



Relatie tussen voerkenmerken en de emissie van ammoniak uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven

Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven van 2021 tot 2024

Martine Bruinenberg, Robin van Walvoort, Carsten Schep, Wouter Spek, Johan van Riel

Openbaar
Rapport 1531



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Relatie tussen voerkenmerken en de emissie van ammoniak uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven

Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven van 2021 tot 2024

Martine Bruinenberg, Robin van Walvoort, Carsten Schep, Wouter Spek, Johan van Riel

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'B1 Emissie reductie methaan veehouderij' (BO-43.10-002-034.00).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2024

Rapport 1531

Bruinenberg, M.H., C.A. Schep, J.W. Spek, G.A. van Walvoort, J.W. van Riel, 2024. *Relatie tussen voerkenmerken en de emissie van ammoniak uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven; Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven van 2021 tot 2024*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1531.

Samenvatting: Op 15 Nederlandse melkveebedrijven binnen het Netwerk Praktijkbedrijven is de stalemissie van ammoniak (NH_3) tussen maart 2021 en maart 2024 continu gemeten met sensoren voor ammoniak en kooldioxide. Gedurende deze periode zijn tijdens zogenaamde meetweken voergegevens (rantsoensamenstelling en -opname) en productiegegevens (melkproductie en -samenstelling) bijgehouden. Meetweken vonden plaats met een frequentie van minimaal eens per 5 weken. In dit rapport zijn de voer- en productiegegevens gerelateerd aan de ammoniakemissie met als doel de bruikbaarheid van deze factoren bij het voorspellen van de ammoniakemissie op praktijkbedrijven te onderzoeken. Uit data-analyse bleek er een significante relatie te zijn tussen melkureum, ruw eiwit in het rantsoen en stikstof in de urine enerzijds en NH_3 emissie anderzijds, maar bleek tevens dat de variatie in NH_3 -emissie tussen bedrijven maar in zeer beperkte mate (R^2 tussen de 7 en 11%) verklaard kon worden door elk met deze factoren afzonderlijk. Een model waarin fysische factoren en bedrijfskenmerken gebruikt zijn (ventilatie-debiet per dier, staltemperatuur, FPCM en NH_3 meetmethode) verklaarde 40% van de variatie in de NH_3 -emissie tussen bedrijven. Extra factoren melkureum, ruw eiwit en TAN afzonderlijk bleken slechts in geringe mate extra variatie (maximaal 6%) te verklaren. Een combinatie van deze factoren in één model gaf geen extra verklaring van de variantie. De relatief lage verklaring van de variatie uit voer- en dierkenmerken is te wijten aan de opbouw van de dataset: observationeel in plaats van experimenteel onderzoek.

Summary: At 15 Dutch dairy farms, the barn emissions of ammonia (NH_3) were continuously measured using sensors from March 2021 until March 2024. During this period, the feed composition and feed intake and the milk production and composition of the animals were also measured every five weeks during one week. In this report, the data of the diet were related to the emission of ammonia. Data analysis showed significant relations between milk urea, protein in the diet, and calculated total nitrogen excretion in urine with ammonia emission, although the extent of explained variance was low (R^2 between 7 and 11%). A multiple regression model containing physical and farm factors (e.g. ventilation rate, temperature in the house and milk production; R^2 of model: 40%) was improved with maximal 5% by the addition of milk urea, crude protein or nitrogen in urine. A combination of multiple animal or feed parameters in the base model did not improve the model compared to the addition of one animal or feed parameter. The relatively low explanation of the variation from feed- and animal parameters is due to the composition of the dataset: observational instead of experimental research.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/680300> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2024

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

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1531

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergronden bij het project netwerk praktijkbedrijven	9
1.2 Achtergronden bij de ammoniakemissie	11
1.3 Afbakening	11
2 Materiaal en methoden	12
2.1 Locaties	12
2.1.1 Meetweken	12
2.1.2 Stalgegevens.	13
2.2 Emissiebepaling	13
2.3 Statistiek	13
2.3.1 Enkelvoudig model	13
2.3.2 Meervoudig (multiple) model	14
3 Resultaten	16
3.1 Overzicht voerkenmerken	16
3.2 Enkelvoudige analyse voerkenmerken gehele dataset	17
3.3 Enkelvoudige analyse voerkenmerken per bedrijf	19
3.4 Meervoudige analyse voer- en dierkenmerken	22
3.4.1 Basismodel met enkelvoudige voerkenmerken	22
3.4.2 Basismodel met meerdere voer- en rantsoenkenmerken	23
3.4.3 Aanvullende verklaringen: week- en bedrijfsverschillen	23
3.5 Vergelijking modellen	26
4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	28
4.1 Discussie	28
4.1.1 Enkelvoudige regressies (model 1)	28
4.1.2 Meervoudige regressie (model 2)	28
4.1.3 Vergelijking tussen modellen	30
4.2 Kanttekeningen	30
4.2.1 Ontbrekende kengetallen	30
4.2.2 Opbouw dataset.	30
4.3 Toepassing routeplan en stappenplan	30
4.4 Algemene conclusies	31
4.5 Aanbevelingen	32
Literatuur	33
Bijlage 1 De spreiding in NH3-emissie uitgezet verschillende parameters.	34
Bijlage 2 Verloop ammoniak emissie, eiwit in het rantsoen en ureum, gedurende de duur van de gebruikte dataset	36
Bijlage 3 Het aantal waarnemingen, de gemiddelde ammoniakemissie, en het gemiddelde melkureumgehalte, het ruw eiwitgehalte en het TAN-gehalte over de jaren 2021-2024, gemiddeld per bedrijf.	44

Woord vooraf

Het verlagen van het ruw eiwit in het rantsoen voor melkvee is sinds de start van het project Netwerk Praktijkbedrijven één van de belangrijkste basisstappen richting verlaging van de ammoniakemissie. Vanaf het begin maken de emissiemetingen op de onderzoeksbedrijven een belangrijk onderdeel uit van het project Netwerk Praktijkbedrijven. In deze rapportage worden de resultaten van de rantsoenmaateregel in de netwerk aanpak gecombineerd met de resultaten van de emissiemetingen.

Dank aan alle deelnemende melkveehouders en aan de bedrijfsbegeleiders Niek Konijn, Delian Kool, Bas Bassa, Jan van Middelaar, Stefan van 't Ooster en Michiel Meindertsma voor de begeleiding van de melkveehouders. Dank ook aan de medewerkers van het Air Quality Lab (AQL) van Wageningen Livestock Research (Klaas Blanken, Leonie Workel, Patrick van Valkengoed, Kevin van Deest, Yvo Goselink, Geert Kupers, Martin Geukes, Tom Rijkers, Johan Ploegaert en Annemieke Hol) voor het uitvoeren van de puntmetingen, monsteranalyses en een eerste deel van de verwerking van de sensordata.

Gerard Migchels (WLR), Cathy van Dijk (LTO) -Projectleiders Netwerk Praktijkbedrijven

Samenvatting

Het project Netwerk Praktijkbedrijven is in 2020 gestart met als doel om de ammoniak (NH_3)- en methaanemissie op deelnemende melkveebedrijven met 30% te verlagen. Hiervoor worden primair voer- en diermanagement maatregelen toegepast, aangevuld met stal- en mestmanagementmaatregelen. Dit rapport richt zich op het effect van voermanagement (specifiek het RE-gehalte van het rantsoen) op ammoniakemissie uit de stal van lacterend melkvee en het voorspellen van de emissies met de betreffende voerparameters.

Bij het project Netwerk Praktijkbedrijven zijn 107 Nederlandse melkveebedrijven aangesloten. Op 15 van deze bedrijven worden rantsoenen en stalemissies gemeten. In dit rapport is gebruik gemaakt van stalemissies van NH_3 tussen maart 2021 en maart 2024. Het rantsoen van de dieren is gedurende deze periode minstens één op de vijf weken nauwkeurig geregistreerd. Het verstrekte voer werd hierbij gewogen en de resten werden terug gewogen. Samenstellingen van het ruwvoer (graskuil, maaskuil, vers gras) zijn regelmatig geanalyseerd en de samenstelling van verstrekte krachtvoerders en bijproducten is opgevraagd. Ook dierkenmerken (melkproductie, samenstelling van de melk) zijn op koppelniveau bekend.

In dit rapport wordt ingegaan op de effecten van voermaatregelen op de emissie van NH_3 . De vragen die hierbij van belang zijn, zijn als volgt:

- i. Wat is op deze praktijkbedrijven het geschatte effect van voermanagement (specifiek het RE-gehalte) van lacterend melkvee op de ammoniakemissie uit de stal?
- ii. Is het mogelijk om met voer- en dierparameters de NH_3 -emissie te voorspellen?
- iii. Welke parameter of combinatie van parameters (inclusief bedrijfs- en omgevingsparameters) is het beste in de voorspelling van de NH_3 emissie.

De effecten van de verschillende factoren (zowel dier- als rantsoenfactoren) op NH_3 -emissie zijn getest middels enkelvoudige en meervoudige regressiemodellen in Genstat. Geteste factoren zijn o.a. gehalten van ruw eiwit (RE) en VEM in het rantsoen, totaal ammoniakaal stikstof (TAN) per grootvee eenheid (GVE), en melkureumgehalte.

Bij het testen van de rantsoenfactoren bleken de individuele factoren weliswaar significant te zijn, maar slechts een klein deel, tot maximaal 11%, van de aanwezige variantie te verklaren. Dit komt mogelijk door verschillen tussen bedrijven, niet-voedingsgerelateerde invloeden op NH_3 -emissie, seizoensinvloeden (metingen zijn door het jaar heen genomen) en een kleine variatie in de geteste factoren binnen bedrijven. Enkelvoudige regressie van de verschillende factoren op NH_3 -emissie per bedrijf laat in sommige gevallen weliswaar een hoge verklaring van de variatie in NH_3 -emissie zien, maar er zijn geen aanknopingspunten gevonden waarmee kan worden gesteld dat het effect van rantsoenfactoren tussen bedrijven verschillend is. Behalve de onderzochte dier- en voedingsfactoren, spelen verschillen tussen bedrijven en seizoensinvloeden een rol. In een multiple regressiemodel is daarom een basismodel opgesteld met o.a. de vaste (fixed) effecten van ventilatiedebiet, staltemperatuur en gemiddeld melkproductieniveau als variabelen. Daarnaast zijn ook random effecten van week en bedrijf meegenomen. De vaste effecten van het multiple regressiemodel bleken 40% van de variantie te kunnen verklaren. Het toevoegen van melkureumgehalte, RE-gehalte, of TAN gaf een significante verbetering van het model (tot 6% extra verklaring). Een combinatie van meerdere dier- of voedingsfactoren gaf geen extra verklaring van de variatie in NH_3 -emissie t.o.v. een enkele dier- of voedingsfactor.

Random bedrijfseffecten leveren een significante bijdrage bij het voorspellen van de wekelijkse NH_3 -emissie. Bedrijfseffecten zijn de herhaalbare afwijkingen (in de tijd) van bedrijven t.o.v. de voorspelling van het multiple regressiemodel. Er lijken dus nog onbekende (althans niet meegenomen in de dataverzameling) invloeden op NH_3 -emissie te zijn, die op bedrijfsniveau variëren.

Op basis van de verschillende regressies die in dit onderzoek uitgevoerd zijn, wordt geconcludeerd:

- i. Binnen de huidige dataset is er een positief effect van eiwitgerelateerde factoren (melkureumgehalte, RE-gehalte, TAN) op NH_3 -emissie, zij het dat deze factoren slechts een klein deel (6-11%) van de variatie kunnen verklaren.

-
- ii. De richtingscoëfficiënten van de relatie tussen NH_3 en de individuele factoren zijn hierbij conform verwachting (hoger RE-gehalte, TAN-excretie, of melkureumgehalte resulteren in een hogere NH_3 -emissie);
 - iii. Het model met de beste voorspelling betrof een model met ventilatiedebiet, melkproductie, stalemissiefactor, staltemperatuur, en melkureumgehalte. Het vaste deel van het model voorspelde 46,4% van de variatie. Een vergelijkbaar model met ruw eiwit in plaats van melkureum voorspelde 41,0% van de variatie. Daarnaast zijn nog onverklaarde herhaalbare bedrijfseffecten (bedrijfsverschillen) gevonden. Bovendien zijn er ook nog dier- of rantsoenenkenmerken die niet beschikbaar waren en die mogelijk ook een invloed op de NH_3 -emissie zouden kunnen hebben, zoals bijvoorbeeld genetische aspecten en eiwitkwaliteit van het rantsoen.

Het feit dat slechts een beperkt percentage van variatie in NH_3 -emissie door het vaste gedeelte van het model kon worden verklaard, hangt samen met de opbouw van de dataset: observationele data op praktijkbedrijven. Bij orthogonale (experimenteel aangelegde) proefdata in speciaal hiervoor ontworpen emissiestallen zou mogelijk een betere verklaring gevonden worden.

Vanwege het observationele karakter van de data (de invloedfactoren zijn niet middels loting aan de bedrijven, resp. meetweken van de bedrijven toegekend) is causaliteit van de geschatte effecten niet volledig gewaarborgd. Het is dus mogelijk dat geschatte effecten afwijken van wat er in experimenteel onderzoek is gevonden. Tegelijkertijd is dit ook het doel van de metingen op praktijkbedrijven, zodat onderzocht kan worden waardoor emissiereducerende maatregelen in de praktijk anders uitpakken dan bij experimenteel onderzoek.

1 Inleiding

1.1 Achtergronden bij het project Netwerk Praktijkbedrijven

Het project Netwerk Praktijkbedrijven is in 2020 gestart en richt zich op de toepassing van managementmaatregelen in de praktijk om de emissie van ammoniak (NH_3) en methaan (CH_4) van melkveebedrijven te reduceren. In dit rapport wordt alleen ingegaan op de reductie van de NH_3 -emissie. Aanleiding voor dit onderdeel is dat er van de melkveehouderijsector verwacht wordt dat zij de komende jaren een forse reductie van de NH_3 -emissie bewerkstelligt. Het project is een initiatief van LTO Noord en Wageningen Livestock Research (WLR), en wordt uitgevoerd in samenwerking met verschillende partners, waaronder CLM Onderzoek en Advies (CLM), DLV, PPP-agro en KG Advies.

Binnen het gehele project is het de vraag hoe reducties voor NH_3 en CH_4 gehaald kunnen worden. Er is daarom een landelijk netwerk gevormd met ruim 100 melkveehouders die zowel de emissie van NH_3 als van CH_4 met 30% willen verlagen door het nemen van concrete emissie reducerende maatregelen.

Er zijn drie niveaus waarop de bedrijven deelnemen aan het project: er is sprake van 18 onderzoeksbedrijven, 22 demonstratiebedrijven en 67 ambassadeurs. Ter info is in Figuur 1.1 schematisch weergegeven wat de rol van de verschillende groepen is. De opzet van het project is verder beschreven in Schep et al. (2024).

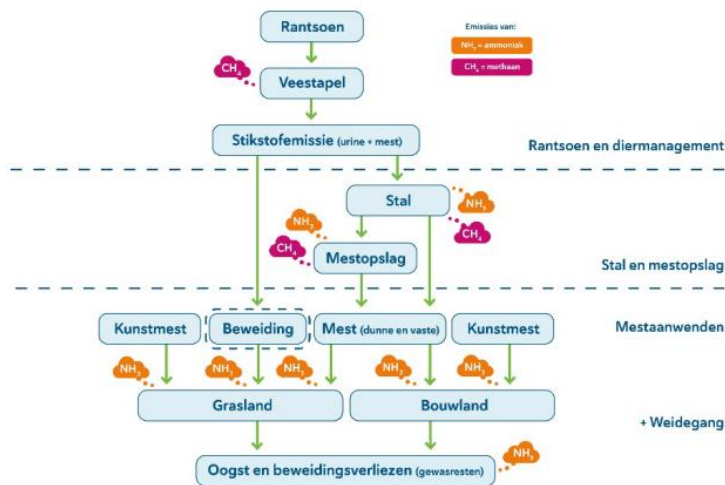


Figuur 1.1 Overzicht van de drie groepen deelnemers aan het Netwerk Praktijkbedrijven en de bijbehorende rol (volgens Schep et al., 2024).

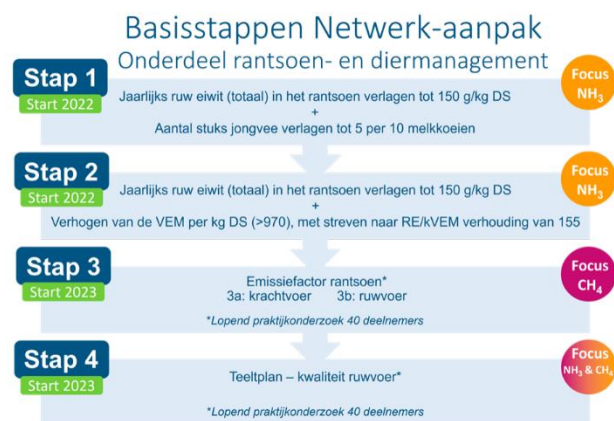
Om emissies te kunnen reduceren, is het in eerste instantie noodzakelijk inzicht te hebben in de bestaande emissies. Deze worden normaliter berekend op basis van getallen en berekeningen in de KringloopWijzer, maar in dit project worden de emissies op individuele bedrijven gemeten. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de genoemde onderzoeksbedrijven binnen dit het netwerk. Op 15 van deze 18 onderzoeksbedrijven wordt de emissie van NH_3 en CH_4 op stalniveau bepaald. Doel van de emissiebepalingen is om de effecten van de genomen managementmaatregelen op de emissie van NH_3 en CH_4 uit de stallen inzichtelijk te maken, veehouders inzicht te geven in hun emissies en te achterhalen waardoor maatregelen niet altijd tot het verwachte effect leiden. In deze rapportage worden alleen de gegevens van de betreffende onderzoeksbedrijven met betrekking tot de NH_3 -emissie gebruikt.

Om vervolgens de reductiedoelen te kunnen bereiken is schematisch weergegeven op welke momenten NH_3 (en CH_4) emitteren en is er een stappenplan uitgezet.

Het emissieschema in Figuur 1.2 laat zien op welke onderdelen het melkveebedrijf de NH_3 -emissie (en de CH_4 -emissie) plaatsvindt en dus waar er gereduceerd kan worden. Het schema is gebaseerd op NEMA (National Emission Model Agriculture). Het stappenplan in Figuur 1.3 geeft de concrete maatregelen aan die ingezet kunnen worden om de emissies te reduceren: de oranje wolkjes in Figuur 1.2 geven aan waar in het productieproces NH_3 -emissie plaatsvindt.



Figuur 1.2 Emissieschema van NH_3 en CH_4 op het melkveebedrijf om aan te geven waar de emissies plaatsvinden en waar dus gereduceerd kan worden (Schip et al., 2024).



Figuur 1.3 Stappenplan van managementmaatregelen voor reductie van ammoniak- en methaanemissie (Schip et al., 2024). De oranje bullets focussen op de NH_3 -emissie.

Het stappenplan om te komen tot een reductie in NH_3 -emissie is in eerste instantie gericht op het verlagen van het ruw eiwit (RE)-gehalte in het melkveerantsoen en op het verlagen van het aantal stuks jongvee. In dit rapport wordt met name ingegaan op de effecten van de voermaatregelen. Doel van het rapport is de bruikbaarheid van voer- en melkparameters bij het verklaren en voorspellen van de NH_3 -emissies te onderzoeken. De vragen die we ons hierbij stellen zijn als volgt:

- Wat is in de huidige set van bedrijven het effect van voermanagement (specifiek het RE-gehalte) uit de stal op lacterend melkvee?
- Is het mogelijk om met voer- en dierparameters de emissie in de praktijk te voorspellen?
- Welke parameter of combinatie van parameters (inclusief bedrijfs- en omgevingsparameters) is het beste in de voorspelling van de NH_3 emissie?

