



Integrale modellering van emissies in de melkveehouderij

Metingen vs modellen

Lotte Lagerwerf, Jan Huijsmans, Jouke Oenema, Carsten Schep, Michel de Haan,
Gerjan Hilhorst, Nico Ogink

Rapport 1393



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Integrale modellering van emissies in de melkveehouderij

Metingen vs modellen

Lotte Lagerwerf¹, Jan Huijsmans², Jouke Oenema², Carsten Schep¹, Michel de Haan¹, Gerjan Hilhorst¹, Nico Ogink¹

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Plant Research

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 'Emissiereductie methaan veehouderij' (projectnummer BO-43-105-046).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, november 2022

Openbaar
Rapport 1393



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Samenvatting NL Op twee melkveebedrijven is de gemeten ammoniakemissie in de stal, de gemeten methaanemissie in de stal en de 'werkelijke' ammoniakemissie in het veld bij mesttoediening gedurende een jaar in beeld gebracht. De werkelijke ammoniakemissie bestaat uit stalmetingen en voor veldemissies een verfijnd bedrijfs- en weer specifiek model. Deze gemeten emissies zijn vergeleken met berekende emissies van ammoniak en methaan. Het doel van deze vergelijking van de jaargemiddelden van de gemeten en berekende emissies is om aanknopingspunten te vinden om de emissies op melkveebedrijven verder te verlagen, maar vooral ook om aanknopingspunten te vinden om rekenmodellen te verbeteren. Voor de berekeningen is de rekenwijze van de KringloopWijzer gebruikt. De KringloopWijzer berekent de emissies voor een bedrijf op jaarbasis.

Summary UK At two dairy farms, the measured ammonia and methane emission in the cow house and the 'actual' ammonia emission in the field during manure application during one year was mapped. The actual ammonia emission measured in the cow house and field emissions were determined with a refined farm and weather specific model. These measured emissions were compared with calculated emissions of ammonia and methane. The purpose of this comparison of the annual average of the measured and calculated emissions was to find starting points for further reducing the emissions on dairy farms, but above all also to find starting points for improving calculation models. The calculation method of the KringloopWijzer was used for the calculations. The KringloopWijzer calculates the emissions of dairy farms on an annual basis.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/579200> 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, 2022

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.

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Metingen en modellen	10
2 Materiaal en methode	11
2.1 Stalemissies	11
2.1.1 Ammoniak	12
2.1.2 Methaan	13
2.2 Emissies bij mesttoediening	14
2.3 Keten analyse	14
2.3.1 N- en opname veestapel	17
2.3.2 N- en P-excretie veestapel	17
2.3.3 TAN excretie veestapel	17
2.3.4 NH ₃ stal	17
2.3.5 Uitgereden N-totaal en uitgereden TAN	17
2.3.6 NH ₃ tijdens uitrijden	18
3 Resultaten	19
3.1 Stal emissies	19
3.1.1 Ammoniak	19
3.1.2 Methaan	22
3.1.3 NDF-gehalte in het rantsoen	24
3.2 Emissie bij mesttoediening	25
3.3 Ketenanalyse De Marke 2019	28
3.3.1 Analyse van N- en P-stromen: van voeding tot mesttoediening	28
3.3.2 Synthese	29
3.3.3 Conclusies en aanbevelingen	30
3.4 Ketenanalyse Bedrijf 2 2019	32
3.4.1 Analyse van N- en P-stromen: van voeding tot mesttoediening	32
3.4.2 Synthese	33
3.4.3 Conclusies en aanbevelingen	34
4 Conclusies en aanbevelingen	36
5 Literatuur	37

Woord vooraf

Dit onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) in het kader van de klimaatopgave en is onderdeel van een groter geheel aan projecten in het programma Integraal Aanpakken van de Klimaat Envelop.

In het klimaatakkoord staan ambitieuze klimaatdoelen benoemd voor 2030 en 2050. De veehouderij staat voor de opgave om de emissies van methaan en ammoniak in Nederland te verlagen. Het programma Integraal Aanpakken is in 2020 gestart. Het doel is om inzichten en werkbare maatregelen te bepalen waarmee veehouders hun bedrijf rendabel en toekomstgericht kunnen aanpassen aan de opgaven voor klimaat en stikstof. Een integrale aanpak staat in het onderzoek voorop. Een duurzame toekomst voor de veehouderij betekent immers dat ook andere noodzakelijke en maatschappelijke opgaven en doelen worden gehaald. De aanpak is erop gericht om veehouderbedrijven in Nederland op elke grondsoort, keuzes te kunnen bieden uit passende maatregelen. Maatregelen die ook de bedrijfsresultaten verbeteren. Meer informatie over het programma kan gevonden worden op de website: <https://www.integraalaanpakken.nl/nl/integraalaanpakken.htm>.

Deze praktijkrapportage gaat over het volgen van de totale stikstofstroom op het bedrijf, van voeropname tot ammoniakemissie in het veld. Zowel gemeten als berekend. Maar ook over het ontstaan van de methaanemissie, gemeten en berekend. Via het rantsoen en de mest. Het verschil tussen werkelijke ('gemeten') emissie (op bedrijfsniveau en bedrijfsonderdelen als stal en veld) en de berekende emissie wordt in dit rapport in beeld gebracht. Vervolgen is het de uitdaging om de verschillen te verklaren, zodat modellen te verbeteren zijn en extra emissie reducerende maatregelen in beeld komen.

Samenwerking met de praktijk is essentieel in dit project. In dit project is daarom samengewerkt met het project "Koeien & Kansen". Gebruik is gemaakt van data en registraties van een aantal Koeien & Kansen bedrijven, waaronder proefbedrijf De Marke. Zonder de metingen en registraties van die bedrijven zou dit onderzoek niet uitgevoerd kunnen worden. Het projectteam is dank verschuldigd voor gebruik van gegevens uit het project Koeien & Kansen.

Daarnaast is het tussenresultaat regelmatig besproken met contactpersonen van het ministerie van LNV. De gesprekken hebben bijgedragen aan verbetering van voorliggend rapport.

Het projectteam,
Lotte Lagerwerf, Jan Huijsmans, Jouke Oenema, Carsten Schep, Michel de Haan, Gerjan Hilhorst, Nico Ogink.

Samenvatting

Op het moment worden er veel metingen gedaan in melkveestallen in Nederland, daarnaast worden deze bedrijven ook beschreven in bedrijfsspecifieke modellen. Het is voor het eerst dat er zo veel aspecten van melkveebedrijven worden vastgelegd, van voeropname tot uitrijden van mest, dit geeft een unieke mogelijkheid om de metingen (van voeropname, stalemissies en veldemissies) naast een bedrijfsspecifiek model te leggen en deze te vergelijken.

Op twee melkveebedrijven is de gemeten ammoniakemissie in de stal, de gemeten methaanemissie in de stal en de 'werkelijke' ammoniakemissie in het veld bij mesttoediening gedurende een jaar in beeld gebracht. De werkelijke ammoniakemissie bestaat uit stalmetingen en voor veldemissies een verfijnd bedrijfs- en weersspecifiek model. Deze gemeten emissies zijn vergeleken met berekende emissies van ammoniak en methaan. Het doel van deze vergelijking van de jaargemiddelden van de gemeten en berekende emissies is om aanknopingspunten te vinden om de emissies op melkveebedrijven verder te verlagen, maar vooral ook om aanknopingspunten te vinden om rekenmodellen te verbeteren. Voor de berekeningen is de rekenwijze van de KringloopWijzer gebruikt. De KringloopWijzer berekent de emissies voor een bedrijf op jaarbasis.

Een gedetailleerde en interdisciplinaire analyse van de N-kringloop in de bedrijfsonderdelen voer, vee, stal, mest en mestaanwending is uitgevoerd met melkveeproefbedrijf De Marke en een Koeien & Kansen bedrijf (bedrijf 2). De analyse geeft een aantal waardevolle aanwijzingen en aanknopingspunten voor verdere uitwerking, voor zowel emissie vermindering als verbetering van de modellen. Wel is het belangrijk om te beseffen dat de aanwijzingen louter betrekking hebben op de twee melkveebedrijven en dat het nog niet duidelijk is hoe deze aanwijzingen algemeen zijn toe te passen.

Uit de analyse volgen de volgende conclusies:

- De gedetailleerde en interdisciplinaire analyse van de N-kringloop in de bedrijfsonderdelen voer, vee, stal, mest, mestaanwending biedt al veel inzicht in mogelijke nuancering en verbeterpunten van de KringloopWijzer.
- Er is geen duidelijke samenhang gezien tussen het verloop gedurende het jaar van de berekende TAN-excretie en de gemeten NH_3 emissie in de stal. Verder kan de TAN-stal excretie nog scherper bepaald worden door het deel dat in de weideperiode buiten de stal is uitgescheiden in mindering te brengen op de totaal berekende excretie.
- Voor proefbedrijf De Marke zijn andere factoren medebepalend voor de NH_3 emissie in de stal dan de voeding.
 - Uit de metingen blijkt dat de KringloopWijzer de verhouding minerale stikstof : totaal stikstof ($N_{\text{min}}/N_{\text{t}}$) in mest die wordt aangewend op grasland onderschat op De Marke. Hierdoor zal de ammoniakemissie die door de KringloopWijzer berekend wordt, ook onderschat worden. Onduidelijk is nog hoe de inschatting te verbeteren.
 - Bij de huidige analyse is geen rekening gehouden met de temperatuur en windsnelheid. Deze hebben ook invloed op de ammoniakemissie in de stal. Een hoge temperatuur duidt op meer ammoniakemissie. Bij een vervolganalyse is aandacht nodig voor windsnelheid en temperatuur.
 - Andere factoren die de emissie beïnvloeden kunnen te maken hebben met het opdrogen van mest en plasvorming in de zomer bij bepaalde vloertypes.
- Er is gekeken of op basis van het rantsoen de methaanemissies uit de stal verklaard kunnen worden. Het bleek dat de gemeten methaanemissie uit de stal op De Marke meer varieert dan op basis van het rantsoen verwacht mag worden. Dit betekent dat meer factoren een rol spelen.

-
- De emissie bij mestaanwending die met verfijnde modellen is bepaald, is duidelijk lager voor proefbedrijf De Marke dan de emissie bepaald met vaste emissiefactoren die ook in de KringloopWijzer worden gebruikt. Het verschil wordt veroorzaakt door de invloed van het bodemtype (op zandgrond lagere emissie dan op andere bodemtypes) en het weer op de momenten van uitrijden.

Aanbevelingen voor het vervolg zijn:

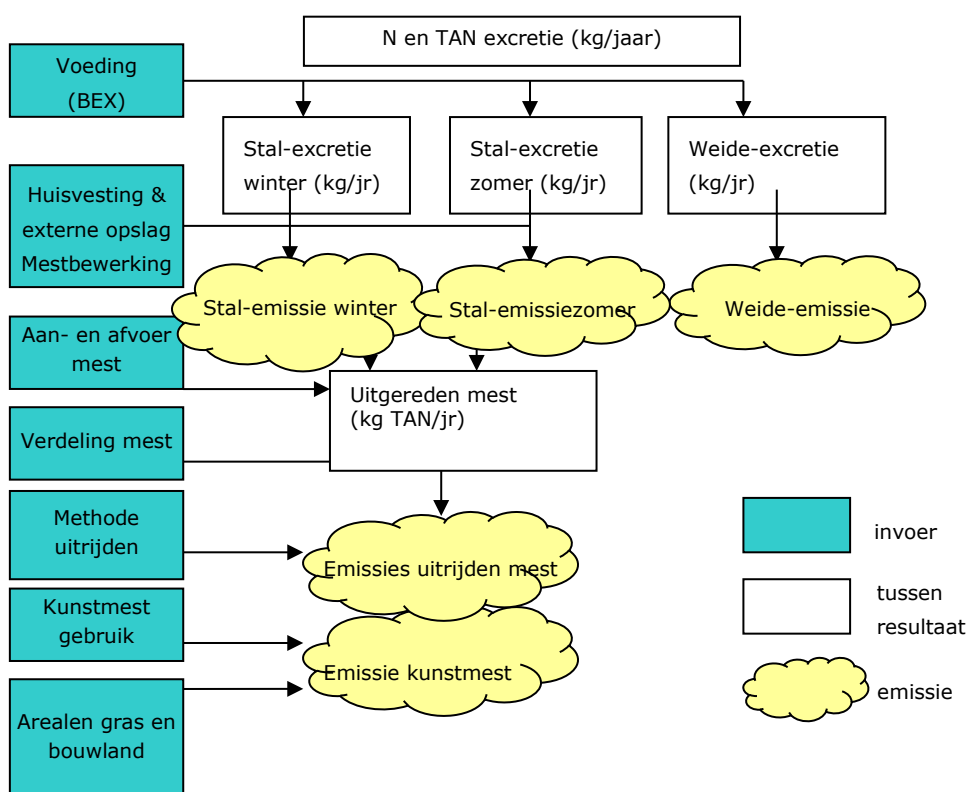
- Emissiefactoren van ammoniak bij mesttoediening voor meerdere bedrijven berekenen om de variatie tussen bedrijven te kunnen inschatten.
- Ketenanalyse voor stikstofstroom op meerdere bedrijven toepassen, het beste resultaat zou zijn om dit voor meerdere jaren te doen.
- Actualisatie modelberekeningen voor veldemissie (met vernieuwde invloed van weersomstandigheden, mestgift en mestsamenstelling).
- Scenariostudie om gewogen veldemissiefactor te berekenen voor een geheel jaar, rekening houdend met spreiding van mestgiften over het jaar en gemiddelde weersomstandigheden bij de mestgiften.

1 Inleiding

Op het moment worden er veel metingen gedaan in melkveestallen in Nederland (Mosquera et al. 2021), daarnaast worden deze bedrijven ook beschreven in bedrijfsspecifieke modellen. Het is voor het eerst dat er zo veel aspecten van melkveebedrijven worden vastgelegd, van voeropname tot uitrijden van mest, dit geeft een unieke mogelijkheid om de metingen (van voeropname, stalemissies en veldemissies) naast een bedrijfsspecifiek model te leggen en deze te vergelijken.

