



Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding

Onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink, J.W. van Riel, J. Mosquera, J.L. Zonderland

Rapport 1130



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding

Onderzoek op Dairy Campus

H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink, J.W. van Riel, J. Mosquera, J.L. Zonderland

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Mest en Milieu' (projectnummer BO-20-004-022-ASG-LR15 (2014) en BO-20-004-022-ASG-LR9 (2015))

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juli 2019

Rapport 1130

Dooren, H.J.C. van, N.W.M. Ogink, J.W. van Riel, J. Mosquera, J.L. Zonderland, 2019. *Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding; Onderzoek op Dairy Campus*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1130.

Samenvatting:

Tijdens beweiding van melkvee verlaten de dieren de stal. Dit beïnvloedt de ammoniakemissie uit de stal. Bij terugkeer van de dieren in de stal neemt de ammoniakemissie weer snel toe. In totaal heeft beweiding een reducerend effect op de ammoniakemissie per dierplaats per jaar dat afhangt van snelheid waarmee de ammoniakemissie afneemt en weer toeneemt. Metingen op Dairy Campus laten zien dat de afname van de ammoniakemissie langzamer gaat dan tot nu toe gedacht. Op basis van deze resultaten is het beweidingseffect kleiner dan tot nu toe aangenomen, namelijk 2% in plaats van 5% bij 720 uur weidegang per jaar. Het beweidingseffect kan weer vergroot worden door meer dagen per jaar of meer uren per dag te weiden of aanvullende maatregelen te nemen die de emissie verder verlagen (bijvoorbeeld gebruik van water of beperking van de ventilatie tijdens beweiding). De geldigheid van de resultaten voor de bredere praktijk moet nog verder onderzocht worden.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/462994> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2019 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 is onderdeel van Wageningen University & Research.

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.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

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 gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1130

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond huidige emissiefactor	9
	1.2 Emissiereductie door beweiding	11
	1.3 Doelstelling	12
2	Opzet van het experiment op Dairy Campus	13
	2.1 Proefopzet	13
	2.2 Beschrijving meetunit Dairy Campus	14
	2.3 Waarnemingen en berekeningen	16
	2.3.1 Ammoniakemissie	16
	2.3.2 Diergegevens	17
	2.3.3 Mestsamenstelling en mestniveau	17
	2.4 Dataverwerking en analyse	17
	2.4.1 Berekening van de gemiddelde ammoniakemissie per dag	18
	2.4.2 Berekening van beweidingseffect per jaar	20
	2.4.3 Overige analyse	20
3	Resultaten en discussie	21
	3.1 Stalklimaat	21
	3.2 Diergegevens	22
	3.3 Wateropname en mestniveau	23
	3.4 Mestsamenstelling	24
	3.5 Ventilatie niveau	25
	3.6 Ammoniakemissie	25
	3.6.1 Resultaten van de emissieafname	25
	3.6.2 Resultaten van de emissietoename	26
	3.6.3 Invloed van beweiding	27
	3.7 Discussie	29
4	Conclusies en aanbevelingen	32
	Literatuur	33
	Bijlage 1 Achtergrondinformatie	34

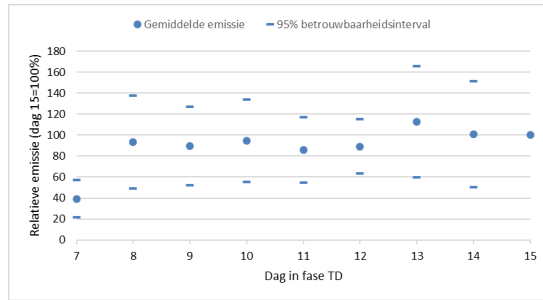
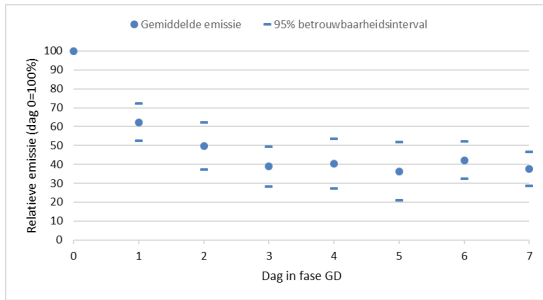
Samenvatting

Sinds 1 juli 2015 zijn in bijlage 2 bij de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) voer- en managementmaatregelen opgenomen die de ammoniakemissie uit de stal verminderen. Eén van die maatregelen voor de diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan twee jaar is de toepassing van minimaal 720 uur weidegang per kalenderjaar (bijvoorbeeld 120 dagen gedurende 6 uur per dag). Binnen de programmatische aanpak stikstof (PAS) is aan deze maatregel een emissiereductie per jaar van totaal 5% toegekend. Deze 5% is gebaseerd op de aanname dat de stalemissie per dag afneemt met 2,61% keer het aantal uren weidegang. Dit percentage is gebaseerd op meetgegevens en modelberekeningen van voor 2000 en is vastgesteld onder condities die mogelijk niet meer overeenkomen met huidige bedrijfsvoering in de melkveehouderij. Doel van dit project is daarom om het effect van beweiding op de ammoniakemissie uit de stal met actuele gegevens beter te onderbouwen. Uit dit doel zijn de volgende onderzoeksvragen afgeleid:

- Met welke snelheid neemt de ammoniakemissie af nadat de koeien uit de stal zijn verdwenen?
- Wat is het niveau waarop de emissie zich stabiliseert?
- Wat is de verhouding tussen vloer- en kelderemissie die daaruit afgeleid kan worden?
- Wanneer wordt dit stabiele emissieniveau bereikt?
- Met welke snelheid neemt de emissie weer toe nadat de koeien terugkeren in de stal?