1.2 Achtergronden bij de ammoniakemissie

De basis van de emissie van NH_3 ligt bij het samenkomen van faeces en urine in de stal, wat gezamenlijk drijfmest vormt. De stikstof in de faeces is met name organisch gebonden, terwijl de stikstof in urine anorganisch is en in eerste instantie voornamelijk uit ureum bestaat. Zodra de urine met faeces in aanraking komt, wordt dit ureum snel omgezet in ammonium (NH_4^+) door het enzym urease. De ureumstikstof in de urine wordt daarom ook wel totaal ammoniakaal stikstof (TAN) genoemd. De berekening van de NH_3 emissies zoals in de KringloopWijzer, is gebaseerd op de TAN excretie en dit is nauwkeuriger dan een voorspelling op basis van de totale N-excretie (Velthof et al., 2012). De hoeveelheid ammoniakaal stikstof is de bron van ammoniakemissie op het melkveebedrijf (Sebek et al., 2017, Oenema en Oenema, 2022). Naast TAN is ook het huisvestingssysteem van belang bij het berekenen van de NH_3 -emissie. De verschillende huisvestingssystemen hebben elk een emissiefactor uitgedrukt in kg NH_3 per dierplaats per jaar. Een lijst met deze huisvestingssystemen en bijbehorende emissiefactoren is sinds 1 januari 2024 opgenomen in bijlage V van de omgevingsregeling (OR) behorende bij de omgevingswet. In dit rapport wordt de emissiefactor horend bij de OR-codes van de verschillende bedrijven nog de RAV-klasse genoemd naar de Regeling ammoniak en veehouderij (RAV) die tot eind 2023 geldig was. Deze RAV-klasse is als constante waarde per bedrijf meegenomen in de dataset. De RAV-klasse wordt in de KringloopWijzer omgerekend naar een emissiefactor ammoniak waarmee het verlies als percentage van de TAN-excretie wordt weergegeven. Voor de werkelijke (gemeten) NH_3 -emissie hebben naast de hoeveelheid TAN ook externe omstandigheden zoals temperatuur, windsnelheid en windrichting invloed op de NH_3 -emissie. In Schep et al. (2024) wordt de invloed van deze factoren op de NH_3 -emissie beschreven.

1.3 Afbakening

Dit rapport betreft een tussenrapportage. De waarnemingen die hier weergegeven zijn, betreffen waarnemingen vanaf de start van het project Netwerk Praktijkbedrijven tot eind februari 2024. De opbouw dan de data zal nog doorlopen tot medio 2025.

In dit rapport worden weliswaar essentiële kengetallen uit de KringloopWijzer (TAN, OR-codes) gebruikt voor het leggen van relaties met de gemeten NH_3 -emissie, maar de uitkomsten van de KringloopWijzer van verschillende jaren zullen op dit moment nog niet vergeleken worden met de gemeten emissies. Dit zal in de eindrapportage over de gehele meetperiode gedaan worden.

2 Materiaal en methoden

2.1 Locaties

Metingen vonden plaats op 15 verschillende meetlocaties. Omdat de resultaten niet herleidbaar mogen zijn naar de individuele bedrijven, zijn ze genummerd. Uitzondering hierin is Agro-innovatiecentrum De Marke, nummer 6.

De 15 bedrijven liggen verspreid in Nederland, zowel op klei, zand, löss en veen. Er zitten zowel gangbare als biologische boeren in de dataset. Veel bedrijven passen weidegang toe. Echter, rantsoenen met meer dan 10 uur weiden per dag zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de ammoniakemissie hier naar verwachting een te grote onzekerheid zou krijgen. Een overzicht van de bedrijfskenmerken wordt gegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Overzicht algemene bedrijfskenmerken van de deelnemende bedrijven (peildatum 2020).

Bedrijf [#]	Aantal melkkoeien	Areaal [ha]	Intensiteit [kg FPCM ^a /ha]	Grondsoort	Biologisch	Weidegang dagen per jaar	Weidegang uren per dag
1	83	104	7508	Klei	Nee	-	-
2	120	45	27416	Klei	Nee	-	-
3	120	135	7009	Zand	Ja	220	14
4	160	109	14796	Zand	Nee	200	6
5	160	84	21833	Zand	Nee	150	5
6 ^b	85	55	15333	Zand	Nee	130	7
7	90	80	6961	Veen	Ja	200	20
8	400	194	18735	Klei	Nee	120	6
9	200	58	29894	Zand	Nee	120	6
10	120	68	16568	Klei	Nee	200	8
11	125	60	17104	Klei	Nee	236	10
12	180	78	16721	Löss	Nee	120	6
13	135	68	18734	Klei	Nee	-	-
14	110	65	14265	Zand	Nee	120	7
15	160	155	10169	Veen	nee	120	6

^a FPCM: Fat and Protein Corrected Milk (vet en eiwit gecorrigeerde melkproductie), ^b De Marke

2.1.1 Meetweken

Op de betreffende 15 meetbedrijven is de NH₃-emissie bepaald (zie paragraaf 2.2) en daarnaast vond er minstens elke 5 weken een meetweek plaats. Tijdens deze meetweken werden de laadlijsten van de voermengwagen geregistreerd en werden de voerresten terug gewogen. Ook de krachtvoergift en melkproductie en melksamenstelling zijn geregistreerd. Op een deel van de bedrijven is er eind 2023 voor gekozen om de voeropname wekelijks te bepalen in plaats van eens in de 5 weken. Op bedrijf 6, De Marke, was dit al vanaf het begin van het project Netwerk Praktijkbedrijven het geval.

Behalve de laadlijsten, productiegegevens en krachtvoergiften zijn ook de samenstellingen van de verschillende voeders ingelezen. De chemische samenstelling en voederwaarden (VEM) van krachtvoer werd geleverd door voerfabrikanten, de chemische samenstelling en het VEM-gehalte van ruwvoer zijn bepaald door Eurofins. De totale set aan gegevens is samengevoegd in een dataset die de basis vormt voor de analyses in dit rapport.

Van alle waarnemingen in de meetweek is het gemiddelde over de week berekend en als input in de dataset gebruikt.

2.1.2 Stalgegevens

Behalve voergegevens en algemene bedrijfsgegevens zijn ook stalkenmerken van belang; waaronder de RAV-klasse van de stal en het type vloer. De RAV-klasse geeft een indicatie van de NH₃-emissie per dierplaats per jaar. Deze ammoniakemissie per RAV-klasse is een vaste waarde. Stalkenmerken zijn weergegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 De belangrijkste kenmerken van de melkveestal per bedrijf.

Bedrijf [#]	Dierplaatsen	Vloertype	RAV-klasse	RAV EF NH ₃ (kg/dpl/jaar)	Mestopslagcapaciteit (m ³)
1	174	Rooster	A1.100	13	3500
2	190	Rooster	A1.100	13	2700
3	126	Rooster	A1.13	6	1700
4	217	Rooster	A1.100	13	3400
5	192	Dicht	A1.14	8	3700
6	115	Dicht	A1.15	11,8	580
7	122	Rooster	A1.100	13	1600
8	280 ^a	Dicht	A1.26	8	0
9	192	Dicht	A1.14	7	3700
10	148	Rooster	A1.100	13	3000
11	144	Rooster	A1.100	13	3500
12	145	Dicht	A1.26	8	0
13	215	Rooster	A1.100	13	2000
14	132	Dicht	A1.100	13	0
15	128	Dicht	A1.100	13	0

^a deze veehouder heeft 2 stallen: in de meetstal lopen 280 koeien en in de oude stal 120 koeien.

2.2 Emissiebepaling

Op de 15 onderzoeksbedrijven is bij de start van het project een emissiemonitoringssysteem geïnstalleerd ten behoeve van een dagelijkse emissiebepaling. Op 10 van de 15 onderzoeksbedrijven zijn de emissies bepaald door Wageningen Livestock Research (WLR) en op 5 onderzoeksbedrijven door CLM onderzoek en advies. De ammoniakemissie is bepaald door het ventilatiedebiet (berekend met behulp van het CIGR CO₂ productiemodel) te vermenigvuldigen met de gemeten verschilconcentratie van NH₃ tussen in- en uitgaande stallucht. De gebruikte sensoren zijn gekalibreerd in het laboratorium en in de stal op basis van minimaal 6 puntmetingen per jaar zoals beschreven in Ogink et al. (2013). De resultaten van de puntmetingen zijn eveneens gebruikt om de emissie te bepalen. Een gedetailleerdere beschrijving van de gebruikte meetmethoden en -apparatuur en de berekeningswijze is te vinden in Schep et al. (2024).

Van de dagelijkse stalemissies is het gemiddelde over de meetweek berekend en als input voor de dataset gebruikt. Emissies zijn niet gecorrigeerd voor het aandeel jongvee in de stal.

2.3 Statistiek

2.3.1 Enkelvoudig model

De parameters in de totale dataset zijn eerst samengevat met beschrijvende statistiek (aantal, gemiddelde, standaarddeviatie, minimum, maximum). Vanwege de oplopende variantie bij hogere emissiewaarden is de NH₃-emissie voor de analyse met behulp van een logtransformatie (LN) genormaliseerd.

Vervolgens is de NH₃-emissie (gemiddelde per meetweek) gerelateerd aan enkelvoudige individuele parameters middels een lineair regressiemodel in Genstat 22nd editie (VSN International, 2022) voor de totale dataset van de 15 meetbedrijven. Omdat de spreiding tussen bedrijven aanzienlijk is, is het verloop in NH₃-emissie, RE-gehalte en melkureumgehalte in de tijd voor ieder bedrijf in figuren weergegeven middels R (versie 4.4.0) en zijn de getransformeerde NH₃-emissies van de individuele bedrijven gefit op basis van enkelvoudige variabelen middels Genstat. Het toegepaste model bij enkelvoudige regressie voor zowel de totale dataset van 15 bedrijven als voor de individuele bedrijven is:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \underline{\varepsilon}_{ijk} \quad (\text{model 1})$$

Met: Y_{ijk} : LN (NH₃-emissie per GVE per jaar - in de stal)
 β_0 : schatting van intercept
 β_1 : schatting van het lineaire effect van het getest rantsoenenkenmerken X op Y
 X_1 : geteste rantsoenenkenmerken
 $\underline{\varepsilon}_{ijk}$: Residueel effect (restvariantie), waarbij wordt verondersteld dat waarnemingen van hetzelfde bedrijf ongecorreleerd zijn.

De schattingen van model 1 zijn gecheckt voor uitbijters, maar een correctie was niet noodzakelijk. Er is in model 1 geen rekening gehouden met het feit dat de data een aantal tijdreeksen (metingen van dezelfde bedrijven in de tijd) van verschillende bedrijven zijn en dat er met name bij de emissiegegevens sprake kan zijn van auto-correlatie.

Geteste rantsoen- en dierkenmerken hierbij zijn:

- RE (g/kg DS),
- RE opname (g/koe/dag),
- Melkureumgehalte (mg/100g),
- TAN (kg/GVE in de stal/jaar),
- N-efficiëntie (%),
- Voer efficiëntie (%),
- Vers gras (% van rantsoen)
- VEM (per kg DS),
- VEM-dekking (%),
- Melkproductie (kg/dier/dag),
- FPCM (kg/dier/dag)

Ook zijn modellen getest waarbij meerdere variabelen in het model werden meegenomen. In paragraaf 2.3.1 wordt het model met meerdere verklarende variabelen toegelicht.

2.3.2 Meervoudig (multiple) model

Voor meervoudige analyse van de voerkenmerken is een mixed model analyse (REML) gebruikt waarmee simultane schattingen en toetsen zijn uitgevoerd voor het effect van bedrijfs- en rantsoenenkenmerken en bedrijfsomstandigheden op de NH₃-emissie. Hierbij is de NH₃-emissie uitgedrukt in NH₃-emissie per grootvee-eenheid (GVE) waarbij een melkkoe of droge koe geldt als 1 GVE, jongvee < 1 jaar als 0,23 GVE en jongvee > 1 jaar als 0,53 GVE. Vanwege de oplopende variantie bij hogere emissiewaarden is de NH₃-emissie voor analyse met behulp van een logtransformatie (LN) genormaliseerd. Als verklarende variabelen in het model zijn ventilatiedebiet, melkproductie, staltemperatuur en staltype gebruikt. Een model met deze dierparameters en stalomstandigheid-parameters bleek bij toetsing het beste verklarende basismodel te zijn. Ook het ventilatiedebiet is daarbij met logtransformatie (LN) genormaliseerd omdat deze niet normaal verdeeld bleek te zijn.

Het basismodel (model 2) ziet er als volgt uit:

$$Y_{ijk} = \beta_{0i} + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_4 + \underline{\varepsilon}_{ij} + \underline{\varepsilon}_{jk} + \underline{\varepsilon}_{ijk} + \underline{\varepsilon}_{ijkl} \quad (\text{model 2})$$

Met:

Y_{ijk}	: LN (kg NH ₃ -emissie per GVE per jaar)
β_{0i}	: schatting van intercept, per RAV-factor i
X_1	: LN (ventilatie-debiet (m ³) per dier per dag)
X_2	: FPCM-productie (kg per dier per dag)
X_3	: Staltemperatuur (°C)
X_4	: Dummie-variabele voor contrast "referentiemeting – sensor"
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	: Geschatte effecten van ventilatie-debiet per dier, FPCM-productie en staltemperatuur
β_4	: Geschatte effect van type "sensor" (o t.o.v. referentiemeting)
$\underline{\varepsilon}_{ij}, \underline{\varepsilon}_{jk}$	: Random effecten van bedrijf j en weeknummer k
$\underline{\varepsilon}_{ijk}$	: Random effect van weeknummer k (binnen bedrijf j)
$\underline{\varepsilon}_{ijkl}$	: Random effect van meting l (binnen bedrijf j in weeknummer k)

Het intercept (β_{0i}) is geschat per RAV-klasse¹ (RAV-factor 6.0 & 7.0, RAV-factor 8.0, RAV-factor 11.8 en RAV-factor 13.0). Om te testen of de RAV-klasse als variabele meegenomen moest worden, is deze getest op significante verschillen en is de ranking vast gesteld middels een post hoc test (Bonferroni).

Alle random effecten in het model zijn gemiddeld nul en hebben een (eigen) normaal verdeelde variantie, die worden geschat met een variantiecomponent. De variantiecomponenten vormen gezamenlijk de totale variantie van een willekeurige meetweek van een willekeurig bedrijf.

De bedrijfseffecten kennen een constant deel ($\underline{\varepsilon}_{ij}$) en een tijdsafhankelijk deel ($\underline{\varepsilon}_{ijk}$). Het tijdsafhankelijk deel (weeknummer binnen bedrijf) bevat een tijdsinterval afhankelijke correlatie ϕ_1 , welke simultaan is geschat in de analyse. Hierbij geldt dat de geschatte correlatie tussen meting k en een andere meting m (ander tijdstip) is uitgedrukt als:

$$\text{Correlatie}_{(ijk, ijm)} = \phi_1^{d1}$$

Met: d1: tijdsinterval tussen meting k en meting m (uitgedrukt in dagen).

Soms waren er 2 verschillende metingen in de dezelfde meetweek op hetzelfde bedrijf, namelijk continue sensormetingen en puntmeting, waarbij de puntmeting slechts 24 van de 168 uur per week betrof, terwijl de sensormeting 168 uur per week is uitgevoerd. Resultaten van beide metingen bleken significant verschillend te zijn en zijn daarom meegenomen als een extra variabele (X_4).

Aan het basismodel (model 2) zoals hierboven beschreven is vervolgens dier- en rantsoeninformatie toegevoegd. Deze kenmerken zijn in eerste instantie individueel getest. Vervolgens is ook nog getest of het combineren van verschillende parameters een extra verklaring geeft.

Geteste rantsoenkenmerken zijn:

- Melkureumgehalte (mg/100g)
- RE-gehalte (g/kg DS)
- Totale eiwitopname (kg RE/koe/dag)
- Tan-getal (kg/GVE/jaar)
- Eiwit/VEM-verhouding (RE-gehalte (g/kg DS) / VEM (VEM/kg DS))
- %vers gras in het rantsoen

Om te achterhalen wat de marginale effecten van dezelfde dier- en rantsoeninformatie zijn, zijn de analyses met een aangepast model 2 herhaald, waarbij de fixed termen van het basismodel, nl ventilatie, staltemperatuur, FPCM-productie en type NH₃meting uit het model zijn gelaten.

¹ De Rav-klassering is in 2024 vervangen door de omgevingsregeling, maar de systemen zijn grotendeels gelijk gebleven incl. de bijbehorende emissiefactoren.

3 Resultaten

3.1 Overzicht voerkenmerken

Om inzicht te geven in de samenstelling van de dataset, zowel met betrekking tot productiekenmerken als tot rantsoen- en efficiëntiekenmerken, is in de Tabellen 3.1-3.3 een overzicht gegeven van het aantal waarnemingen per kenmerk, de gemiddelde waarde, de standaarddeviatie en de minimum- en maximumwaarde. Dierkenmerken en rantsoengegevens zijn vrijwel volledig beschikbaar. Echter, wat betreft de chemische samenstelling en voederwaarden van het rantsoen missen er veel gegevens. Dit heeft met name te maken met de beperkte aanlevering van de gegevens door de mengvoerindustrie. Suiker, zetmeel en NDF waren slechts in een beperkt aantal gevallen beschikbaar voor minstens 95% van de producten in het rantsoen. Kenmerken als DVE en OEB, belangrijke parameters in het optimaliseren voor eiwit in het rantsoen, waren zelfs helemaal niet beschikbaar voor de krachtvoerders en konden daarom niet meegenomen worden in de analyse. Ammoniakemissie was ook niet in alle meetweken beschikbaar.

Tabel 3.1 Productiegegevens (weekgemiddelde per dier per dag), uit gedrukt per eenheid zoals weergegeven.

Parameter	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Standaard deviatie	Minimum	Maximum	VC (%)
Melkproductie (kg/dier/dag)	813	28,1	3,6	12,9	36,6	12,8
Melkvet (%)	813	4,5	0,3	3,6	5,1	6,7
melkeiwit (%)	813	3,5	0,1	3,2	3,9	2,9
melkureum (mg/100g)	813	17,3	3,6	8,0	45,9	20,8
FPCM (kg/d)	813	30,0	3,7	13,6	38,9	12,3

Er is een sterke variatie in de gemiddelde melkproductie tussen bedrijven en meetweken, evenals in ureum. De uitschieter van ureum (45,9) is gecontroleerd en blijkt verklaarbaar.

Tabel 3.2 Opname voedermiddelen (kg DS per dier per dag) en (chemische) samenstelling (g per kg DS) op basis van gemiddelden van de meetweken.

Parameter	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Standaard deviatie	Minimum	Maximum	VC (%)
Ruwvoeropname	812	12,3	3,6	0,5	18,8	29,2
Vers grasopname	813	2,8	4,0	0	14,8	142,9
Krachtvoeropname	812	6,0	1,5	1,3	12	25,0
Bijproductenopname	812	1,1	1,2	0	5,7	109,0
DS opname	812	22,3	1,5	16,7	27,2	6,7
VEM gehalte	812	993	29	877	1075	2,92
Ruw eiwitgehalte	812	156	12	114	259	7,69
Suikergehalte	89	79	32	29	189	40,5
Zetmeelgehalte	517	133	59	0	295	44,4
NDF-gehalte	461	352	51	242	502	14,5

Ook de spreiding in DS-opname per dag is aanzienlijk en varieert tussen 16,7 en 27,2 kg.

Op alle bedrijven bestond het rantsoen uit krachtvoer en ruwvoer en/of vers gras (vers gras wordt in deze tabel als een apart voedermiddel gezien en is dus niet opgeteld bij de ruwvoeropname per dag). Vers gras en bijproducten zijn niet op alle bedrijven onderdeel van het rantsoen. Daarom is het minimum bij deze componenten 0. Omdat meetweken met meer dan 10 uur weidegang per dag buiten beschouwing zijn gelaten (zoals aangegeven in Materiaal en Methoden) is de gemiddelde vers grasopname beperkt. De vers gras opname van 14,8 kg DS per dag is gevoerd in een systeem met zomerstalvoeding.

Sommige waarnemingen met betrekking tot voederwaarde- en chemische kenmerken laten veel variatie zien (suiker, zetmeel), maar voor bijvoorbeeld ruw eiwitgehalte is de variatiecoëfficiënt laag. Er zijn geen waarnemingen verwijderd.

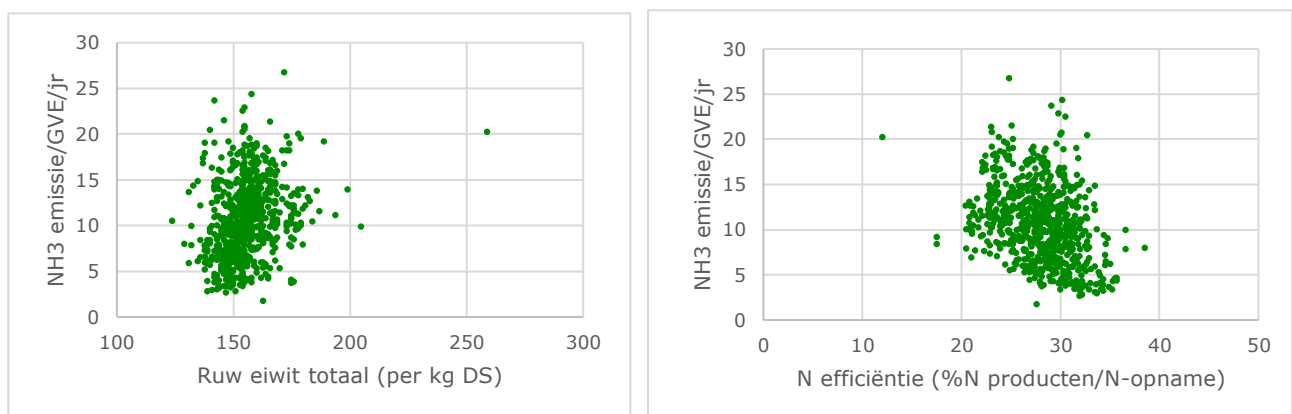
Tabel 3.3 Emissie- en efficiëntie kenmerken op basis van het gemiddelde van de meetweken.