1.1 Achtergrond

Stikstof (N) gaat rond in de bedrijfskringloop van melkveebedrijven. Stikstof wordt overgedragen van voer naar vee, van vee naar producten melk, vlees en mest (dat deels van het bedrijf wordt afgevoerd en deels in de bedrijfskringloop blijft), van mest naar bodem en van bodem weer naar voer. In deze kringloop komt N ook voor in de vorm van ammonium (N-NH_4) en ammoniak (N-NH_3). In kringloopschema's wordt vaak de term totaal ammoniakale stikstof, afgekort TAN gebruikt, i.e. het N-aandeel in ammoniak. Ammoniak is een vluchtige stikstofverbinding; een deel van de ammoniakale stikstof ontsnapt uit de kringloop naar de omgeving: de ammoniakemissie. Ammoniakemissie ontstaat op een aantal plekken op het melkveebedrijf, zie Figuur 1. Belangrijke factoren die invloed hebben op de ammoniakemissie zijn voeding (de samenstelling van het rantsoen), type stal en mestopslag, weidegang, weersomstandigheden en wijze van - en hoeveelheid - mestuitrijden.



Figuur 1 Schematische weergave van de berekening van de ammoniakemissies (kg NH_3 per jaar) van een melkveebedrijf. De ammoniakemissie is afhankelijk van de hoeveelheid stikstof (N), ammoniakale stikstof (TAN) en bedrijfskeuzes.

Naast ammoniak is methaan een belangrijk gas dat geproduceerd wordt in de melkveestal. Het is van belang dat ook deze emissie gereduceerd wordt, omdat methaan bijdraagt aan het versterkt broeikas effect. Methaan ontstaat bij fermentatie van voer in de pens van de koe door bacteriën en bij fermentatie van de mest. Het grootste deel van de methaan wordt door de koe geproduceerd (ca 80%), een kleiner deel (ca 20%) komt uit de mest(opslag) (Knapp et al., 2014). Verreweg het grootste deel van de methaan uit pens- en darmfermentatie wordt uitgedemd (90%).

Belangrijke factoren die invloed hebben op de emissie van methaan uit de pens zijn de eigenschappen van de voedermiddelen (zoals aandeel celwanden, zetmeel), de rantsoensamenstelling (invloed op passagesnelheid in de pens), maar ook de verteerbaarheid van de voedermiddelen (heeft invloed op de emissie vanuit de mest). Factoren die effect hebben op de methaanemissies uit de mest zijn de hoeveelheid weidegang, temperatuur van de mest en opslag duur van de mest.

1.2 Metingen en modellen

De emissie van ammoniak en methaan uit de pens en (stal)mest, en de emissie van ammoniak bij mesttoediening wordt in Nederland met rekenmodellen geschat via een stelsel van vaste emissiefactoren.

In Nederland vindt op een beperkt aantal melkveebedrijven meting van ammoniakemissie in de stal plaats. Van een beperkt aantal bedrijven is het rantsoen van de veestapel in beeld. Emissiemetingen tijdens het mest uitrijden vinden niet plaats op deze bedrijven. Om toch een goed beeld te krijgen van de emissies van een bedrijf kunnen verfijnde modellen worden gebruikt om toch een beeld te krijgen van de emissies op een bedrijf.

Via gegevens van het project Koeien & Kansen, stalemissiemetingen uit Klimaatonderzoek en modeltechnieken van WUR is een integrale inschatting te maken van de werkelijke ammoniak en methaanemissies voor een specifiek bedrijf gedurende een kalenderjaar. Deze werkelijke emissies zijn te spiegelen aan de huidige rekenmodellen op bedrijfsniveau (KringloopWijzer, Dairy Wise), waarin met standaard emissiewaarden gerekend wordt. Het doel van dit rapport is om inzicht in de verschillen tussen de werkelijkheid en de berekening te krijgen en biedt mogelijkheden voor verbetering van de rekenmodellen op bedrijfsniveau, maar geeft ook aanknopingspunten om de emissie vanuit de stal en de mestopslag meer te reduceren.

Om dit doel te realiseren zijn de volgende acties uitgevoerd:

- Het verloop van de ammoniakemissie in de stal over een jaar op 2 bedrijven vergelijken met de berekende ammoniakemissie in de stal via de KringloopWijzer.
- Verloop van de gemeten methaanemissie in de stal, met informatie over het werkelijke management op 2 bedrijven, vergelijken met de modelmatig berekende methaanemissie.
- Vergelijken van de ammoniakemissie in het veld zoals berekend met het verfijnde bedrijfs- en weers-specifieke model via statistische modellen bij mesttoediening met de berekende ammoniakemissie bij mesttoediening via bedrijfsmodellen met vaste emissiefactoren.

2 Materiaal en methode

Voor deze studie zijn gegevens gebruikt van 2 bedrijven: De Marke en een Koeien & Kansen bedrijf (Bedrijf 2). De resultaten zijn gebaseerd op metingen en berekeningen uit het jaar 2019. Daarnaast zijn er voor de berekeningen van de emissie bij mesttoediening grasland gegevens gebruikt van de periode 2010-2019. Tabel 1 geeft een overzicht van enkele bedrijfskenmerken in 2019.

Tabel 1 Enkele bedrijfskenmerken van De Marke en Bedrijf 2 in 2019.

	Eenheid	De Marke	Bedrijf 2
Oppervlakte	ha	55	43
Aandeel grasland	%	69	81
Melkproductie per koe	kg	9186	10450
Melkproductie per ha	Kg/ha	14121	29349
Aantal koeien	#	85	120
Jongvee	# per 10 koeien	5.6	5.2
Staltype		Loopstal – sleufvloer - mestschuif	Ligboxenstal - roostervloer met of zonder mestschuif
Beweiding: dagen	#	132	0
Beweiding: uren per dag	#	7.6	0

2.1 Stalemissies

Ammoniak en methaan emissiemetingen op melkveebedrijven vinden meestal plaats volgens het meetprotocol voor emissiefactoren, waarin verspreid over het jaar minimaal zes, 24-uursmetingen worden uitgevoerd, volgens het VERA protocol (VERA, 2018). Soms is er ook sprake van continumetingen (Mosquera et al., 2021) waardoor de werkelijke emissie gedurende een lange periode in beeld komt. Op deze meetbedrijven is tot op zekere hoogte managementdata beschikbaar. Het rantsoen (voeropname) is op enkele van deze bedrijven (de betrokken Koeien & Kansen-bedrijven) vrij goed in beeld, met acht tot tien meetweken per jaar (Oenema et al., 2017). Dit biedt mogelijkheden om de invloed van het rantsoen op de ammoniakemissie vanuit stal en opslag gedurende het jaar te analyseren. Van De Marke is het veestapelrantsoen gedurende alle weken van het jaar compleet in beeld. Unieke gegevens, wat het mogelijk maakt om nog beter de invloed van het rantsoen op de stalemissie te analyseren.

Aanvullend daaraan kan de werkelijke mest- en mineralenstroom van De Marke in beeld gebracht worden. Van alle diergroepen is de complete stroom van stikstof in beeld via opgenomen voer, melkproductie, groei en mestproductie. Ook de verplaatsing van de mest naar de monovergister, mestopslag en het veld is in beeld. Gesommeerd leidt dit tot een jaarproductie en mineralenstroom van het complete jaar van voer naar veld.

Naast ammoniak vervluchtigt in de stal ook methaan. In het klimaatenvolp-onderzoek wordt ook in een aantal stallen de methaanemissie gemeten. Dit is in ieder geval voor de Marke en Bedrijf 2 dat in deze rapportage betrokken is het geval. Bekend is dat de methaanemissie van het rantsoen afhankelijk is. Het rantsoen is ook bekend voor Bedrijf 2. Met de KringloopWijzer wordt ook de methaanemissie op jaarniveau geschat. Dit betekent dat ook voor methaan een vergelijking gemaakt kan worden tussen de modelmatig berekende emissie en de gemeten emissie in de stal.

Vanwege de grote hoeveelheid gegevens die op De Marke beschikbaar is, is de methaanemissie ook op weekbasis berekend met de berekeningsmodule uit de KringloopWijzer. Deze berekeningen zijn uitgevoerd in Ellen et.al. (2022)¹ en tevens toegepast in dit project. Daarmee is de methaanemissie op de Marke op drie manieren bepaald: 1) via stalmetingen, 2) via de KringloopWijzer op jaarbasis en 3) via de KringloopWijzer op weekbasis.

2.1.1 Ammoniak

Op basis van gegevens over voeropname, het ruw-eiwit gehalte van de verschillende voersoorten en de verteringscoëfficiënten van de voedermiddelen, is de TAN-excretie per week bepaald voor De Marke. De methode van bepaling van de TAN-excretie is gelijk aan die in de KringloopWijzer. Dit is tot nu toe alleen gedaan voor het jaar 2019. Deze TAN-excretie wordt in de KringloopWijzer ook gebruikt als maat voor de ammoniakemissie. Op de Marke is ook ammoniakemissie op stalniveau gemeten. Dit biedt mogelijkheden om het percentage TAN dat vervluchtigd is in kaart te brengen.

Vanuit de emissiecijfers op de Marke is bekend dat de NH₃-emissies laag zijn, maar wel een sterke verhoging laten zien in de zomer terwijl het rantsoen gelijk blijft. Als gevolg daarvan verandert dus het percentage vervluchtigd TAN. Onze hypothese was dat de sleuvenvloer gedurende de zomer opdroogt en als gevolg daarvan een minder goed afvoerend vermogen heeft waardoor er meer TAN als NH₃ vervluchtigd. Deze hypothese is op twee manieren getest:

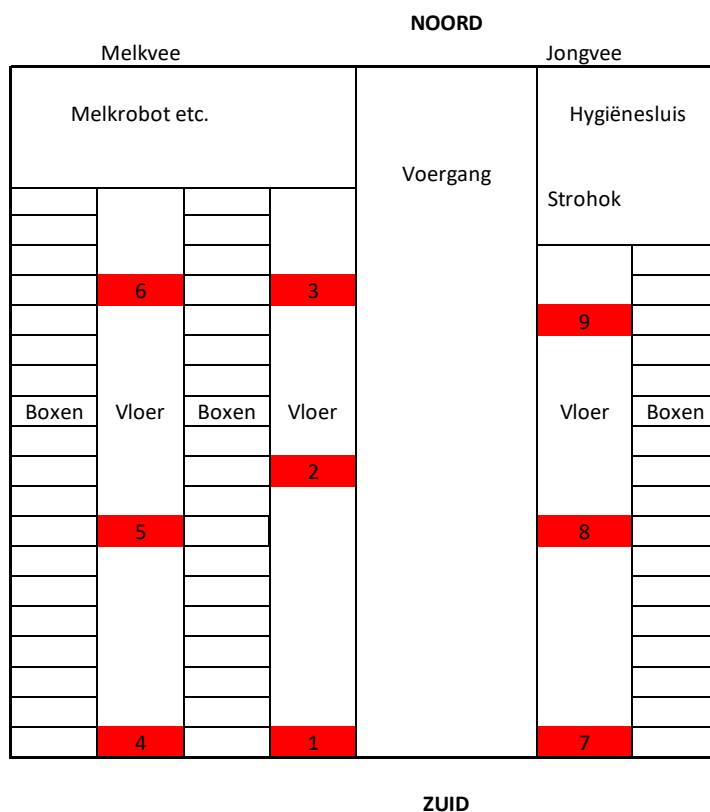
1. In de periode van juli 2021 tot en met december 2021 zijn er wekelijks foto's gemaakt van de stalvloer om de bevuilding van de vloer visueel in kaart te brengen.
2. De urine-afvoerende gaatjes zijn handmatig open gemaakt als interventie maatregel om de afvoer van urine te bevorderen.

Tevens is in deze rapportage ook de TAN-excretie van Bedrijf 2 opgenomen. Op dit bedrijf hebben in 2019 negen voermeetweken plaatsgevonden waarmee de TAN-excretie is berekend. Ook zijn de ammoniakemissies gemeten volgens dezelfde methodologie als op De Marke. De vervolgstappen met betrekking tot het opdrogen van de vloer hebben enkel op De Marke plaatsgevonden.

2.1.1.1 Visuele beoordeling stalvloer van De Marke

Om de bevuilding van de stalvloer in kaart te brengen, is op een negental locaties in de stal foto's gemaakt van de stalvloer. Deze locaties zijn aangegeven in figuur 2 en waren in de stal gemarkeerd zodat de locaties elke keer nagenoeg hetzelfde waren. Deze foto's zijn gemaakt tussen 11:00 en 16:00, omdat de dieren gedurende deze tijd altijd op stal staan en er zo een juiste vergelijking met de winterperiode gemaakt kan worden. De foto's zijn altijd een half uur na het schuiven van de vloer gemaakt. De foto's zijn gemaakt met een Canon EOS 400D spiegelreflexcamera op een statief van 1.60m hoog en een hoek van 35° naar beneden gericht. Het statief was in het midden van de mestgang gepositioneerd tijdens het maken van de foto. De precieze locaties waar foto's gemaakt zijn staat in Figuur 3 aangegeven met een markering. Ook zijn de foto's altijd in noordelijke richting gemaakt om tegenlicht te voorkomen.

¹ Wordt gepubliceerd in 2022



Figuur 2 Locaties in de melkveestal op De Marke met een negental markeringen waar regelmatig foto's gemaakt zijn van de stalvloer.

Na het maken van de foto's, zijn de foto's visueel beoordeeld op de graad van bevuilding door twee beoordelaars met kennis van het mechanisme achter het ammoniakemissieproces. De beoordelaar is gevraagd om per locatie de foto's te rangschikken van 'vuil' naar 'schoon'. Dit proces is vormgegeven door de beoordelaar per locatie 20 maal twee foto's van verschillende datums te laten zien. Aan de beoordelaar is gevraagd op welke van de twee foto's de stalvloer het meest bevuild is. Wanneer de beoordelaar niet kon kiezen, was er de mogelijkheid om aan te geven dat de stalvloer op beide foto's even bevuild was. Hierdoor ontstond er per beoordelaar een unieke 'bevuilings-score' per datum waarop foto's zijn gemaakt. Deze ranking is vervolgens vergeleken met de ranking van dagen op basis van emissies.

