelijk. Het LMM is in eerste aanleg opgezet om uitspraken

te doen op het niveau van bedrijfstypen of gebieden en niet op bedrijfsniveau maar vanaf 2006 is het aantal waarnemingen uitgebreid in verband met de toen startende derogatie. Voor andere bedrijfstypen dan melkvee, regio's en jaren waren te weinig waarnemingen beschikbaar om de nitraatconcentraties zinvol op puntniveau via de Nitrachek-methode (RIVM, 2018) te kunnen analyseren: het aantal metingen van nitraatconcentraties bij mais per combinatie van bedrijf en jaar varieert van 1 tot 12 bij de melkveebedrijven in de zandregio in de jaren 2009 tot en met 2019. Bij de beschrijvende statistiek kan gebruik gemaakt worden van meer bedrijven en jaren omdat aparte maismonsters voor waterkwaliteit beschikbaar waren, alleen niet op puntniveau.

3.2 Methoden

De beschrijvende statistiek in Hoofdstuk 4 geeft gemiddelden weer van diverse kengetallen voor de verschillende jaren op nationaal niveau en voor de LMM-hoofdgrondsoortregio's (Zand, Klei, Veen en Löss). Ook wordt ingedeeld naar bedrijfstype en of de mais in vruchtwisseling of meer continu wordt geteeld. Verder is er nog een indeling naar gebruik van een groenbemester na de teelt van mais en de mate waarin deze groenbemester geslaagd is.

Nutriëntenboekhouding

De nutriëntenboekhouding geeft inzicht in de aanvoer en afvoer van nutriënten zoals stikstof en fosfor, en daarmee ook in het overschot (aanvoer – afvoer). Fosfor wordt vaak uitgedrukt in de chemische verbinding fosfaat (P_2O_5). Een nutriëntenboekhouding kan opgesteld worden voor een geheel bedrijf maar ook per gewas. Resultaten worden doorgaans uitgedrukt in kg per hectare. In dit hoofdstuk passen we de nutriëntenboekhouding toe op gewasniveau.

Voor de berekeningswijze van de gegevens in de nutriëntenboekhoudingen wordt verwezen naar bijlage B2.4 uit Van Duijnen et al. (2021). De stikstof- en fosfaatboekhoudingen worden op gewasniveau op een overeenkomstige wijze berekend als op bedrijfsniveau, al zijn er enkele verschillen. In tegenstelling tot de nutriëntenboekhouding op bedrijfsniveau wordt in de nutriëntenboekhouding op gewasniveau:

- vanaf 2010 ook de geschatte vrijkomende hoeveelheid stikstof vanuit groenbemesters als aanvoer meegenomen;
- de nettomineralisatie, vooral op veengronden maar ook op moerige gronden, niet meegenomen;
- bij mest gerekend met het gebruik van meststoffen en niet met alleen de aanvoer, de afvoer en de voorraadverschillen. Ook de mestproductie op het bedrijf zelf wordt verrekend;
- de gewasopbrengst in zijn geheel gezien als afvoerpost, ook als (een deel van) de gewasopbrengst op het bedrijf blijft;
- alleen de N-vervluchtiging (voornamelijk ammoniak) bij mesttoediening als afvoerpost meegenomen.

De gemiddelden, zoals die in de resultaten worden vermeld, zijn niet gewogen, noch naar oppervlakte noch naar stratum.

Nitraatconcentratie

De nitraatconcentratie bij mais is bepaald met de Nitrachek-methode (RIVM, 2018). Evenals de nutriëntengegevens zijn ook de gepresenteerde gemiddelde nitraatconcentraties niet gewogen naar oppervlakte of stratum. De nitraatconcentraties zijn alleen gemeten bij deelnemers aan het LMM. Deze beperking houdt in dat er aanzienlijk minder bedrijven beschikbaar zijn dan voor de nutriëntenboekhouding het geval is.

Paneldata

Er is een paneldataset gebruikt omdat de dataset meerdere jaren beslaat en eenzelfde bedrijf in meerdere jaren voor kan komen. In de verklarende analyse wordt daarom voor het schatten van de paneldatamodellen gebruik gemaakt van zowel het Fixed Effects (FE) model zoals beschreven in Baltagi (2021, pp. 16-20) als het Random Effects (RE) model zoals beschreven in Swamy en Arora (1972). Deze methode geeft de mogelijkheid te corrigeren voor verschillen tussen individuele bedrijven die niet verklaard kunnen worden met de beschikbare gegevens. De modelspecificatie is als volgt. Voor $n \in \mathbb{N}$ bedrijven over $T \in \mathbb{N}$ perioden hebben we nT observaties. Tenzij anders aangegeven, laat i de index zijn van de bedrijven die loopt van

1 tot n en t de index van de perioden die loopt van 1 tot T . De nT observaties zijn gevat in een paneldataset. Er is niet voor ieder bedrijf en iedere periode een observatie beschikbaar; in dat geval noemen we de paneldataset ongebalanceerd, anders gebalanceerd. We kunnen een paneldatamodel schatten met deze dataset waarbij we een afhankelijke, te verklaren variabele vatten in de $(nT \times 1)$ vector \mathbf{y} en de onafhankelijke, verklarende variabelen in de $(nT \times (1 + m))$ matrix $\mathbf{X} = (\mathbf{x}_1 \cdots \mathbf{x}_{m+1})$ met $\mathbf{x}_1 = (1 \cdots 1)$ de $(nT \times 1)$ vector van louter enen en waarbij de j^{de} variabele \mathbf{x}_j is, ofwel kolom j van \mathbf{X} . Van bedrijf i in periode t is \mathbf{y} genoteerd als \mathbf{y}_{it} . Zo ook voor \mathbf{X} : van bedrijf i in periode t is \mathbf{X} genoteerd als \mathbf{X}_{it} .

De modelspecificaties zijn van de vorm:

$$\mathbf{y}_{it} = f(\mathbf{X}_{it}) + \boldsymbol{\varepsilon}_{it} \quad (1)$$

met een nader te definiëren mapping $f : \mathbb{R}^{m+1} \mapsto \mathbb{R}$ en een foutterm $\boldsymbol{\varepsilon}_{it}$ waar, voor alle i en alle t , eenzelfde kansverdeling aan kan worden toegekend.

Het FE-model schat een constante in per bedrijf en/of periode. Constanten voor alleen de bedrijven of alleen de perioden is een eenzijdig FE-model; constanten voor bedrijven en perioden is een tweezijdig FE-model. Het FE-model met een constante voor ieder bedrijf is gedefinieerd als

$$f(\mathbf{X}_{it}) = \mathbf{X}_{it}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\alpha}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_{it} \quad (2)$$

ofwel

$$\mathbf{y}_{it} = \mathbf{X}_{it}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\alpha}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_{it}, \boldsymbol{\varepsilon}_{it} \sim \mathbb{N}(0, \sigma^2) \quad (3)$$

met $\boldsymbol{\beta}$ de te schatten $((1+m) \times 1)$ vector van modelcoëfficiënten en $\boldsymbol{\alpha} = (\boldsymbol{\alpha}_1, \dots, \boldsymbol{\alpha}_{n-1})$ de te schatten $((n-1) \times 1)$ vector met niet-geobserveerde, tijdsafhankelijke en individuele bedrijfscomponenten en variantie σ^2 .¹ De resulterende inschattingen zijn gegeven door, respectievelijk, $\hat{\boldsymbol{\beta}}$, $\hat{\boldsymbol{\alpha}}$ en $\hat{\sigma}^2$.

Een alternatief voor het FE-model is een RE-model. Als men wil aannemen dat de bedrijfsafhankelijke constanten $\boldsymbol{\alpha}_i$ onafhankelijk van elkaar en van de verklarende variabelen \mathbf{X}_{it} , en identiek een normale kansverdeling met een onbekende variantie volgen, i.e. $\boldsymbol{\alpha}_i \sim \mathbb{N}(0, \sigma_{\alpha}^2)$, dan zijn de geschatte modelcoëfficiënten $\boldsymbol{\beta}$ efficiëntere schatters dan de $\boldsymbol{\beta}$ van het FE-model zoals gedefinieerd in de vergelijking $\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}$. Dan wordt $\boldsymbol{\alpha}_i$ onderdeel van de foutterm; met het FE-model is dat alleen $\boldsymbol{\varepsilon}_{it}$. Vergelijking (1) wordt dan

$$\mathbf{y}_{it} = \mathbf{X}_{it}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\alpha}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_{it}, \boldsymbol{\alpha}_i \sim \mathbb{N}(0, \sigma_{\alpha}^2) \text{ en } \boldsymbol{\varepsilon}_{it} \sim \mathbb{N}(0, \sigma^2) \quad (4)$$

met \mathbf{X} en $\boldsymbol{\beta}$ als in vergelijking (2). Het schatten van $\boldsymbol{\beta}$, σ_{α}^2 en σ^2 gebeurt volgens de methode van Swamy en Arora (1972). De aanname dat de bedrijfsafhankelijke constanten $\boldsymbol{\alpha}_i$ onafhankelijk zijn van de verklarende variabelen baart vaak grote zorg bij econometrisch onderzoek. Deze aanname wordt meestal getest aan de hand van specificatietesten zoals de Hausman-test. Recent onderzoek wijst echter op enig misbruik van deze testen (Bell en Fairbrother, 2019). In dit onderzoek baseren wij de keuze voor het gebruik van het RE-model op sectorexpertise en gaan we er vanuit dat deze aanname stand houdt. Verder wordt er in Bell en Fairbrother (2019) opgemerkt dat de toename in efficiëntie van de RE-schattingen het in veel gevallen waard kan zijn het RE-model te gebruiken ten opzichte van het verlies in consistentie bij het gebruik van het FE-model.

Hoewel het RE-model een hogere efficiëntie heeft in het schatten van de coëfficiënten, geeft het FE-model betere schattingen in de aanwezigheid van endogene verklarende variabelen (Baltagi, 2021, p. 28). Voor dit onderzoek is dat van belang omdat er wellicht simultane effecten plaats kunnen vinden tussen \mathbf{y}_{it} en \mathbf{X}_{it} . Bijvoorbeeld berekening zou beïnvloed kunnen worden door de groei van maïs als een ondernemer besluit meer te beregenen naar aanleiding van slecht groeiende maïs. Dit zou potentieel onterechte negatieve relaties tussen berekening en gewasopbrengst kunnen weergeven. Daarom is er gekozen voor de FE-

¹ Om perfecte lineaire multicollineariteit te vermijden, dient een van de $\boldsymbol{\alpha}_i$ te zijn uitgesloten in regressievergelijking (2). Hier is gekozen om $\boldsymbol{\alpha}_n$ uit te sluiten; elke andere $\boldsymbol{\alpha}_i$ geeft impliciet dezelfde resultaten.

modellering in de analyse naar gewasopbrengsten van maïs. Voor de overige twee analyses (stikstofbodemoverschot en nitraatconcentratie) zal het RE-model worden gebruikt, aangezien er dan geen simultane effecten zijn te verwachten. Hierbij baseren we ons op de aanname dat een bedrijf zich niet bewust is van het stikstofbodemoverschot of de nitraatconcentratie in het grondwater en er daardoor geen besluiten worden genomen in hetzelfde jaar op basis van deze gegevens.