Parameter	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Standaard deviatie	Minimum	Maximum	VC (%)
NH ₃ emissie (kg/GVE/jaar)	708	10,6	4,2	1,7	26,7	39,6
N-efficiëntie ^a (%)	813	27,7	3,6	12,0	38,5	13,0
Voerefficiëntie (kg melk/kg DS voer)	813	1,3	0,1	0,77	1,67	7,7
TAN excretie (kg/GVE/jaar)	811	77,8	14,5	39,9	158,7	18,6
VEM-dekking ^b (%)	812	106	6	89	125	5,7
RE-opname (g/koe/dag)	812	3624	341	2549	4780	9,5
TAN excretie (kg/1000 kg melk)	811	7,8	2,1	4	29,9	26,9

^a N in melk en vlees/N opname; ^b 100 x energieopname/energiebehoefte

3.2 Enkelvoudige analyse voerkenmerken gehele dataset

De totale dataset is gebruikt om het effect van voermanagement op de NH₃-emissie uit de stal in te schatten. Hierbij is gekeken naar Ruw eiwit totaal (RE, inclusief ammoniak in ruwvoerders) in het rantsoen (g/kg DS), RE opname (g/dier/dag), TAN (kg/GVE/jaar), melkureumgehalte (mg/100g) en N-efficiëntie (N in melk en vlees als % van de N-opname) van de melkveestapel. Deze factoren zijn uitgezet tegen de kg NH₃-emissie per grootvee eenheid (GVE), doorgerekend naar excretie op jaarbasis. Omdat de figuren met RE-opname, TAN en melkureumgehalte vrijwel vergelijkbaar waren, zijn alleen de figuren voor RE-opname en N-efficiëntie weergegeven (Figuur 3.1). In Bijlage 1 zijn zowel de beide Figuren uit Figuur 3.1 groter weergegeven, als de twee figuren waarin NH₃-emissie uitgezet is tegen TAN en melkureum.



Figuur 3.1 NH₃-emissie per grootvee eenheid (GVE)/jaar uitgezet tegen ruw eiwit totaal (g/kg DS) (links) en N-efficiëntie (in %, rechts) van de melkveestapel op basis van gemiddelde meetweek gegevens.

Ondanks de spreiding die zichtbaar is in Figuur 3.1 en Tabellen 3.2 en 3.3 geven enkelvoudige regressies (d.w.z. geanalyseerd met model 1) een significante relatie tussen verschillende parameters en de NH₃-emissie, ook al is het aandeel verklaarde variatie laag (Tabel 3.4). De geschatte richtingscoëfficiënten (parameter b1 in model 1) staan weergegeven in Tabel 3.4. De schattingen zijn van toepassing op de punten binnen het bereik van de waarnemingen, zoals weergegeven in de Tabellen 3.1, 3.2 en 3.3. In deze analyse is geen rekening gehouden met mogelijk onderlinge afhankelijkheid van emissiewaarden per bedrijf in de tijd.

Omdat één van de bedrijven (bedrijf 7) weinig waarnemingen heeft, maar wel bij één waarneming een hoge eiwitopname had (de "uitbijter" in Figuur 3.1), is er ook een analyse gedaan zonder dit bedrijf. De verklaarde variantie bleef vrijwel onveranderd. Deze resultaten zijn daarom niet getoond.

Tabel 3.4 De verklaarde variantie (R^2) en modelparameters van de ammoniakemissie per GVE met behulp van verschillende variabelen op basis van enkelvoudige regressie (model 1). De NH₃-emissie is met behulp van een logtransformatie (LN) genormaliseerd.

Parameter	R^2 (%)	SE ¹ R^2	Intercept (β_0)	SE ² β_0	p-waarde β_0	Richtings- coëfficiënt (β_1) ³	SE ⁴ β_1	P- waarde RC
RE-gehalte (g/kg DS)	6,7	0,424	0,661	0,226	0,004	0,01037	0,00145	<0,001
RE-opname (kg/dier/d)	2,0	0,434	1,572	0,182	<0,001	0,0001937	0,00005	<0,001
Temp. stal (°C)	6,7	0,424	19,737	0,0452	<0,001	0,02215	0,00309	<0,001
TAN (kg/GVE)	9,1	0,419	15,244	0,0904	<0,001	0,00969	0,00115	<0,001
Melkureum (mg/dl)	10,6	0,415	15,249	0,0829	<0,001	0,04389	0,00475	<0,001
N-efficiëntie (%)	15,9	0,402	3,751	0,128	<0,001	-0,05273	0,00454	<0,001
Voerefficiëntie (kg DS/kg FPCM)	8,0	0,421	3,623	0,171	<0,001	-0,999	0,127	<0,001
Aandeel vers gras (% in rantsoen)	0,7	0,437	22,519	0,0194	<0,001	0,0112	0,00463	0,016
VEM dekking (%)	2,9	0,432	0,890	0,296	0,003	0,01309	0,00279	<0,001
VEM (per kg DS)	6,1	0,425	6,138	0,565	<0,001	-0,0039	0,00057	<0,001
Melkproductie (kg/koe/dag)	2,7	0,433	2,858	0,129	<0,001	-0,02046	0,00451	<0,001
FPCM (kg/koe/dag)	4,4	0,429	3,073	0,139	<0,001	-0,0262	0,00455	<0,001

¹ standaardfout van de observaties; ² standaardfout van het intercept; ³ omdat gerekend is met getransformeerde NH₃-emissie, moeten de richtingscoëfficiënten terug getransformeerd worden. Voor 10g re is de vermenigvuldigingsfactor van de NH₃-emissie dan 1,11 – dit komt overeen met 1% meer ammoniak per gram meer eiwit in het rantsoen. Voor 100 g RE-opname op 1,020, voor 10 kg TAN-excretie op 1,10 kg en voor 2 punten meer melkureum op 1,09. Voor VEM en melkproductie is de relatie met NH₃-emissie juist negatief – de vermenigvuldigingsfactor is dan dus kleiner dan 1 (bv 0,9 bij 27 VEM (per kg rantsoen) minder of bij 4 kg minder melkproductie). ; ⁴ standaardfout van de richtingscoëfficiënt

Uit de richtingscoëfficiënten in Tabel 3.4 blijkt dat bijvoorbeeld RE-gehalte, TAN-excretie, melkureumgehalte en percentage vers gras een positieve relatie hebben met de ammoniakemissie (de emissie verhogen), terwijl N-efficiëntie, VEM-gehalte en melkproductie een negatieve relatie hebben (de emissie verlagen). Verder blijkt uit de verklaarde variatie dat slechts een klein deel (tot 12%) van de variatie in NH₃-emissie verklaard kan worden door rantsoen- en dierkenmerken.

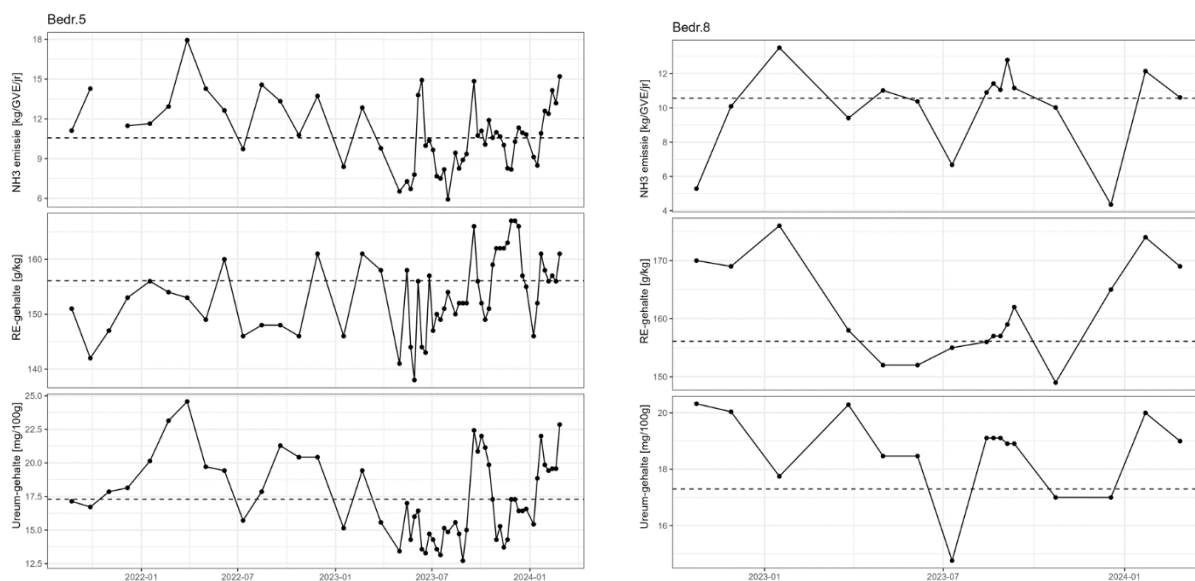
Er spelen blijkbaar meer dan de huidige getoetste factoren (of een combinatie daarvan) een rol in de verklaring van het niveau van de NH₃-emissie. In Schep et al. (2024) worden ook kenmerken van de stal, weersomstandigheden en overige managementmaatregelen genoemd als mogelijke verklarende factoren waar in model 1 geen rekening mee wordt gehouden. Ook ontbreekt het inzicht in hoeverre gezochte relaties op ieder bedrijf tot uiting komen. In de paragraaf 3.3 wordt in eerste instantie ingegaan op verschillen tussen bedrijven, en met name de samenhang tussen rantsoenkenmerken en ammoniakemissie per bedrijf. In paragraaf 3.4. volgen de resultaten van een uitgebreider statistisch model (model 2), waarin wordt onderkend dat er (deels) blijvende bedrijfseffecten, dan wel tijdelijke bedrijfseffecten aanwezig kunnen zijn.

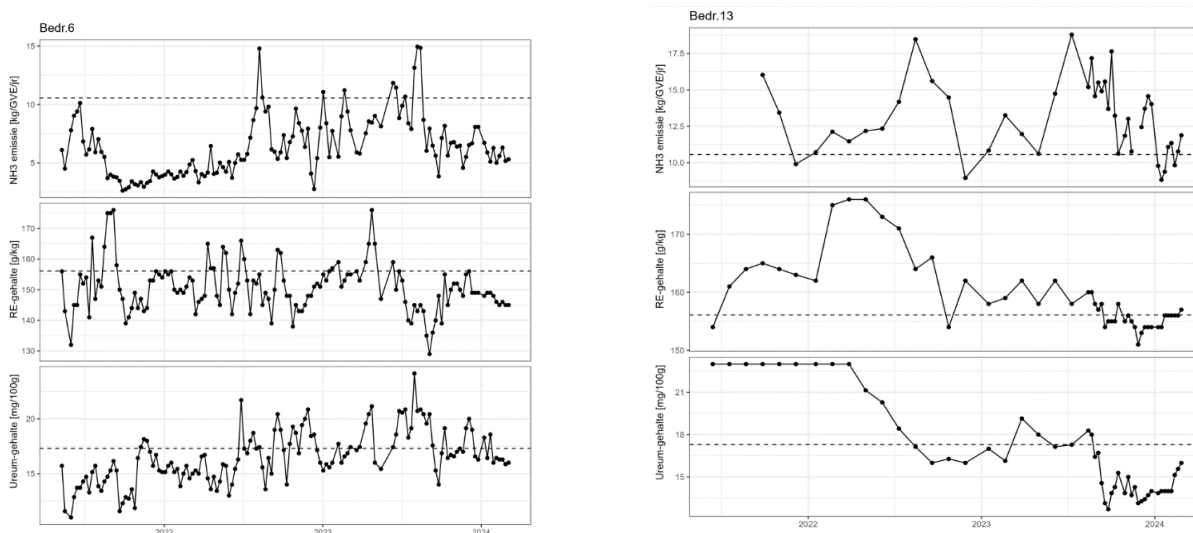
Deze bedrijfseffecten zijn invloedsfactoren, die niet in metingen zijn vastgelegd, en kunnen permanent of tijdelijk van aard zijn. Daarnaast wordt een aantal verklarende metingen van stal, weeromstandigheden en management meegenomen in model 2.

3.3 Enkelvoudige analyse voerkenmerken per bedrijf

Uit de eerste resultaten in deze studie (Tabel 3.4) blijkt dat het effect van voermanagement op de NH₃-emissie over alle bedrijven niet duidelijk teruggevonden kan worden en dat de variatie in NH₃-emissie niet volledig verklaard kan worden door enkelvoudige rantsoenfactoren. Mogelijk is de variatie in NH₃-emissie binnen bedrijven beter verklaarbaar als rekening wordt gehouden met de variatie tussen bedrijven in de tijd. Van ieder van de bedrijven is daarom een overzicht gemaakt van het verloop in NH₃-emissie, RE-gehalte en melkureumgehalte gedurende de duur van de dataverzameling. Deze drie parameters zijn gekozen omdat RE-gehalte en melkureum parameters zijn waarvan verwacht wordt dat ze gerelateerd zijn met de NH₃-emissie en waar bovendien op gestuurd kan worden. In Bijlage 2 zijn de grafieken voor ieder van de onderzoeksbedrijven weergegeven. In Figuur 3.2 zijn de resultaten van 4 bedrijven (5, 6, 8 en 13) gegeven om aan te geven wat het verloop is in bovengenoemde parameters in de tijd voor individuele bedrijven. Bedrijf 6 is Agro-innovatiecentrum De Marke. Dit bedrijf heeft wekelijks de voeropname en samenstelling gemeten en richt zich al lange tijd op een laag RE-gehalte in het rantsoen. Dat is terug te zien in zowel het ureumgehalte in de melk als de NH₃-emissies; deze zitten vrijwel altijd onder het gemiddelde. De bedrijven 5 en 13 zijn vanaf eind 2023 ook iedere week de voeropname en voersamenstelling bij gaan houden in plaats van om de 5 weken.

Bij bedrijf 13 lijkt aan het eind van de meetperiode sterker bijgestuurd te worden, met als gevolg lagere NH₃-emissies.





Figuur 3.2 Ammoniakemissie per GVE (kg/jaar), RE-gehalte (g/kg DS) en melkureumgehalte (mg/dl) uitgezet tegen de tijd, beginnend in maart 2022 tot maart 2024 voor bedrijven 5, 6, 8 en 13. In iedere subgrafiek per bedrijf staat in de bovenste grafiek de NH₃-emissie, in de middelste grafiek het RE-gehalte en in de onderste grafiek het melkureumgehalte. De stippellijn in iedere grafiek geeft het gemiddelde over de hele dataset weer: NH₃ emissie 8,6 kg per dierplaats per jaar, RE-gehalte 156 g/kg DS, ureum 17,3 mg/dl.

In Figuur 3.2 is te zien dat de pieken in NH₃-emissie niet altijd overeenkomen met pieken in RE-gehalte en melkureumgehalte, maar ze lijken elkaar wel deels op te volgen. Afwijkingen in pieken tussen RE-gehalte of melkureum enerzijds en NH₃-emissie anderzijds worden waarschijnlijk veroorzaakt door managementsfactoren (type vloer, moment van mest uitrijden, vervuiling van de vloer), weersinvloeden (temperatuur en wind), diergegevens (melkproductie, lactatiestadium, erfelijkheid) en andere rantsoenfactoren (beschikbare pens energie ten opzichte van eiwit: OEB). Daarnaast kunnen ook handelingen of omstandigheden die eerder hebben plaatsgevonden een vertraagd effect op NH₃-emissie tonen en dus een vertraging van de piek laten zien. Vanwege meetonzekerheid kan niet verwacht worden dat elke piek verklaard kan worden.

De bedrijven 5 en 6 zijn voorbeelden van bedrijven die redelijk constant zijn gebleven in NH₃-emissie over de jaren, terwijl de emissie op bedrijf 8 juist iets toegenomen lijkt te zijn (zie ook gemiddelde NH₃-emissiedata per jaar voor de individuele bedrijven in Bijlage 3). Op bedrijf 13 is een reductie in NH₃-emissie waargenomen, met name in begin 2024.

Het verloop in NH₃-emissie (gemiddeld per jaar, waarbij zowel het gemiddelde van 2021 als dat van 2024 niet het volledige jaar beslaat, terwijl 2022 en 2023 over volledige jaren gemiddeld zijn) loopt synchroon met het verloop in eiwit, melkureum en TAN-gehalte. Bij bedrijf 6 wijken de gemiddelden over de jaren weinig af van jaar tot jaar. Omdat NH₃-emissies seizoen afhankelijk zijn, mag een dergelijke vergelijking eigenlijk alleen per kalenderjaar gemaakt worden. Daarom is alleen een vergelijking tussen 2022 en 2023 relevant.

Om inzicht te krijgen in verschillen in verklaring van de variantie in NH₃ emissie, is een enkelvoudige regressie (wederom met model 1) voor ieder van de bedrijven uitgevoerd met een beperkt aantal parameters die gerelateerd zijn aan het eiwitmetabolisme van het dier. Resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Het aantal waarnemingen en de verklaarde variantie (R^2) per bedrijf middels enkelvoudige regressie voor de voorspelling van de NH_3 emissie (kg/GVE/jaar) op basis van gemiddelde meetweek gegevens. De NH_3 -emissie is met behulp van een logtransformatie (LN) genormaliseerd.

Bedrijf	#	RE-gehalte (g/kg DS)	TAN- excretie (g/ GVE/jaar)	Melkureum- gehalte (mg/100g)	Aandeel vers gras (%)	N- efficiëntie (%)	VEM/kg DS	FPCM (kg/dier/ dag)
Bedr.1	54	-	-	-	24,6***	-	19,3***	-
Bedr.2	50	-	-	21,1***	-	-	-	-
Bedr.3	14	15,5 ^x	-	17,6 ^x	-	-	-	-
Bedr.4	77	-	-	16,1***	16,6***	-	-	-
Bedr.5	61	-	3,7 ^x	32,6***	10,1**	14,0**	9,9**	-
Bedr.6	157	-	-	15,7***	-	1,2 ^x	-	1,5 ^x
Bedr.7	4	82,2 ^x	-	96,2*	95,8*	-	98,6**	94,2*
Bedr.8	19	-	-	-	-	-	-	-
Bedr.9	40	-	-	64,1***	-	-	-	-
Bedr.10	47	13,4**	5,6 ^x	62,4***	20,5***	12,8**	5,7 ^x	22,6***
Bedr.11	36	-	-	11,5*	6,2 ^x	-	-	-
Bedr.12	26	-	-	18,7*	8,2 ^x	-	-	41,1***
Bedr.13	49	-	-	-	-	-	10,8*	5,3 ^x
Bedr.14	46	-	-	9,4*	-	13,8**	-	11,1*
Bedr.15	28	-	-	7,2 ^x	-	-	-	-

-.: geen significante verklaring; ^x: $p < 0,10$ (trend); *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

Uit Tabel 3.5 wordt duidelijk dat met name melkureumgehalte een significantie relatie heeft met NH_3 -emissie per GVE, namelijk bij 12 van de 15 bedrijven. Bij 2 van deze 12 bedrijven was er sprake van een trend in plaats van een significant effect. Het ruw eiwitgehalte in het rantsoen geeft slechts op 3 bedrijven een significantie relatie of trend en de TAN-excretie op nog minder bedrijven, namelijk alleen een trend op 2 bedrijven ($p < 0,10$). Het percentage vers gras in het rantsoen geeft op 7 bedrijven een significant effect of trend op de NH_3 -emissie.

Bedrijf 7 had slechts vier waarnemingen met NH_3 emissies. De verklaarde variantie is hierdoor steeds erg sterk, maar de significantie is vaak minder hoog. Dit contrast is veroorzaakt door het lage aantal waarnemingen in combinatie met de sterke spreiding van eiwitgehaltes in het rantsoen, melkureum en ammoniakemissie.

De spreiding in zowel de voerkenmerken als de NH_3 -emissies zijn bepalend voor de relaties tussen de kenmerken en de emissies. De bedrijven 3, 10 en 15 laten een trend of significante relatie zien tussen het ruw eiwitgehalte en de NH_3 -emissie. De bedrijven 3 en 10 laten een wat grotere spreiding in het eiwitgehalte zien dan sommige andere bedrijven. Bedrijven die op dit punt geen significante relaties laten zien, hadden mogelijk gewoon te weinig spreiding. De gemiddelde waarden, minimum, maximum en standaarddeviatie per bedrijf zijn weergegeven in bijlage 4.