2.1.1.2 Het openen van urine-afvoerende gaatjes

Vanuit praktijkervaring is bekend dat bij de sleuenvloer na verloop van tijd, en zeker bij sterk drogend weer, de urine-afvoerende gaatjes verstopt gaan zitten met mest. Een interventie maatregel is daarom toegepast door deze gaatjes open te maken. Dit is gedaan op 20 september, 25 oktober, 10 december en 22 december. De verwachting is dat wanneer deze interventie maatregel een daling in ammoniakemissie te zien is op de dagen na het openen van de gaatjes.

2.1.2 Methaan

Naast ammoniakemissies, zijn ook de methaanemissies op stalniveau gedurende meerdere jaren gemeten op De Marke. In dit rapport is een analyse uitgevoerd van het rantsoen met de methaanemissiegegevens van 2019, omdat van dit jaar ook de meetweekgegevens beschikbaar waren en er een analyse is gedaan naar het effect van rantsoensamenstelling op de methaanemissie. Daarnaast is het gehalte aan Neutral Detergent Fibre (NDF) vergeleken met de methaanemissie, omdat NDF een indicator voor de methaanemissie kan zijn.

2.2 Emissies bij mesttoediening

Voor het inschatten van de emissie bij mesttoediening is inzicht nodig over wanneer, hoeveel, hoe en waar mest is uitgereden en met welke mestsamenstelling. De emissie bij mesttoediening wordt in Nederland bepaald via een vaste emissiefactor over de hoeveelheid TAN (ammoniakale stikstof) in de mest; de emissiefactor is hierbij afhankelijk van de toedieningstechniek. Voor alle mest die via een zodenbemesting op grasland wordt toegediend, geldt een emissiefactor van 19%²; de emissiefactor wordt uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid uitgereden TAN in de mest. In de praktijk zal de emissiefactor variëren en van verschillende factoren afhangen en uniek zijn voor elk uitrij moment.

Tot nu toe is op geen enkel melkveebedrijf de totale jaarlijkse emissie bij mesttoediening gemeten; dit zou overigens alleen een momentopname geven, omdat veel omstandigheden van invloed zijn op de emissie. Wel is van een aantal melkveebedrijven de totaal toegediende hoeveelheid mest bekend. Uitgesplitst per perceel en per uitrijtijdstip met bijbehorende te relateren weersgegevens. Bovendien beschikt WUR (Huijsmans et al., 2018) over een geavanceerd rekenmodel dat de ammoniakemissie per mestgift kan berekenen, mits de benodigde inputgegevens bekend zijn. Het gaat hier bijvoorbeeld om weersgegevens tijdens en na het mest uitrijden, mestgift, grondsoort en analyses van de mest. Met dit model is de ammoniakemissie bij mesttoediening, gedurende het jaar en in totaliteit dichter te benaderen dan bij gebruik van modellen die niet gebaseerd zijn op emissieberekeningen per mestgift, zoals de KringloopWijzer, waarin met een vaste emissiefactor wordt gerekend.

Deze 'werkelijke' ammoniakemissie bij mesttoediening is te vergelijken met de resultaten van de huidige rekenmodellen op bedrijfsniveau, zoals de KringloopWijzer. Inzicht in de verschillen tussen de werkelijkheid en de berekening biedt mogelijkheden voor verbetering van de rekenmodellen op bedrijfsniveau, maar geeft ook aanknopingspunten om de emissie bij mesttoediening meer te reduceren.

Op De Marke zijn over de periode 2010-2019 geen metingen van de NH₃ emissie tijdens uitrijden beschikbaar voor een geheel seizoen. Daarom kan alleen een vergelijking gemaakt worden tussen 1) een berekening met vaste emissiefactoren en 2) een berekening waarbij rekening gehouden wordt met mestsamenstelling, mestgift, weersomstandigheden en grondsoort.

Berekening 2 gaat uit van de gemeten uitgereden hoeveelheden mest met bijbehorende samenstelling en de tijdstippen waarop uitgereden is (om zo rekening te houden met het effect van weersomstandigheden op de NH₃ emissie). Vervolgens worden de NH₃ emissies gesommeerd voor alle uitgereden mest tijdens een jaar (bemestingsseizoen).

2.3 Keten analyse

Op De Marke gaat vrijwel alle stalmest via de monovergister naar het veld. In Figuur 3 is op basis van de KringloopWijzer het stroomschema van stikstof en koolstof op de Marke met mestvergisting weergegeven.

Op verschillende plekken in de N-keten, zoals weergegeven in het N-stroomschema in Figuur 3, worden metingen vergeleken met modelresultaten. De vergelijkingen van metingen met modelresultaten kunnen verschillen in detailniveau. Tabel 2 geeft schematisch de vergelijkingen tussen meting en model weer.

² Deze is momenteel aangepast naar 17%, maar dat is in deze studie nog niet aangepast, omdat KLV 2019 is gebruikt.

Tabel 2 *Stappenplan van de vergelijking tussen metingen en modelresultaten van verschillende N-stromen in de N-keten op een melkveebedrijf.*

Nummer	N-stroom	Meting	BedrijfsModel			Procesmodel	
			KLW ⁴	Stal+opslag	Toediening		
1	N- en P-opname veestapel	X ¹	X				
2	N- en P-excretie veestapel	X ¹	X				
3	TAN-excretie	X ¹	X				
4	NH ₃ -stal	X ²	X ⁵	X			
5	Uitgereden N-totaal	X ³	X				
6	Uitgereden TAN	X ³	X				
7	NH ₃ toediening		X ⁵				X

1) Op basis van meetweken voor 52 afzonderlijke weken per jaar.

2) Door meting op dag basis.

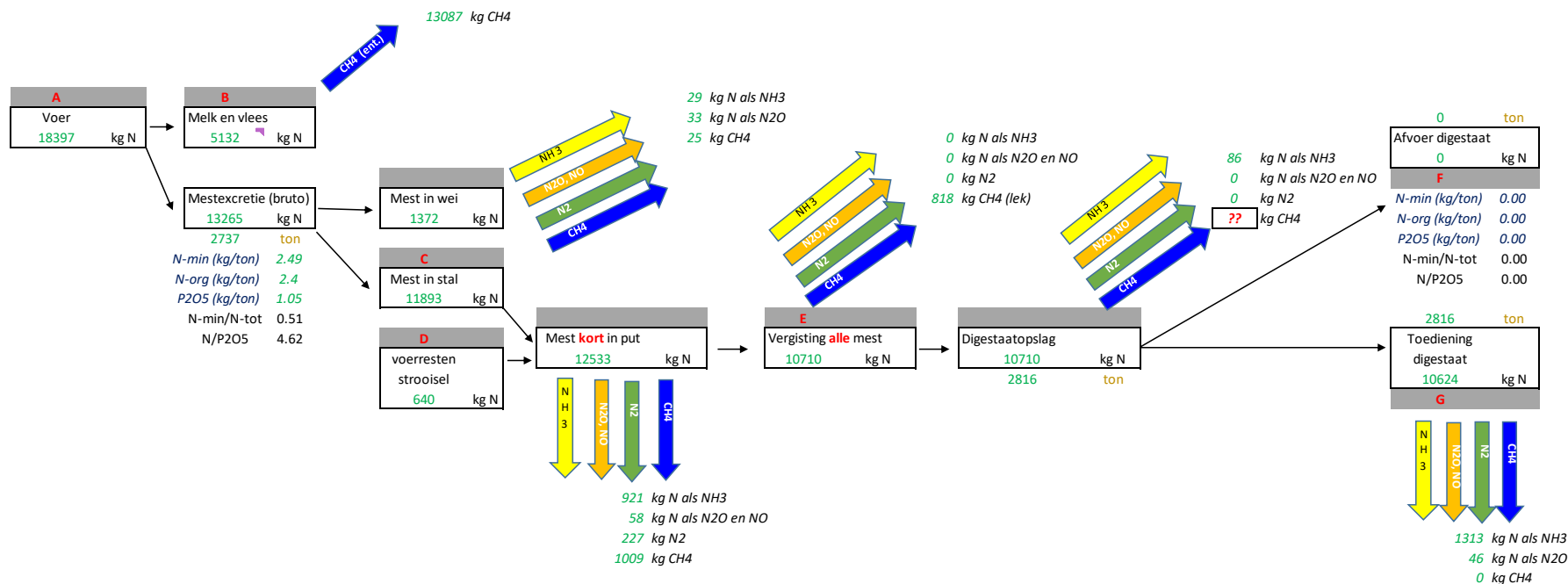
3) Door registratie per gebeurtenis (per mestaanwending).

4) Op jaarbasis.

5) Op basis van vaste factoren die betrokken wordt op TAN.

De emissie tijdens beweiding wordt niet meegenomen in de ketenanalyse. Er zijn geen metingen uitgevoerd en er is ook geen procesmodel beschikbaar. Een vergelijking met de berekening van emissie tijdens beweiding door de KLW is dan niet mogelijk. In dit stappenplan is stap 4 afhankelijk van stap 1-3 en stap 5-7 afhankelijk van stap 4.

De hierboven beschreven aanpak is uitgevoerd met gegevens van De Marke en Bedrijf 2 over het jaar 2019. Hieronder wordt per N-stroom een toelichting gegeven op de beschikbare gegevens en vergelijking.



Figuur 3 Stroomschema van stikstof en koolstof voor het melkveeprroefbedrijf De Marke. Een situatie met mestvergisting en ca 85 melkkoeien, om de orde van grootte van de stikstofstromen en emissies te duiden. De rode letters A t/m G duiden de 'schakels in de stikstofketen' die daadwerkelijk gemeten zouden kunnen zijn op proefbedrijf De Marke. Deze zijn te vergelijken met de modelberekeningen op jaarbasis.

2.3.1 N- en opname veestapel

Op De Marke wordt de N- en P-opname van voer (hoeveelheid voer en gehaltes) continue gemeten voor verschillende diergroepen: melkgevende koeien, droogstaande koeien, pinken en (oudste) kalveren. Deze staan allemaal in de ligboxstal, waarin ook de NH_3 emissie wordt gemeten. De jongste kalveren staan in een aparte stal. De K LW berekent ook de N- en P-opname van de veestapel en kan vergeleken worden met de gemeten opname. Wel moeten de K LW-berekeningen gecorrigeerd worden voor de voeropname van de jongste kalveren. Omdat deze dieren niet in de meetstal staan moeten ze uitgesloten worden van de vergelijking van K LW-berekeningen met metingen. Een (groot) verschil in voeropname tussen meting en K LW kan invloed hebben op de vergelijking en interpretatie van de andere N-stromen in de N-keten. De N- en P-opname is inclusief de opname tijdens beweiding.

2.3.2 N- en P-excretie veestapel

De N- en P-excretie van de veestapel wordt berekend als het verschil tussen de N- en P-opname via voer en de vastlegging in melk en groei. De bepaling van de vastlegging van N en P in melk en groei is gelijk bij de metingen en de K LW-berekeningen. Daarmee is dus ook de bepaling van de excretie op basis van voeropname gelijk bij de metingen en de K LW-berekeningen.

2.3.3 TAN excretie veestapel

De TAN excretie wordt berekend aan de hand van de vertering coëfficiënten van het Ruw Eiwit-gehalte (RE) van de verschillende voedermiddelen. De wijze van berekening is gelijk bij de metingen en de K LW-rekening (zie paragraaf 2.1.1).

2.3.4 NH_3 stal

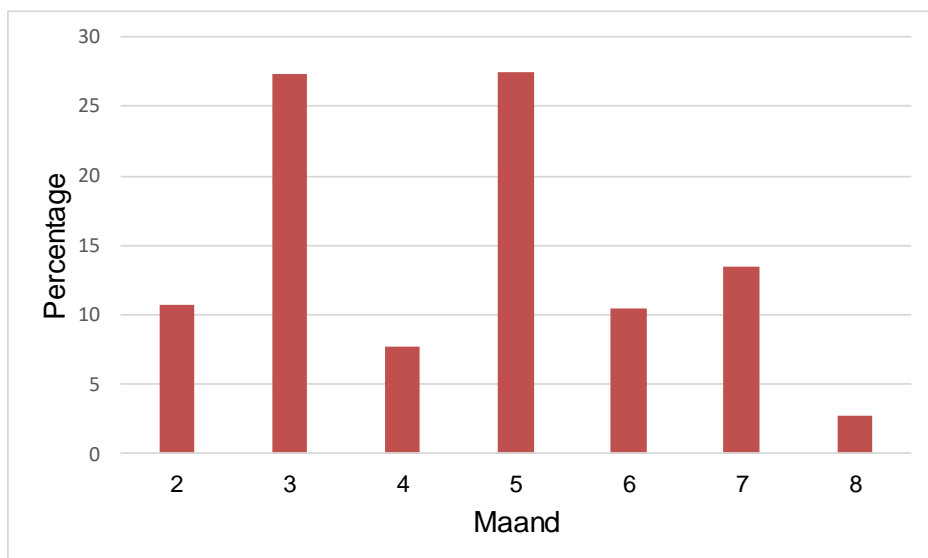
Vanaf 2018 wordt op De Marke continue de NH_3 emissie in de melkveestal gemeten met NH_3 - en CO_2 -sensoren, volgens de CO_2 -massabalansmethode, en wordt tweemaandelijks een 24-uurs referentiemeting uitgevoerd ter controle. De K LW berekent ook een NH_3 emissie voor stal, gebaseerd op een uit de Rav afgeleid vervluchtigingspercentage van de TAN. Met geavanceerde procesmodellen kan met de beschikbare invoergegevens de NH_3 ook berekend worden. De overige gasvormige N-verliezen (N_2O , NO_x , N_2) uit de melkveestal zijn niet gemeten. Hiermee moet wel rekening gehouden worden bij het vergelijken van direct gemeten N-verlies uit de stal en indirect gemeten N-verlies op basis van N-balans melkveestal.

Op De Marke wordt dagelijks tussen de 8 en 12 m^3 mest vanuit de put onder de ligboxenstal overgepompt naar de vergister. Deze mest is van de melkgevende koeien en het jongvee ouder dan 1 jaar. De mest van de droogstaande koeien en het jongere jongvee wordt 3 keer per jaar aan de mest in de ligboxenstal toegevoegd. Bijna alle mest (3000 m^3) gaat door de vergister en ongeveer een derde hiervan (1000 m^3) wordt na het vergisten gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dikke fractie gaat naar het bouwland en de dunne fractie naar de blijvend grasland percelen en de percelen die geweid worden. Wanneer er mest wordt uitgereden wordt er een mestmonster genomen. Het merendeel van de analyses is van vergiste mest.