Verder wordt er in alle drie de modellen gebruikgemaakt van robuuste standaardfouten, namelijk de HC3 die wordt aangeraden door simulatiestudies met weinig observaties (Long en Ervin, 2000). Deze vorm van standaardfouten schatten corrigeert voor de potentiële aanwezigheid van heteroscedasticiteit. Hierbij neemt de variantie van de voorspelde doelvariabele af of toe bij een verandering van de waarde van één of meerdere verklarende variabelen. Dit is een overtreding van de constante variantieaanname en kan leiden tot het trekken van verkeerde conclusies.

4 Beschrijving nutriëntenboekhoudingen en nitraatconcentraties

In dit hoofdstuk wordt met behulp van tabellen beschreven hoe de teelt van mais eruitziet in Nederland sinds de introductie van het stelsel van gebruiksnormen in 2006. Sinds die invoering is het mestbeleid niet ingrijpend gewijzigd.

4.1 Resultaten voor geheel Nederland

4.1.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken

Tabel 4.1 geeft aan dat het aantal waarnemingen, waarop de nutriëntenboekhoudingen in dit hoofdstuk zijn gebaseerd, schommelde tussen 205 en 227 bedrijven. Zij hadden, in de loop van de tijd, een toenemende gemiddelde oppervlakte van 61 tot 77 ha, waarvan 22-28% snijmais. Het aantal bedrijven waarop nitraatconcentraties bij mais zijn gemeten, lag tussen 89 en 132.

4.1.2 Stikstofboekhouding

Tabel 4.2 toont de ontwikkelingen in de stikstofboekhouding gedurende de periode 2006-2019. De stikstofaanvoer via meststoffen, depositie en overige vormen van aanvoer is gedurende deze periode nagenoeg gelijk gebleven. Wel was er in de jaren 2008-2012 een beperkte daling in het gebruik van dierlijke mest. Vanaf 2010 wordt bij gewassen, waarbij voorafgaand een groenbemester is geteeld, een forfaitaire nalevering van stikstof ingerekend: de opbrengst aan stikstof van groenbemesters wordt gezien als bemesting voor het daaropvolgende gewas. Deze nalevering is afhankelijk van de soort groenbemester, het moment van onderwerken en de stikstofgift op de groenbemester. In de jaren 2006-2009 werd deze aanvoerpost niet meegenomen.

De productie van stikstof varieerde tussen 173 en 204 kg per ha zonder een duidelijke trend. Omdat noch aanvoer noch afvoer duidelijke trends vertonen, is er in de ontwikkeling van de stikstofoverschotten bij mais in de periode 2006-2019 ook geen duidelijke ontwikkeling waarneembaar. De melkveebedrijven op zandgrond hadden doorgaans wat hogere stikstofoverschotten dan alle bedrijven samen.

Tabel 4.1 Ontwikkeling van het aantal beschikbare bedrijven, de oppervlakte cultuurgrond per bedrijf (in ha) en het aandeel mais (in %) van bedrijven met mais over de periode 2006-2019

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Aantal bedrijven met nutriëntenboekhouding voor stikstof	213	212	211	211	205	215	209	216	218	210	212	217	227	224
Oppervlakte bedrijf in ha	60,72	60,85	61,53	63,05	68,12	66,97	67,47	67,90	66,95	67,58	71,03	73,16	74,56	76,70
Aandeel mais in procenten	23,3	23,8	25,2	24,9	24,7	25,3	26,0	27,6	25,5	23,5	22,1	22,7	22,4	22,6
Aantal bedrijven met gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse	189	195	198	182	162	150	154	160	171	171	173	184	187	190
Aantal melkveebedrijven op zandgrond met gemeten nitraat-concentraties via Nitrachek bij mais				79	70	79	83	86	92	93	85	77	87	90

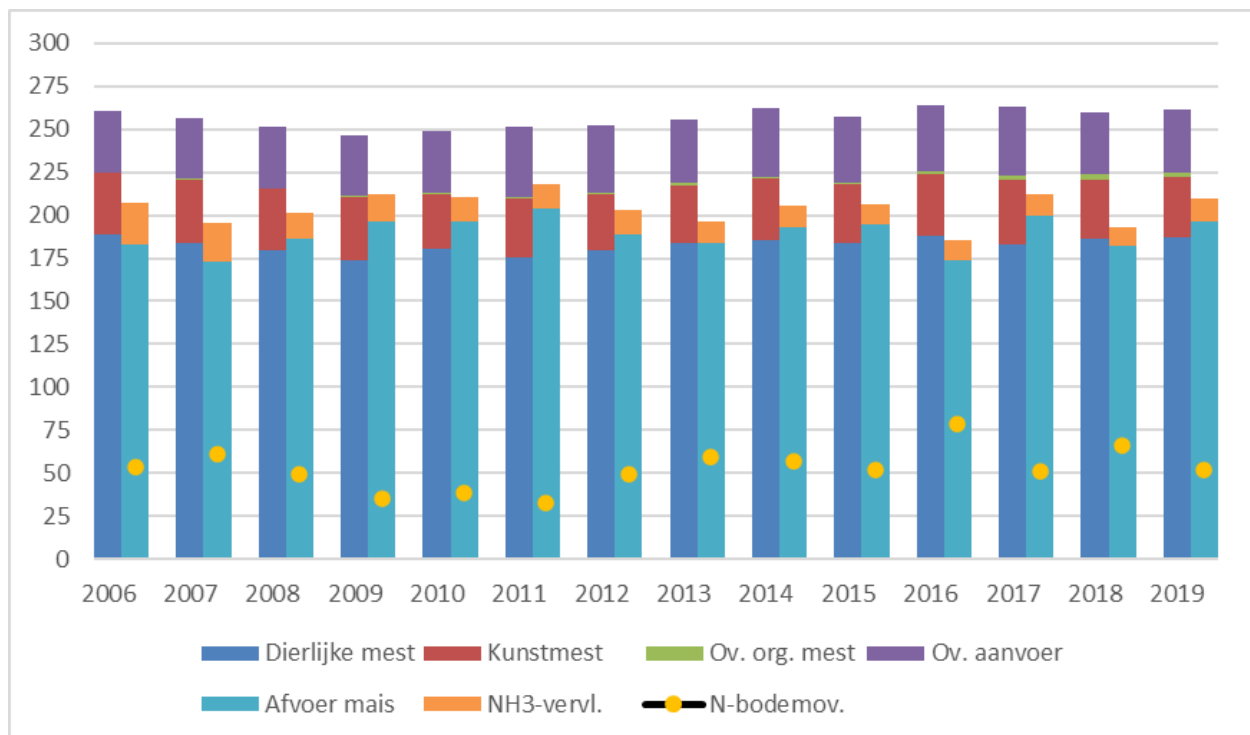
Bron: RIVM en Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Tabel 4.2 Ontwikkeling van de stikstofboekhouding op bodemniveau voor mais over de periode 2006-2019

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Aanvoer stikstof in kg/ha														
Kunstmest	36,0	37,1	36,0	36,5	32,1	34,2	33,0	33,4	35,8	34,0	36,1	37,7	34,7	34,8
Dierlijke mest	188,8	183,5	179,3	174,0	180,5	175,6	179,3	184,2	185,6	183,9	188,1	183,1	186,1	187,1
Ov. organische mest	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	0,9	1,2	1,3	2,2	3,3	3,0
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie	32,6	32,3	32,6	32,2	25,2	30,0	27,2	24,7	25,5	23,2	23,7	24,1	21,7	21,7
Stikstofbinding	3,1	3,3	3,1	3,4	2,9	3,0	3,0	2,7	2,6	3,2	3,0	2,8	3,0	3,0
Overige	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	7,3	9,0	9,2	12,2	12,2	11,9	13,3	10,9	12,0
Totaal	260,8	256,6	251,3	246,7	248,9	251,1	252,5	255,6	262,6	257,7	264,2	263,2	259,6	261,6
Afvvoer stikstof totaal in kg/ha														
	182,8	172,7	186,6	196,5	196,2	203,7	188,6	184,1	193,1	194,6	173,8	200,0	181,8	196,7
Overschot stikstof in kg/ha														
Overschot	78,0	84,0	64,7	50,2	52,7	47,4	63,8	71,6	69,5	63,1	90,4	63,1	77,8	64,9
Vervluchtiging gewas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vervluchtiging mest	24,6	22,9	15,1	15,4	14,1	14,7	14,3	11,9	12,8	11,4	12,0	12,5	11,4	13,2
Bodemoverschot alle bedrijven	53,4	61,1	49,7	34,8	38,6	32,7	49,6	59,6	56,7	51,7	78,4	50,7	66,3	51,6
Idem, melkveebedrijven op zand				39,1	50,9	44,8	60,2	62,0	66,3	60,1	71,4	49,4	72,7	48,3

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

In figuur 4.1 zijn de ontwikkelingen in de stikstofboekhouding weergegeven. Hier is ook af te lezen dat er geen duidelijke trends zichtbaar zijn in de aanvoer en afvoer van stikstof bij mais.



Figuur 4.1 Opbouw stikstofboekhouding voor mais over de periode 2006-2019 in kg N per ha

Tabel 4.3 toont de werkzame hoeveelheid stikstof, gebaseerd op de forfaitaire werkingscoëfficiënten (RVO). Voor kunstmeststikstof is deze 100% en voor andere meststoffen is deze afhankelijk van mestsoort, grondsoort en uitrijperiode. Bovendien heeft de wetgever diverse werkingscoëfficiënten voor verschillende soorten dierlijke mest gedurende de periode 2006-2019 verhoogd met als oogmerk een efficiënt gebruik van de dierlijke mest te bevorderen. Daardoor is de wettelijke hoeveelheid werkzame stikstof uit dierlijke mest in de onderzoeksperiode toegenomen van gemiddeld circa 80 kg per ha naar circa 95 kg per ha.

De wettelijke gebruiksnormen zijn sinds 2006 aangescherpt van gemiddeld 161 kg stikstof per ha naar gemiddeld 141 kg stikstof per ha in 2019. De gemiddelde ruimte tussen de gebruiksnorm en de toegediende hoeveelheid werkzame stikstof is in deze periode afgenomen van circa 45 kg per ha tot circa 10 kg per ha. Bij toetsing aan de gebruiksnormen wordt de vergelijking tussen gebruik en gebruiksnorm gemaakt op bedrijfsniveau en niet op gewasniveau. De resterende ruimte bij mais biedt in de laatste jaren maar heel beperkt soelaas voor andere gewassen: in die zin lijken bij mais het stikstofgebruik en de stikstofgebruiksnorm momenteel goed bij elkaar aan te sluiten maar onbekend is of ondernemers extra stikstof aan mais toebedelen of juist aan een ander gewas. De ondernemer zet in principe 1 kg stikstof in bij dat gewas waar die kg stikstof naar zijn verwachting het best rendeert.

4.1.3 Fosfaatboekhouding

Fosfaat heeft een veel minder direct verband met de nitraatconcentratie dan stikstof maar indirect kan fosfaat de stikstofbemesting wel beïnvloeden. Fosfaatgebruiksnormen kunnen voor sommige bedrijven beperkender zijn in het gebruik van dierlijke mest dan de gebruiksnorm dierlijke mest (de stikstofgebruiksnormen zijn altijd minder beperkend in het gebruik van dierlijke mest dan de gebruiksnorm dierlijke mest).