Om tot een model te komen dat een groter aandeel van de variatie in NH_3 -emissie voorspelt, is het nodig om naast rantsoenfactoren ook andere factoren zoals stalsysteem (RAV-factor), ventilatiedebiet per dier, staltemperatuur en FPCM-niveau mee te nemen in een analyse middels een multivariate model voor de complete dataset. Dit multivariate model en de uitkomsten ervan is beschreven in hoofdstuk 3.4.

3.4 Meervoudige analyse voer- en dierkenmerken

3.4.1 Basismodel met enkelvoudige voerkenmerken

Om te komen tot een voorspelling van de NH₃-emissie, blijkt een model met enkelvoudige regressie niet te voldoen. Het basismodel dat in 2.3 beschreven wordt, geeft daarom een voorspelling van de NH₃-emissie aan de hand van ventilatiedebiet per dier, staltemperatuur, RAV-klasse, type meetmethode en FPCM. Dit basismodel kan de waargenomen variantie in NH₃-emissie met 40,3% verklaren.

Aan het model worden achtereenvolgens individuele dier- en voerkenmerken toegevoegd, namelijk melkureumgehalte, RE (g/kg DS)/VEM (VEM/kg DS) verhouding, RE (g/kg DS), RE- opname per dier per dag, TAN-excretie (kg/GVE/jaar) en % vers gras van de totale DS-opname. Op % vers gras na, verhogen alle hier geteste kenmerken de verklaring. Doordat %vers gras toch gedwongen wordt in het model mee te lopen, wordt er extra variatie toegevoegd, waardoor de verklaring zelfs lager wordt dan die in het basismodel. Resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.6.

Uit deze tabel blijkt dat melkureumgehalte het meeste toevoegt aan de verklaring van NH₃-variantie, terwijl zowel eiwit/VEM verhouding, als RE-gehalte en TAN-excretie een kleinere toevoeging hebben. Het % vers gras heeft geen toegevoegde waarde t.o.v. het basismodel.

Tabel 3.6 De verklaarde variantie met de verschillende modellen.

Model ¹	Rantsoeninfo	R ² additioneel	R ² Totaal
0 FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ²		-	40,3%
1 -	Melkureumgehalte (mg/dl)	+6,1	46,4%
2 -	Eiwit/VEM ratio	+1,2%	41,5%
3 -	RE (g/kg DS)	+0,7%	41,0%
4 -	RE opname (g/dier/dag)	+0,4%	40,7%
5 -	TAN-excretie (kg/GVE/jr)	+0,4%	40,7%
6 -	% vers gras		39,4%

¹ Het model gebruikt de met natuurlijk logaritme getransformeerde (LN) NH₃-emissie ² FPCM (meetmelk in kg/dier/dag); debiet: ventilatiedebiet per dier (m³/uur); type: meting met sensor of puntmeting; RAV-factor – ingeschatte emissie uit staltype; T_stal: staltemperatuur (°C).

Tabel 3.7 Effectschattingen (log-schaal) van het statistisch model (model 2), na correctie voor termen in het basismodel.

	schatting	Se ¹	P-waarde
RE (g/kg DS)	0,0036	0,0010	<0,001
TAN (kg/dier/dag)	0,0028	0,0008	<0,001
Melkureum (mg/dl)	0,0325	0,0034	<0,001
vers gras (% in rantsoen)	0,0987	0,1007	0,33

¹ standaardfout van de richtingscoëfficiënt

Met het model dat in Tabel 3.6 beschreven is, kunnen de effecten van de verschillende rantsoenkenmerken geschat worden (Tabel 3.7). De schattingen zijn hierbij effecten op logschaal. NH₃-emissie was immers genormaliseerd met een log-transformatie (LN). De effecten moeten daarom middels vermenigvuldigingfactoren geïnterpreteerd worden. Een verhoging van 10 gram/kg DS RE-gehalte komt naar schatting neer op een verhoging van de ammoniakemissie met 3,6% (vermenigvuldigingsfactor is $e^{(0.0036 \cdot 10)} = 1,0367$). Dit is lager dan de in de praktijk gehanteerde vuistregel van 1g re ~ 1% NH₃-emissie, en de schatting in model 1 (Tabel 3.4). De oorzaak voor verschillende schattingen bij verschillende modellen wordt besproken in Paragraaf 3.5.

Zowel melkureum als de rantsoenkenmerken RE-gehalte, TAN-excretie en RE/VEM ratio vertonen een positieve, significant geschatte relatie met ammoniakemissie. Het kenmerk % vers gras heeft ook een positief geschatte relatie, maar deze is niet significant afwijkend van 0.

3.4.2 Basismodel met meerdere voer- en rantsoenkenmerken

Bij de voorspelling van de NH₃-emissie met het basismodel kan tot 46,4% van de variatie verklaard worden door het basismodel uit te breiden met het melkureumgehalte. Om tot een hogere verklaring van de variatie te komen, zou een extra voer- of dierkenmerk toegevoegd kunnen worden. Hierbij is het noodzakelijk eerst de onderlinge correlaties vast te stellen. Deze worden weergegeven in Tabel 3.8. Verschillende kenmerken blijken hierbij onderling gecorreleerd te zijn, maar de correlaties tussen TAN-excretie en % vers gras zijn laag. Deze kenmerken zouden toegevoegd kunnen worden aan de beste twee modellen met een enkele onafhankelijke meting (dus geen ratio) als input (melkureumgehalte en RE per kg DS). De uitgebreide modellen zijn weer gegeven in Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Correlatie tussen RE-gehalte, TAN-excretie, RE/VEM ratio en % vers gras.

Kenmerk	Ureum	RE-gehalte	TAN-excretie	RE/VEM Ratio
RE-gehalte	0,49			
TAN-excretie	-0,03	0,00		
RE/VEM Ratio	0,52	0,94	0,01	
% vers gras	0,02	0,20	-0,02	0,36

Tabel 3.9 Model inclusief ureum of RE totaal met een extra toegevoegd kenmerk. De nummers van de modellen zijn gekoppeld aan de nummers in Tabel 3.6, waarbij een toegevoegde b of c een variant van dat model weergeeft.

Ureum	Model	Toegevoegd kenmerk		R ²
0	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹			40,3%
1	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹	Ureum***		46,4%
1b	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹	Ureum***	TAN-getal	46,4%
1c	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹	Ureum***	% vers gras	45,9%

RE per kg ds				
0	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹			40,3%
3	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹	RE (g/kg DS)***		41,0%
3b	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹	RE (g/kg DS)	TAN-getal*	40,7%
3c	FPCM + debiet + type + Rav + T_stal + ¹	RE (g/kg DS)**	% vers gras	40,9%

¹ FPCM (meetmelk in kg/dier/dag); debiet: ventilatiedebiet per dier (m³/uur); type: meting met sensor of puntmeting; RAV-factor – ingeschatte emissie uit staltype; T_stal: staltemperatuur (°C); TAN in kg/GVE/jr.
Significantie-aanduiding: ***(p<0.001), **(p<0.01), *(p<0.05)

Het effect van de uitbreiding van het model op verklaarde variatie in NH₃-emissie bleek zeer beperkt. De extra termen in het uitgebreide model bleken niet significant of corrigeren het effect van een reeds opgenomen rantsoenfactor weg (zoals bij RE en TAN-getal in hetzelfde model). De verklaring van de variantie werd bij het opnemen van extra rantsoenfactoren zelfs gereduceerd ten opzichte modellen met één extra variabele ten opzicht van het basismodel. Het heeft dan ook de voorkeur de modellen uit Tabel 3.6 te gebruiken.

3.4.3 Aanvullende verklaringen: week- en bedrijfsverschillen

De effecten van rantsoenkenmerken zijn significant (Tabel 3.6), dus zowel het ruw eiwitgehalte in het rantsoen als melkureum verklaren een deel van de variatie in NH₃ emissie. Echter, de verklaarde variantie is nog steeds relatief laag. Hier spelen de verschillen tussen meetweken (over bedrijven heen), maar ook de verschillen tussen bedrijven en in de tijd een rol. Uit de analyse blijkt dat er constante niveauverschillen tussen bedrijven zitten voor wat betreft ammoniakemissie.

Het random deel van het model in 3.4.1 schat een totale variantie in (log getransformeerde) NH₃-emissie die niet is verklaard met de fixed effecten uit tabel 3.6. Zo blijkt het dat bedrijven na correctie voor de fixed effecten nog steeds constante afwijkingen in NH₃-emissie hebben ten opzichte van de modelschatting. Dit noemen we bedrijfseffecten. Mogelijk zijn er nog (niet in de dataset voorkomende) invloedsfactoren op NH₃-emissie, waarin bedrijven onderling in verschillen. Hetzelfde geldt voor wekeffecten en bedrijfsspecifieke week-effecten. In een kalenderweek kunnen specifieke (weers)omstandigheden spelen, wat tot (generieke) wekeffecten leidt. Bedrijfsspecifieke wekeffecten kunnen spelen, bijv. als mest wordt uitgereden op een bedrijf. Deze totale variantie kan worden opgedeeld naar variantiecomponenten, waarmee enig inzicht kan worden verkregen over mogelijke bronnen van variatie, waardoor de gemeten NH₃-emissie, na correctie voor een aantal factoren (fixed effecten uit Tabel 3.6), nog steeds varieert (model 3).

In tabel 3.10 staan deze (random) variantiecomponenten weergegeven, wanneer het model alleen is gecorrigeerd met termen uit het basismodel (FPCM, ventilatiedebiet per dier, staltemperatuur, type NH₃-meting en RAV-factor). De variantiecomponent *bedrijf* (dit is de variatie tussen bedrijven van meerjarige bedrijfsgemiddelden, ofwel de "bedrijfseffecten") en de variantiecomponent *interactie bedrijf en weeknummer* (dit is de variatie van weeknummers *binnen* bedrijven) vormen samen het grootste aandeel van de (nog) onverklaarde variatie.

Vertaling van de variantiecomponent bedrijf (0,0201) is dat de meerjarige gemiddelde NH₃-emissie per bedrijf na correctie voor termen in het basismodel nog steeds af kunnen wijken van de modelvoorspelling. De standaarddeviatie van de bedrijfseffecten op logschaal wordt berekend als de wortel van de variantiecomponent bedrijf. Dit komt neer op de waarde 0,1418. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval ligt op het interval $\{-2 \times \text{standaarddeviatie tot } +2 \times \text{standaarddeviatie}\}$.

Daarmee komt het 95%-betrouwbaarheidsinterval op oorspronkelijk schaal op $e^{(-2 \times \text{stdev} ; +2 \times \text{stdev})} = (0,752; 1,328)$. Deze grenzen zijn vermenigvuldigingsfactoren.

Met andere woorden, naar schatting ligt 95% van de bedrijven in het interval tussen -24,8% en +32,5% van de gemiddelde verwachte waarde van de NH₃-emissie over de bedrijven.

De totale onverklaarde variantie is opgedeeld in variantiecomponenten. Dit betreft de variantie tussen weeknummer, variantie tussen bedrijven, variantie tussen weeknummers binnen het bedrijf en de variantie binnen hetzelfde weeknummer binnen het bedrijf. Door per variantie-component de R² te vergelijken met een "leeg (basis)model" (een model zonder fixed effecten), kan de partiële R² per variantiecomponent vastgesteld worden. Zo is te zien dat de fixed termen van het basismodel vooral veel variatie tussen bedrijven verklaren en daarnaast veel variatie tussen weeknummers van het jaar (seizoen).

Tabel 3.10 De (random) variantiecomponenten en verklaarde variantie (partiële R²) van het randomdeel bij de toepassing van het basismodel en het bij toepassing van het basismodel aangevuld met voer- en productiefactoren.

Model	Fixed			Random	
	Totale variantie basismodel	Week-nummer	Bedrijf	Weeknummer binnen bedrijf	Metingen binnen weeknummer binnen hetzelfde bedrijf
Variantie (onverklaard)	0,1016	0,0014	0,0201	0,0646	0,0155
Variantie (leeg)	0,1702	0,00562	0,07005	0,0727	0,0219
R ²	40,3%	74,9%	71,3%	11,1%	29,2%
Aanvulling van basismodel met:					
Melkureum	46,4%	72,2%	66,8%	29,4%	31,1%
RE/VEM	41,5%	76,9%	70,0%	15,0%	29,2%
RE	41,0%	77,6%	69,4%	14,4%	28,8%
TAN	40,7%	76,2%	69,6%	13,6%	29,2%
% Vers gras	39,4%	75,4%	69,1%	11,1%	29,2%

In het tweede deel van Tabel 3.10 staat de partiële R² per variantie-component wanneer het basismodel is aangevuld met voer- en productiefactoren (zie tabel 3.6). Zo is te zien dat de fixed effecten van het basismodel (uit Tabel 3.6) een aanzienlijk deel van de variatie tussen weeknummers (dit is vooral seizoen) en tussen bedrijven hebben verklaard (de variantie-component bedrijf is zonder correctiefactoren, dus een leeg model op een niveau van 0,07).

De week-variatie binnen bedrijven, die ongecorrigeerd met een waarde van 0,073 ook aanzienlijk is, neemt duidelijk minder af als gevolg van correctie voor de factoren in het basismodel. Dit betekent dat de termen in het basismodel relatief minder verklaring geven aan de variatie in NH₃-emissie binnen een bedrijf in de tijd.

Bij het toepassen van verschillende modeluitbreidingen van het basismodel met rantsoen- en dierkenmerken, blijkt ureum vooral op het niveau van weeknummers binnen het bedrijf meer te verklaren dan de andere geteste rantsoen- en dierkengetallen (Tabel 3.10). Melkureum pikt de fluctuaties in NH₃ emissie binnen een bedrijf dus kennelijk relatief beter op dan de overige (rantsoen) kenmerken, zoals ook goed te zien is in tabel 3.10. Echter, ook RE/VEM-ratio, RE-gehalte en TAN-getal geven nog een aanvullende verklaring aan weekvariatie in NH₃-emissie binnen bedrijven (in de tijd).

Melkureum en de overige rantsoenkenmerken geven op het niveau van bedrijf geen extra verklaring. Dit betekent dat bedrijfsgemiddelden van rantsoenkenmerken geen aanvullende verklaring geven aan variatie tussen bedrijven van langdurige gemiddelden van NH₃-emissie. Hierdoor rijst wellicht de vraag of dit komt doordat bedrijven gemiddeld genomen niet verschillen qua rantsoenkenmerken, of dat deze verschillen worden weg gecorrigeerd door verstrengeling van rantsoenkenmerken met kenmerken uit het basismodel (bijv. ventilatie of staltemperatuur).

In tabel 3.11 worden de partiële R² van dezelfde fixed termen gegeven als in tabel 3.10, echter nu in een model zonder de termen uit het basismodel.

Hieruit blijkt dat melkureum en de gekozen rantsoenkenmerken bijna allemaal geen verklaring voor seizoenvariatie in NH₃-emissie lijken te geven. Uitzondering is % vers gras in het rantsoen met een marginaal effect +7,1% op de partiële R² van (kalender)weeknummer. Dit komt overeen met de verwachting vanwege de seizoensgebonden inzet van vers gras in het rantsoen. Het conditionele effect (het additionele effect indien het fixed basismodel ook wordt meegenomen, zie tabel 3.10) van %vers gras was echter een stuk kleiner (75,4% -74,9 = 0,5%). Dit wijst erop dat staltemperatuur in het basismodel in enige mate verstrengeld is met %gras in het rantsoen, waardoor %gras in het rantsoen weinig additionele verklaring geeft, omdat staltemperatuur al in het fixed model is opgenomen.

Vergelijking van tabel 3.11 met tabel 3.10 levert daarnaast het inzicht dat RE, RE/VEM en TAN in marginale zin (zie Tabel 3.11) wel enige verklaring geven van de tussen-bedrijfs-verschillen (bedrijf), maar dat vanwege strengeling met termen in het basismodel deze variatie al door termen uit het basismodel worden verklaard.

Op het niveau van weeknummer binnen bedrijf (de binnenbedrijf-variatie) is te zien dat de conditionele effecten en de marginale effecten redelijk goed overeen komen. De marginale bijdrage van RE op R² is hier 4,0%, terwijl de conditionele bijdrage 3,3% (14,4-11,1) is. Dit betekent dat de wijze waarop bijvoorbeeld RE varieert in de tijd binnen bedrijven niet in ernstige mate correleert met de wijze waarop ventilatie, staltemperatuur of fpcm-productie van de dieren varieert in de tijd.

Tabel 3.11 De verklaarde variantie van de verschillende fixed effecten (partiële R²) bij de toepassing van dezelfde dier- en rantsoenkenmerken, maar EXCLUSIEF de fixed termen van het basismodel (ofwel het marginale effect).

Fixed Model	Fixed			Random	
	R ² -totaal	Week-nummer	Bedrijf	Weeknummer binnen bedrijf	Metingen binnen weeknummer binnen hetzelfde bedrijf
Melkureum	9,4%	<0,0%	0,1%	21,9%	4,0%
RE/VEM	6,2%	<0,0%	11,0%	4,2%	0,0%
RE	4,8%	<0,0%	8,7%	4,0%	0,0%
TAN	5,3%	<0,0%	11,3%	1,7%	0,0%
% Vers gras	1,3%	7,1%	0,0%	4,7%	0,0%

3.5 Vergelijking modellen

De schattingen van de effecten van individuele rantsoenenkenmerken op NH₃-emissie van de 2 type modellen (model 1 en model 2) in dit rapport (zie tabel 3.4 en 3.7) komen niet met elkaar overeen. Er is daarom een aanvullende analyse op uitsluitend de binnen-bedrijf-variatie van NH₃-emissie, met als belangrijkste vraag: "is op de bedrijven bij een hoger/lager dan het bedrijfs-gemiddelde RE-gehalte in het voer gemiddeld genomen ook een hoger/lager dan het bedrijfsgemiddelde niveau van NH₃-emissie"?

Om de invloed van tussen-bedrijf-verschillen volledig uit te schakelen zijn voorafgaand aan de analyse zowel de ammoniakemissie als het RE-gehalte van rantsoen in iedere meetweek gecorrigeerd voor het bedrijfsgemiddelde van het betreffende bedrijf.

Het model is als volgt:

$$Y_{ijkl} - \text{bedrijfsgemiddelde}(Y_j) = \beta_0 + \beta_1 * \{x - \text{bedrijfsgemiddelde}(x)\} + \underline{\varepsilon}_{ik} + \underline{\varepsilon}_{ijk} + \underline{\varepsilon}_{ijkl} \quad (\text{model 3})$$

Met Y_{ijkl} : LN (kg NH₃-emissie per GVE per jaar)

β_0 : het geschatte intercept

β_1 : schatting van de regressie-coëfficiënt

X : voerkenmerk RE-gehalte (in gram per kilogram)

$\underline{\varepsilon}_{ik}$: Random effecten weeknummer k

$\underline{\varepsilon}_{ijk}$: Random effect van weeknummer k (binnen bedrijf j), hierbij is wederom ϕ_1 geschat

$\underline{\varepsilon}_{ijkl}$: Random effect van meting l (binnen bedrijf j in weeknummer k)

In een pre-analyse is tevens de interactie tussen bedrijf en RE-gehalte getoetst en deze blijkt niet significant. De bedrijven reageren statistisch gezien dus allemaal vergelijkbaar op een verlaging van RE.

In Tabel 3.12 is de schatting van het effect van RE op NH₃-emissie volgens model 3 weergegeven. Dit model komt vrijwel overeen met de model 2 (Tabel 3.7). Het gecombineerde (de relatie tussen bedrijven resp. binnen bedrijven) effect van RE op NH₃-emissie van model 2 wordt dus in hoge mate wordt bepaald door de binnen-bedrijf-variatie in RE.

Dit verklaart daarmee ook waarom model 1 een andere (hogere) schatting van het effect van RE geeft. In dat model heeft de relatie tussen bedrijven (bedrijfsgemiddelde waarden RE versus bedrijfsgemiddelde waarde van NH₃-emissie een veel grotere invloed). In model 1 worden de schattingen in grotere mate beïnvloed door verschillen tussen bedrijven.

Het feit dat de schatting van het effect van RE-verlaging op NH₃-emissie binnen bedrijven lager uitvalt dan de verwachting heeft mogelijk te maken met het feit dat dit geen experimenteel onderzoek betreft. Het is niet uit te sluiten dat veehouders tegelijk met rantsoenveranderingen ook andere managementmaatregelen doorvoeren, misschien zelfs onbewust, waardoor effecten van voermaatregelen worden gemaskeerd.