2.3.5 Uitgereden N-totaal en uitgereden TAN

Van elke mestgift over het land (grasland en bouwland) wordt geregistreerd de hoeveelheid in ton/ha, perceel (grootte), tijdstip (datum) en de gehaltes (o.a. DS, N-totaal, N-org, N-min, P). Zodoende is bekend hoeveel N-totaal en TAN er wordt uitgereden over grasland en bouwland. Figuur 4 geeft een overzicht van de verdeling van mestgiftten in het seizoen 2019. De K LW berekent ook de hoeveelheid N-totaal en de hoeveelheid TAN die beschikbaar is voor uitrijden. De K LW corrigeert die hoeveelheid eerst

nog wel voor overige N-verliezen in stal en opslag en voor mineralisatie in mestopslagen. Op De Marke zijn geen metingen beschikbaar van overige N-verliezen en van de mineralisatie. Bij de vergelijking tussen de gemeten en de KLW berekende hoeveelheid uitgereden N-totaal en TAN zal daarmee rekening gehouden moeten worden.



Figuur 4 Verdeling (%) van de hoeveelheid uitgereden mest (volume) over de verschillende maanden in het jaar 2019 op de Marke.

2.3.6 NH₃ tijdens uitrijden

Op De Marke zijn over de periode 2010-2019 geen metingen van de NH₃ emissie tijdens uitrijden beschikbaar voor een geheel seizoen. Daarom kan alleen een vergelijking gemaakt worden tussen 1) een berekening met vaste emissiefactoren en 2) een berekening waarbij rekening wordt gehouden met mestsamenstelling, mestgift, weersomstandigheden en grondsoort.

De berekening 1 gaat uit van de beschikbare hoeveelheid TAN volgens de metingen (zie hierboven). De NH₃ emissie wordt bepaald met vaste emissiefactoren (EF) volgens het 'National Emission Model for Agriculture' (NEMA). Ook de KLW gebruikt deze emissie factoren en het verschil tussen KLW en de berekening met vaste factoren kan alleen verklaard worden door een verschil in hoeveelheden uitgereden TAN en/of de soort mest (vaste mest, drijfmest). Dit is dus een check op KLW en de gemeten stalemissie met bijbehorende correcties.

3 Resultaten

3.1 Stal emissies

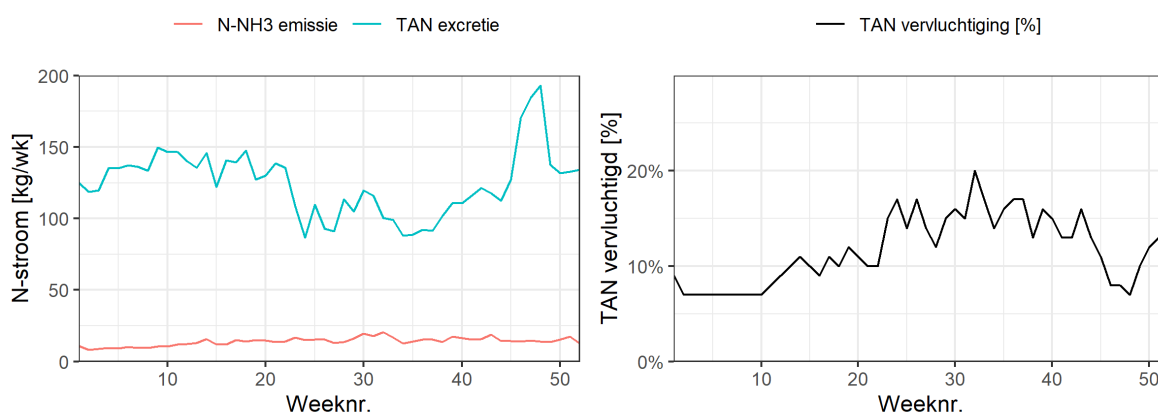
3.1.1 Ammoniak

3.1.1.1 TAN-excretie 2019

TAN-excretie in kg N/week, ammoniakemissie in kg N/week en het percentage van de berekende TAN-excretie wat gemeten is als ammoniak, zijn weergegeven Figuur 5. Zoals in de rechtergrafiek van Figuur 5 te zien is, heeft het percentage TAN dat gemeten is als ammoniakemissie een patroon dat in het voorjaar toeneemt en in het najaar afneemt. Dit patroon is gecorreleerd aan de buitentemperatuur ($R=0.81$). Een laag vervluchtigingspercentage is echter niet per definitie gelijk aan een lage ammoniakemissie. In figuur 5 wordt namelijk zichtbaar dat de TAN-excretie fluctueert door het jaar heen. In week 48 is de TAN-excretie maximaal, maar het vervluchtigingspercentage minimaal met een gelijkblijvende ammoniakemissie. Wel blijft de relatie tussen temperatuur en het TAN vervluchtigingspercentage aannemelijk op basis van het werkingsprincipe van ammoniakemissie (Monteny G.J. et.al., 1998).

Het percentage van de TAN-excretie dat vervluchtigd is als ammoniak is gemiddeld 9,8%. Dit is minder dan de 15,0% die door Van Bruggen et. al. (2021) is opgesteld als stalemissiefactor voor drijfmest bij beweiding in een conventionele stal (RAV-code A1.100). Het lagere gemeten percentage is goed verklaarbaar vanwege de dichte (emissiearme) vloer op De Marke en een gemeten ammoniakemissie (886 kg/jr uit stal- en mestopslag) die lager ligt dan de berekende emissie (1292 kg/jr uit stal- en mestopslag) in de KringloopWijzer.

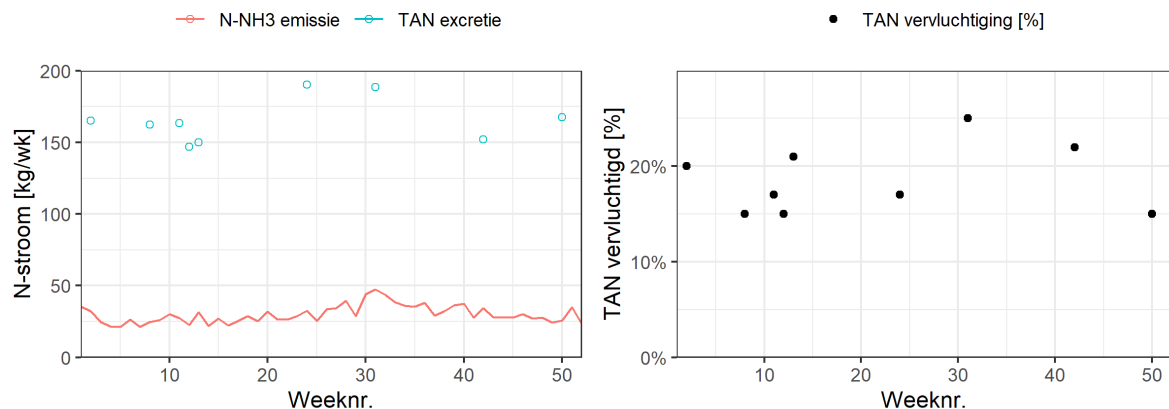
Weidegang blijft een ingewikkelde component in deze berekening aangezien een deel van de TAN in de weide terecht komt en de gemeten ammoniakemissie wordt gecorrigeerd voor weidegang. Hierdoor is een vergelijking lastig en kennen zowel de gemeten als de berekende waarde een onzekerheid.



Figuur 5 Links: Totale ammoniakale N-excretie (TAN-excretie) uit de meetweken en de gemeten stikstofemissie in de vorm van ammoniak per week op De Marke. Rechts: Percentage van TAN-excretie wat uiteindelijk is vervluchtigd via het proces van ammoniakemissie.

In Figuur 6 zijn de TAN-excretie, ammoniakemissie en het percentage TAN vervluchtiging voor Bedrijf 2 weergegeven. Doordat er op dit bedrijf minder meetweken plaatsvinden per jaar is het lastiger om patronen te ontdekken dan voor de situatie van De Marke. In tegenstelling tot De Marke, is de berekende TAN-excretie op Bedrijf 2 gedurende de zomer hoger. Toch valt ook op Bedrijf 2 het hoogst

waargenomen percentage TAN-vervluchtiging in de zomer (Figuur 6 rechts). Echter is de variatie in het percentage TAN vervluchtiging op Bedrijf 2 kleiner dan op De Marke. Daaruit valt af te leiden dat patronen in TAN vervluchtiging niet voor elk bedrijf even sterk aanwezig zijn. De TAN vervluchtiging op bedrijf 2 is gemiddeld 18% en daarmee hoger dan de 15,0% die bepaald is als gemiddelde door Van Bruggen et. al. (2021) terwijl de gemeten ammoniakemissie (1902 kg/jr) nagenoeg gelijk is aan de berekende ammoniakemissie in de KringloopWijzer (1838 kg/jr). Het verschil wordt wel verklaard doordat de TAN-excretie op basis van de 9 meetweken (165 kgN/wk) lager is dan berekend in de KringloopWijzer (197 kgN/wk).



Figuur 6 Links: Totale ammoniakale N-excretie (TAN-excretie) uit KringloopWijzer berekeningen en gemeten stikstofemissie in de vorm van ammoniak per week op Bedrijf 2. Rechts: Percentage van TAN-excretie wat uiteindelijk is vervluchtigd via het proces van ammoniakemissie.

Doordat de 'werkelijke' TAN-excretie lager is dan berekend in de KringloopWijzer en de ammoniakemissie nagenoeg gelijk is, is de stikstofefficiëntie van Bedrijf 2 in werkelijkheid lager dan berekend (een groter aandeel vervluchtigd als ammoniak). De gemeten ammoniakemissie op Bedrijf 2 (10 kg/dpl/jr) is vanwege de lagere TAN in het voer, lager dan de RAV-code (13 kg/dpl/jr), maar het aandeel TAN wat vervluchtigd (18%) is groter dan gemiddeld (14,2%). Meerdere factoren kunnen hiervoor de oorzaak zijn zoals de afwezigheid van weidegang, de hoeveelheid ventilatie in de stal, de TAN-concentratie in de urine of de gemiddelde jaartemperatuur. De ammoniakemissie is daarmee niet per definitie een kengetal voor de stikstofefficiëntie op een bedrijf.

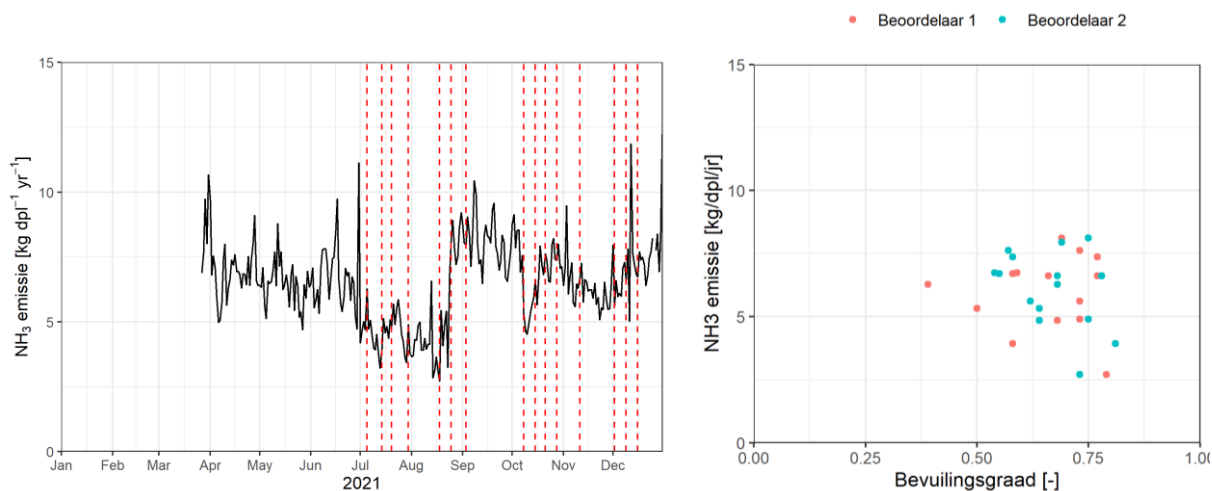
3.1.1.2 Visuele beoordeling stalvloer 2021

Figuur 7 geeft links een overzicht van de emissies en dagen waarop de foto's zijn gemaakt. Het is zichtbaar dat er tussen deze dagen variatie in emissie aanwezig is geweest. Uit het rechterfiguur kunnen we echter opmaken dat deze variatie niet verklaard kan worden op basis van de gemaakte foto's en de toegepaste ranking-methode. De verklaringen die hiervoor mogelijk zijn, zijn 1: het maken van foto's van de stalvloer op één moment op de dag is niet representatief voor de gehele dag en/of 2: de bevuilding van de stalvloer is niet goed af te leiden aan de huidige foto's en/of 3: de bevuilding van de stalvloer verklaart weinig of geen variatie in emissie.

De drie bovenstaande verklaringen voor het ontbreken van een verband tussen NH₃-emissie en bevuilding kunnen elk van toepassing zijn. Omdat het maken van de foto's een momentopname is, is het goed mogelijk dat deze momentopname niet representatief is voor de mate van bevuilding op de rest van de dag. Hiervoor zou het nodig zijn om de bevuilding van de vloer continu in kaart te brengen. Daarvoor is het echter wel belangrijk om te weten wat de definitie is van de mate van bevuilding van de stalvloer die zo goed mogelijk aansluit op het urine-afvoerend vermogen van de vloer. Tijdens de visuele vergelijking van de foto's kwam ook naar voren dat het lastig is om bevuilding in kaart te brengen. De neiging bestaat om de bevuilding in te schatten op basis van de hoeveelheid mestflatten op de vloer. Deze mestflatten

spelen echter in het proces van emissievorming maar een beperkte rol. Tijdens de beoordeling is wel geprobeerd om aangekoekte mest of plasvorming in de sleuven mee te nemen als maat voor de bevulling en afvoerend vermogen van de vloer, maar op veel afbeeldingen was dit lastig te zien.