In tabel 4.4 is te zien dat de fosfaatbemesting op mais is teruggelopen van meer dan 90 kg per ha in 2006 naar ruim 60 kg per ha in 2019. Deze afname werd vooral veroorzaakt door een teruglopende kunstmestgift terwijl via dierlijke mest ook minder fosfaat werd toegediend. De productie van fosfaat is niet wezenlijk veranderd in de periode 2006-2019 zodat het fosfaatoverschot in dezelfde orde van grootte daalde, met circa 30 kg per ha, als de fosfaatbemesting. Omdat de hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest niet echt is gedaald (tabel 4.2), lijkt de verhouding stikstof/fosfaat in de gebruikte dierlijke mest iets te zijn toegenomen.

Tabel 4.3 Ontwikkeling van de hoeveelheid werkzame stikstof in kg per ha voor mais over de periode 2006-2019

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Wettelijk werkzaam kunstmest	36,0	37,1	36,0	36,5	32,1	34,2	33,0	33,4	35,8	34,0	36,1	37,7	34,7	34,8
Wettelijk werkzaam dierlijke mest	79,6	78,1	89,6	88,3	93,8	92,0	94,8	97,3	97,4	95,1	96,9	95,2	94,2	95,1
Wettelijk werkzaam overige organische mest	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,4
Wettelijk werkzaam totaal	115,7	115,5	125,6	124,9	126,0	126,4	128,2	130,9	133,4	129,3	133,2	133,3	129,5	130,3
Wettelijke gebruiksnorm	160,6	155,6	158,8	153,2	153,4	153,9	145,9	146,7	146,2	139,7	139,8	140,9	140,7	140,5

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Tabel 4.4 Ontwikkeling van de fosfaatboekhouding voor mais over de periode 2006-2019

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Aanvoer fosfaat in kg/ha														
Kunstmest	23,3	20,8	18,7	13,3	11,6	11,5	10,5	10,6	8,9	2,5	1,5	2,3	1,9	1,8
Dierlijke mest	71,2	69,5	69,6	66,8	67,7	66,1	66,3	66,6	68,6	64,4	63,4	60,5	58,8	60,6
Ov. organische mest	0,3	0,8	0,2	0,2	0,2	0,6	0,5	1,1	0,5	1,0	0,7	1,2	1,7	2,0
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Overige	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,7	0,3	0,6	0,6	0,7	1,6	0,6	0,9
Totaal	94,8	91,1	88,5	80,3	79,9	78,4	78,0	78,7	78,7	68,6	66,3	65,7	62,9	65,2
Afvoer fosfaat totaal in kg/ha														
	67,6	65,8	70,5	73,9	73,1	75,2	74,9	68,9	81,1	74,8	73,2	74,5	67,3	67,2
Overschot fosfaat in kg/ha														
	27,3	25,3	18,1	6,4	6,8	3,2	3,1	9,8	-2,4	-6,2	-6,9	-8,8	-4,4	-2,0

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Tabel 4.5 Ontwikkeling van de nitraatconcentratie bij bedrijven met mais over de periode 2006-2019 in mg/l

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mais via Nitrachek-methode bij melkveebedrijven op zandgrond				89,1	73,1	79,7	75,8	88,8	74,2	60,0	59,7	59,2	58,1	71,9
Bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse melkveebedrijven op zand				47,8	45,5	40,2	44,7	48,2	45,2	35,9	29,8	37,7	42,0	53,9
Bedrijfsniveau alle bedrijven via laboratoriumanalyse	54,7	41,5	45,8	49,0	42,0	34,6	38,1	42,8	40,4	31,8	28,4	35,4	48,7	51,0

Bron: RIVM.

Figuur 4.2 geeft deze ontwikkelingen ten aanzien van de fosfaatboekhouding bij mais grafisch weer.

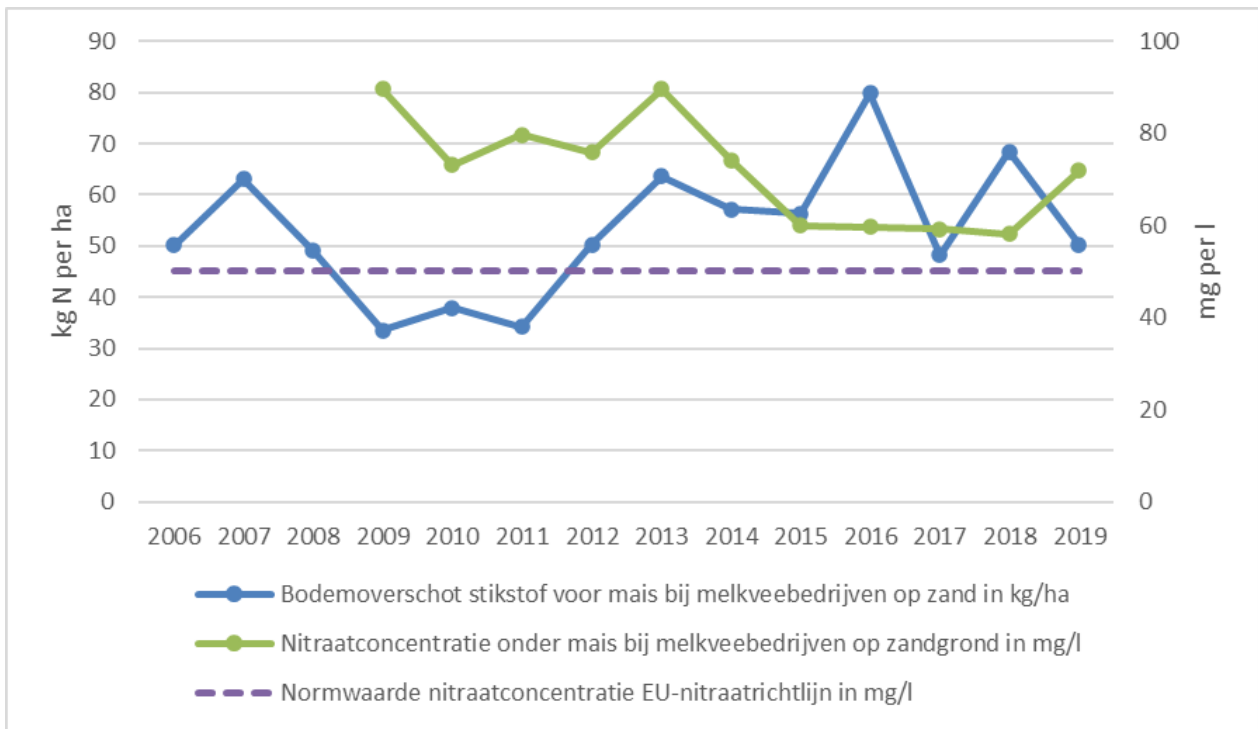


Figuur 4.2 Opbouw fosfaatboekhouding van mais over de periode 2006-2019 in kg P₂O₅ per ha

4.1.4 Nitraatconcentraties

Voor de jaren 2009-2019 waren alleen de nitraatconcentraties onder maispercelen beschikbaar voor melkveebedrijven op zandgrond. Op bedrijfsniveau waren deze beschikbaar voor de jaren 2006-2019. Tabel 4.5 laat zien dat de nitraatconcentratie onder maispercelen, vastgesteld met de Nitrachek-methode, in de beschouwde periode enigszins varieerde maar over de gehele periode gezien is gedaald van waarden rond 80 mg/l in 2009-2014 naar waarden rond 60 mg/l in 2015-2018. In 2019 liep de nitraatconcentratie weer op, mogelijk een gevolg van droogte. In de periode 2006-2016 daalde de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau, gebaseerd op laboratoriumanalyses van mengmonsters, van 55 mg/l in 2006 naar 28 mg/l in 2016. In alle jaren van de periode 2009-2019 was de nitraatconcentratie onder maispercelen bij melkveebedrijven op zandgrond hoger dan die op bedrijfsniveau. In de meeste jaren van de periode 2009-2019 was de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau bij melkveebedrijven op zandgrond wat hoger dan die bij alle bedrijven, vooral doordat bij alle bedrijven ook bedrijven op klei- en veengrond zitten: op deze gronden zijn de nitraatconcentraties meestal aanzienlijk lager.

In figuur 4.3 is te zien dat bij melkveebedrijven op zand, met 53% van het totale aantal bedrijven in dit onderzoek de grootste groep qua combinatie van bedrijfstype en grondsoort, het bodemoverschot voor stikstof bij mais niet echt daalt terwijl de nitraatconcentratie onder maispercelen wel afneemt. In het volgende hoofdstuk zal voor mais de relatie tussen het bodemoverschot voor stikstof en de nitraatconcentratie nader onderzocht worden.



Figuur 4.3 Bodemoverschot stikstof en nitraatconcentratie voor mais bij melkveebedrijven op zandgrond in de periode 2009-2019

4.2 Resultaten per grondsoortregio

Voor het LMM is Nederland opgedeeld in vier grondsoortregio's: zand, klei, veen en löss. Deze regio's zijn samengesteld op basis van de viercijferige postcodes. De meest voorkomende grondsoort in een postcodegebied bepaalt in welke regio dit postcodegebied terecht komt. In bijvoorbeeld de Zandregio komt voornamelijk zandgrond voor en hebben veel bedrijven alleen zandgrond, maar een aantal bedrijven in deze regio heeft een deel van het land op een andere grondsoort liggen: in theorie kan een bedrijf in de Zandregio zelfs al het land op een andere grondsoort hebben liggen dan zandgrond.

In deze paragraaf worden de uitkomsten gegeven naar de vier grondsoortregio's waarbij steeds de jaren 2006 tot en met 2019 zijn gemiddeld.

4.2.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken

Tabel 4.6 laat zien dat de meeste steekproefbedrijven in de Zandregio lagen, gevolgd door respectievelijk de Klei-, Veen- en Lössregio. In de Zand- en Lössregio was de bedrijfsoppervlakte kleiner dan in de Klei- en Veenregio, maar werd wel op een groter deel van de oppervlakte snijmais verbouwd. De aantallen bedrijven betreffen het gemiddelde aantal bedrijven per jaar. Bij de gemiddelden is eerst per jaar gemiddeld en daarna is gemiddeld over deze jaargemiddelden. Daardoor is het aantal gebruikte waarnemingen steeds hoger dan het minimum van 10.

Tabel 4.6 Aantal beschikbare bedrijven, de oppervlakte cultuurgrond per bedrijf (in ha) en het aandeel mais (in %) van bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier grondsoortregio's

	Zand	Klei	Veen	Löss	Nederland
Aantal bedrijven met nutriëntenboekhouding voor stikstof	133	43	23	16	214
Oppervlakte bedrijf in ha	61,01	82,61	83,64	59,81	67,61
Aandeel mais in procenten	26,8	20,2	17,3	23,7	24,3
Aantal bedrijven met gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse 2006-2019	120	35	22	15	193
Aantal melkveebedrijven op zandgrond met gemeten nitraatconcentraties via Nitramek bij mais 2009-2019	84				

Bron: RIVM en Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.2.2 Stikstofboekhouding

In tabel 4.7 is te zien dat in de Veenregio de aanvoer van stikstof afweek van die in de andere gebieden. De oorzaak daarvan is vooral extra binding van stikstof door vlinderbloemigen die circa 8 kg stikstof per ha hoger was dan gemiddeld in de andere gebieden. De stikstofproductie was in de Veenregio juist lager dan elders zodat de overschotten op bedrijfsniveau gemiddeld hoger waren. Een hogere vervluchtiging van stikstof uit mest in de Veenregio zorgde voor een iets lager stikstofbodemoverschot dan in de Zand- en Lössregio. De Kleiregio kende het laagste stikstofbodemoverschot door een relatief hoge opbrengst en een aanzienlijke vervluchtiging van stikstof uit mest.