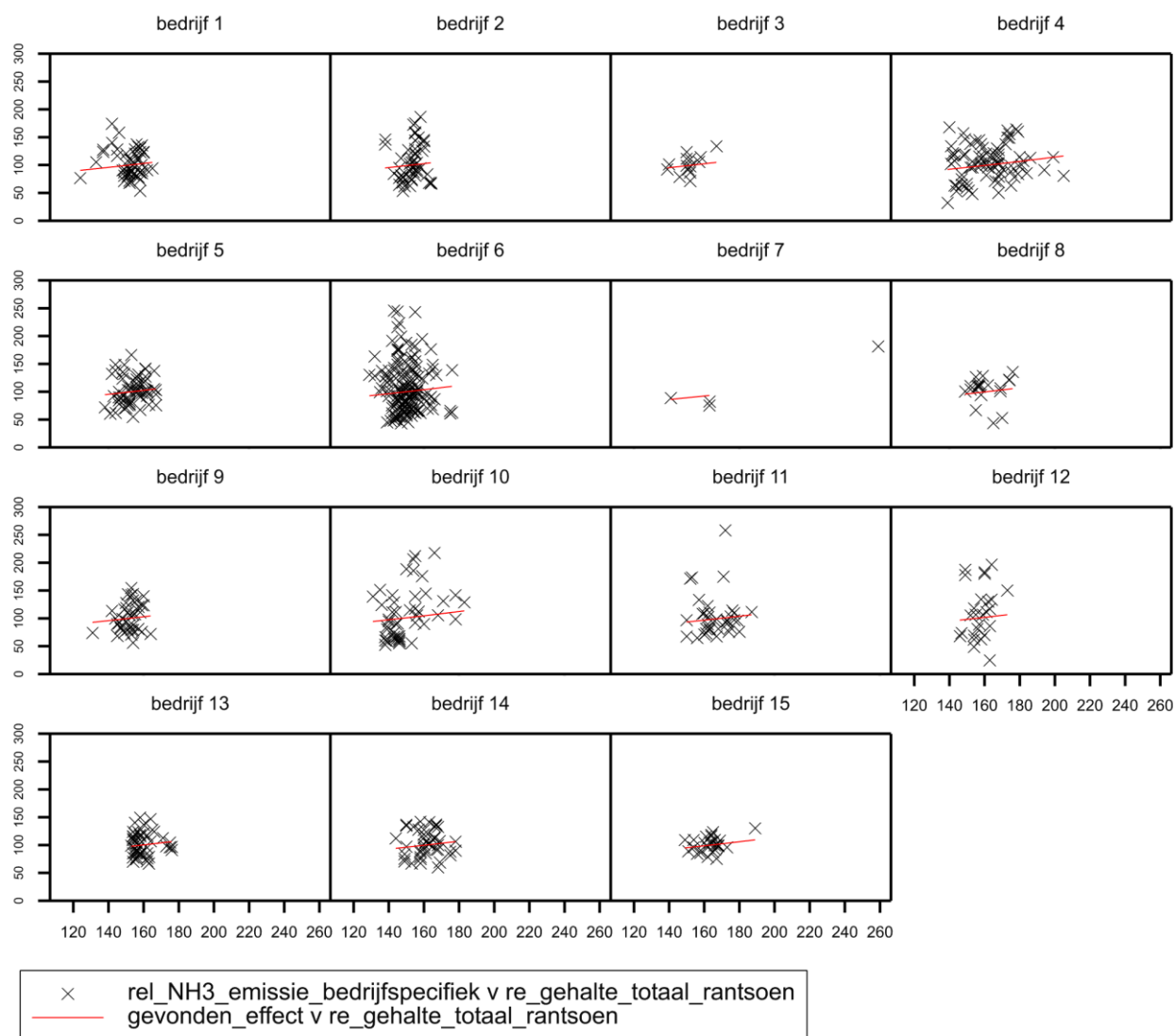
Tabel 3.12 Effect van RE op NH₃-emissie volgens model 2.

	schatting	Se¹	P-waarde
RE (g/kg DS)	0,0036	0,0012	<0,01

¹ standaardfout van de richtingscoëfficiënt

In Figuur 3.3 staan de NH₃-emissie per meetweek per bedrijf, waarbij de emissie is uitgedrukt met een indexwaarde t.o.v. het bedrijfsgemiddelde NH₃-emissie bij een bedrijfsgemiddelde RE-gehalte. Er is grote variatie binnen een bedrijf, met soms uitschieters tot 250% van de verwachting van het betreffende bedrijf.

procentuele reactie in NH₃emissie (mediaan=100) bij variatie in RE van het rantsoen



Figuur 3.3 De relatieve reactie in NH₃-emissie bij rantsoenveranderingen in RE ($y=100$ is de indexwaarde van NH₃-emissie bij een gemiddeld RE-gehalte van het betreffende bedrijf).

4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

4.1 Discussie

Doel van het rapport was de bruikbaarheid van verschillende voerparameters en daarvan afgeleide parameters voor de verklaring en voorspelling van de ammoniakemissie op melkveebedrijven te onderzoeken. In de inleiding zijn daarvoor een drietal vragen opgesteld die in dit rapport beantwoord moesten worden:

- i) Wat is het effect van voermanagement (specifiek RE-gehalte in het rantsoen) op NH₃-emissie uit de stal van lacterend melkvee?
- ii) Is het mogelijk om met individuele voer- en dierparameters de NH₃-emissie te voorspellen?
- iii) Welke parameter of combinatie van parameters (inclusief bedrijfs- en omgevingsparameters) is het beste in het voorspellen van de NH₃-emissie?

4.1.1 Enkelvoudige regressies (model 1)

Op basis van de enkelvoudige regressieanalyses (paragraaf 3.2) kan geconcludeerd worden dat er effecten van verschillende parameters op de ammoniakemissie vast te stellen zijn. Zowel dierparameters (melkureumgehalte, FPCM) als de rantsoenparameters (RE-gehalte, VEM-gehalte, TAN-excretie, N-efficiëntie, voerefficiëntie) geven significante correlaties met de ammoniakemissie per GVE. Echter, de verklaarde variantie (R^2) van de enkelvoudige regressies, voor NH₃-emissie in de volledige, gepoolde dataset is laag: 6% van de variatie in de NH₃-emissie wordt verklaard door verschillen in het RE-gehalte, 8% voor TAN-excretie en 11% voor melkureumgehalte. Deze lage percentages in de verklaarde variatie zijn misschien onverwacht, omdat RE-gehalte de belangrijkste parameter is om te sturen op NH₃-emissies, maar de variatie in eiwitniveau, zowel tussen als binnen bedrijven, is ook beperkt geweest (de variatiecoëfficiënt van ruw eiwit over de hele dataset is slechts 7,7% - Tabel 3.2). Binnen het project wordt actief gestuurd op het RE-gehalte en in Schep et al. (2024) is al geconstateerd dat op basis van de gegevens uit de KringloopWijzer bleek dat al in het eerste jaar een grote stap in verlaging van het RE gehalte is gezet ten opzichte van het basisjaar. In dat basisjaar werden echter nog geen metingen van de voeropname en -samenstelling en de ammoniakemissie uitgevoerd.

In paragraaf 3.3 is gekeken naar de eenvoudige enkelvoudige regressies per bedrijf. Hieruit wordt duidelijk dat op enkele bedrijven de enkelvoudige parameters correleren met de NH₃-emissie, maar dit is niet op alle bedrijven het geval. De relatie tussen RE en NH₃-emissie was slechts bij 1 bedrijf significant en gaf bij 2 bedrijven een trend, terwijl TAN alleen een trend gaf bij 3 bedrijven. De relatie tussen melkureumgehalte en NH₃-emissie geeft bij de meeste bedrijven wél een significante relatie (10 keer significant, 1 keer een trend), met verklaringen tussen de 7 en 33%. Bedrijf 7 is hierbij buiten beschouwing gelaten: bij dit bedrijf waren de correlaties tussen de afzonderlijke kenmerken en de ammoniakemissie zeer hoog. Dit is veroorzaakt door de hoge variatie in RE-gehalte in het rantsoen, melkureumgehalte en TAN-excretie in combinatie met een beperkt aantal waarnemingen (vier). Door het kleine aantal waarnemingen kan er weinig waarde aan de relaties op dit bedrijf gehecht worden, maar het geeft wel aan dat de lage variatie in NH₃-emissie, TAN-excretie en RE-gehalte op andere bedrijven mogelijk debet is aan de lage verklaarde variantie van de verschillende parameters en NH₃-emissie. De variatiecoëfficiënt van RE bedroeg slechts 7,7% (Tabel 3.2) en die van TAN was 18,6% (Tabel 3.3). Die van het melkureumgehalte was 20,8% (Tabel 3.1).

4.1.2 Meervoudige regressie (model 2)

In paragraaf 3.4 zijn meervoudige regressies uitgevoerd. Daarvoor is een basismodel gemaakt met daarin op basis van Schep et al. (2024) andere dan aan voer gerelateerde parameters. Uit de meervoudige regressies blijkt dat het fixed gedeelte van het basismodel 40% van de gemeten variantie in de NH₃-emissie verklaart. In het basismodel zijn o.a. het ventilatiedebiet per dier, de FPCM-productie en de staltemperatuur meegenomen.

Het toevoegen van extra dier- en voedingsvariabelen bleek een kleine extra verklaring te geven die in dezelfde orde van grootte lag als bij de enkelvoudige regressie gevonden was en had dus wel degelijk een (beperkt) extra effect op verklaring en voorspelling van de NH₃-emissie. Het melkureumgehalte bleek hierbij de meeste extra verklaring toe te voegen, gevolgd door eiwitgehalte van het rantsoen en TAN-excretie. Percentage vers gras had geen toegevoegde waarde in het verklaren van variatie in NH₃-emissie. Dit komt overeen met de verklaring die waargenomen is bij de enkelvoudige regressies: ook hier verklaarde het melkureumgehalte de meeste variatie in NH₃-emissie, gevolgd door RE-gehalte van het rantsoen en TAN-excretie. Het percentage vers gras verklaarde slechts 1,7% van de variantie in de enkelvoudige regressie van de gehele dataset.

Bij de analyse bleek dat er niveauverschillen tussen de bedrijven waren. Daarnaast is er variatie in de tijd in NH₃-emissie tussen meetweken (een generiek meetweek-effect over de bedrijven heen) en is er nog veel bedrijfsspecifieke variatie in NH₃-emissie van week tot week (binnen bedrijf variatie).

De relatief lage verklaring van variatie in NH₃-emissie door RE-gehalte, TAN-excretie en percentage vers gras was onverwacht. Met name van TAN-excretie werd verwacht dat deze ook in een dergelijke dataset een sterke relatie met de NH₃-emissie zou hebben. In literatuur wordt aangegeven dat juist de TAN een sterke voorspelling geeft voor de NH₃-emissie (Sebek et al., 2017; Oenema en Oenema, 2022). Dat dit hier niet het geval is, wordt mogelijk ook hier veroorzaakt door de lage spreiding: het gemiddelde eiwitgehalte lag bij de helft van de bedrijven al onder de 160 g/kg DS, en bij 13 van de 15 bedrijven onder de 165 (spreiding is weergegeven in Bijlage 4). Ook de variatiecoëfficiënt van de dataset was laag, 7,7%. De TAN-excretie lag gemiddeld over alle bedrijven op 78 kg/GVE/jaar met een variatiecoëfficiënt van 18,6% (Tabel 3.3). De TAN-excretie is in deze dataset berekend uit o.a. het eiwitgehalte van het rantsoen, de verteerbaarheid van het rantsoen en de melkproductie, de gebruikelijke methode in de KringloopWijzer (KLW). Het meenemen van FPCM in het basismodel verklaart mogelijk al een deel van de variantie die anders door TAN verklaard zou kunnen worden en de verklaring van TAN was dan ook mogelijk hoger geweest als FPCM geen deel had uitgemaakt van het basismodel. Dit wordt deels ook bevestigd wanneer marginale effecten van TAN worden vergeleken met conditionele effecten van TAN (zie tabel 3.10 en 3.11). Sowieso is één van de belangrijkste oorzaken voor het afwijken van de verwachtingen (de relatief lage verklaring van de verschillende kengetallen) dat het observationeel onderzoek betreft, en er dus geen verschillende RE-gehaltes of TAN-excreties onder precies dezelfde omstandigheden zijn getest. Verschillen in bedrijfsopzet, oriëntatie van de stal, melkveeras, veebezetting, indeling van de stal en management dat niet gemeten is, maken de bedrijven onderling verschillend en dragen daarmee bij aan tussen-bedrijfsvariatie.

Het kengetal %vers gras gaf een relatief lage verklaring van de NH₃-emissie (1,7% in de totale dataset bij enkelvoudige regressies, geen toegevoegde waarde in het meervoudige regressiemodel). Dit is inherent aan het feit dat het meeste verse gras middels weidegang opgenomen wordt. Echter, een goede emissiebepaling is bij veel weidegang nog lastig aangezien de aanwezigheid van de dieren wordt benut om een schatting van het ventilatieniveau te maken. Meetweken met meer dan 10 uur weidegang per dag zijn daarom uitgesloten in de analyse. Echter, ook bedrijven waar minder uren geweid wordt, geven mogelijk geen nauwkeurig beeld. Zie Schep et al. (2024) voor een discussie over effect van weidegang op de mogelijkheid om emissies te meten. Een ander aspect van het kengetal %vers gras is het seizoenseffect dat bepalend is. Deze loopt deels synchroon en is daardoor verstrengeld met staltemperatuur, waardoor een deel van het effect van % vers gras al verdisconteerd is in het effect van staltemperatuur.

Voor de voorspellingen van de NH₃-emissie in een willekeurige week op een willekeurig bedrijf gaat de voorkeur op basis van de modelberekeningen uit naar melkureum. Deze pikt de fluctuaties binnen bedrijf relatief beter op dan de andere kenmerken. Aangezien het melkureumgehalte op ieder bedrijf elke drie dagen gemeten wordt, geeft dit ook goede sturingsmogelijkheden. Bij een relatief hoog melkureumgehalte zou direct het eiwitgehalte in het rantsoen aangepast kunnen worden, met (naar verwachting) lagere NH₃-emissies tot gevolg.

4.1.3 Vergelijking tussen modellen

Verschillen in schattingen tussen de enkelvoudige en meervoudige modellen zijn al besproken in paragraaf 3.5. Het gecombineerde (de relatie tussen bedrijven resp. binnen bedrijven) effect van RE op NH₃-emissie van model 2 bleek in hoge mate te worden bepaald door de binnen-bedrijf-variatie in RE. In model 1, het enkelvoudige model, had de relatie tussen bedrijven (bedrijfs-gemiddelde waarden RE versus bedrijfs-gemiddelde waarde van NH₃-emissie) een veel grotere invloed en worden de schattingen dus in grotere mate beïnvloed door verschillen tussen bedrijven dan bij model 2. De lagere schatting van het effect van RE-verlaging op NH₃-emissie binnen bedrijven heeft mogelijk te maken met het feit dat het observationeel onderzoek betreft. Hierbij is het mogelijk – en gezien het doel van het Netwerk Praktijkbedrijven zelfs te verwachten – dat veehouders tegelijk met rantsoenveranderingen ook andere managementmaatregelen doorvoeren. Hierdoor kunnen effecten van voermaatregelen worden gemaskeerd.

4.2 Kanttekeningen

4.2.1 Ontbrekende kengetallen

In deze analyse ontbreken andere kengetallen voor de waardering van eiwit zoals FOSp (fermenteerbare organische stof op pensniveau), DVE (darm verteerbaar eiwit) en OEB (onbestendige eiwitbalans in de pens) of OEB in de eerste 2 uur na voeren. Deze kengetallen waren niet aanwezig in de dataset, omdat ze in veel gevallen niet aangeleverd zijn door de toeleverende mengvoerbedrijven. De Nederlandse mengvoerindustrie rekent vaak met bedrijfseigen kengetallen en levert die aan. Hoewel de mengvoerbedrijvenbedrijven allemaal wel in staat zijn om de eiwit- en energiewaarderingskengetallen te berekenen, blijkt de levering hiervan toch niet vanzelfsprekend. Kengetallen waarvan niet meer dan 95% van de geleverde voeders een waarde hadden, geven geen precieze inschatting van de opname en zijn daarom niet meegenomen in de dataset. Echter, in een vervolgonderzoek naar praktijkresultaten zou het wel degelijk de moeite lonen om de OEB, DVE en FOSp te relateren aan de NH₃-emissie. Met name in geval van een hoge OEB kan op basis van de literatuur een sterke relatie met de NH₃-emissie verwacht worden (zie van Duinkerken et al, 2012). Ook andere kengetallen zoals oplosbaar eiwit en NH₃-fractie van de graskuil zouden een relatie met de NH₃-emissie kunnen hebben, maar aangezien deze kengetallen niet beschikbaar waren, is dat in deze specifieke dataset niet te testen. Bij een vervolganalyse zou het de moeite waarde zijn om moeite te doen ook deze kengetallen te generen.

4.2.2 Opbouw dataset

In de inleiding is al genoemd dat het project alleen observationele data geeft: er worden zoveel mogelijk praktijkdata verzameld, maar er is geen speciale proef aangelegd. Het geschatte effect van een individuele term in het model wordt mogelijk beïnvloed door het feit dat het hier geen orthogonale (experimenteel aangelegde) proefdata betreft. Echter, ook al zijn de effecten van voer- en dierkenmerken op de NH₃-emissie hierdoor minder sterk dan verwacht, toch is uit de analyse ook duidelijk geworden dat ook onder praktijkomstandigheden melkureumgehalte, RE-gehalte en TAN-excretie een positief effect hebben op de NH₃-emissie, en dus de NH₃-emissie verhogen. Om NH₃-emissie te reduceren, is het dus nodig te sturen op deze kenmerken.

4.3 Toepassing routeplan en stappenplan

In de inleiding is het routeplan en het stappenplan voor de reductie van ammoniak- en methaanemissies weergegeven. Het stappenplan voor de reductie van ammoniakemissie is hierbij met name gericht op het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen en het verlagen van het aantal stuks jongvee, waarbij in dit rapport alleen ingegaan is op het verlagen van het ruw eiwitgehalte en daarmee verwante eiwitkengetallen in rantsoen en dier (TAN-excretie, melkureumgehalte).

Ondanks het feit dat de verklaarde variantie relatief laag is, levert de aandacht voor rantsoen in het routeplan, en het verlagen van eiwit in het rantsoen in het stappenplan (stap 1) wel degelijk een reductie in NH₃-emissie op, en is dit dus een aspect dat zeker onderdeel van het plan moet blijven. Het verlagen van het aantal stuks jongvee is niet meegenomen in deze analyse. Hier zou in de toekomst nog naar gekeken kunnen worden. Op het verhogen van de VEM-gehalte van het rantsoen is in dit rapport weinig ingegaan (onderdeel van stap 2 in het stappenplan). Echter, het VEM-gehalte bleek bij te dragen aan het verlagen van de ammoniakemissie (Zie tabel 3.4 $R^2=6,1\%$, iets lager dan de R^2 van het enkelvoudige model met RE-gehalte van $6,7\%$), en kan dus ook een effectieve maatregel zijn in het reduceren van NH₃-emissie. Stap 3 in het stappenplan betreft de methaanemissie, waar in dit rapport niet op ingegaan is. Stap 4 betreft de teelt van ruwvoer: hierbij zouden effecten op VEM- en RE-gehalten meegenomen moeten worden in het kader van NH₃-emissie.