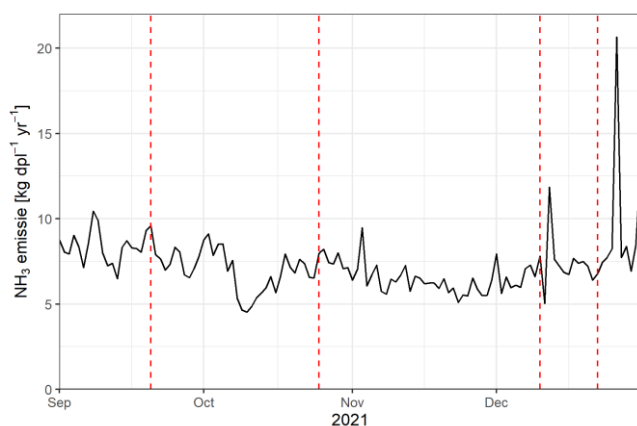
Verklaring 3; de bevulling heeft een beperkte invloed op emissie is ook realistisch voor de situatie van De Marke aangezien de vloer elke 55 minuten geschoven wordt. Daarmee is de verblijftijd van grote hoeveelheden mest op de roosters gering. Op veel bedrijven ligt de frequentie van schuiven lager en is de kans groot dat daarmee de verblijftijd van (grote) hoeveelheden mest op de roosters ook een belangrijkere rol speelt in de ammoniakemissie.



Figuur 7 Links: De ammoniakemissie [kg dpl/jr] op dag basis voor het jaar 2021 en de momenten waarop foto's van de stalvloer zijn gemaakt als verticale lijnen weergegeven. Rechts: Ranking op basis de bevulling van de stalvloer op de x-as met de gemeten NH_3 -emissie op de y-as. De kleuren geven de twee beoordelaars aan.

3.1.1.3 Doorsteken urine-afvoerende gaatjes 2021

De vier momenten waarop de urine-afvoerende gaatjes zijn doorgestoken, zijn weergegeven in Figuur 8. De verwachting was dat na het doorsteken een daling in emissie zichtbaar zou zijn. Het openen van de gaatjes bleek echter maar een kortstondig te werken en na 2-3 dagen was de situatie weer net als ervoor. Ook in emissies (zie tabel 2), is er geen consistent effect in emissies waarneembaar. Na het openen van de gaatjes op 20 september, lijkt de emissie te dalen, maar deze daling is in dezelfde orde grootte als de variatie die aanwezig is tussen meetdagen. Bij de drie andere dagen, is de emissie na het openen van de gaatjes hoger dan ervoor. Het verwachte effect van het openen van de urine-afvoerende gaatjes is daarmee niet aangetoond. Een reden hiervoor kan de hoge schuiffrequentie op De Marke zijn, waardoor urine ook met dichte gaatjes snel afgevoerd wordt. Een andere reden dat er geen effect zichtbaar is kan zijn dat de sleuven slecht gereinigd worden door de mestschuif. Een derde reden is dat het effect van het openen van de gaatjes wegvalt door de spreiding in emissie tussen dagen.



Figuur 8 Ammoniakemissie op De Marke in de periode van september 2021 tot en met december 2021. De interventie maatregel waarbij urine-afvoerende gaatjes doorgestoken zijn, is viermaal herhaald, aangegeven met de verticale rode lijnen.

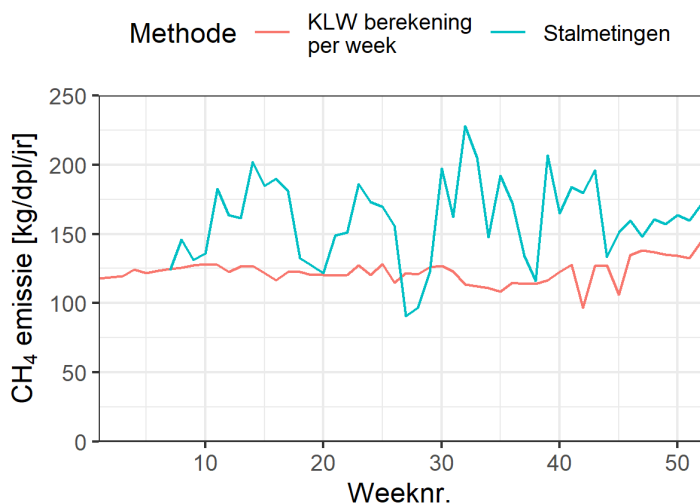
Tabel 3 Momenten waarop de urine-afvoerende gaatjes doorgestoken zijn en de ammoniakemissie 3 dagen voorafgaand aan het doorsteken en drie dagen na het doorsteken.

Datum van doorsteken	NH ₃ emissie 3 dagen ervoor (kg dpl ⁻¹ jr ⁻¹)	NH ₃ emissie 3 dagen erna (kg dpl ⁻¹ jr ⁻¹)
20-09-2021	8,54	7,52
25-10-2021	6,83	7,67
10-12-2021	6,99	8,17
22-12-2021	7,04	7,80

3.1.2 Methaan

3.1.2.1 Vergelijking KringloopWijzer en Stalmetingen

Figuur 9 laat zien wat het resultaat is wanneer de berekende methaanemissie vergeleken wordt met de gemeten methaanemissie. Zichtbaar wordt dat de variatie in berekende methaanemissie aanzienlijk lager is dan in de gemeten methaanemissie.



Figuur 9 Methaanemissie op De Marke in kg/dpl/jr volgend uit de stalmetingen en de KringloopWijzer berekeningen per week. In de berekening is enkel methaan uit pens- en darmfermentatie opgenomen.

De gemiddelde emissieniveaus per jaar volgens de drie bepalingmethoden zijn weergegeven in Tabel 4. Op basis van de stalmetingen is de gemiddelde methaanemissie 160 ± 29 kg/dpl/jr en is de som van de methaanemissie uit pens- en darmfermentatie en uit de mest. De berekende emissie vanuit alleen pens- en darmfermentatie is vanuit de K LW per week geschat op 123 ± 8 kg/dpl/jr en vanuit de standaard KringloopWijzer output 115 kg/dpl/jr. Het verschil in methaanemissie tussen beide KringloopWijzer benaderingen (6,5%) wordt volledig verklaard door het verschil in voeropname tussen beide rekenmethoden. Via de meetweken is de werkelijke voeropname gemeten en in de KringloopWijzer per jaar is deze geschat.

Het verschil tussen de stalmetingen en de KringloopWijzer schattingen is lastiger te duiden. Via de metingen is de methaanemissie op stalniveau bepaald waarin zowel emissie van pens- en darmfermentatie alsook methaanemissie uit de mest wordt gemeten. De verwachting is echter dat de mestbijdrage aan de totale methaanemissie minimaal is op De Marke aangezien de mest dagelijks uit de stal wordt verwijderd en vergist. Metingen met de GreenFeed (meetmethode voor de bepaling van de methaanproductie via een krachtvoerstation) bij de verschillende diergroepen kunnen uitwijzen wat de enterische methaanproductie van de dieren is in verhouding tot de stalmetingen en K LW-schattingen.

Tabel 4 Bedrijfsgegevens van De Marke in 2019 op basis van de stalmetingen, de KringloopWijzer berekening per week en de KringloopWijzer output op jaarbasis.

Kenmerk	Eenheid	Stalmeting	K LW berekening per week	K LW berekening per jaar
Aantal melkkoeien (incl. droogstaand vee)	#	88	86	85
Aantal pinken	#	19	22	22
Aantal kalveren	#	0	10	25
Melkproductie	kgMeetmelk/jr	865073	865407	853376
Voeropname	kgDS/jr	763261	763261	713355
CH ₄ -emissie: Totaal stal	kg/dpl/jr	160 ± 29^2	-	146
CH ₄ -emissie: Pens- en darmfermentatie	kg/dpl/jr	-	123 ± 8^1	115^2
CH ₄ -emissie: Mestopslag	kg/dpl/jr	-	-	31^3

¹ Gemiddelde \pm standaarddeviatie

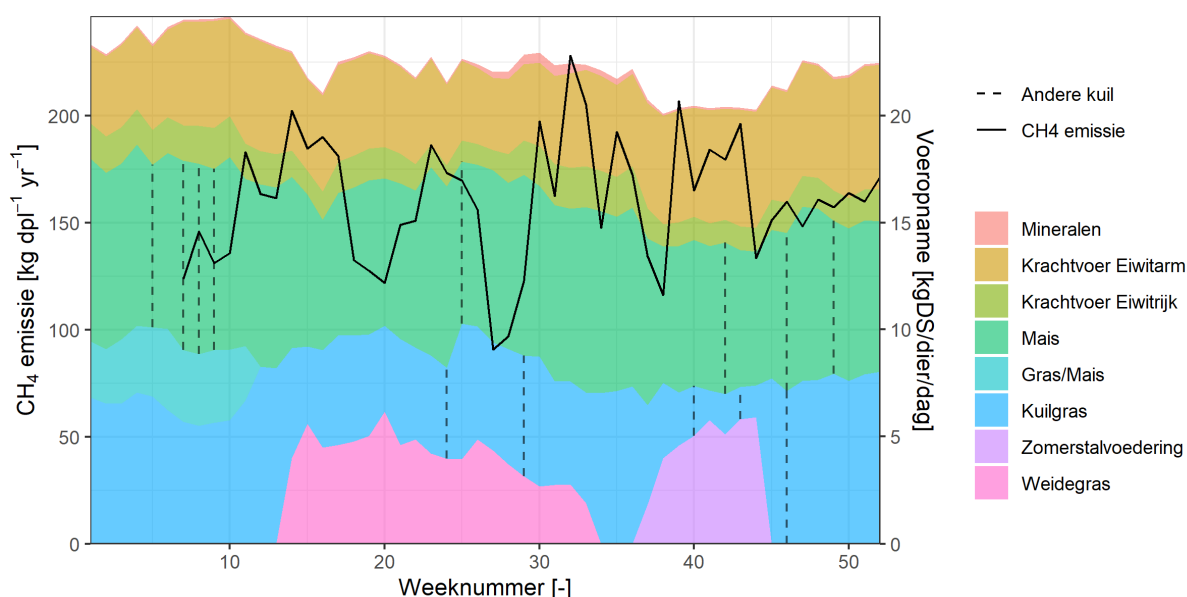
² KringloopWijzer output: 450182 kgCO₂-eq gedeeld door omrekenfactor voor methaan (34) en het aantal dierplaatsen (115).

³ KringloopWijzer output: 120332 kgCO₂-eq gedeeld door omrekenfactor voor methaan (34) en het aantal dierplaatsen (115).

Op Bedrijf 2 is in het jaar 2019 een gemiddelde methaanemissie van 218 ± 35 kg/dpl/jr gemeten. Volgens de berekening in de KringloopWijzer op jaarbasis is de emissie uit pens- en darmfermentatie 104 kg/dpl/jr. Dit forse verschil kan slechts deels verklaard worden door de mestbijdrage die wel gemeten wordt, maar niet geschat. Metingen met de GreenFeed op basis van 30 melkgevende dieren gedurende 192 dagen in de periode van 2018-2021 laten zien dat de enterische methaanproductie op Bedrijf 2 gemiddeld 184 kg per melkkoe is. Per dierplaats zal deze emissie lager zijn, maar nog steeds fors hoger dan de K LW-benadering. Deze potentiële onderschatting van de methaanemissie via de K LW kan ook een deel van het verschil verklaren.

3.1.2.2 Samenstelling van het rantsoen

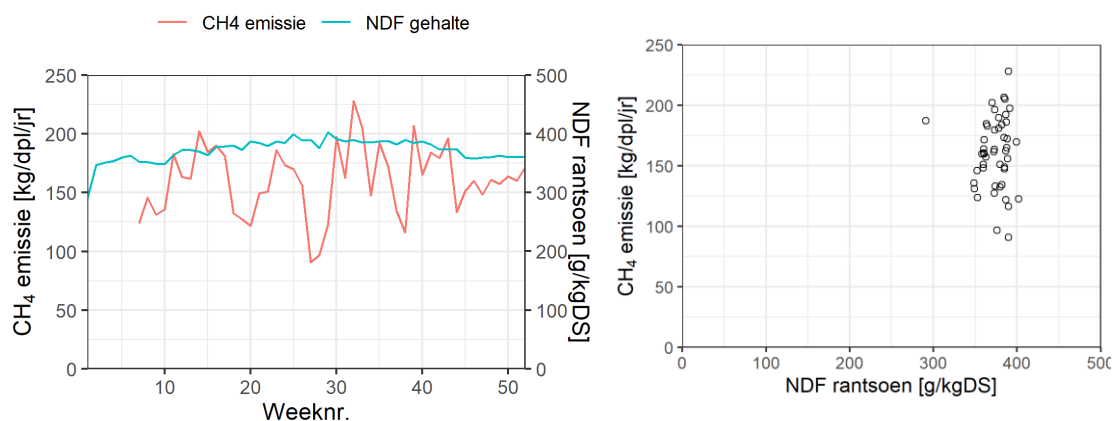
Figuur 10 geeft een overzicht van de methaanemissie per week en de samenstelling van het voer wat de dieren hebben gegeten. Te zien is dat het rantsoen stabiel is door het jaar heen. Doordat er veel variatie in methaanemissie is gemeten en er veel kuilwisselingen zijn geweest, is een uitgebreidere analyse over meerdere bedrijven nodig om het verloop van de methaanemissie beter te kunnen begrijpen. Deze analyse zal in vervolgprojecten worden uitgevoerd.



Figuur 10 Weekgemiddelde CH_4 -emissie (linker y-as) in kg/dpl/jr voor het jaar 2019 en weekgemiddelde voeropname (rechter y-as) in kgDS/dier/dag. De samenstelling van het rantsoen is weergegeven met de verschillende kleuren en voor het ruwvoer is met verticale gestreepte lijnen aangegeven wanneer er is overgestapt naar het voeren van een andere kuil.