Tabel 4.7 Stikstofboekhouding op bodemniveau voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier grondsoortregio's

	Zand	Klei	Veen	Löss	Nederland
Aanvoer stikstof in kg/ha					
Kunstmest	31,6	47,4	30,7	35,9	35,1
Dierlijke mest	182,4	178,7	193,1	183,8	182,8
Ov. Organische mest	1,5	0,8	0,3	1,6	1,2
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie	27,5	25,2	24,8	29,0	26,9
Stikstofbinding	2,6	0,9	11,4	0,0	3,0
Overige	9,5	2,3	4,4	10,1	7,6
Totaal	255,2	255,3	264,6	260,5	256,6
Afvvoer stikstof totaal in kg/ha					
	188,5	192,6	186,4	192,9	189,4
Overschot stikstof in kg/ha					
Bedrijfsoverschot	66,7	62,7	78,2	67,6	67,2
Vervluchtiging gewas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vervluchtiging mest	11,8	19,4	24,6	12,3	14,7
Bodemoverschot alle bedrijven	55,0	43,3	53,6	55,3	52,5
Idem, melkveebedrijven op zand	56,8				

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

In alle grondsoortregio's bleef het gebruik van stikstof op mais onder de stikstofgebruiksnormen voor mais. In de Veenregio was het verschil tussen de wettelijke norm en de forfaitaire hoeveelheid werkzame stikstof met ongeveer 27 kg stikstof per ha het grootst, gevolgd door de Kleiregio met een verschil van 25 kg stikstof per ha. In de Zandregio was het verschil 20 kg stikstof per ha en in de Lössregio 13 kg stikstof per ha.

Tabel 4.8 Hoeveelheid werkzame stikstof in kg per ha voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier grondsoortregio's

	Zand	Klei	Veen	Löss	Nederland
Wettelijk werkzaam kunstmest	31,6	47,4	30,7	35,9	35,1
Wettelijk werkzaam dierlijke mest	92,8	88,8	94,7	89,4	92,0
Wettelijk werkzaam overige organische mest	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3
Wettelijk werkzaam totaal	124,7	136,4	125,5	125,5	127,3
Wettelijke gebruiksnorm	144,5	161,2	152,1	138,3	148,3

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.2.3 Fosfaatboekhouding

Tabel 4.9 laat zien dat ook het gemiddelde fosfaatoverschot in de Veenregio en de Lössregio hoger was dan elders. De oorzaak hiervoor was de hogere fosfaatbemesting in de vorm van dierlijke mest.

Tabel 4.9 Fosfaatboekhouding voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier grondsoortregio's

	Zand	Klei	Veen	Löss	Nederland
Aanvoer fosfaat in kg/ha					
Kunstmest	9,0	12,1	11,8	9,5	10,0
Dierlijke mest	65,9	63,8	67,0	67,9	65,7
Ov. Organische mest	1,0	0,4	0,1	1,0	0,8
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Overige	0,4	0,3	0,2	2,1	0,5
Totaal	76,3	76,6	79,1	80,5	76,5
Afvoer fosfaat totaal in kg/ha					
	70,8	75,9	71,4	72,9	72,0
Overschot fosfaat in kg/ha					
	5,5	0,7	7,6	7,6	4,9

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.2.4 Nitraatconcentraties

Tabel 4.10 geeft aan dat de nitraatconcentraties in de Zand- en Lössregio fors hoger waren dan die in de Kleiregio en vooral de Veenregio. Gemiddeld zaten de nitraatconcentraties in de Klei- en Veenregio duidelijk onder de 50 mg nitraat per liter terwijl de nitraatconcentraties in de Lössregio daarboven zaten. De Zandregio zat op bedrijfsniveau gemiddeld over de jaren 2006-2016 net onder de 50 mg/l.

Tabel 4.10 Nitraatconcentratie bij bedrijven met mais, gemiddeld voor de vier grondsoortregio's in mg/l

	Zand	Klei	Veen	Löss	Nederland
Mais via Nitrachek-methode bij melkveebedrijven op zandgrond 2009-2019					
	71,8				
Bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse melkveebedrijven op zand 2009-2019					
	42,2				
Bedrijfsniveau alle bedrijven via laboratoriumanalyse 2006-2019					
	50,3	25,4	14,2	64,9	41,7

Bron: RIVM.

4.3 Resultaten per bedrijfstype

Naast de indeling in vier grondsoortregio's heeft het LMM ook een indeling in vier bedrijfstypen: akkerbouw, melkvee, staldieren (onder andere varkens en pluimvee) en overig dieren (gemengde bedrijfstypen waar in elk geval vee wordt gehouden). Om deel uit te kunnen maken van het LMM moeten bedrijven minimaal 10 ha cultuurgrond 'in de open grond' hebben.

Gemiddeld blijken er per jaar slechts vijf akkerbouwbedrijven en negen staldierbedrijven te zijn met minimaal vijf ha mais. Het blijkt echter bij beide bedrijfstypen om meer dan 10 verschillende bedrijven te gaan in de loop van de jaren: 10 waarnemingen is het minimum aantal waarnemingen in een groep dat benodigd is om gemiddelden van die groep te mogen publiceren. Daarom kunnen resultaten van alle vier bedrijfstypen weergegeven worden. Dit geldt ook voor de gemeten nitraatconcentraties bij mais.

4.3.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken

Tabel 4.11 laat zien dat de staldierbedrijven het kleinst waren in bedrijfsoppervlak maar het aandeel van snijmais was op deze bedrijven het hoogst. De aantallen bedrijven betreffen het gemiddelde aantal bedrijven per jaar. Bij de gemiddelden is eerst per jaar gemiddeld en daarna is gemiddeld over deze jaargemiddelden.

Tabel 4.11 Het aantal beschikbare bedrijven, de oppervlakte cultuurgrond per bedrijf (in ha) en het aandeel mais (in %) van bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier bedrijfstypen

	akkerbouw	melkvee	staldier	overige dieren	Nederland
Aantal bedrijven met nutriëntenboekhouding voor stikstof	5	183	9	18	214
Oppervlakte bedrijf in ha	102,33	68,63	36,95	62,48	67,61
Aandeel mais in procenten	29,1	22,2	48,4	32,2	24,3
Aantal bedrijven met gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse 2006-2019	4	172	4	13	193
Aantal melkveebedrijven op zandgrond met gemeten nitraatconcentraties via Nitrachek bij mais 2009-2019		84			

Bron: RIVM en Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.3.2 Stikstofboekhouding

Het stikstofoverschot op staldierbedrijven was gemiddeld hoger dan bij de andere bedrijfstypen (tabel 4.12). Dat komt vooral omdat op staldierbedrijven gemiddeld meer stikstof uit dierlijke mest werd toegediend. De kunstmestgift was daarentegen het laagst op de staldierbedrijven. De stikstofproductie was het laagst bij de akkerbouwbedrijven maar deze bedrijven dienden ook de minste stikstof via mest toe.

Bij de overige bedrijven kwam het stikstofoverschot lager uit dan bij de andere bedrijfstypen. Dat kwam vooral omdat op deze bedrijven een lagere stikstofbemesting gepaard ging met een hogere stikstofproductie.

Tabel 4.12 Stikstofboekhouding op bodemniveau voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor akkerbouw-, melkvee-, staldier- en overige dierbedrijven

	akkerbouw	melkvee	staldier	overige dieren	Nederland
Aanvoer stikstof in kg/ha					
Kunstmest	37,7	35,6	20,5	35,1	35,1
Dierlijke mest	149,6	184,7	203,7	160,4	182,8
Ov. organische mest	7,2	1,0	3,1	1,2	1,2
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie	26,9	26,6	28,8	28,7	26,9
Stikstofbinding	2,4	3,2	2,0	1,4	3,0
Overige	5,9	7,5	12,4	6,1	7,6
Totaal	229,7	258,8	270,5	232,9	256,6
Afvoer stikstof totaal in kg/ha					
	169,5	190,8	183,8	182,8	189,4
Overschot stikstof in kg/ha					
Bedrijfsoverschot	60,2	68,0	86,7	50,1	67,2
Vervluchtiging gewas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vervluchtiging mest	9,7	15,0	13,9	13,5	14,7
Bodemoverschot alle bedrijven	50,5	53,0	72,8	36,7	52,5
Idem, melkveebedrijven op zand		56,8			

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Tabel 4.13 geeft aan dat mais bij alle bedrijfstypen gemiddeld minder werkzame stikstof kreeg toegediend dan de stikstofgebruiksnorm toeliet. Het verschil was het kleinst bij de staldierbedrijven onder andere omdat een hogere werkingscoëfficiënt wordt toegekend aan varkensdrijfmest bij toediening op zand- en lössgrond dan aan andere mestsoorten. De meeste staldierbedrijven zijn gelegen in de Zandregio en daarmee vaak op zandgrond.

Tabel 4.13 Hoeveelheid werkzame stikstof in kg per ha voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier bedrijfstypen

	akkerbouw	melkvee	staldier	overige dieren	Nederland
Wettelijk werkzaam kunstmest	37,7	35,6	20,5	35,1	35,1
Wettelijk werkzaam dierlijke mest	92,3	91,1	122,6	85,4	92,0
Wettelijk werkzaam overige organische mest	0,8	0,2	0,6	0,5	0,3
Wettelijk werkzaam totaal	130,0	126,7	143,1	120,5	127,3
Wettelijke gebruiksnorm	153,5	148,1	147,0	149,4	148,3

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.3.3 Fosfaatboekhouding

Het fosfaatoverschot varieerde tussen de bedrijfstypen van 3 kg fosfaat per ha op melkveebedrijven tot 32 kg fosfaat per ha op staldierbedrijven (tabel 4.14). Dit verschil is vooral terug te leiden tot de fosfaatbemesting, vooral door de fosfaatgift via dierlijke mest, die op staldierbedrijven ongeveer 30% hoger was dan die op melkveebedrijven. Ook voerden de melkveebedrijven de meeste fosfaat per ha af via de geoogste mais.

Tabel 4.14 Fosfaatboekhouding voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier bedrijfstypen

	akkerbouw	melkvee	staldier	overige dieren	Nederland
Aanvoer fosfaat in kg/ha					
Kunstmest	8,1	10,2	5,6	9,9	10,0
Dierlijke mest	71,8	64,3	91,3	65,2	65,7
Ov. organische mest	4,3	0,6	1,2	1,1	0,8
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Overige	1,3	0,4	2,5	0,5	0,5
Totaal	85,5	75,5	100,6	76,6	76,5
Afvoer fosfaat totaal in kg/ha	61,7	72,6	68,9	69,7	72,0
Overschot fosfaat in kg/ha	23,8	2,9	31,7	6,9	4,9

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.3.4 Nitraatconcentraties

Tabel 4.15 geeft aan dat de nitraatconcentraties het hoogst waren bij akkerbouwbedrijven en het laagst bij melkveebedrijven. Dit bedrijfstype had ook het laagste aandeel maisland in het bouwplan (tabel 4.11) en daarnaast veel grasland.