4.4 Algemene conclusies

Terugkomend op de onderzoeksvragen die gesteld zijn, kan op basis van de verschillende regressies die in dit onderzoek uitgevoerd zijn, het volgende geconcludeerd worden:

- i. Binnen de huidige dataset is er een positief effect van eiwitgerelateerde factoren (melkureumgehalte, RE-gehalte, TAN-excretie) op de NH₃-emissie te zien, zij het dat deze factoren slechts een klein deel (6-11%) van de variatie kunnen verklaren. De relatief lage verklaring van de verschillende voedings- en dierengetallen zijn veroorzaakt doordat het een praktijkdataset betreft met een relatief lage spreiding, waarbij geen gebruik is gemaakt van het testen van verschillende maatregelen onder gelijke omstandigheden. Veel bedrijven hebben bijvoorbeeld al een laag eiwitgehalte in het rantsoen.
- ii. De richtingscoëfficiënten van de relatie tussen individuele factoren en de NH₃-emissie zijn conform verwachting: een verhoging van het RE-gehalte, de TAN-excretie of het melkureumgehalte verhoogt de hogere NH₃-emissie.
- iii. Het model met de beste voorspelling betrof een model met ventilatiedebiet, melkproductie, RAV-factor, staltemperatuur, en melkureumgehalte. Het vaste deel van het model voorspelde 46,4% van de variatie. Een vergelijkbaar model met ruw eiwit in plaats van melkureum voorspelde 41,0% van de variatie. Daarnaast zijn nog onverklaarde herhaalbare bedrijfseffecten (bedrijfsverschillen) gevonden. Bovendien zijn er ook nog dier- of rantsoenkenmerken die niet beschikbaar waren en die mogelijk ook een invloed op de NH₃-emissie zouden kunnen hebben, zoals bijvoorbeeld genetische aspecten en eiwitkwaliteit van het rantsoen.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de verschillende geselecteerde dier- en voerparameters significante effecten op de NH₃-emissie per GVE hebben. De hoeveelheid verklaarde variantie in NH₃-emissie door dier- en voerfactoren is echter niet hoog. Dat wordt veroorzaakt door bedrijfsverschillen, variatie in de tijd en de relatief lage spreiding van geselecteerde dier- en voerparameters op veel van de bedrijven. Binnen bedrijven is er een sterkere verklaring van de variatie in NH₃-emissie door dier- en voerparameters, met name door het melkureumgehalte. Zowel RE-gehalte als TAN-excretie zijn weliswaar significant in het schatten van variatie in NH₃-emissie in de totale dataset, maar ze komen niet op alle bedrijven als significante factoren naar voren in de schatting van variatie in NH₃-emissie. Ook dit komt waarschijnlijk door de beperkte spreiding in deze parameters – de variatiecoëfficiënt van RE was slechts 7,7% en de gehalten waren laag, gemiddeld 156 g/kg DS. Melkveehouders zijn al langere tijd bezig met de reductie van eiwit in het rantsoen (en daarmee TAN-excretie in de mest), waardoor er over de jaren weinig verschillen in RE van het rantsoen zijn en variatie in NH₃-emissie slechts beperkt verklaard kan worden.

Ondanks het feit dat de verschillende voedingskengetallen slechts een kleine verklaring van de variantie van NH₃-emissie gaven, zijn de effecten wel degelijk significant en bieden daarmee handelingsperspectief. Het continueren van de genomen stappen in de vorm van voedingsmaatregelen is daarom gewenst. Zowel het verlagen van ruw eiwit in het rantsoen, als het verlagen van de TAN-excretie en lagere melkureumgehalten reduceren de NH₃-emissie. Omdat melkureum in deze praktijkdataset de sterkste correlatie met de NH₃-emissie had, en deze in de praktijk regelmatig gemeten wordt, is melkureum een kengetal dat eenvoudig ingezet kan worden om de NH₃-emissie te reduceren.

Het is hierbij wel belangrijk te realiseren dat de werkelijke variatie in de praktijk groot is en dat effecten van maatregelen daardoor niet direct zichtbaar hoeven te zijn.

4.5 Aanbevelingen

Uit de analyses in dit rapport bleek het melkureumgehalte één van de meest significante dier- en voedingsparameters te zijn om de ammoniakemissie. Het melkureumgehalte is een uiting van de ureum bloedspiegel in het dier en is als dusdanig een indicator van het eiwitniveau van het rantsoen en geen maatregel. Echter, omdat het elke drie dagen gemeten wordt bij het ophalen van de melk, kan het wel degelijk gebruikt worden om het eiwitniveau van het rantsoen te sturen, bijvoorbeeld door sojaschroot uit het rantsoen te vervangen door energierijke en eiwitarme voedermiddelen zoals granen of hullen. Ureum zou dan ook gebruikt moeten worden als indicator om rantsoenmaatregelen te nemen/ RE te corrigeren.

In dit rapport zijn geen andere NH₃-emissiereducerende maatregelen meegenomen dan het RE-niveau in het rantsoen en eventuele andere voedingsmaatregelen. Andere maatregelen, zoals water druppelen, zouden beter inzichtelijk gemaakt moeten worden in combinatie met de voedingsmaatregelen. Momenten waarop dit soort maatregelen toegepast worden, moeten in de vervolgfase goed inzichtelijk worden gemaakt, zodat de effecten van dergelijke maatregelen op NH₃-emissie goed gekwantificeerd kunnen worden. Daarnaast zouden in een vervolgfase ook extra voerkenmerken toegevoegd kunnen worden die de voorspelling van de NH₃-emissie zouden kunnen verbeteren, zoals DVE, OEB of oplosbaar eiwit.

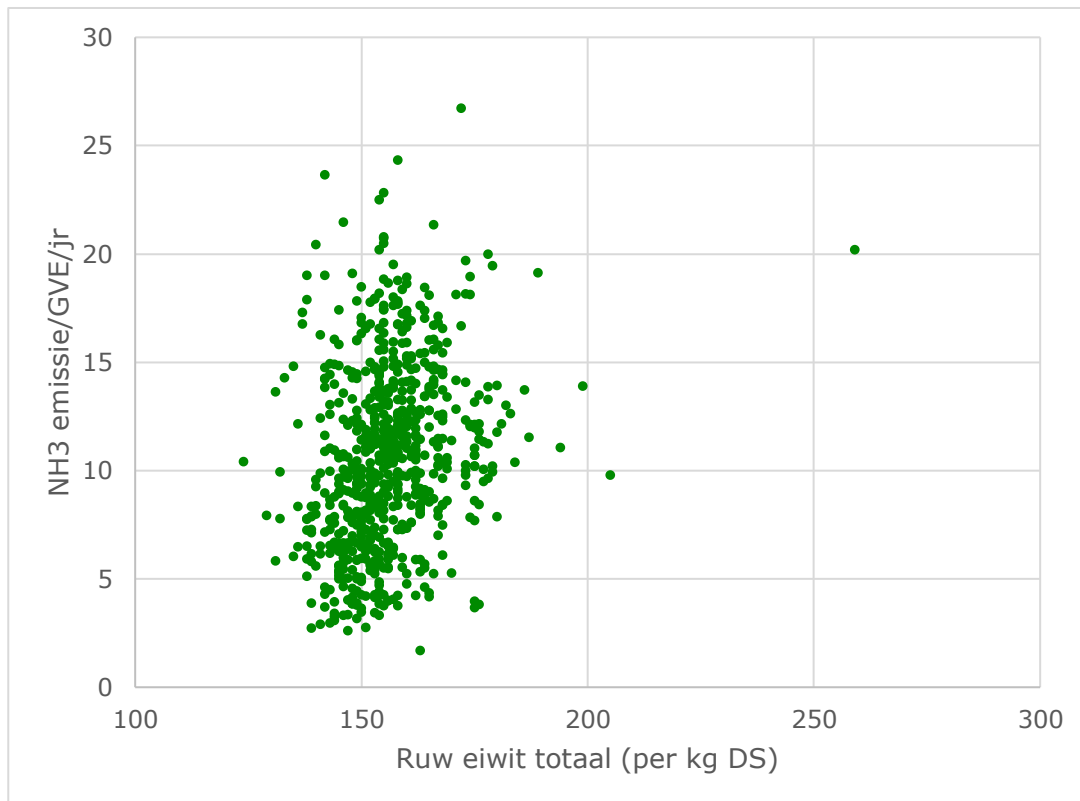
Het testen van effecten van verschillende behandelingen, bijvoorbeeld verschillende eiwitniveaus, op de NH₃-emissie binnen één bedrijf zou ook zeer gewenst zijn. Het is echter niet mogelijk om precies dezelfde omstandigheden te creëren om op vergelijkbare wijze de NH₃-emissie te meten. Dit soort onderzoek zou op onderzoeksbedrijven uitgevoerd moeten worden.

Van de verschillende bedrijven uit het Netwerk Praktijk Bedrijven is ook de KringloopWijzer (op jaarbasis) beschikbaar is. In dit rapport zijn getallen uit de KringloopWijzer niet gebruikt. Bij een uitgebreide analyse aan het eind van de meetperiode moeten de resultaten van de KringloopWijzer en de gemeten NH₃-emissie over het gehele jaar nog tegen elkaar uitgezet te worden om NH₃-emissie te kunnen evalueren op jaarbasis.

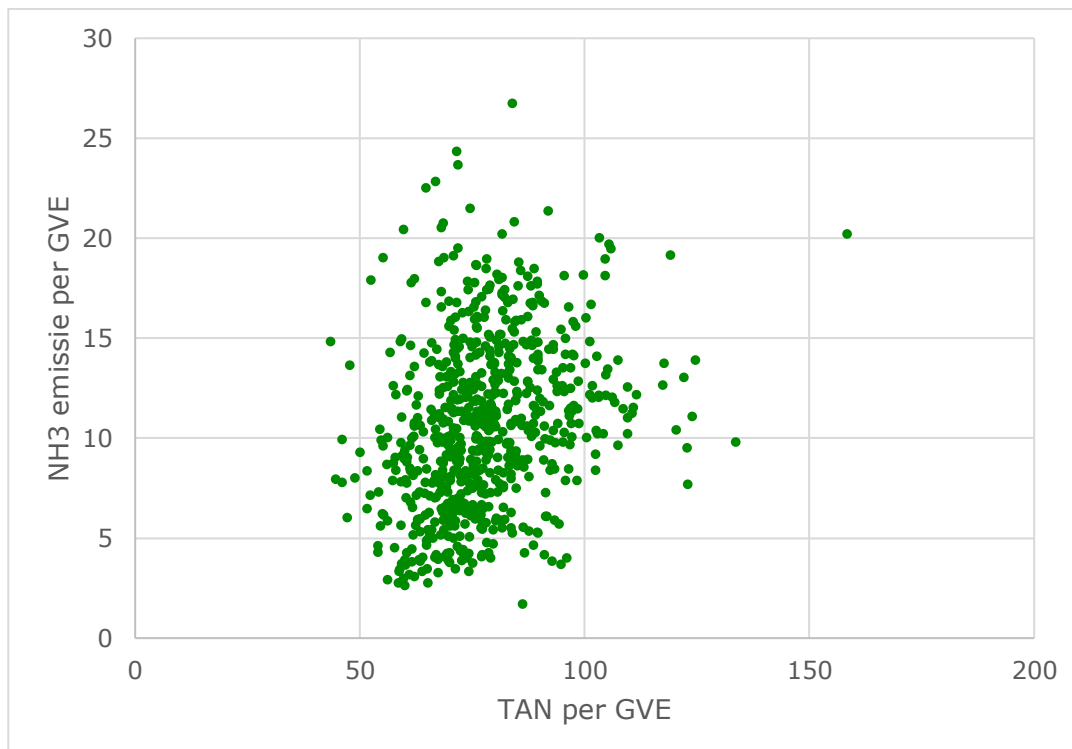
Literatuur

- Oenema, J. en O. Oenema, 2022. Unraveling feed and nutrient use efficiencies in grassland-based dairy farms. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. DOI 10.3389/fsufs.2022.846561.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, en J.M. Hol, 2013. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de melkveehouderij 2013, Wageningen UR Livestock Research Rapport 726.
- Schep, C.A., E.D.W. Vermeulen, H.J.C. van Dooren, J.A. Keuskamp, E.A.P. van Well en K. van Deest. 2024. Emissies van ammoniak en methaan uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven. Rapport 1487, WLR.
- Sebek, L., G. Migchels en C. van Dijk., 2017. Het verlagen van de TAN-excretie als maatregel om de ammoniakemissie op het melkveebedrijf te verminderen Methodiek voor het vaststellen van de TAN-excretie: module 'Bedrijfsspecifieke Emissie Ammoniak' (BEA) van de Kringloopwijzer. Wageningen Livestock Research Rapport 1020. <http://dx.doi.org/10.18174/412075>.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen en J.F.M. Huijsmans, 2012. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 46, 248-255.

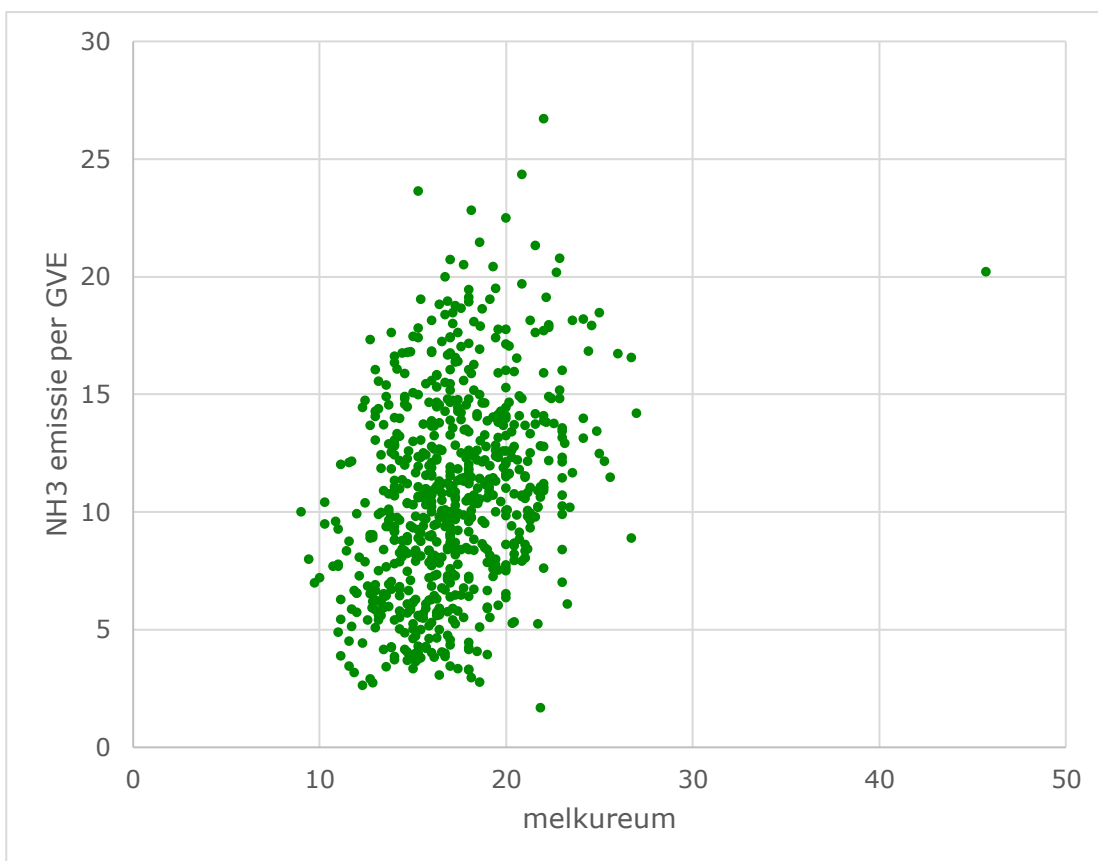
Bijlage 1 De spreiding in NH₃-emissie uitgezet verschillende parameters



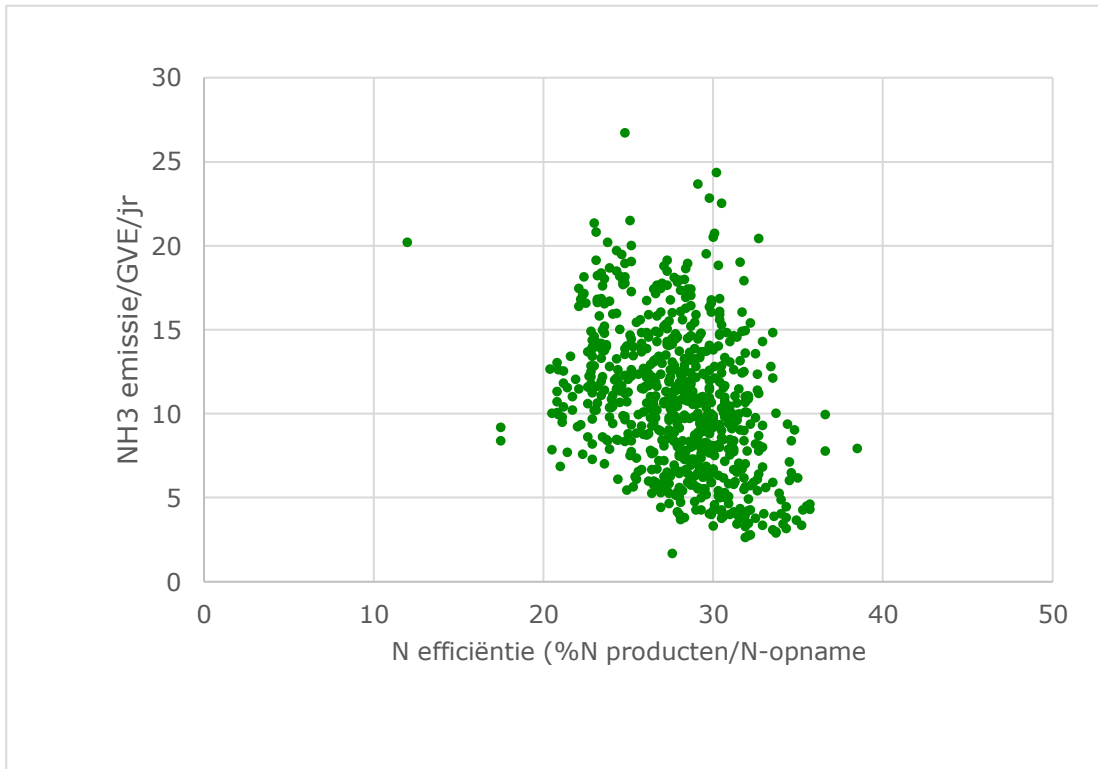
Figuur B1.1 De spreiding in NH₃-emissie uitgezet tegen ruw eiwit (g/kg DS).



Figuur B1.2 De spreiding in NH₃-emissie (kg/GVE/jaar) uitgezet tegen TAN (kg/GVE/jaar).

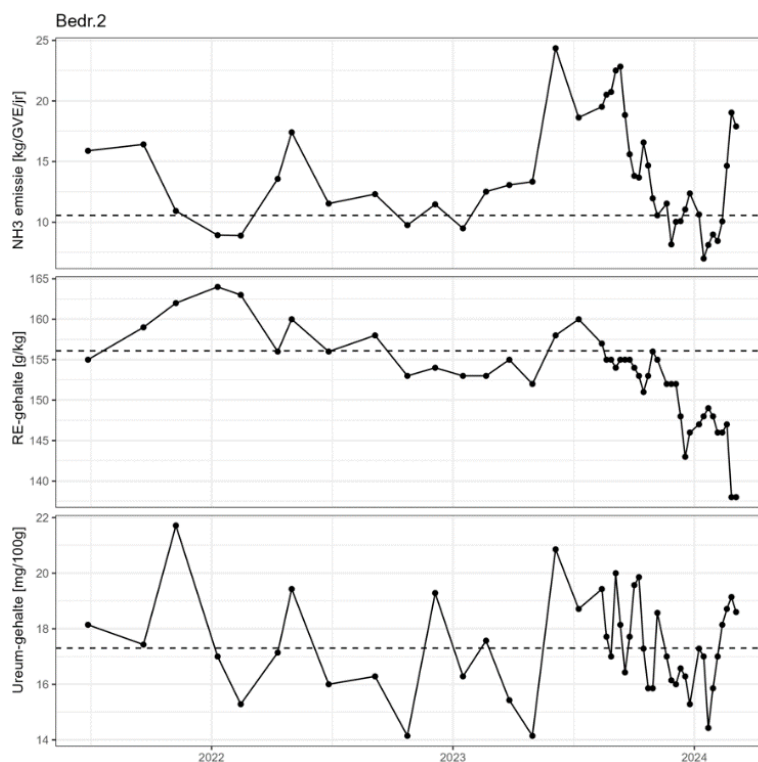
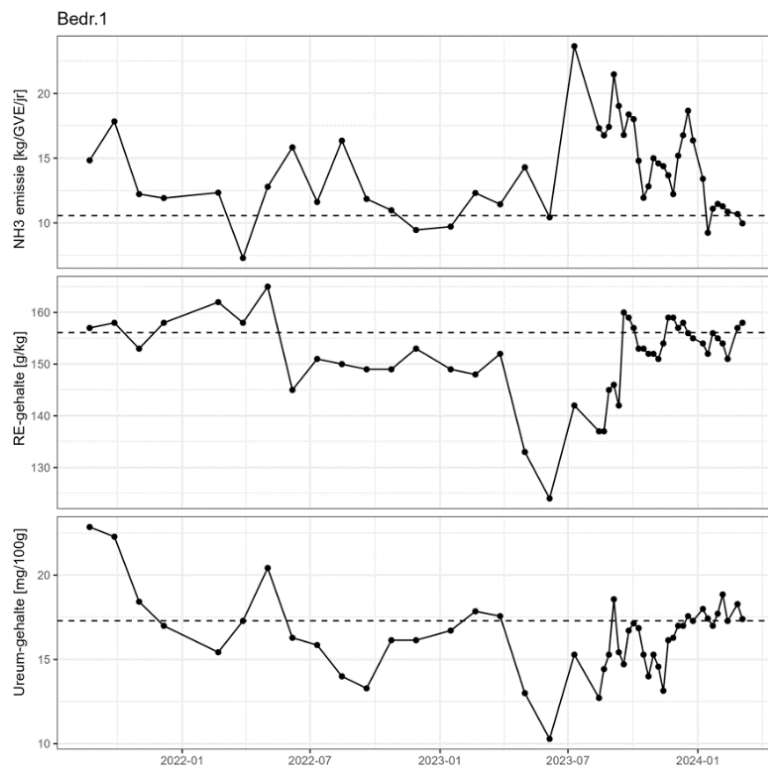