3.1.3 NDF-gehalte in het rantsoen

Voor snijmais is bekend dat een lager NDF-gehalte ook leidt tot een lagere methaanemissie uit pens- en darmfermentatie (Sebek et. al., 2016). Figuur 11 maakt echter zichtbaar dat er op De Marke in 2019 weinig variatie in NDF in het rantsoen aanwezig was. Dat maakt ook dat er geen verband zichtbaar is tussen het NDF-gehalte en de methaanemissie (Figuur 11 rechts). Daarmee blijft het verklaren van gemeten methaanemissies nog een uitdaging door de veelvoud aan factoren die meespelen op het bedrijf.



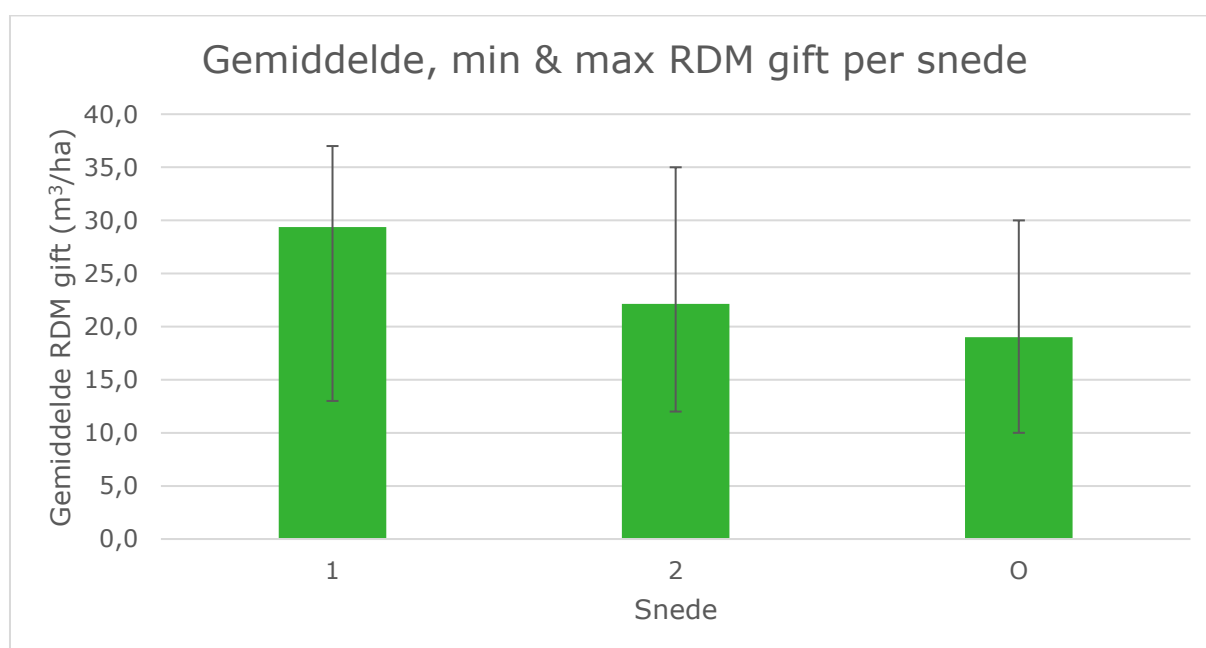
Figuur 11 Links: weekgemiddelde CH_4 -emissie en NDF-gehalte in het rantsoen per week voor het jaar 2019. Rechts: NDF-gehalte in het rantsoen tegen de CH_4 -emissie in 2019.

3.2 Emissie bij mesttoediening

De vaste emissiefactor voor mest uitrijden is gebaseerd op een gemiddelde van alle uitgevoerde veldmetingen in het verleden. In deze emissiefactor wordt geen rekening gehouden met verschillen tussen grondsoorten, doseringen, mestsaaistellingen en eventuele weersomstandigheden. Om een beter inzicht te krijgen in de ammoniakemissies tijdens het mest uitrijden kunnen deze factoren worden meegenomen.

De ammoniakemissie bij het uitrijden van de mest is o.a. afhankelijk van de mestsaaistelling, dosering en weersomstandigheden gedurende circa 96 uur na het moment van uitrijden. Voor De Marke zijn alle uitrijdmomenten (circa 600 momenten in de periode 2010-2019) voor de mest bekend met de bijbehorende mestsaaistelling en methoeveelheden van de uitgereden mest. Voor de verschillende uitrijdmomenten zijn de bijbehorende weersomstandigheden verzameld van het dichtstbijzijnde gelegen KNMI-weerstation. Om de emissie in te schatten is aangenomen dat de mest steeds 's ochtends is uitgereden. Voor ieder uitrijdmoment voor de mest op grasland is de ammoniakemissie berekend. Deze berekeningen laten zien dat de emissies lager zijn dan bij een vaste emissiefactor. Een belangrijk aspect hierbij is dat de vaste emissiefactor gebaseerd is op een gemiddelde van de metingen over de grondsoorten; in de metingen en modelbenadering, waarmee gerekend is, zijn de emissies voor zandgrond lager dan op de andere grondsoorten. Weersomstandigheden spelen een belangrijke rol bij het inschatten van de ammoniakemissie. Daarbij wordt vaak aangenomen dat emissies in het voorjaar lager zijn vanwege een lagere temperatuur.

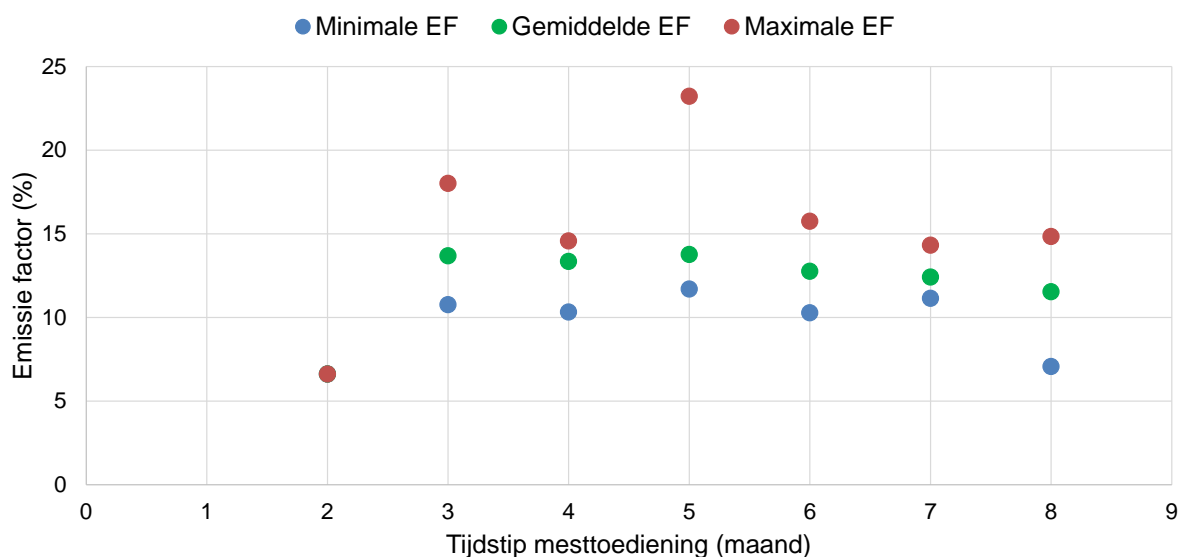
In figuur 12 wordt een beeld gegeven van de gemiddelde mestgift voorafgaand aan een snede (1=voorafgaand aan de 1e snede; 2=mei-juni; 0=juli-augustus. Tabel 5 geeft de totale hoeveelheid mest uitgereden op bedrijfsniveau per jaar (m³) onderverdeeld naar de snedes. Op basis van de uitgereden hoeveelheden mest, bijbehorende mestsaaistellingen en weersomstandigheden is voor de maanden februari (maand 2) tot en met augustus (maand 8) de gemiddelde emissiefactor geschat over 2010-2019. Figuur 13 geeft deze gemiddelde emissiefactoren (groen) met de minimale (blauw) en maximale (rood) berekende waarde voor die maand (let op: in maand 2 hebben in sommige jaren geen of maar een beperkt aantal uitrijdmomenten plaatsgevonden).



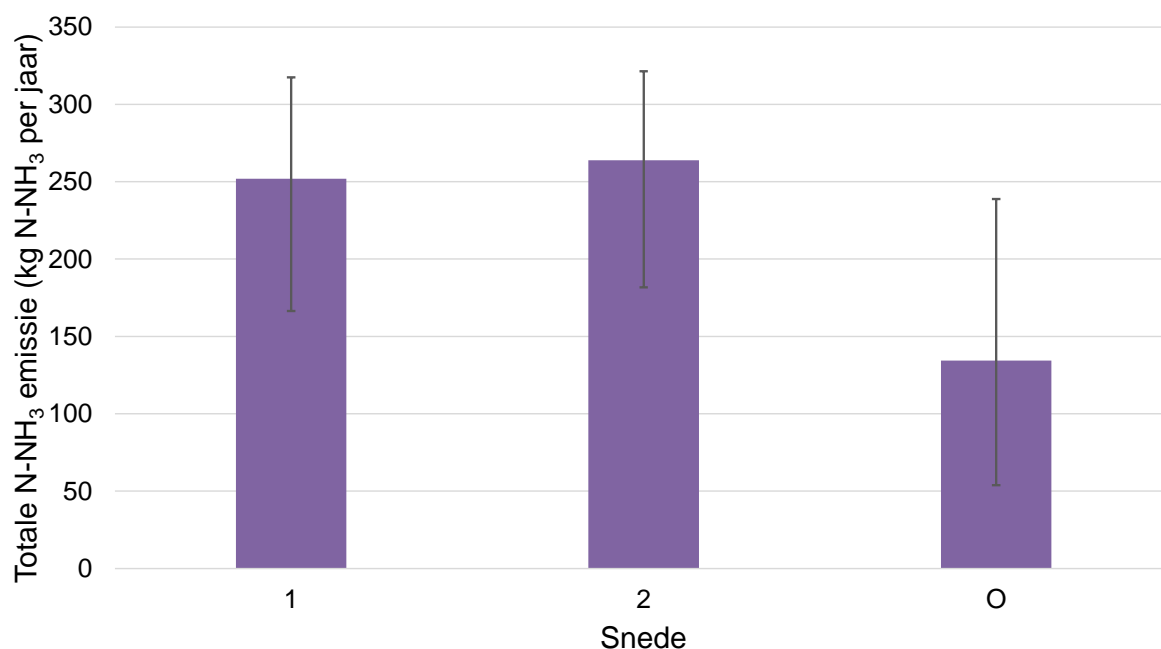
Figuur 12 Gemiddelde mestgift op de Marke voorafgaand aan een snede (1 = voorafgaand aan de 1e snede; 2 = mei-juni; 0 = juli-augustus).

Tabel 5 De totale hoeveelheid mest uitgereden op bedrijfsniveau per jaar (m^3) onderverdeeld naar de snedes.

Snede	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	1151	881	883	933	999	969	959	989	1030	1106
2	1031	725	1274	938	1069	1058	1190	1142	1332	1157
0	757	478	607	1158	256	511	495	810	627	512



Figuur 13 De ammoniakemissie op De Marke op basis van de emissiefactor, mestgiften en totale hoeveelheden uitgereden mest op bedrijfsniveau per snede (gemiddeld over 2010-2019).



Figuur 14 Totale N-NH₃ emissie per jaar op De Marke voorafgaand aan een snede (1 = voorafgaand aan de 1e snede; 2 = mei-juni; 0 = juli-augustus).

Figuur 14 geeft de ammoniakemissie op basis van de EF, mestgiften en totale hoeveelheden uitgereden mest op bedrijfsniveau per snede (gemiddeld over 2010-2019).

De berekeningen geven een beeld van de optredende ammoniakemissie bij mest uitrijden op De Marke in de periode 2010-2019. Berekeningen en spreidingen konden bepaald worden, omdat een goed beeld beschikbaar was over mestgiften, mestsamenstellingen en uitrijdtijdstippen van de mest in die periode. De berekeningen gelden voor grasland op zandgrond.

Aansluitend zijn een aantal berekeningen uitgevoerd voor Bedrijf 2 (kleigrond). Berekende emissie factoren zijn hoger dan de berekende emissie factoren voor zandgrond De Marke. Een verdere goede vergelijking tussen de bedrijven is niet mogelijk, omdat voor het bedrijf op kleigrond slechts een zeer beperkt aantal berekeningen is uitgevoerd voor slechts enkele uitrijdmomenten, mestgiften en mestmonsters binnen een jaar.

3.3 Ketenganalyse De Marke 2019

3.3.1 Analyse van N- en P-stromen: van voeding tot mesttoediening

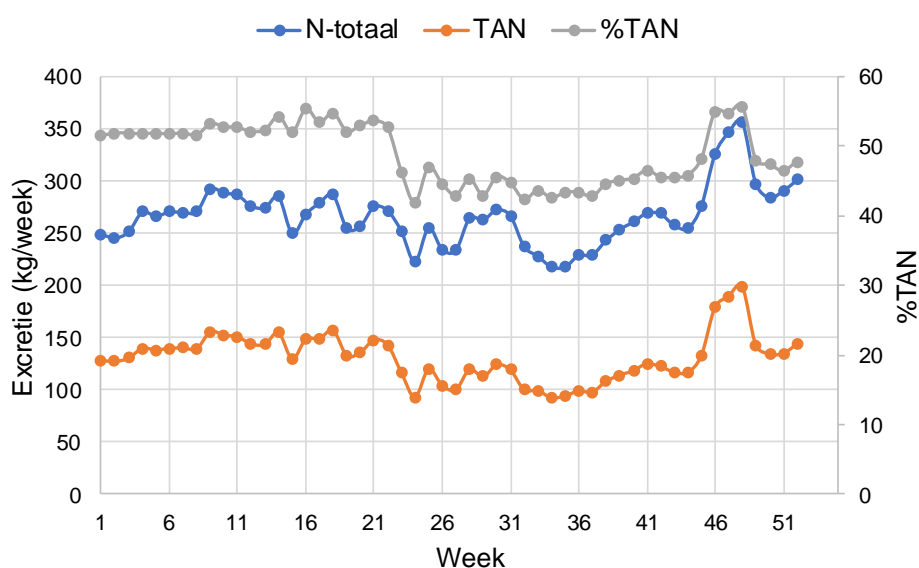
Tabel 8 geeft een overzicht van de vergelijking tussen berekende (KringloopWijzer) en gemeten (meting) N- en P-stromen op De Marke in 2019.