Tabel 4.15 Nitraatconcentratie bij bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor de vier bedrijfstypen in mg/l

	akkerbouw	melkvee	staldier	overige dieren	Nederland
Mais via Nitrachek-methode bij melkveebedrijven op zandgrond 2009-2019		71,8			
Bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse melkveebedrijven op zand 2009-2019		42,2			
Bedrijfsniveau alle bedrijven via laboratoriumanalyse 2006-2019	79,7	38,1	70,2	65,0	41,6

Bron: RIVM.

4.4 Resultaten per vorm van vruchtwisseling

Sommige maistelers telen jaren achtereen mais op dezelfde percelen: min of meer een continueelt van mais. Andere maistelers wisselen de teelt van mais af met grasland en/of andere gewassen. In dit onderzoek vallen percelen met mais onder continueelt als op een perceel 5 jaar of langer achtereen mais wordt geteeld. Bij maximaal 4 jaar achtereen mais op hetzelfde perceel is er vruchtwisseling ofwel wisselbouw. Op één en hetzelfde bedrijf kunnen zowel maispercelen met continueelt van mais als percelen met mais in wisselbouw voorkomen. Soms zal een perceel met minder dan 5 jaar achtereen, in de toekomst veranderen in een perceel met continueelt als de teler besluit om op het betreffende perceel niet meer te wisselen van gewas. Bij 50% of meer van de oppervlakte mais in continueelt valt een bedrijf in de groep 'continueelt', anders in de groep 'wisselbouw'.

4.4.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken

Tabel 4.16 tot en met 4.20 omvatten minder bedrijven dan de voorgaande 10 tabellen 4.6 tot en met 4.15. In alle jaren 2006-2019 was bij een aantal bedrijven de vruchtwisseling niet vastgelegd waardoor het totaal aantal bedrijven zakt van 214 naar 192. Ongeveer twee derde van de bedrijven heeft meer dan de helft van

de oppervlakte mais in continueelt en ongeveer een derde teelt mais voornamelijk in wisselbouw. In bedrijfsoppervlak en aandeel mais verschillen de 2 groepen nauwelijks.

Tabel 4.16 Aantal beschikbare bedrijven, de oppervlakte cultuurgrond per bedrijf (in ha) en het aandeel mais (in %) van bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor continueelt dan wel wisselbouw van mais

	continueelt	wisselbouw	Nederland
Aantal bedrijven met nutriëntenboekhouding voor stikstof	132	60	192
Oppervlakte bedrijf in ha	64,75	68,70	65,99
Aandeel mais in procenten	25,5	25,3	25,5
Aantal bedrijven met gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse 2006-2019	170	23	193
Aantal melkveebedrijven op zandgrond met gemeten nitraatconcentraties via Nitrachek bij mais 2009-2019	63	21	84

Bron: RIVM en Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.4.2 Stikstofboekhouding

Het stikstofoverschot op bedrijven met vooral continueelt van mais was gemiddeld hoger dan bij de bedrijven met vooral wisselbouw (tabel 4.17). Dat kwam vooral omdat op de bedrijven met continueelt gemiddeld meer stikstof uit dierlijke mest werd toegediend terwijl de afvoer van stikstof juist lager was. De hogere gift van dierlijke mest leidde ook tot meer ammoniakemissie maar de hogere ammoniakemissie bij de bedrijven met continueelt kan ook ontstaan zijn door technieken van mestaanwending met minder reductie van de ammoniakemissie.

Tabel 4.17 Stikstofboekhouding op bodemniveau voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor continueelt dan wel wisselbouw van mais

	continueelt	wisselbouw	Nederland
Aanvoer stikstof in kg/ha			
Kunstmest	35,1	35,0	35,1
Dierlijke mest	186,5	176,8	183,5
Ov. organische mest	0,7	1,9	1,1
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0
Depositie	27,3	27,0	27,2
Stikstofbinding	2,9	3,3	3,0
Overige	8,7	6,4	8,0
Totaal	261,3	250,4	257,9
Afvoer stikstof totaal in kg/ha			
	187,6	194,1	189,6
Overschot stikstof in kg/ha			
Bedrijfsoverschot	73,7	56,2	68,2
Vervluchtiging gewas	0,0	0,0	0,0
Vervluchtiging mest	15,5	14,1	15,1
Bodemoverschot alle bedrijven	58,1	42,2	53,1
Idem, melkveebedrijven op zand	63,3	39,5	56,8

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Tabel 4.18 laat zien dat mais bij de beide vormen van vruchtwisseling gemiddeld minder werkzame stikstof kreeg toegediend dan de stikstofgebruiksnorm toeliet. De verschillen tussen beide groepen met betrekking tot de kengetallen in tabel 4.18 zijn klein tot nihil.

Tabel 4.18 Hoeveelheid werkzame stikstof in kg per ha voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor continueelt en wisselbouw van mais

	continueelt	wisselbouw	Nederland
Wettelijk werkzaam kunstmest	35,1	35,0	35,1
Wettelijk werkzaam dierlijke mest	92,5	89,3	91,5
Wettelijk werkzaam overige organische mest	0,2	0,3	0,2
Wettelijk werkzaam totaal	127,6	124,4	126,6
Wettelijke gebruiksnorm	148,1	148,7	148,3

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.4.3 Fosfaatboekhouding

Het fosfaatoverschot was 7 kg fosfaat per ha voor de bedrijven met vooral continueelt van mais en 2 kg fosfaat per ha voor de bedrijven met vooral maisteelt in wisselbouw (tabel 4.19). Dit verschil is vooral terug te leiden tot het verschil in de afvoer van fosfaat.

Tabel 4.19 Fosfaatboekhouding voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor continueelt en wisselbouw van mais

	continueelt	wisselbouw	Nederland
Aanvoer fosfaat in kg/ha			
Kunstmest	10,7	10,0	10,5
Dierlijke mest	66,1	65,1	65,8
Ov. organische mest	0,5	1,0	0,6
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0
Overige	0,3	0,7	0,5
Totaal	77,6	76,8	77,4
Afvoer fosfaat totaal in kg/ha			
	71,0	74,7	72,2
Overschot fosfaat in kg/ha			
	6,6	2,0	5,2

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.4.4 Nitraatconcentraties

Tabel 4.20 geeft aan dat de nitraatconcentraties hoger waren bij de bedrijven met vooral maisteelt in wisselbouw dan bij de bedrijven met vooral continueelt van mais. De verschillen zijn echter niet groot waardoor, op basis van tabel 4.20, er nauwelijks of geen effect is van wel of niet continueelt van mais op de nitraatconcentratie onder mais.

Tabel 4.20 Nitraatconcentratie bij bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, voor continueelt dan wel wisselbouw van mais in mg/l

	continueelt	wisselbouw	Nederland
Mais via Nitrachek-methode bij melkveebedrijven op zandgrond 2009-2019	74,5	76,8	75,2
Bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse melkveebedrijven op zand 2009-2019	41,4	44,8	42,2
Bedrijfsniveau alle bedrijven via laboratoriumanalyse 2006-2019	41,0	46,3	42,7

Bron: RIVM.

4.5 Resultaten naar de mate van groenbemesting

Vanaf het jaar 2009 is er informatie beschikbaar in het Bedrijveninformatienet over groenbemesters/vanggewassen. Over de jaren 2009-2016 is alleen bekend of er wel of geen groenbemester is geteeld na de mais. Vanaf 2017 is ook bekend of de groenbemester goed, matig of slecht geslaagd is. De maisteler geeft deze classificatie: wat de een als goed kwalificeert, kan een ander als matig beschouwen. De classificatie is daarmee niet eenduidig maar meer is niet beschikbaar. Er zijn daarmee 5 groepen te onderscheiden: geen groenbemester, wel groenbemester maar zonder onderscheid naar mate van slagen, groenbemester slecht geslaagd, groenbemester matig geslaagd en groenbemester goed geslaagd.

4.5.1 Aantal waarnemingen en enkele structuurkenmerken

Tabel 4.21 en de volgende 4 tabellen omvatten iets meer bedrijven dan de tabellen 4.6 tot en met 4.15 omdat over de jaren 2009-2019 gemiddeld iets meer bedrijven per jaar beschikbaar waren dan in de periode 2006-2019. Doordat de classificatie slecht/matig/goed pas vanaf 2017 beschikbaar is, komt het aantal bedrijven bij de classificatie laag uit. Wel zijn er altijd minimaal 10 waarnemingen gebruikt voor de gemiddelden.

Zoals tabel 4.21 laat zien, is de oppervlakte per bedrijf groter dan gemiddeld bij de groepen 'geen groenbemester' en 'groenbemester slecht geslaagd'. Ook is het aandeel mais in de oppervlakte kleiner bij deze groepen. Waarschijnlijk hangt dit samen met ligging in het noorden van Nederland waar de bedrijven gemiddeld groter in oppervlakte zijn en gemiddeld een kleiner aandeel mais in het bouwplan hebben.

Tabel 4.21 Aantal beschikbare bedrijven, de oppervlakte cultuurgrond per bedrijf (in ha) en het aandeel mais (in %) van bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, naar geen/wel groenbemester/mate van slagen groenbemester

	Geen	Wel groenbemester, mate van slagen			Nederland	
	groenbemester	Onbekend	Slecht	Matig		Goed
Aantal bedrijven met nutriëntenboekhouding voor stikstof	88	108	4	10	24	234
Oppervlakte bedrijf in ha	79,37	76,87	89,28	71,78	63,20	76,40
Aandeel mais in procenten	20,3	26,5	22,7	23,4	24,7	23,8
Aantal bedrijven met gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse 2009-2019	66	87	4	8	18	183
Aantal melkveebedrijven op zandgrond met gemeten nitraat-concentraties via Nitramek bij mais 2009-2019	15	51	5	16	46	84

Bron: RIVM en Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.5.2 Stikstofboekhouding

Het stikstofoverschot op bedrijven met een goed geslaagde groenbemester was gemiddeld het hoogst van de vijf groepen in tabel 4.22. Meer stikstof via dierlijke mest, via overige organische mest en via overige aanvoerposten droegen hieraan bij. Door veel vervluchtiging van stikstof bij de toediening van mest was het bodemoverschot van deze groep beneden het landelijk gemiddelde. De groep met slecht geslaagde groenbemester heeft hetzelfde bodemoverschot voor stikstof als de groep met goed geslaagde groenbemester maar bereikt dit met minder bemesting, iets hogere opbrengst en minder emissie bij de toediening van mest.

Bij de voorgaande indelingen in dit hoofdstuk waren de bodemoverschotten van stikstof bij de melkveebedrijven op zandgrond goed in lijn met die van alle bedrijven met mais. Bij de indeling naar wel/geen groenbemester dan wel de mate van slagen van de groenbemester is die lijn er veel minder.