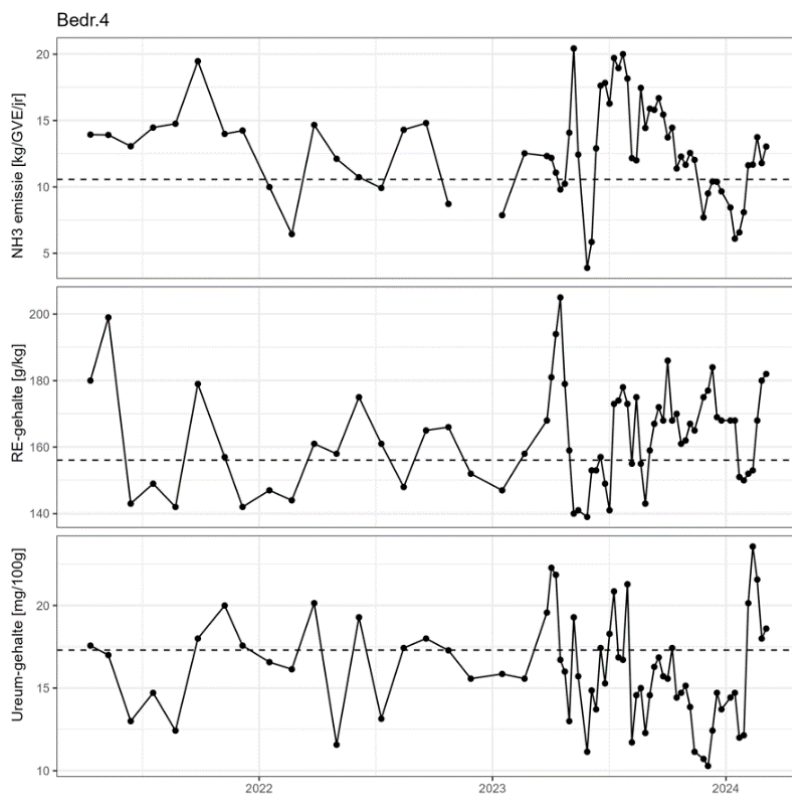
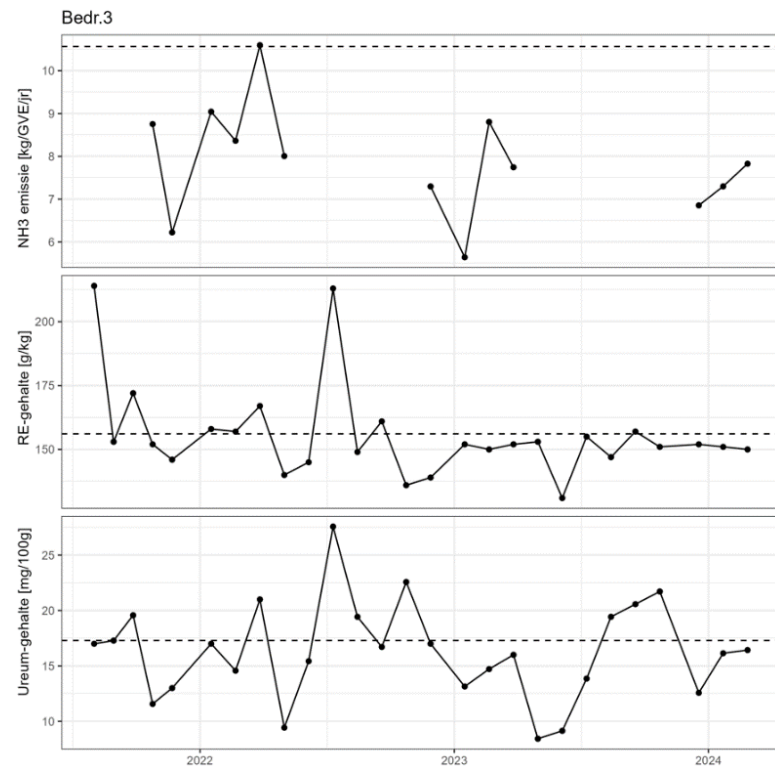
Figuur B1.3 De spreiding in NH₃-emissie (kg/GVE/jr) uitgezet tegen melkureum (mg/100 ml).

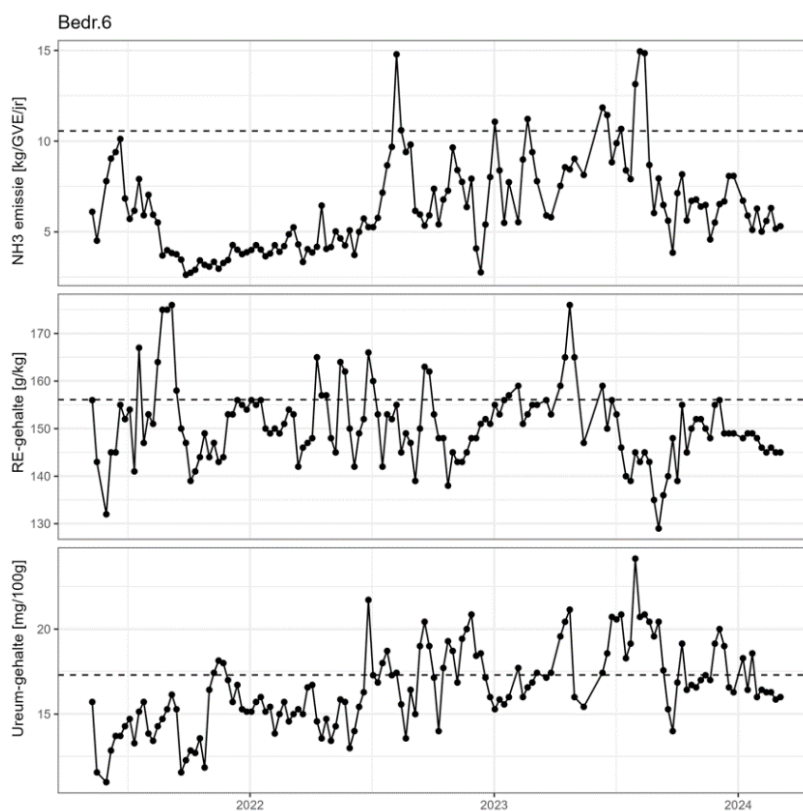
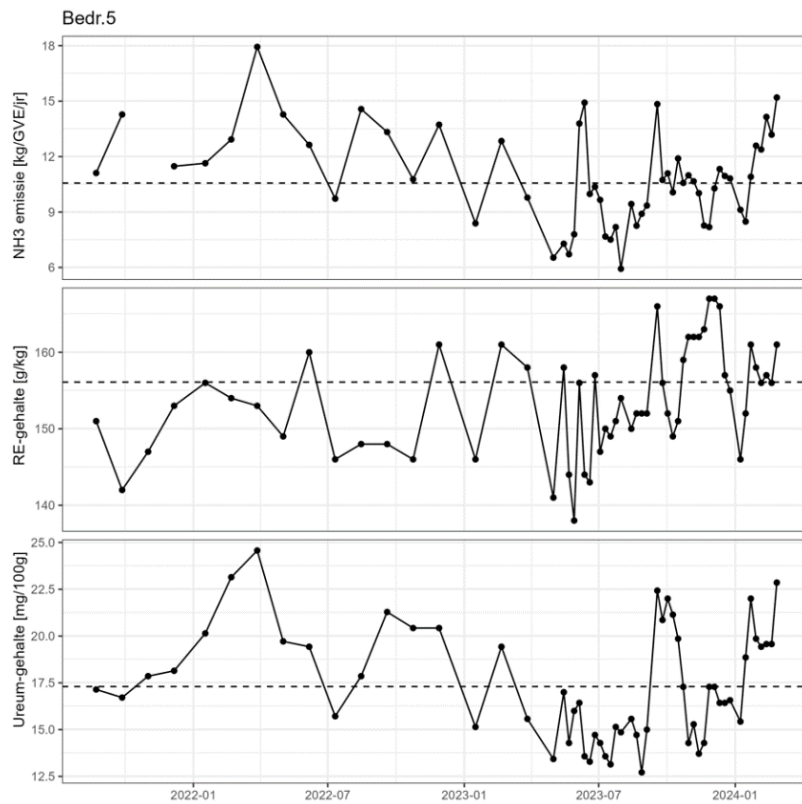


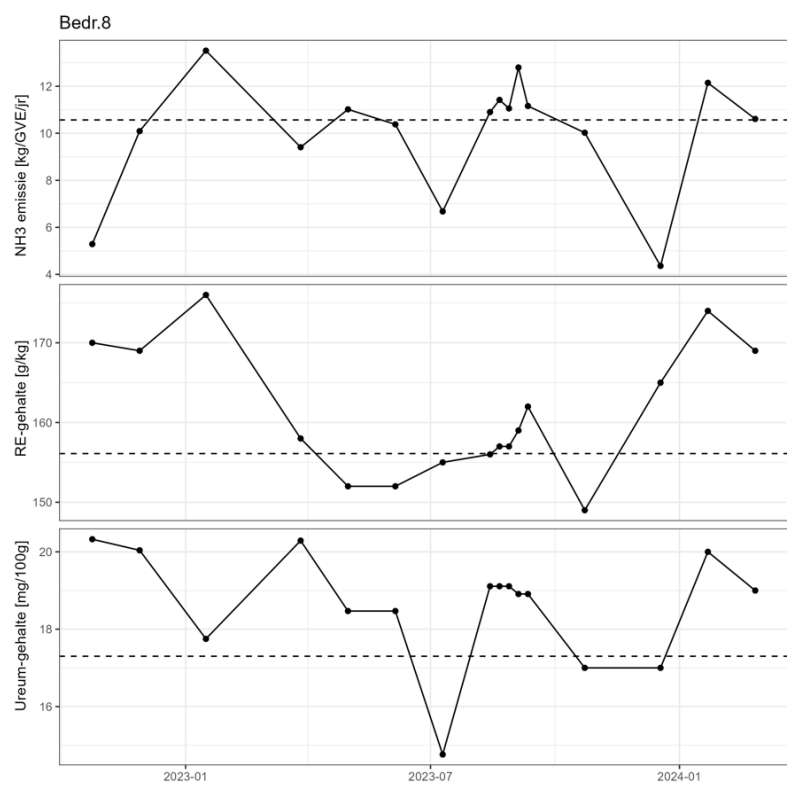
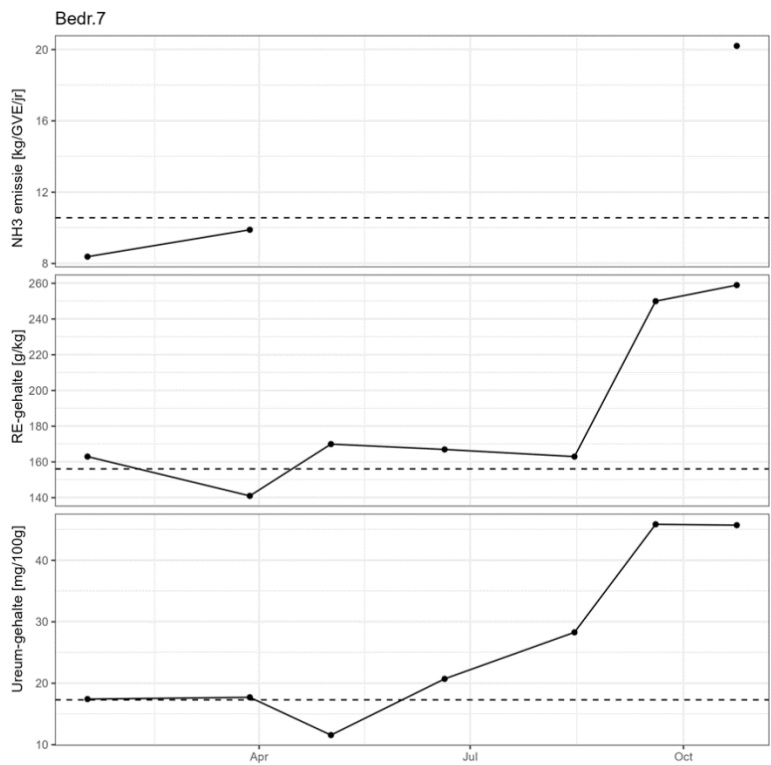
Figuur B1.4 De spreiding in NH₃-emissie (kg/GVE/jaar) uitgezet tegen N-efficiëntie (%).

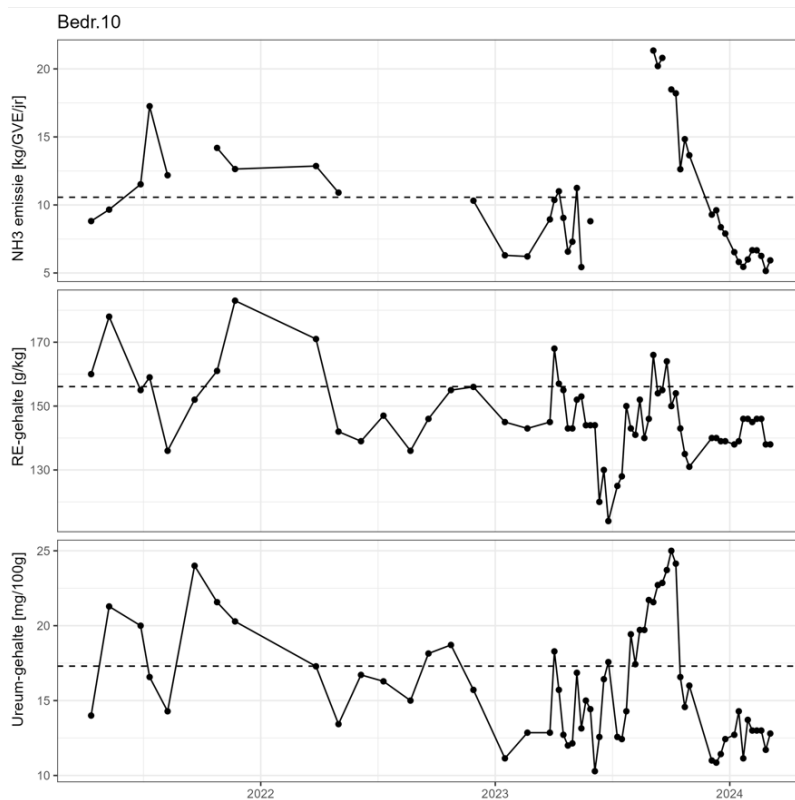
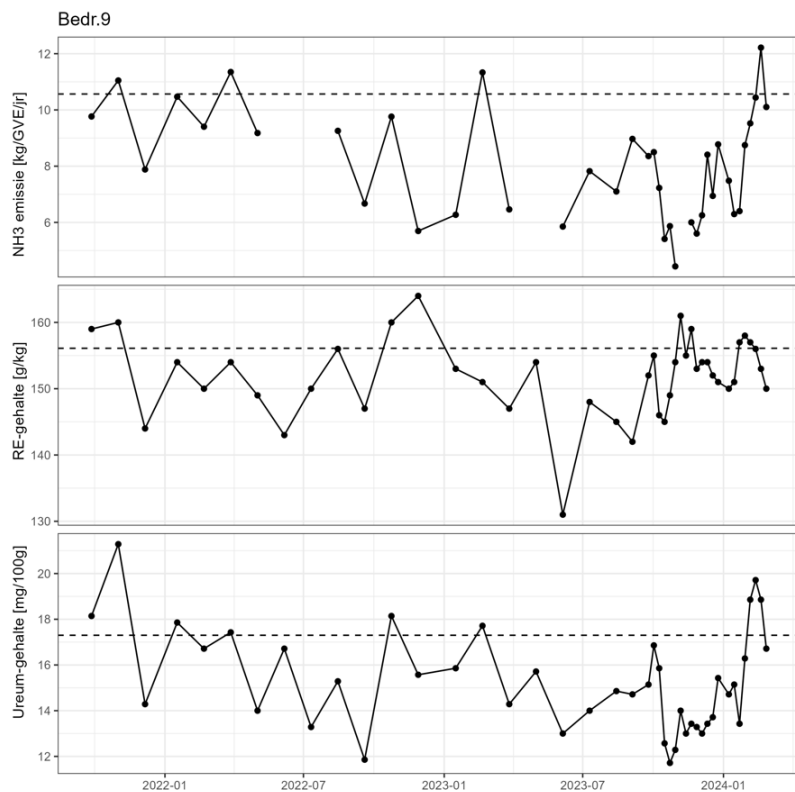
Bijlage 2 Verloop ammoniak emissie, eiwit in het rantsoen en ureum, gedurende de duur van de gebruikte dataset

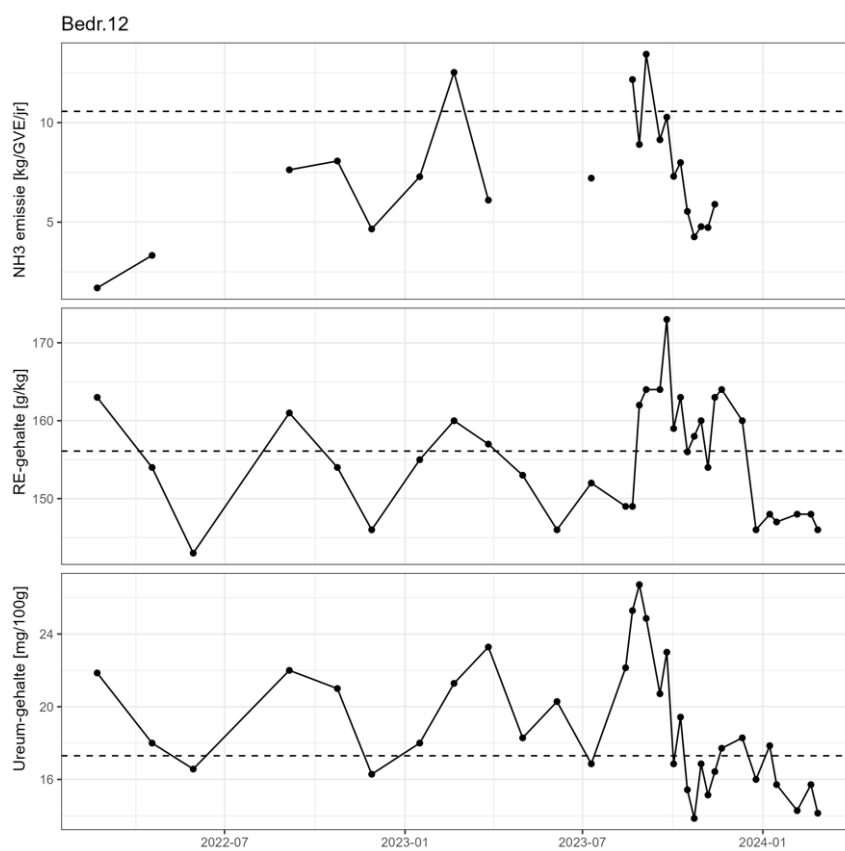
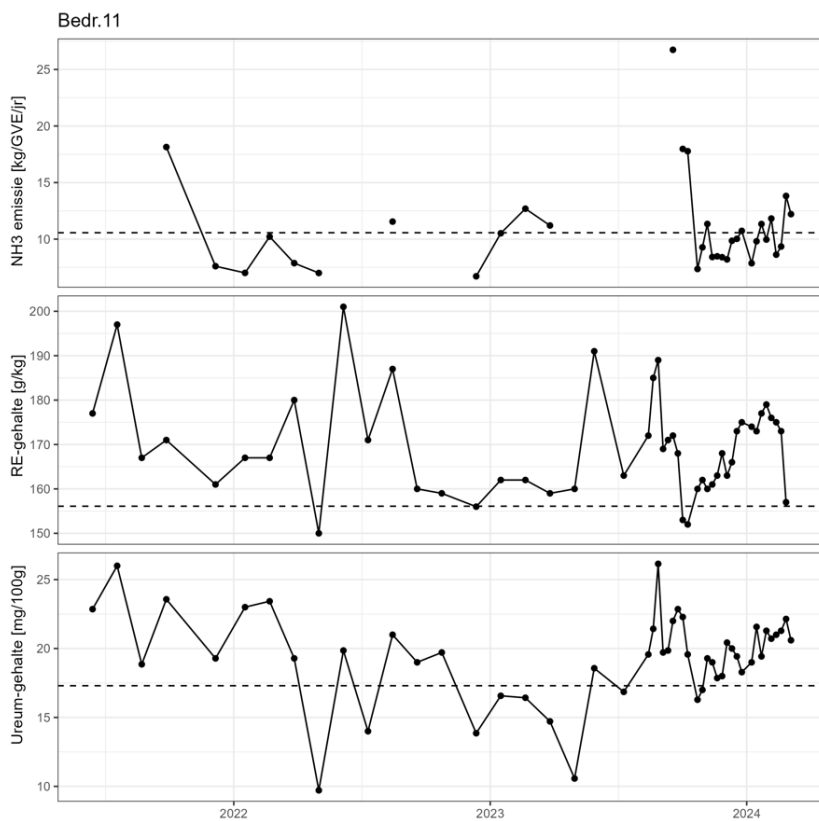