Beginnend bij de voeropname. De N- en P-voeropname wordt door de KringloopWijzer vergeleken met de metingen een paar procenten onderschat, tussen 3 en 5%. Het verschil in N/P₂O₅ verhouding in de voeropname tussen KLW en meting is gering, respectievelijk 3,58 en 3,54.

Ook de N- en P-excretie wordt door de KringloopWijzer onderschat ten opzichten van de metingen, respectievelijk 5 en 9%. Deze onderschatting van de P-excretie is groter dan bij de P-voeropnames, dit kan worden verklaard door het verschil in vastlegging van melk en vlees. Ook het aantal dieren waarop de berekeningen van de KringloopWijzer zijn gebaseerd verschilt met die in de metingen van de voeropname. De jongste kalfjes (tot een half jaar) staan in een andere stal en daarvan worden geen voeropnames van bepaald. Ook de melkproductie tussen KringloopWijzer en metingen verschillen. Als gevolg van verschillen in berekende vastlegging is de N/P₂O₅ verhouding in excretie in de KringloopWijzer 5% hoger dan bepaald in de meetweken.

De hoeveelheid TAN-excretie wordt niet gemeten, aangezien dit praktisch onhaalbaar is om de mest onder de staart te verzamelen. Maar wordt in de meting op dezelfde wijze berekend als in de KLW. De berekende hoeveelheid TAN-excretie onder de staart (dus alleen op basis van vertering van voedermiddelen) is in de KLW 4% lager dan in de meting. Wel is het %TAN onder de staart tussen KLW en meting nagenoeg gelijk. Het verschil in afwijking van enerzijds de TAN-excretie en anderzijds het %TAN wordt hoogstwaarschijnlijk verklaard doordat de KLW de vertering van voedermiddelen op jaarbasis bepaald en in de meting wordt dit elke week bepaald. In dit geval is 'het jaartotaal' niet gelijk aan 'de som van meetweken'. De bepaling van de hoeveelheid TAN-excretie en het %TAN ná mineralisatie, is gelijk in KLW en meting en daardoor blijven de verschillen gelijk.

Het eventuele verschil dat wordt gezien in TAN-excretie tussen metingen en KLW wordt bij de metingen bepaald via het in die week opgenomen voer. De KLW echter berekent eerst het jaarrantsoen en vervolgens wordt daarmee de TAN-excretie bepaald. Figuur 15 geeft een overzicht van het verloop van de gemeten N-excretie en TAN-excretie per week.



Figuur 15 Het verloop van de wekelijkse hoeveelheid geproduceerde N-excretie (blauw), TAN excretie (oranje) en de verhouding tussen N-excretie en TAN excretie (%TAN; grijs) op De Marke.

De gemeten NH₃-emissie in de stal is 42% lager dan de berekende emissie (886 versus 1260 kg NH₃/jr). Per dierplaats is de gemeten NH₃-emissie in de stal gemiddeld op jaarbasis 7,7 (115 dierplaatsen). De variatie tussen de metingen zijn groot (zie paragraaf 3.1). De berekende NH₃-emissie per dierplaats is 11 en komt overeen met de forfaitaire waarde voor de RAV-code van de stal (11,8). Dat de metingen veel lager uitkomen dan de berekende waarde bij de RAV-code van de stal (A1.5) kan erop duiden dat dit staltype niet passend is bij de stal, vloertype en management op De Marke.

De door de KringloopWijzer berekende N-toediening naar grasland is 9% lager dan de gemeten waarde. De berekende TAN-toediening naar grasland is 12% lager dan de gemeten waarde (op basis van mestanalyses). In de berekeningen is het TAN-aandeel in de mest iets lager dan in de metingen (4%). De gemeten hoeveelheid fosfaat in de mest is hoger dan berekend met de KringloopWijzer (13%). De NH₃-emissie tijdens toediening worden niet gemeten maar berekend met een geavanceerd procesmodel (hieronder procesmodel genoemd). Deze berekende hoeveelheden worden vervolgens vergeleken met die in de KringloopWijzer. Vergeleken met de berekeningen van het procesmodel wordt door de KringloopWijzer de berekende NH₃-emissie op grasland met 33% overschat vergeleken met de berekeningen van het procesmodel. De berekeningen van het procesmodel zijn gebaseerd op 100% toediening met een zodenbemester. De gewogen gemiddelde EF voor toediening komt uit op 12.7% terwijl de KringloopWijzer rekent met een EF voor toediening met een zodenbemester van 19%. Dat de KLW gemiddeld op een emissiefactor van 19,3 uitkomt wordt veroorzaakt door een 'restpost vaste mest en stro' wat naar grasland gaat.

De berekende N-toediening naar bouwland is 25% lager dan de gemeten waarde. Desondanks is de berekende TAN-toediening naar bouwland 4% hoger dan de gemeten waarde, doordat het berekende TAN-aandeel in de mest veel hoger is dan in de metingen (39%). Op De Marke wordt relatief veel dikke fractie toegediend op bouwland. Dit kan een oorzaak zijn van de grote afwijkingen in de verhouding N/TAN van mest naar bouwland. Net als op grasland is de gemeten hoeveelheid fosfaat in de mest hoger dan berekend met de KringloopWijzer (26%). Voor bouwland zijn er op dit moment nog geen berekeningen uitgevoerd met het procesmodel.

3.3.2 Synthese

De synthese is gebaseerd op de ontwikkeling van twee kengetallen in de keten: %TAN en de N/P₂O₅ verhouding in excretie/mest.

3.3.2.1 Ontwikkeling van %TAN

Het %TAN in mest (en daaraan gekoppeld het volume aan TAN-excretie) is de basisbron voor N-verliezen op melkveebedrijven. Een vergelijking van de ontwikkeling van het %TAN tussen model (KLW) en metingen geeft inzicht in hoeverre de KLW de basisbron voor N-verliezen goed modelleert. Tabel 6 geeft inzicht in de ontwikkeling van %TAN onder de staart en op basis van mestanalyses, het tijdstip voor het uitrijden van mest.

Tabel 6 Ontwikkeling van het %TAN tussen excretie (onder de staart) en in de mest op het tijdstip van uitrijden.

N-stroom	KLW	Meting	Opmerking
- Excretie	51,2	50,7	Onder de staart, voor mineralisatie
- Uitrijden	50,8	49,7	Op basis van mestanalyses
Verschil	0,4	1,0	

In de vergelijking is het niet belangrijk om te kijken naar de absolute verschillen in %TAN tussen KLW en meting in bijvoorbeeld de excretie ('van links naar rechts'), maar in het *verschil* in %TAN tussen excretie en mest tussen enerzijds de KLW en anderzijds de meting ('van boven naar beneden').

We zien dat bij de meting het % met 1% afneemt tussen excretie en mest en dat in de K LW het %TAN afneemt met 0,4%. De verschillen in afname zijn klein (<1%) en het is maar de vraag of de verschillen tussen K LW en meting significant zijn. Een oorzaak tussen het verschil kan zijn dat de K LW de netto mineralisatie in mest tijdens opslag en in de vergister overschat.

3.3.2.2 Ontwikkeling van de N/P₂O₅ verhouding in excretie/mest.

Deze analyse is een herhaling van Van Bruggen en Geertjes (2019), maar dan op één bedrijf. Ook in deze analyse volgen we de ontwikkeling van de N/P₂O₅ verhouding in excretie/mest op twee momenten (onder de staart en in mest op het tijdstip voor uitrijden). Dit zijn momenten waarbij de N/P₂O₅ verhouding ook daadwerkelijk gemeten is waardoor de uitkomst meer kracht kan uitstralen (Tabel 7). Het verschil in N/P₂O₅ verhouding is een maatstaf van het percentage N-verlies tussen de twee momentopnames. In dit geval het N-verlies in stal, opslag en monovergister in de vorm van NH₃, N₂O, NO_x en N₂.

Tabel 7 Ontwikkeling van de N/P₂O₅ verhouding tussen excretie (onder de staart) en in de mest op het tijdstip van uitrijden.

N/P ₂ O ₅ -stroom	K LW	Meting	Opmerking
- excretie	4,50	4,28	Onder de staart
- uitrijden	3,71	3,52	Op basis van mestanalyses
Verschil	0,78	0,75	
% 'N-verlies'	17,4	17,6	
N-NH ₃ stal (%)	7,8	5,2	
N-gat (%)	9,6	12,4	

Het verschil in afname in de N/P₂O₅ verhouding van excretie tot in mest vóór uitrijden tussen K LW en de meting is gelijk (respectievelijk 0,78 en 0,75). Het berekende N-verlies als percentage van de totale N-excretie onder de staart tussen K LW en meting is daardoor gelijk (17,5%). Op basis van gegevens uit Tabel 7 kunnen we het %N-NH₃ verlies uit stal berekenen. Die is in de K LW hoger dan in de meting (respectievelijk 7,8% en 5,2 %). Wat resteert is het N-gat in stal, opslag en vergister in de vorm van N₂O, NO_x en N₂. De K LW berekend daarvoor in dit geval 9,6% van de geproduceerde N-excretie. In het geval van de metingen bedraagt het N-gat 12,4%.

3.3.3 Conclusies en aanbevelingen

- De gemeten NH₃ op stal is lager dan berekend in de K LW.
- De op basis van uitrijdmomenten en weersomstandigheden berekende NH₃ tijdens uitrijden van mest is lager dan berekend in de K LW.
- Op basis van verschillen in N/P₂O₅ verhouding van excretie (onder de staart) tot in de mest is het percentage N-verlies in de vorm van NH₃, N₂O, NO_x en N₂ in de meting gelijk aan de K LW.
- Op basis van de metingen overschat de K LW de N-verliezen in stal en opslag met NH₃ en onderschat de overige N-verliezen.
- Voor robuustere conclusies en betere onderbouwing zou bovenstaande analyse op De Marke voor meerdere jaren uitgevoerd moeten worden.

Tabel 8 Vergelijking tussen berekende (KringloopWijzer) en gemeten (Meting') N- en P-stromen op De Marke in 2019.

Niveau	N- en P-stroom	KringloopWijzer			Meting			Verschil (%)		
		N	P ₂ O ₅	N/P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N/P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N/P ₂ O ₅
Stal	Voeropname	18034	5031	3,58	18656	5276	3,54	-3,3	-4,6	1,4
	Excretie (onder de staart)	13269	2950	4,50	13900	3250	4,28	-4,5	-9,2	5,2
	TAN-excretie (onder de staart)	6792			7047*			-4		
	- TAN stal	6109								
	- TAN wei	683								
	%TAN (onder de staart)	51,2			50,7			1		
	TAN-excretie (na mineralisatie)	7360			7577			-3		
	%TAN (na mineralisatie)	55,5			54,5			2		
	NH ₃ -stal	1260			886			42		
	EF NH ₃ -stal	15,5			10,6			47		
	N-excretie (na NH ₃ stal)	12232								
	TAN-excretie (na NH ₃ stal)	6323								
	%TAN (na NH ₃ stal)	51,7								
Grasland	Totaal uitgereden	9107	2210	4,12	9963	2527	3,94	-9	-13	5
	Uitgereden TAN	4779			5457			-12		
	%TAN	52,5			54,8			-4		
	NH ₃ toediening	1119			844			33		
	EF-toediening	19,3			12,7			51		
Bouwland	Totaal uitgereden	1994	779	2,56	2663	1056	2,52	-25	-26	2
	Uitgereden TAN	858			824			4		
	%TAN	43,0			30,9			39		
	NH ₃ toediening	250								
Bedrijf	Totaal uitgereden	11101	2989	3,71	12626	3583	3,52	-12	-17	5
	Uitgereden TAN	5637			6281			-10		
	%TAN	50,8			49,7			2		
	NH ₃ toediening	1369			844					

3.4 Ketenganalyse Bedrijf 2 2019

3.4.1 Analyse van N- en P-stromen: van voeding tot mesttoediening

Tabel 8 geeft een overzicht van de confrontatie/vergelijking tussen berekende (KringloopWijzer) en gemeten (meting) N- en P-stromen bij Bedrijf 2 in 2019.

De N- en P-voeropname wordt door de KringloopWijzer (KLW) vergeleken met de metingen overschat met respectievelijk 9 en 7%. Het verschil in N/P₂O₅ verhouding in de voeropname tussen KLW en meting is gering, respectievelijk 2,99 en 2,93.

De N- en P-excretie wordt door de KringloopWijzer (KLW) vergeleken met de metingen overschat met respectievelijk 19 en 3%. Het verschil in N/P₂O₅ verhouding in de excretie tussen KLW en meting (16%) is groter dan in de voeropname (6%) en bedraagt respectievelijk 3,41 en 2,82.

De hoeveelheid TAN-excretie wordt niet gemeten, maar wordt in de meting op dezelfde wijze berekend als in de KLW. De berekende hoeveelheid TAN-excretie onder de staart (dus alleen op basis van vertering van voedermiddelen) is nagenoeg gelijk tussen KLW en meting. Wel is er een verschil tussen het %TAN onder de staart tussen KLW en meting (9% lager in de KLW). Dit verschil wordt hoofdwarschijnlijk verklaard doordat de KLW de vertering van voedermiddelen op jaarbasis bepaald en in de meting wordt dit elke meetweek bepaald. In dit geval is 'het jaartotaal' niet gelijk zijn aan 'de som van meetweken'. Daarnaast kunnen vraagtekens gezet worden in hoeverre het aantal meetweken voldoende is en representatief voor het gehele jaar. De bepaling van de hoeveelheid TAN-excretie en het %TAN ná mineralisatie, is gelijk in KLW en meting en daardoor blijven de verschillen in TAN (zowel de hoeveelheid als in percentage) tussen KLW en meting gelijk.

De gemeten NH₃-emissie (zowel de totale hoeveelheid als de emissiefactor EF) in de stal is 6% hoger dan de berekende emissie. Voor een uitgebreide analyse van de NH₃-emissie in de stal, zie paragraaf 3.1).