Tabel 4.22 Stikstofboekhouding op bodemniveau voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, naar geen/wel groenbemester/mate van slagen groenbemester

	Geen	Wel groenbemester, mate van slagen			Nederland	
	groenbemester	Onbekend	Slecht	Matig		Goed
Aanvoer stikstof in kg/ha						
Kunstmest	39,7	35,5	32,4	28,7	32,4	36,4
Dierlijke mest	181,0	175,1	172,4	179,0	183,9	178,4
Ov. organische mest	1,0	1,0	1,5	1,3	4,7	1,4
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie	24,1	25,4	22,6	22,9	23,3	24,6
Stikstofbinding	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Overige	3,7	10,1	11,2	14,1	18,6	8,8
Totaal	249,5	247,2	240,1	245,9	263,0	249,5
Afvoer stikstof totaal in kg/ha						
	191,3	187,0	192,5	192,1	189,7	189,2
Overschot stikstof in kg/ha						
Bedrijfsoverschot	58,2	60,2	47,6	53,8	73,3	60,3
Vervluchting gewas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vervluchting mest	18,4	10,4	9,8	8,5	9,7	13,3
Bodemoverschot alle bedrijven	39,8	49,7	37,8	45,3	63,6	47,0
Idem, melkveebedrijven op zand	62,7	54,1	37,9	58,3	57,9	56,8

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Tabel 4.23 geeft aan dat mais bij alle groepen qua groenbemester gemiddeld minder werkzame stikstof kreeg toegediend dan de stikstofgebruiksnorm toeliet. De verschillen tussen beide groepen op de kengetallen in tabel 4.23 waren beperkt en hingen enigszins samen met de tijd: in eerdere jaren, met vooral 'geen groenbemester' en 'groenbemester onbekend' waren de stikstofgebruiksnormen iets hoger dan in latere jaren.

Tabel 4.23 Hoeveelheid werkzame stikstof in kg per ha voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, naar geen/wel groenbemester/mate van slagen groenbemester

	Geen	Wel groenbemester, mate van slagen			Nederland	
	groenbemester	Onbekend	Slecht	Matig		Goed
Wettelijk werkzaam kunstmest	39,7	35,5	32,4	28,7	32,4	36,4
Wettelijk werkzaam dierlijke mest	93,1	94,2	87,5	90,2	94,0	93,5
Wettelijk werkzaam overige organische mest	0,2	0,2	0,1	0,1	0,8	0,3
Wettelijk werkzaam totaal	133,0	129,9	120,1	119,0	127,2	130,2
Wettelijke gebruiksnorm	153,5	144,2	140,5	134,9	132,0	146,0

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.5.3 Fosfaatboekhouding

Doordat over de jaren 2006-2008 geen gegevens over groenbemers beschikbaar waren en dit juist de jaren met de hoogste fosfaatoverschotten waren (tabel 4.4) zijn de fosfaatoverschotten in tabel 4.24 negatief in plaats van gemiddeld 5 kg/ha zoals weergegeven in tabel 4.4. Omdat zowel de stikstofbemesting als de fosfaatbemesting grotendeels via dierlijke mest plaats vindt en gemiddeld de verhouding tussen stikstof en fosfaat in dierlijke mest tamelijk vast is, komen ook in tabel 4.24 de groepen met slecht en met matig geslaagde groenbemester tot de laagste fosfaatoverschotten per ha bij de mais.

Tabel 4.24 Fosfaatboekhouding voor mais, gemiddeld over de periode 2006-2019, naar geen/wel groenbemester/mate van slagen groenbemester

	Geen	Wel groenbemester, mate van slagen			Nederland	
	groenbemester	Onbekend	Slecht	Matig		Goed
Aanvoer fosfaat in kg/ha						
Kunstmest	8,0	6,8	0,7	1,4	1,1	6,4
Dierlijke mest	64,2	64,1	54,0	56,2	59,1	63,1
Ov. organische mest	0,6	0,7	0,9	0,8	2,5	0,8
Zaaizaad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Overige	0,2	0,4	0,9	0,5	2,0	0,5
Totaal	73,0	72,1	56,5	59,0	64,7	70,8
Afvoer fosfaat totaal in kg/ha	74,6	70,8	69,0	67,9	66,6	71,7
Overschot fosfaat in kg/ha	-1,6	1,3	-12,5	-8,9	-2,0	-0,8

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

4.5.4 Nitraatconcentraties

Tabel 4.25 geeft geen nitraatconcentraties bij mais weer bij slecht, matig of goed geslaagde groenbemesters vanwege te weinig waarnemingen: deze indeling was pas vanaf 2017 beschikbaar. Als wel een groenbemester is geteeld maar niet bekend is in welke mate deze geslaagd is, dan zijn de nitraatconcentraties juist hoger dan wanneer er geen groenbemester is geteeld.

Tabel 4.25 Nitraatconcentratie in mg/l bij bedrijven met mais, gemiddeld over de periode 2009-2019, naar geen/wel groenbemester/mate van slagen groenbemester

	Geen	Wel groenbemester, mate van slagen			Nederland	
	groenbemester	Onbekend	Slecht	Matig		Goed
Mais via Nitrachek-methode bij melkveebedrijven op zandgrond						
2009-2019	64,0	69,7	N.A.		66,8	
Bedrijfsniveau via laboratoriumanalyse melkveebedrijven op zand 2009-2019						
	37,9	43,0	N.A.	N.A.	N.A.	41,8

Bron: RIVM.

4.6 Conclusies op basis van de beschrijving van nutriëntenboekhoudingen en nitraatconcentraties bij mais

Op basis van de beschrijving in de voorgaande paragrafen van de nutriëntenboekhoudingen en nitraatconcentraties bij mais zijn onder andere de volgende conclusies te trekken:

- Het gebruik van stikstofmeststoffen bij mais valt bij alle indelingen binnen de stikstofgebruiksnormen voor mais. Wel is het verschil tussen het gebruik van stikstofmeststoffen en de stikstofgebruiksnormen kleiner geworden in loop van de tijd door aanscherping van de stikstofgebruiksnormen.
- In de tijd zijn de nitraatconcentraties licht dalend.
- Continueelt of wisselbouw van mais levert wel verschil op in de bodemoverschotten van stikstof bij mais maar weinig of niet in de nitraatconcentraties bij mais.
- Bij groenbemesting na mais is het beeld wisselend. Goed geslaagde groenbemesters lijken wel lagere nitraatconcentraties op te leveren maar het aantal waarnemingen is beperkt.

5 Verklarende analyses voor opbrengst, bodemoverschot stikstof en nitraatconcentratie bij mais

5.1 Verklarende analyse voor de opbrengst van mais

Tabel 5.1 beschrijft de gegevens die voor de verklarende analyse van de opbrengst van mais zijn gebruikt. De afhankelijke, te verklaren variabele is de opbrengst van mais in kg stikstof per ha. De variabele entiteit geeft de index van elk bedrijf aan. De variabele jaar geeft de tijd aan. De overige 15 variabelen zijn de onafhankelijke, verklarende variabelen. Er zijn geen missende waarden op de variabelen bij de 884 observaties.

Tabel 5.1 Gegevens van de variabelen in de verklarende analyse van de opbrengst van mais

Variabele	Datatype	Domein	# unieke waarden	% unieke waarden
Entiteit	integer	[1; 884]	181	19,91
Jaar	integer	[2009; 2019]	11	1,21
opbrengst mais (kg N/ha)	decimaal	[72,1; 296,3]	900	99,01
Indeling zandregio	categorisch, ongeordend	[midden; noord; zuid]	3	0,33
Percentage mais op zand	decimaal	[50,63; 100]	232	25,52
percentage mais op normaal vochthoudende grond	decimaal	[0; 100]	480	52,81
percentage mais op droge grond	decimaal	[0; 100]	704	77,45
verdeling neerslag over tijd	decimaal	[0,675; 2,660]	627	68,98
aandeel mais in bouwplan (%)	decimaal	[7,96; 84,52]	873	96,04
aandeel mais continue teelt (%)	decimaal	[0; 100]	431	46,47
aandeel mais na ander gewas kortdurend (%)	decimaal	[0; 100]	132	14,52
aandeel mais na gras kortdurend (%)	decimaal	[0; 100]	334	36,74
hoogte bemesting met stikstof (kg N/ha)	decimaal	[68,1; 439,14]	909	100,00
aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof (%)	decimaal	[31,47; 100,0]	832	91,53
hoogte bemesting met fosfaat (kg P ₂ O ₅ /ha)	decimaal	[19,83; 188,92]	909	100,00
beregening	integer	[0; 100]	2	0,23
Groenbemester	categorisch, ongeordend	nb, naw, goed, matig, slecht	5	0,55

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

In tabel 5.2 zijn de coëfficiënten en de bijbehorende statistische significantie gegeven voor de verklarende variabelen vanuit het RE-model (zie paragraaf 3.2) van de doelvariabele opbrengst mais, uitgedrukt in kg stikstof per hectare. Ook is aangegeven welke verklarende variabelen de agrariër redelijkerwijs kan beïnvloeden. Deze set van variabelen, die ook nog eens statistisch significant zijn, is beperkt tot beregening, een wel of niet goed geslaagde groenbemester en het aandeel mais in het bouwplan. Beregening is voor een aanzienlijk aantal agrariërs geen optie: het is een dure maatregel die ook nogal eens wordt ingeperkt door onvoldoende beschikbaarheid van water voor beregening bij het maisperceel. Of een groenbemester goed of minder goed slaagt, kan de agrariër enigszins beïnvloeden, bijvoorbeeld door tijdig te zaaien of het zaad goed in te werken. Maar als de maisoogst laat valt vanwege veel neerslag in de oogstperiode, dan slaagt de groenbemester al minder goed. Niettemin is een groenbemester na mais zinvol omdat ook bij matig of gering succes van de groenbemester er nog een positief effect is op de opbrengst van mais, zij het dan niet significant.

De agrariër kan vaak wel het aandeel mais in het bouwplan aanpassen. Ook de bemesting kan hij bepalen maar dat blijkt geen significante invloed op de opbrengst te hebben.