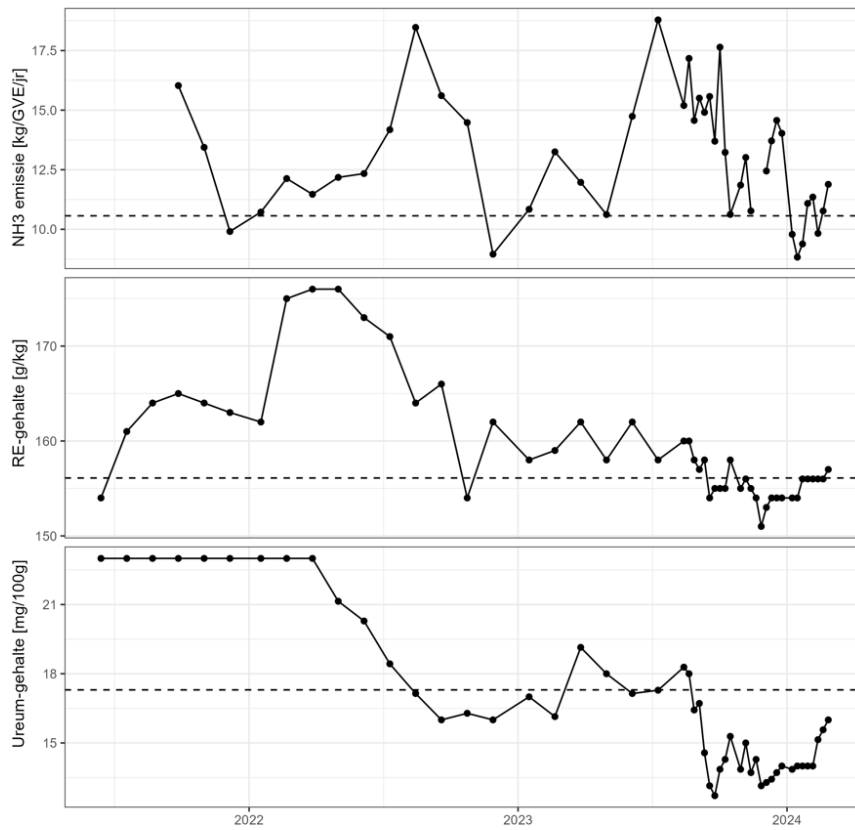




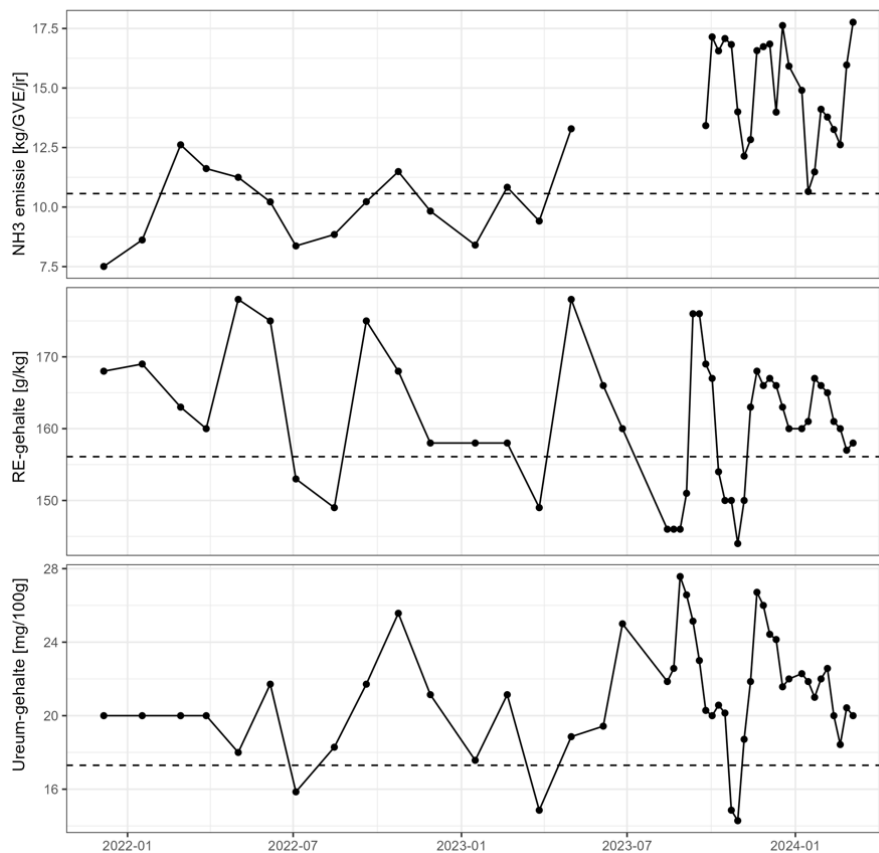




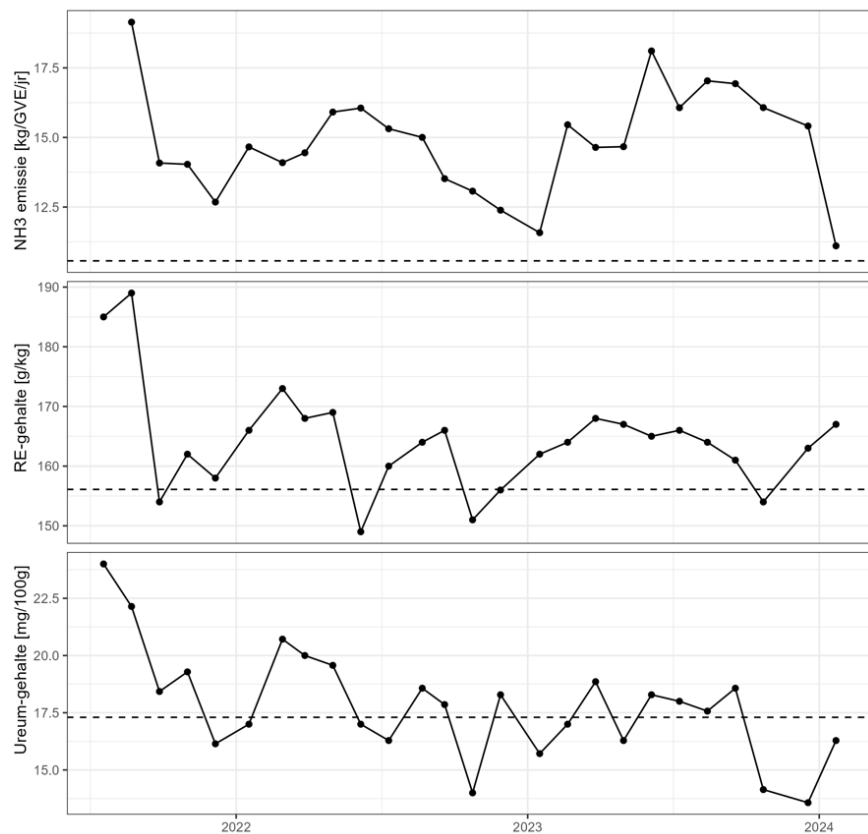
Bedr.13



Bedr.14



Bedr.15



Bijlage 3 Het aantal waarnemingen, de gemiddelde ammoniakemissie, en het gemiddelde melkureumgehalte, het ruw eiwitgehalte en het TAN-gehalte over de jaren 2021-2024, gemiddeld per bedrijf

Tabel B3.1 Het aantal waarnemingen NH₃ emissie.

NH ₃ -emissie	2021*	2022	2023	2024*	Grand Total
Bedr.1	5	11	29	9	54
Bedr.2	4	10	26	10	50
Bedr.3	2	5	4	3	14
Bedr.4	9	14	44	10	77
Bedr.5	3	10	39	9	61
Bedr.6	37	60	51	9	157
Bedr.7		4			4
Bedr.8		2	14	3	19
Bedr.9	3	8	20	9	40
Bedr.10	9	4	24	10	47
Bedr.11	2	7	17	10	36
Bedr.12		6	19	1	26
Bedr.13	4	11	26	8	49
Bedr.14	1	14	21	10	46
Bedr.15	5	10	12	1	28
totaal	84	176	346	102	708

*In 2021 en 2024 is niet het hele jaar gemeten, maar een gedeelte van het jaar

Tabel B3.2 De gemiddelde ammoniakemissie per bedrijf per jaar (kg NH₃/GVE/jaar).

NH ₃ emissie	2021*	2022	2023	2024*	Gemiddeld
Bedr.1	14,9	12,1	15,2	11,7	14,0
Bedr.2	13,8	12,2	15,1	11,5	13,7
Bedr.3	7,5	8,7	7,3	8,3	8,0
Bedr.4	14,0	12,3	13,3	9,8	12,8
Bedr.5	12,3	13,2	10,3	11,9	11,1
Bedr.6	5,3	6,2	8,1	5,7	6,6
Bedr.7		11,9			11,9
Bedr.8		7,7	10,4	11,6	10,3
Bedr.9	9,6	9,0	7,1	9,2	8,1
Bedr.10	12,6	12,0	11,6	6,0	10,6
Bedr.11	12,9	8,6	11,8	10,5	10,9
Bedr.12		4,9	8,5	5,1	7,6
Bedr.13	11,9	13,1	13,6	10,4	12,8
Bedr.14	7,5	10,9	14,0	13,7	12,8
Bedr.15	14,6	14,4	15,5	11,1	14,8
Gemiddeld	9,5	9,6	11,6	10,0	10,6

*In 2021 en 2024 is niet het hele jaar gemeten, maar een gedeelte van het jaar

Tabel B3.3 Het gemiddelde melkureumgehalte (mg/dl) per bedrijf per jaar.

Melkureum	2021*	2022	2023	2024*	Gemiddelde
Bedr.1	20,5	16,0	15,6	17,7	16,5
Bedr.2	18,8	17,0	17,3	17,1	17,3
Bedr.3	15,7	17,2	14,8	16,5	16,0
Bedr.4	15,7	16,5	15,7	16,5	16,0
Bedr.5	17,2	20,3	16,2	19,7	17,4
Bedr.6	14,5	16,7	18,1	16,9	16,6
Bedr.7		24,0			24,0
Bedr.8		20,2	18,1	19,7	18,5
Bedr.9	17,9	15,7	14,2	16,9	15,3
Bedr.10	19,5	16,4	16,2	12,7	16,2
Bedr.11	22,1	17,1	19,3	20,7	19,3
Bedr.12		19,1	19,4	15,5	18,7
Bedr.13	23,0	19,8	15,4	14,7	17,2
Bedr.14	20,0	20,8	21,3	20,7	21,0
Bedr.15	19,5	17,9	16,8	16,3	17,7
Gemiddelde	17,3	17,8	17,1	17,3	17,3

*In 2021 en 2024 is niet het hele jaar gemeten, maar een gedeelte van het jaar

Tabel B3.4 Het gemiddelde ruw eiwitgehalte per bedrijf per jaar (g re/ kg DS).

gemiddelde re	2021*	2022	2023	2024*	Gemiddelde
Bedr.1	157	154	150	155	152
Bedr.2	158	159	153	146	153
Bedr.3	167	155	148	150	154
Bedr.4	159	157	165	162	162
Bedr.5	147	152	154	156	154
Bedr.6	151	151	150	147	150
Bedr.7		183			183
Bedr.8		170	158	172	161
Bedr.9	154	153	151	154	152
Bedr.10	162	148	145	143	147
Bedr.11	175	168	168	173	169
Bedr.12		154	157	147	155
Bedr.13	162	169	157	156	160
Bedr.14	168	165	160	162	161
Bedr.15	168	162	164	167	164
Gemiddelde	157	157	155	155	156

*In 2021 en 2024 is niet het hele jaar gemeten, maar een gedeelte van het jaar

Tabel B3.5 De gemiddelde TAN-excretie per GVE per bedrijf per jaar (kg/jaar).

gemiddelde TAN	2021*	2022	2023	2024*	Grand Total
Bedr.1	84	79	77	77	78
Bedr.2	76	77	69	62	70
Bedr.3	76	69	62	61	67
Bedr.4	82	79	93	90	89
Bedr.5	83	81	79	70	78
Bedr.6	68	70	70	69	69
Bedr.7		104			104
Bedr.8		89	74	98	79
Bedr.9	72	77	72	69	72
Bedr.10	89	74	70	69	73
Bedr.11	98	87	81	88	85
Bedr.12		73	81	71	78
Bedr.13	95	97	80	80	85
Bedr.14	85	94	82	79	84
Bedr.15	93	89	84	97	88
Grand Total	79	80	77	75	78

*In 2021 en 2024 is niet het hele jaar gemeten, maar een gedeelte van het jaar

Bijlage 4 De gemiddelde, standaarddeviatie, minima en maxima van de verschillende variabelen per bedrijf

Tabel B4.1 *NH₃ emissie per GVE (kg/GVE/jaar).*

	Count of NH ₃ GVE	StdDev of NH ₃ GVE	Average of NH ₃ GVE	Min of NH ₃ GVE	Max of NH ₃ GVE
Bedr.1	54	3,37	14,0	7,3	23,7
Bedr.2	50	4,40	13,7	7,0	24,3
Bedr.3	14	1,34	8,0	5,6	10,6
Bedr.4	77	3,74	12,8	3,9	20,4
Bedr.5	61	2,67	11,1	5,9	17,9
Bedr.6	157	2,65	6,6	2,6	14,9
Bedr.7	4	5,56	11,9	8,4	20,2
Bedr.8	19	2,43	10,3	4,4	13,5
Bedr.9	40	1,99	8,1	4,4	12,2
Bedr.10	47	4,41	10,6	5,1	21,3
Bedr.11	36	3,95	10,9	6,7	26,7
Bedr.12	26	3,22	7,6	1,7	13,4
Bedr.13	49	2,57	12,8	8,4	18,8
Bedr.14	46	2,86	12,8	7,5	17,8
Bedr.15	28	1,93	14,8	11,1	19,1

Tabel B4.2 *ureum (mg/dl).*

	Average of ureum	StdDev of ureum	Min of ureum	Max of ureum
Bedr.1	16,5	2,3	10,3	22,9
Bedr.2	17,3	1,7	14,1	21,7
Bedr.3	16,0	4,6	8,0	27,6
Bedr.4	16,0	3,0	10,0	23,6
Bedr.5	17,4	3,0	12,7	24,6
Bedr.6	16,6	2,5	11,0	24,1
Bedr.7	24,0	13,3	11,0	45,9
Bedr.8	18,5	1,6	14,8	20,3
Bedr.9	15,3	2,3	11,7	21,3
Bedr.10	16,2	4,0	10,3	25,0
Bedr.11	19,3	3,8	9,0	31,0
Bedr.12	18,7	3,5	13,9	26,7
Bedr.13	17,1	3,5	12,7	23,0
Bedr.14	21,0	3,1	14,3	27,6
Bedr.15	17,7	2,3	13,6	24,0

Tabel B4.3 RE totaal (g/kg DS).

	Average of retotaal	StdDev of retotaal	Min of retotaal	Max of retotaal
Bedr.1	152	7,5	124	165
Bedr.2	153	5,8	138	164
Bedr.3	154	18,3	131	214
Bedr.4	162	14,4	139	205
Bedr.5	154	7,1	138	167
Bedr.6	150	8,2	129	176
Bedr.7	183	41,6	141	259
Bedr.8	161	8,3	149	176
Bedr.9	152	5,9	131	164
Bedr.10	147	12,6	114	183
Bedr.11	169	11,4	150	201
Bedr.12	155	7,1	143	173
Bedr.13	160	6,4	151	176
Bedr.14	161	8,8	144	178
Bedr.15	164	8,5	149	189

Tabel B4.4 TAN per GVE (kg/GVE/jaar).

Row Labels	Average of tanGetalPerGVE	StdDev of tanGetalPerGVE	Min of tanGetalPerGVE	Max of tanGetalPerGVE
Bedr.1	78	7,4	54	92
Bedr.2	70	7,1	53	86
Bedr.3	67	18,6	43	130
Bedr.4	89	17,8	60	134
Bedr.5	78	8,4	59	101
Bedr.6	69	10,1	45	96
Bedr.7	104	34,3	55	159
Bedr.8	79	12,8	56	103
Bedr.9	72	7,6	56	94
Bedr.10	73	15,3	40	117
Bedr.11	85	14,9	61	130
Bedr.12	78	8,9	60	98
Bedr.13	85	9,4	72	109
Bedr.14	84	11,4	66	111
Bedr.15	88	11,7	71	122

Tabel B4.5 *Vers gras (% van rantsoen).*

	Average of of versgras	StdDev of of versgras	Min of versgras	Max of versgras
Bedr.1	2,2	3,3	0	10,9
Bedr.2	0	0,0	0	0
Bedr.3	6,5	5,1	0	14,7
Bedr.4	6,3	5,3	0	14
Bedr.5	1,1	1,8	-1,3	6,4
Bedr.6	2,4	3,0	-4,1	9,3
Bedr.7	7,7	6,6	0	14,8
Bedr.8	0	0,0	0	0
Bedr.9	2,0	2,6	0	7,7
Bedr.10	5,7	4,2	-0,9	11,4
Bedr.11	4,7	5,0	0	13,9
Bedr.12	1,6	2,2	-0,5	7,1
Bedr.13	0	0,0	0	0
Bedr.14	2,2	2,9	0	8
Bedr.15	0,7	1,2	-0,1	4

Tabel B4.6 *stikstof efficiëntie (in %).*

	Average of stikstofEfficientie	StdDev of stikstofEfficientie	Min of stikstofEfficientie	Max of stikstofEfficientie
Bedr.1	25,6	2,81	21,6	32,9
Bedr.2	30,3	1,28	27,4	32,6
Bedr.3	25,4	3,10	17,4	30,4
Bedr.4	26,0	2,62	20,8	32,7
Bedr.5	29,3	1,58	26,3	32,7
Bedr.6	31,2	2,23	26,4	38,5
Bedr.7	18,7	5,18	12	27,6
Bedr.8	30,2	2,76	25	33,7
Bedr.9	27,8	1,08	25,9	30,9
Bedr.10	26,9	2,67	20,4	33,8
Bedr.11	24,1	2,42	20,4	29,1
Bedr.12	28,5	1,46	25,5	32,2
Bedr.13	27,3	3,94	0,2	31,4
Bedr.14	23,8	1,32	20,9	26,5
Bedr.15	27,7	2,03	23,1	32,2

Tabel B4.7 VEM (per kg DS).

	Average of vem	StdDev of vem	Min of vem	Max of vem
Bedr.1	964	20,9	928	1010
Bedr.2	997	14,7	967	1018
Bedr.3	961	28,7	897	1007
Bedr.4	995	25,4	939	1058
Bedr.5	983	18,6	923	1011
Bedr.6	1009	18,4	965	1059
Bedr.7	934	57,7	877	1020
Bedr.8	1036	34,4	980	1075
Bedr.9	997	18,4	962	1044
Bedr.10	999	21,2	940	1039
Bedr.11	968	26,5	897	1037
Bedr.12	1019	15,5	983	1055
Bedr.13	991	15,7	947	1019
Bedr.14	976	17,9	939	1031
Bedr.15	1033	17,5	997	1066

Tabel B4.8 FPCM (kg/dier/dag).

	Average of fpcm	StdDev of fpcm	Min of fpcm	Max of fpcm
Bedr.1	26,4	2,96	22,2	31,4
Bedr.2	33,1	1,26	30,3	36,3
Bedr.3	24,5	1,83	20,3	27,6
Bedr.4	30,3	1,63	26,6	33,5
Bedr.5	33,2	2,50	17,4	37,0
Bedr.6	32,7	2,32	28,2	38,9
Bedr.7	20,4	3,98	13,6	23,3
Bedr.8	35,0	2,25	30,4	38,4
Bedr.9	29,0	0,88	27,5	30,8
Bedr.10	29,0	1,61	25,4	31,7
Bedr.11	25,5	2,05	21,9	29,6
Bedr.12	29,4	1,27	27,3	32,2
Bedr.13	32,1	1,40	29,6	35,8
Bedr.14	25,9	1,45	23,4	29,6
Bedr.15	32,3	1,81	29,4	35,5

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



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