De door de KringloopWijzer berekende N-toediening naar grasland is 8% hoger dan de gemeten waarde. In de KringloopWijzer is de hoeveelheid N-toediening naar grasland een 'restpost': alle geproduceerde N die nog geen 'bestemming' heeft (verliezen in stal en opslag, aan- en afvoer mest, voorraadmutaties, toediening naar bouwland) wordt toegerekend aan grasland. In de gebruikte versie van de KLW was het nog niet mogelijk om de bemesting naar het grasland op te geven wat vooraf werd geoogst voordat de maïs erin kwam (is dus bouwland). Daardoor werd de bemesting naar bouwland onderschat en die van grasland overschat. In de nieuwe versie van de KLW is dit nu wel mogelijk om hiermee rekening te houden. De berekende TAN-toediening naar grasland is 7% hoger dan de gemeten waarde (op basis van mestanalyses). In de berekeningen is het TAN-aandeel in de mest nagenoeg gelijk aan de metingen (1% verschil). De gemeten hoeveelheid fosfaat in de mest is lager dan berekend met de KringloopWijzer (2%). De berekende N/P₂O₅ verhouding in de mest is 10% hoger dan in de meting. Een kanttekening is dat de metingen van de gehalten in mest gebaseerd zijn op twee momenten in het jaar (februari en mei). En daarnaast is het lastig om 'gewogen gemiddelde' gehalten in de mest te bepalen. De NH₃-emissie tijdens toediening worden niet gemeten maar berekend met een geavanceerd procesmodel (hieronder procesmodel genoemd). Deze berekende hoeveelheden worden vervolgens vergeleken met die in de KringloopWijzer. Vergeleken met de berekeningen met het procesmodel wordt door de KringloopWijzer berekende NH₃-emissie op grasland met 18% onderschat. De berekeningen met het procesmodel zijn gebaseerd op toediening met een sleepvoet waarbij 60% met voldoende verdunning. In de KringloopWijzer is gerekend met 100% verdunning en sleepvoet. De gewogen gemiddelde EF voor toediening met het procesmodel komt uit op 24,5% terwijl de KringloopWijzer met een EF van 19% rekent (EF voor verdunning met een sleepvoet is gelijkgesteld aan de EF voor zodebemesting). In procenten rekent de KLW met een 23% hogere EF voor toediening naar grasland dan volgens het procesmodel.

De berekende N-toediening naar bouwland is 41% lager dan de gemeten waarde. Een oorzaak van dit verschil hiervan is hierboven genoemd. Ook de berekende TAN-toediening naar bouwland is lager dan de gemeten waarde (6%), terwijl het berekende TAN-aandeel in de mest hoger is dan in de metingen (58%). Voor bouwland zijn er op dit moment nog geen berekeningen uitgevoerd met het procesmodel.

3.4.2 Synthese

De synthese is gebaseerd op de ontwikkeling van twee kengetallen in de keten: %TAN en de N/P₂O₅ verhouding in excretie/mest.

3.4.2.1 Ontwikkeling van %TAN

Het %TAN in mest (en daaraan gekoppeld het volume aan TAN-excretie) is de basisbron voor N-verliezen op melkveebedrijven. Een vergelijking van de ontwikkeling van het %TAN tussen model (KLW) en metingen geeft inzicht in hoeverre de KLW de basisbron voor N-verliezen goed modelleert. Tabel 9 geeft inzicht in de ontwikkeling van %TAN onder de staart en op basis van mestanalyses, het tijdstip voor het uitrijden van mest.

Tabel 9 Ontwikkeling van het %TAN tussen excretie (onder de staart) en in de mest op het tijdstip van uitrijden.

N-stroom	KLW	Meting	Opmerking
- Excretie	48,5	53,0	Onder de staart, voor mineralisatie
- Uitrijden	45,4	43,6	Op basis van mestanalyses
Vershil	3,1	9,4	

In de vergelijking is het niet belangrijk om te kijken naar de absolute verschillen in %TAN tussen KLW en meting in bijvoorbeeld de excretie ('van links naar rechts'), maar in het *verschil* in %TAN tussen excretie en mest tussen enerzijds de KLW en anderzijds de meting ('van boven naar beneden'). We zien bij zowel KLW en meting een afname van het %TAN, maar de afname bij de meting is wel drie zo groot (respectievelijk 3,1 en 9,4%).

3.4.2.2 Ontwikkeling van de N/P₂O₅ verhouding in excretie/mest.

Deze analyse is een herhaling van Van Bruggen en Geertjes (2019), maar dan op één bedrijf. Ook in deze analyse volgen we de ontwikkeling van de N/P₂O₅ verhouding in excretie/mest op twee momenten (onder de staart en in mest op het tijdstip voor uitrijden). Dit zijn momenten waarbij de N/P₂O₅ verhouding ook daadwerkelijk gemeten is waardoor de uitkomst meer kracht kan uitstralen (Tabel 10). Het verschil in N/P₂O₅ verhouding is een maatstaf van het percentage N-verlies tussen de twee momentopnames. In dit geval het N-verlies in stal en opslag in de vorm van NH₃, N₂O, NO_x en N₂.

Tabel 10 Ontwikkeling van de N/P₂O₅ verhouding tussen excretie (onder de staart) en in de mest op het tijdstip van uitrijden.

N/P ₂ O ₅ -stroom	KLW	Meting	Opmerking
- excretie	3,41	2,94	Onder de staart
- uitrijden	2,95	3,03	Op basis van mestanalyses
Vershil	0,46	-0,09	
% 'N-verlies'	13,6	-2,9	
N-NH ₃ stal (%)	7,6	9,7	
N-gat (%)	5,9	-12,6	

Het verschil in afname in de N/P₂O₅ verhouding van excretie tot in mest vóór uitrijden is bij de KLW twee keer zo groot dan bij de meting (respectievelijk 0,46 en -0,09). Het berekende N-verlies als percentage van de totale N-excretie onder de staart is bij de KLW ook groter dan bij de meting (respectievelijk 13,6% en -2,9%). Op basis van gegevens uit Tabel 10 kunnen we het %N-NH₃ verlies uit stal berekenen.

Die is in de K LW iets lager dan in de meting (respectievelijk 7,6% en 9,7%). Wat resteert is het N-gat in stal en opslag in de vorm van N_2O , NO_x en N_2 . De K LW berekend daarvoor in dit geval 5,9% van de geproduceerde N-excretie, terwijl bij de metingen een negatief N-gat is wat erop duidt dat het totale N-verlies is onderschat en/of het N-verlies door NH_3 is overschat.

3.4.3 Conclusies en aanbevelingen

- De gemeten NH_3 op stal is hoger dan berekend in de K LW.
- De op basis van uitrijdmomenten en weersomstandigheden berekende NH_3 tijdens uitrijden van mest is hoger dan berekend in de K LW.
- Op basis van de resultaten van de ontwikkeling van het %TAN en de N/P_2O_5 verhouding in mest kunnen voor het Bedrijf 2 nu nog geen conclusies worden getrokken. Daarvoor zijn de resultaten van metingen op basis van één jaar te summier en niet robuust genoeg. Het zou beter zijn om in de analysegegevens van meerdere jaren te betrekken en deze dan te middelen.

Tabel 11 Confrontatie/vergelijking tussen berekende (KringloopWijzer) en gemeten (meting) N- en P-stromen bij Bedrijf 2 in 2019.

Niveau	N- en P-stroom	KringloopWijzer			Meting			Verschil (%)		
		N	P ₂ O ₅	N/P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N/P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N/P ₂ O ₅
Stal	Voeropname	26766	8939	2,99	23612	8387	2,82	13,4	6,6	6,4
	Excretie (onder de staart)	19281	5647	3,41	16174	5493	2,94	19,2	2,8	16,0
	TAN-excretie (onder de staart)	9345			8576			9		
	- TAN stal	9345								
	- TAN wei	0								
	%TAN (onder de staart)	48,5			53,0			-9		
	TAN-excretie (na mineralisatie)	10213			9336			9		
	%TAN (na mineralisatie)	53,0			57,7			-8		
	NH ₃ -stal	1783			1902			-6		
	EF NH ₃ -stal	14,4			16,8			-14		
	N-excretie (na NH ₃ stal)	17813								
	TAN-excretie (na NH ₃ stal)	8745								
	%TAN (na NH ₃ stal)	49,1								
Grasland	Totaal uitgereden	11932	3686	3,24	11026	3760	2,93	8	-2	10
	Uitgereden TAN	5125			4805			7		
	%TAN	43,0			43,6			-1		
	NH ₃ toediening	1179			1429			-18		
	EF-toediening	18,9			24,5			-23		
Bouwland	Totaal uitgereden	1245	378	3,29	2094	570	3,67	-41	37	-57
	Uitgereden TAN	599			913			-6		
	%TAN	48,1			43,6			58		
	NH ₃ toediening	15								
Bedrijf	Totaal uitgereden	13177	4064	3,24	13120	4330	3,03	0	3	-3
	Uitgereden TAN	5724			5718			5		
	%TAN	43,4			43,6			4		
	NH ₃ toediening	1194			1429					

4 Conclusies en aanbevelingen

De verkenning op De Marke en Bedrijf 2 geeft een aantal waardevolle aanwijzingen en aanknopingspunten voor verdere uitwerking. Belangrijk om te beseffen is dat extrapolatie van deze aanwijzingen buiten De Marke en Bedrijf 2 niet verantwoord is. De aanwijzingen hebben betrekking op het relatieve effect van een aantal onderzochte factoren op De Marke op de ammoniakemissie. Met als kanttekening dat we nog niet hebben onderzocht hoe de variatie van de onderzochte factoren op De Marke zich verhoudt tot de variatie op andere bedrijven en de verschillen tussen andere bedrijven. Dat laat onverlet dat de volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- De gedetailleerde en interdisciplinaire analyse van de N-kringloop in de bedrijfsonderdelen voer, vee, stal, mest, mestaanwending biedt al veel inzicht in mogelijke nuancering en verbeterpunten van de KringloopWijzer.
- Er is geen duidelijke samenhang gezien tussen het verloop gedurende het jaar van de berekende TAN-excretie en de gemeten NH_3 emissie in de stal. Verder kan de TAN-stal excretie nog scherper bepaald worden door het deel dat in de weideperiode buiten de stal is uitgescheiden in mindering te brengen op de totaal berekende excretie.
- Voor proefbedrijf De Marke zijn andere factoren medebepalend voor de NH_3 emissie in de stal dan de voeding.
 - Uit de metingen blijkt dat de KringloopWijzer de verhouding minerale stikstof : totaal stikstof ($N_{\text{min}}/N_{\text{t}}$) in mest die wordt aangewend op grasland onderschat op De Marke. Hierdoor zal de ammoniakemissie die door de KringloopWijzer berekend wordt, ook onderschat worden. Onduidelijk is nog hoe de inschatting te verbeteren.
 - Bij de huidige analyse is geen rekening gehouden met de temperatuur en windsnelheid. Deze hebben ook invloed op de ammoniakemissie in de stal. Een hoge temperatuur duidt op meer ammoniakemissie. Bij een vervolganalyse is aandacht nodig voor windsnelheid en temperatuur.
 - Andere factoren die de emissie beïnvloeden kunnen te maken hebben met het opdrogen van mest en plasvorming in de zomer bij bepaalde vloertypes.
- Er is gekeken of op basis van het rantsoen de methaanemissies uit de stal verklaard kunnen worden. Het bleek dat de gemeten methaanemissie uit de stal op De Marke meer varieert dan op basis van het rantsoen verwacht mag worden. Dit betekent dat meer factoren een rol spelen.
- De emissie bij mestaanwending die met verfijnde modellen is bepaald is duidelijk lager voor proefbedrijf De Marke dan de emissie bepaald met vaste emissiefactoren die ook in de KringloopWijzer worden gebruikt. Het verschil wordt veroorzaakt door de invloed van het bodemtype (op zandgrond lagere emissie dan op andere bodemtypes) en het weer op de momenten van uitrijden.

Vervolg stappen zijn:

- Emissiefactoren van ammoniak bij mesttoediening voor meerdere bedrijven berekenen om de variatie tussen bedrijven te kunnen inschatten.
- Ketenganalyse voor stikstofstroom op meerdere bedrijven toepassen, het beste resultaat zou zijn om dit voor meerdere jaren te doen.
- Actualisatie modelberekeningen voor veldemissie (met vernieuwde invloed van weersomstandigheden, mestgift en mestsamenstelling).
- Scenariostudie om gewogen veldemissiefactor te berekenen voor een geheel jaar, rekening houdend met spreiding van mestgiften over het jaar en gemiddelde weersomstandigheden bij de mestgiften.

5 Literatuur

- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, G.L. Velthof, J. Vonk en T. van der Zee (2021). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2019. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 203. 238 p.
- Bruggen, C. van, & Geertjes, K. (2019). Stikstofverlies uit opgeslagen mest. Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, oktober 2019
- Huijsmans, J. F. M., Vermeulen, G. D., Hol, J. M. G., & Goedhart, P. W. (2018). A model for estimating seasonal trends of ammonia emission from cattle manure applied to grassland in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 173, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.10.050>
- Knapp, J.R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P. & Tricarico, J.M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science* 97, 3231-3261. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Monteny, G.J., Schulte, D.D., Elzing, A. & Lamaker, E.J.J. (1998). A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy cow houses. *Transactions of the ASAE*, 41(1), 193-201, <https://doi.org/10.13031/2013.17151>
- Mosquera, J., van Dooren, H. J. C., Ogink, N. W. M., van Well, E. A. P., & Monteny, G. J. (2021). Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit melkveestallen: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-februari 2020. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1286). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/536752>
- Oenema, J., Šebek, L.B., Schröder, J.J., Verloop, J., Haan, M.H.A. de, Hilhorst, G.J., 2017. Toetsing van de KringloopWijzer: Gemeten en voorspelde stikstof- en fosfaatproducties van mest en gewas. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-689, 79 pp.
- Šebek, L. B., Mosquera, J., & Bannink, A. (2016). Rekenregels voor de enterische methaan-emissie op het melkveebedrijf en reductie van de methaan-emissie via mesthandling, het handelings-perspectief van het voerspoor inzichtelijk maken met de KringloopWijzer (No. 976). Wageningen Livestock Research.
- VERA. (2018). VERA test protocol for livestock housing and management systems. Version 3:2018-09.

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.