Tabel 5.2 Effect van een verandering in de verklarende variabelen op de doelvariabele opbrengst mais in kg stikstof per ha op basis van het FE-model. De statistische significantie wordt bepaald door de p-waarde (p): * als $0,05 < p \leq 0,1$, ** als $0,01 < p \leq 0,05$, *** als $p \leq 0,01$. De verklarende variabelen zijn aflopend gesorteerd naar t-waarde. Voor significante t-waarden is aangegeven of de agrariër de betreffende variabele kan beïnvloeden

Verklarende variabele	Effect op doelvariabele	Standaardfout	t-waarde	significantie	Te beïnvloeden door agrariër?
berekening	0,058	-0,018	3,222	***	Ja
groenbemester 'goed'	15,848	-5,12	3,095	***	Ja
verdeling neerslag over tijd	12,794	-5,656	2,262	**	Nee
aandeel mais in bouwplan	-0,567	-0,28	2,025	**	Ja
trend	-1,396	-0,783	1,783	*	Nee
stikstof overige organische mest	0,415	-0,273	1,520		
stikstof kunstmest	0,234	-0,155	1,510		
groenbemester 'niet bekend'	5,559	-3,839	1,448		
percentage mais op droge grond	0,128	-0,092	1,391		
groenbemester 'matig'	9,688	-7,916	1,224		
groenbemester 'slecht'	9,537	-8,149	1,170		
percentage mais zand	-0,176	-0,161	1,093		
stikstof dierlijke mest	0,082	-0,077	1,065		
fosfaat dierlijke mest	-0,151	-0,198	0,763		
fosfaat kunstmest	0,185	-0,248	0,746		
fosfaat overige organische mest	-0,239	-0,333	0,718		
aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof	0,289	-0,434	0,666		
percentage mais op normaal vochthoudende grond	0,08	-0,13	0,615		
aandeel mais continue teelt	-0,018	-0,058	0,310		
aandeel mais na gras kortdurend	0,016	-0,074	0,216		
aandeel mais na ander gewas kortdurend	-0,018	-0,093	0,194		

Bron: Analyse op data uit het Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

5.2 Verklarende analyse voor het bodemoverschot stikstof bij mais

Tabel 5.3 beschrijft de gegevens die voor de verklarende analyse van het bodemoverschot stikstof bij mais zijn gebruikt. De afhankelijke, te verklaren variabele is het bodemoverschot stikstof bij mais in kg per ha. De variabele entiteit geeft de index van elk bedrijf aan. De variabele jaar geeft de tijd aan. De overige variabelen zijn de onafhankelijke, verklarende variabelen. Er zijn geen missende waarden op de variabelen bij de 735 observaties.

Tabel 5.3 Gegevens van de variabelen in de verklarende analyse van het bodemoverschot stikstof bij mais

Variabele	Datatype	Domein	# unieke waarden	% unieke waarden
Entiteit	integer	[1; 735]	167	22,72
Jaar	integer	[2009; 2019]	11	1,5
Bodemoverschot stikstof bij mais (kg/ha)	decimaal	[5,1; 331,1]	735	100
Indeling zandregio	categorisch, ongeordend	[midden; noord; zuid]	3	0,41
Percentage mais op zand	decimaal	[50,63; 100]	191	25,99
percentage mais op normaal vochthoudende grond	decimaal	[0; 100]	398	54,15
percentage mais op droge grond	decimaal	[0; 100]	573	77,96
verdeling neerslag over tijd	decimaal	[0,675; 2,570]	534	72,65
aandeel mais in bouwplan (%)	decimaal	[8,04; 84,52]	707	96,19
aandeel mais continue teelt (%)	decimaal	[0; 100]	339	46,12
aandeel mais na ander gewas kortdurend (%)	decimaal	[0; 100]	100	13,61
aandeel mais na gras kortdurend (%)	decimaal	[0; 100]	258	35,10
hoogte bemesting met stikstof (kg N/ha)	decimaal			
aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof (%)	decimaal	[31,47; 100,0]	687	93,47
hoogte bemesting met fosfaat (kg P ₂ O ₅ /ha)	decimaal			
berekening	integer	[0; 100]	2	0,23
Groenbemester	categorisch, ongeordend	nb, naw, goed, matig, slecht	5	0,68

Bron: Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

In tabel 5.4 zijn de coëfficiënten en de bijbehorende statistische significantie gegeven voor de verklarende variabelen vanuit het RE-model van de doelvariabele bodemoverschot stikstof bij mais, uitgedrukt in kg stikstof per hectare.

Tabel 5.4 Effect van een verandering in de verklarende variabelen op de doelvariabele bodemoverschot stikstof bij mais in kg stikstof per ha op basis van het RE-model. De statistische significantie wordt bepaald door de p-waarde (p): * als $0,05 < p \leq 0,1$, ** als $0,01 < p \leq 0,05$, *** als $p \leq 0,01$. De verklarende variabelen zijn aflopend gesorteerd naar t-waarde. Voor significante t-waarden is aangegeven of de agrariër de betreffende variabele kan beïnvloeden

Verklarende variabele	Effect op doelvariabele	Standaardfout	t-waarde	significantie	Te beïnvloeden door agrariër?
stikstof dierlijke mest	0,549	-0,088	6,239	***	Ja
stikstof kunstmest	0,942	-0,206	4,573	***	Ja
stikstof overige organische mest	1,191	-0,29	4,107	***	Ja
(Constante)	-181,664	-51,722	3,512	***	Nee
berekening	-0,037	-0,014	2,643	***	Ja
groenbemester 'goed'	-14,322	-5,507	2,601	***	Ja
trend	1,934	-0,775	2,495	**	Nee
verdeling neerslag over tijd	-11,666	-5,167	2,258	**	Nee
aandeel mais in bouwplan	0,484	-0,223	2,170	**	Ja
aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof	1,141	-0,627	1,820	*	Ja
groenbemester 'slecht'	-14,921	-8,356	1,786	*	Ja
indeling zandregio noord	-6,991	-4,064	1,720	*	Nee
aandeel mais continue teelt	0,088	-0,056	1,571		
percentage mais zand	0,18	-0,123	1,463		
fosfaat dierlijke mest	0,272	-0,198	1,374		
aandeel mais na ander gewas kortdurend	0,095	-0,073	1,301		
fosfaat overige organische mest	-0,359	-0,31	1,158		

Verklarende variabele	Effect op doelvariabele	Standaardfout	t-waarde	significantie	Te beïnvloeden door agrariër?
aandeel mais na gras kortdurend	-0,074	-0,068	1,088		
groenbemester 'niet bekend'	-4,133	-4,075	1,014		
groenbemester 'matig'	-6,747	-7,868	0,858		
percentage mais op normaal vochthoudende grond	-0,043	-0,077	0,558		
percentage mais op droge grond	-0,028	-0,054	0,519		
indeling zandregio zuid	-1,767	-4,333	0,408		
fosfaat kunstmest	0,004	-0,237	0,017		

Bron: Analyse op data uit het Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

Uit tabel 5.4 valt af te lezen dat de agrariër wel mogelijkheden heeft om het stikstofbodemoverschot bij mais te beïnvloeden. Dat kan hij vooral via de bemesting doen en enigszins via beregening en teelt van een groenbemester. Een punt van aandacht is wel dat de bemesting mede wordt gebruikt om het overschot te berekenen: het is de grootste aanvoerpost binnen de berekening van het overschot.

5.3 Verklarende analyse voor de nitraatconcentraties bij mais

Tabel 5.5 beschrijft de gegevens die voor de verklarende analyse van het bodemoverschot stikstof bij mais zijn gebruikt. De afhankelijke, te verklaren variabele is de nitraatconcentratie bij mais in kg per ha. De variabele entiteit geeft de index van elk bedrijf aan. De variabele jaar geeft de tijd aan. De overige variabelen zijn de onafhankelijke, verklarende variabelen. Er zijn geen missende waarden op de variabelen bij de 884 observaties.

Tabel 5.5 Gegevens van de variabelen in de verklarende analyse van de nitraatconcentratie bij mais

Variabele	Datatype	Domein	# unieke waarden	% unieke waarden
Entiteit	integer	[1; 884]	177	20,02
Jaar	integer	[2009; 2019]	11	1,24
nitraatconcentratie mais (mg/l)	decimaal	[5,01; 425,43]	883	99,89
aantal metingen nitraatconcentratie bij mais	integer	[1; 12]	12	1,36
Indeling zandregio	categorisch, ongeordend	[midden; noord; zuid]	3	0,34
percentage mais op normaal vochthoudende grond	decimaal	[0; 100]	474	53,62
percentage mais op droge grond	decimaal	[0; 100]	687	77,71
verdeling neerslag over tijd	decimaal	[0,675; 2,660]	607	68,67
aandeel mais in bouwplan (%)	decimaal	[6,36; 84,52]	852	96,38
aandeel mais continue teelt (%)	decimaal	[0; 100]	421	47,62
aandeel mais na ander gewas kortdurend (%)	decimaal	[0; 100]	130	14,71
aandeel mais na gras kortdurend (%)	decimaal	[0; 100]	324	36,65
hoogte bemesting met stikstof (kg N/ha)	decimaal	[68,1; 439,14]	884	100
aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof (%)	decimaal	[31,47; 100,0]	805	91,06
hoogte bemesting met fosfaat (kg P ₂ O ₅ /ha)	decimaal	[19,83; 157,27]	884	100
beregening	integer	[0; 100]	2	0,23
Groenbemester	categorisch, ongeordend	nb, naw, goed, matig, slecht	5	0,57

Bron: RIVM en Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research.

In tabel 5.6 zijn de coëfficiënten en de bijbehorende statistische significantie gegeven voor de verklarende variabelen vanuit het RE-model van de doelvariabele nitraatconcentratie bij mais, uitgedrukt in mg per liter.

Tabel 5.6 Effect van een verandering in de verklarende variabelen op de doelvariabele nitraatconcentratie bij mais in mg per liter op basis van het RE-model. De statistische significantie wordt bepaald door de p-waarde (p): * als $0,05 < p \leq 0,1$, ** als $0,01 < p \leq 0,05$, *** als $p \leq 0,01$. De verklarende variabelen zijn aflopend gesorteerd naar t-waarde. Voor significante t-waarden is aangegeven of de agrariër de betreffende variabele kan beïnvloeden

Verklarende variabele	Effect op doelvariabele	Standaardfout	t-waarde	significantie	Te beïnvloeden door agrariër?
percentage mais op normaal vochthoudende grond	0,628	-0,095	6,611	***	Nee
trend	-3,148	-0,921	3,418	***	Nee
percentage mais op droge grond	0,242	-0,095	2,547	**	Nee
indeling zandregio zuid	19,978	-8,112	2,463	**	Nee
groenbemester 'goed'	15,22	-6,885	2,211	**	Ja
percentage mais zand	0,343	-0,16	2,144	**	Nee
stikstof dierlijke mest	0,177	-0,087	2,034	**	Ja
indeling zandregio noord	-10,941	-6,04	1,811	*	Nee
fosfaat dierlijke mest	-0,355	-0,214	1,659	*	Ja
groenbemester 'niet bekend'	7,582	-5,629	1,347		
aandeel mais continue teelt	-0,104	-0,08	1,300		
stikstof overige organische mest	0,398	-0,332	1,199		
fosfaat overige organische mest	-0,409	-0,357	1,146		
fosfaat kunstmest	0,257	-0,226	1,137		
aandeel mais na ander gewas kortdurend	-0,093	-0,09	1,033		
verdeling neerslag over tijd	5,54	-6,72	0,824		
(Constante)	45,079	-59,242	0,761		
aandeel mais na gras kortdurend	0,058	-0,104	0,558		
aandeel mais in bouwplan	0,179	-0,36	0,497		
aandeel dierlijke mest in bemesting met stikstof	-0,278	-0,567	0,490		
berekening	-0,009	-0,019	0,474		
stikstof kunstmest	-0,073	-0,207	0,353		
groenbemester 'matig'	2,121	-8,771	0,242		
groenbemester 'slecht'	0,294	-16,663	0,018		

Bron: Analyse op data uit het Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research en data van RIVM.

5.4 Conclusies op basis van de verklarende analyses

Op basis van de analyses in dit hoofdstuk, die de praktijk in de periode 2009-2019 weergeven bij melkveebedrijven op zandgrond, zijn de volgende conclusies te trekken:

- Voor de opbrengst van mais (in kg stikstof per ha) zijn de verdeling van neerslag in de tijd, berekening, een wel of niet goed geslaagde groenbemester en het aandeel mais in het bouwplan van belang (bij een significantieniveau van $p = 0,05$). De agrariër kan deze variabelen, op de verdeling van neerslag in de tijd na, beïnvloeden.
- Bij het stikstofbodemoverschot bij maisteelt (in kg per ha) zijn de verdeling van neerslag in de tijd, berekening, teelt van een groenbemester en vooral de bemesting belangrijk. De agrariër heeft van deze variabelen alleen geen invloed op verdeling van neerslag in de tijd.
- De grondsoort en het grondwaterniveau (nat/normaal/droog) zijn belangrijk ten aanzien van de nitraatconcentratie bij mais maar voor de agrariër zijn deze variabelen een gegeven. Alleen op de bemesting met dierlijke mest en de teelt van een groenbemester heeft de agrariër enige grip.
- 'Overall' (opbrengst mais, stikstofbodemoverschot bij mais, nitraatconcentratie bij mais) zijn de (mate van slagen van de) groenbemester en de bemesting de knoppen waaraan de agrariër kan draaien om invloed op deze drie doelvariabelen uit te oefenen.

6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

In Hoofdstuk 1 zijn de volgende onderzoeksvragen aangegeven:

- Welk effect is er op de nitraatconcentratie als het percentage mais op het bedrijf toe of afneemt? In het licht van afschaffing van de derogatie is dat interessant. Dit zou specifiek kunnen worden geanalyseerd op zandgrond (waar nu al een aanzienlijk aantal bedrijven geen derogatie heeft en die discussie vanwege de hoge nitraatconcentraties extra actueel is).

De doorgenomen literatuur, beschreven in Hoofdstuk 2, geeft aan dat bij meer bouwland de nitraatconcentraties hoger zijn. Voor melkveebedrijven betreft bouwland voornamelijk de teelt van mais en akkerbouwbedrijven hebben nagenoeg geen grasland dus alleen bouwland. Uit Hoofdstuk 4 blijkt ook dat de nitraatconcentraties bij akkerbouwbedrijven hoger zijn dan bij melkveebedrijven. In de verklarende analyses van Hoofdstuk 5 wordt dit niet echt teruggevonden omdat de analyse in dat hoofdstuk zich beperkt tot melkveebedrijven op zandgrond. Indirect is dat wel enigszins het geval: meer normaal vochthoudende en/of meer droge grond betekent in de verklarende analyses hogere nitraatconcentraties en akkerbouwbedrijven c.q. bouwland, ook het bouwland van melkveebedrijven, zijn vaker op hogere en daarmee drogere gronden gelegen.

- Welke invloeden zijn er in welke mate op de opbrengst van mais en op het bodemoverschot van stikstof bij mais? Daarbij valt onder andere te denken aan hoogten van stikstof (N)- en fosfaat (P_2O_5)-gebruiken, grondsoort, type bedrijf, voorvrucht/vruchtwisseling/perceel historie, bemestingstoestand en methode van groundbewerking.

De bemesting met stikstof heeft effect op de opbrengst van mais. In de literatuur wordt dit aangegeven en resultaten van de verklarende analyses komen hiermee overeen maar laten dat niet significant zien. In het bodemoverschot stikstof bij mais is via de verklarende analyses wel een duidelijke relatie van de stikstofgift te zien. Bij de nitraatconcentraties bij mais is een zwakke relatie met de bemesting gevonden. Grondsoort speelt een beperkte rol in de opbrengst van mais en het bodemoverschot stikstof maar blijkt wel duidelijk effect te hebben op de nitraatconcentratie. Dat geldt nog sterker voor de grondwaterstand.

In de literatuur worden wisselende effecten gevonden van verschillende bouwplannen. Ook de beschrijvende en verklarende analyses laten weinig of geen effecten zien van verschillende bouwplannen (continue teelt van mais, mais in wisselteelt met grasland of met een ander gewas) in opbrengst, bodemoverschot stikstof en nitraatconcentratie.

- Spelen ten aanzien van de waterkwaliteit, vooral de nitraatconcentratie, de bij het voorgaande punt genoemde factoren wellicht ook een rol? Daar komen dan nog factoren bij zoals grondwatertrap en wel of geen vanggewas na de teelt van mais.

Een belangrijke maatregel die de agrariër kan nemen, is de teelt van een groenbemester of vanggewas. De literatuur benoemt deze maatregel en ook uit de verklarende analyses komt dit naar voren. In de beschrijvende analyses is een positief effect van een groenbemester of vanggewas beperkt tot niet te vinden.

Een belangrijk verschil met de literatuur is het feit dat dit onderzoek gebaseerd is op gegevens van een aanzienlijk aantal praktijkbedrijven. Veel onderzoek vindt plaats via veldexperimenten onder meer of minder gecontroleerde omstandigheden. De praktijk kent meer variatie dan in experimenten is te omvatten. De minder te beheersen omstandigheden en de vaak grote variatie in de praktijk maken het vaak wel moeilijker om duidelijke conclusies te trekken. Daarnaast gaan de meeste veldexperimenten op een klein aantal aspecten, vaak 1, in terwijl de praktijk een integraal geheel is van een groot aantal aspecten. Dit onderzoek weerspiegelt die praktijk, waaronder ook het management van de agrariër. Zo zal een veldexperiment altijd op geschikte grond plaatsvinden waar in de praktijk mais bijvoorbeeld nog wel eens geteeld wordt op een

qua grondwaterstand minder geschikt perceel. Op dergelijke percelen worden echter doorgaans weer lagere nitraatconcentraties onder mais gemeten.

De agrariër heeft alles bij elkaar niet zo veel mogelijkheden meer om de teelt van mais te verbeteren binnen de huidige praktijk. Een hogere bemesting met stikstof geeft geen significant hogere opbrengsten en is ongunstig voor het bodemoverschot en (in beperkte mate) voor nitraatconcentratie. Meer bemesten dan de adviezen voor mais is daarom niet verstandig. Berekening is vaak beperkt of helemaal niet mogelijk. Een groenbemester of vanggewas is meestal wel een zinvolle maatregel om de opbrengst van mais, het bodemoverschot stikstof en nitraatconcentratie bij mais gunstig te beïnvloeden.

Bronnen en literatuur

- Alotaibi, K.D., A.N. Cambouris, M. St. Luce en N. Ziadi (2018). Economic Optimum Nitrogen Fertilizer Rate and Residual Soil Nitrate as Influenced by Soil Texture in Corn Production. *Agronomy Journal* 110(6), DOI:10.2134/agronj2017.10.0583.
- Baltagi, B.H. (2008). *Econometric analysis of panel data* (Vol. 4). Chichester: Wiley.
- Basso, B., P. Giola, B. Dumont, M.D.A. Migliorati, D. Cammarano, G. Pruneddu et al. (2016). Tradeoffs between Maize Silage Yield and Nitrate Leaching in a Mediterranean Nitrate-Vulnerable Zone under Current and Projected Climate Scenarios. *PLoS ONE* 11(1): e0146360. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146360>.
- Bell, A., M. Fairbrother en K. Jones (2019). Fixed and random effects models: making an informed choice. *Quality & quantity*, 53, 1051-1074.
- De Boer, H.C. (2017). Nitrate leaching from liquid cattle manure compared to synthetic fertilizer applied to grassland or silage maize in the Netherlands. Wageningen, Wageningen Livestock Research, report 1055.
- Deru, J., H.A. van Schooten en R.Y. van der Weide (2015). Reduced tillage for silage maize on sand and clay soils: effect on yield and soil organic matter. In: *Grassland and forages in high output dairy farming systems* (Eds. A. van den Pol-van Dasselaar, H.F.M. Aarts, A. de Vliegheer, A. Jelgersma, D. Reheul, A.J. Reijneveld, J. Verloop, A. Hopkins), European Grassland Federation, volume 20.
- Van Duijnen, R., P.W. Blokland, A. Vrijhoef, D. Fraters, G.J. Doornewaard en C.H.G. Daatselaar (2021). Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie in 2019. Bilthoven, RIVM Rapport 2021-???
- Fraters, B., L.J.M. Boumans, T.C. Van Leeuwen en J.W. Reijs (2007). De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. Bilthoven, RIVM Rapport 680716002.
- 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. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680716006. DOI: 10.13140/RG.2.1.2837.8649.
- Hooijboer, A., C. Daatselaar en M. Hoogsteen (2015). Nitrate leaching from dairy farms in the Sand region in the Netherlands. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, http://web.natur.cuni.cz/luwq2015/download/oral/063_Hooijboer%20Nitrate%20leaching%20under%20maize%20and%20grass%20lands%20on%20dairy%20farms.pdf.
- Hooijboer, A., M. Hoogsteen en E. Buis (2017a). Effects of crop rotation on water quality: combining large datasets of different origin. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, http://www.luwq2017.nl/upload/234_Hooijboer_etal_Effects%20of%20crop%20rotation%20on%20water%20quality.pdf.
- Hooijboer, A., D. Fraters en K. Verloop (2017b). The effect of the rotation of maize and grass on nitrate leaching. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, https://www.h2o-watermatters.com/includes/partials/printArticle.php?ed=201712&art=05_Artikel.
- Komanda, M., F. Taube, C. Kluß en A. Herrmann (2018). (2018) Effects of catch crops on silage maize (*Zea mays* L.): yield, nitrogen uptake efficiency and losses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* volume 110, pp 51-69.
- Koopmans, C. en M. van Opheusden (2019). Organische stof in de Nederlandse bodem - Feiten en discussie in perspectief. Louis Bolk Instituut, Bunnik.
- Manevski, K., C.D. Børgesen, M.N. Andersen en Ib S. Kristensen (2015). Reduced nitrogen leaching by intercropping maize with red fescue on sandy soils in North Europe: a combined field and modeling study. *Plant and Soil* 388, pp 67-85.
- RIVM. (2018) Protocol Nitrachek zorgt voor betrouwbare resultaten https://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid/Nieuwsbrieven/Nieuwsbrief_en_Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid/Protocol_Nitrachek.
- RVO. (diverse jaren) Mesttabellen.

-
- Soler-Rovira, J., R. Flores-Manso, J.M. Arroyo-Sanz (2016). Nitrogen fertilization reduction of corn in a nitrate vulnerable zone. In: Efficient use of different sources of nitrogen in agriculture –from theory to practice (Eds: Sofia Delin, Johanna Wetterlind, Helena Aronsson, Lena Engström and Georg Carlsson). Skara, 19th Nitrogen workshop.
- Sörensen, P. (2019). Pers. Mededeling.
- Swamy, P.A.V.B. en S.S. Arora (1972). The exact finite sample properties of the estimators of coefficients in the error components regression models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 261–275.
- Waele, J. De, K. D’Haene, J. Salomez, G. Hofman en S. De Neve (2016). Modelling the effect of post-harvest management measures on nitrate leaching during autumn and winter. In: Efficient use of different sources of nitrogen in agriculture –from theory to practice (Eds: Sofia Delin, Johanna Wetterlind, Helena Aronsson, Lena Engström and Georg Carlsson). Skara, 19th Nitrogen workshop.



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

RAPPORT 2023-141



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, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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
wur.nl/economic-research

Rapport 2023-141
ISBN 978-94-6447-899-0

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, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