De emissiereductie door beweiding is het gevolg van de uitdoving van de ammoniakemissie wanneer de bron (de dieren) de stal verlaten en er dus geen verse urinstikstof meer aan de emitterende pool van ammonium wordt toegevoegd. Achterliggende veronderstelling, die besloten ligt in de opzet van het ammoniakemissiemodel, is dat beweiding alleen effect heeft op de vloeremissie die binnen enkele uren zal uitdoven wanneer koeien de stal verlaten hebben en dat de kelderemissie tijdens beweiding onveranderd blijft. De verhouding tussen kelder- en vloeremissie (ofwel de resterende kelderemissie na uitdoving van de vloeremissie) speelt dus een belangrijke rol bij het effect van beweiding op de stalemissie. Wanneer de koeien terugkeren in de stal zal naar verwachting de emissie weer snel op het oorspronkelijke niveau terug zijn. Het effect van beweiding op ammoniakemissie uit de stal is daarmee samen te vatten in twee processen: afname en toename van de emissie. De verhouding tussen kelder- en vloeremissie wordt deels bepaald door het vloertype in de stal. Stallen met een dichte vloer hebben een relatief geringere kelderbijdrage dan stallen met een roostervloer. In 2016 was ongeveer 80% van het melkvee in Nederland gehuisvest in een ligboxenstal met roostervloer (van Bruggen et al., 2018). Dit onderzoek beperkt zich daarom tot de effecten van weidegang in stallen met een roostervloer.

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden zijn experimenten uitgevoerd in de meetunit voor ammoniakemissie op Dairy Campus in Leeuwarden. De meetunit bestaat uit vier afdelingen met roostervloer. In elke afdeling is de behandeling 'beweiden' in drie ronden uitgevoerd. Beweiden is daarbij gesimuleerd door gedurende een week geen dieren (GD) in één afdeling te houden en daarna terug te brengen terwijl in de andere afdelingen wel dieren aanwezig bleven. In elke ronde wordt elke afdeling één keer een week leeg gehouden. De week voorafgaand aan een week leegstand geldt als referentie terwijl de week volgend op een week leegstand gebruikt wordt om de opbouw van de ammoniakemissie te meten. De week dáárna geldt weer als referentie. Bij de start van de proef zijn vier gelijkwaardige groepen dieren gemaakt wat betreft melkproductie, lactatiestadium en leeftijd. Analyse van de gemiddelde emissie per dag laat de volgende resultaten zien (zie **Figuur 1**).



Figuur 1 Gemiddeld verloop en 95% betrouwbaarheidsinterval van de afnemende (GD) en toenemende (TD) ammoniakemissie per dag gerelateerd aan de referentieweek VGD en na NTD.

Hierbij blijkt dat de ammoniakemissie veel langzamer daalt dan tot nu toe is aangenomen. De reductie per uur bedraagt gemiddelde over de eerste 12 uur 1.9%. Pas drie dagen nadat de dieren uit de afdeling zijn vertrokken bereikt de ammoniakemissie een stabiel niveau. Dit niveau kan gezien worden als de kelderemissie en bedraagt ongeveer 40% van de daarvoor gemeten stalemissie. De opbouw van de emissie verloopt veel sneller. De toename per uur bedraagt gemiddeld over de eerste 12 uur 9.1%. Binnen een dag is de ammoniakemissie weer terug op het niveau voordat de koeien vertrokken uit de afdeling.

Het totale effect van beweiding op de ammoniakemissie uit de stal is een combinatie van een afnemende emissie wanneer de koeien de stal verlaten en een toenemende emissie wanneer ze weer terugkeren in de stal. Om op basis van de resultaten het beweidingseffect te berekenen is de afname en de toename in de eerste 24 uur berekend door een niet lineaire regressieanalyse uit te voeren op gevonden af- en toenemende relatieve emissies per dag. Met deze toe- en afnemende emissie zijn verschillende beweidingsscenario's doorgerekend. Daaruit zijn de volgende reductiepercentages per dag en per uur af te leiden (Tabel 1).

Tabel 1 Berekende emissiereductie per dag en per uur.

	Uren weidegang per dag				
	4	6	8	10	12
Reductie per dag	3.9%	6.0%	8.1%	10.2%	12.3%
Reductie per uur	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%

Om de reductie per jaar uit te rekenen moet ook het aantal weidedagen per jaar betrokken worden. De resulterende emissiereductie per jaar, vergelijkbaar met het huidige percentage dat opgenomen is in de bijlage 2 van de Rav, is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Berekende emissiereductie per jaar bij verschillende uren weidegang per dag en weidedagen per jaar.

Dagen weidegang per jaar	Uren weidegang per dag				
	4	6	8	10	12
120	1.3%	2.0%	2.6%	3.3%	4.0%
150	1.6%	2.5%	3.3%	4.2%	5.1%
180	1.9%	2.9%	4.0%	5.0%	6.1%

De emissiereductie per jaar bij 720 uur weidegang (120 dagen per jaar; 6 uur per dag) blijkt in deze berekening minder dan de helft van het huidige reductiepercentage te zijn.

Het gezamenlijke effect van beweiding op de ammoniakemissie uit de stal dat is berekend op basis metingen op Dairy Campus is daarmee een stuk lager dan wordt aangenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij. In plaats van een effect van 2.6% per uur beweiding, resulterend in 5% reductie op jaarbasis (bij 720 uur weidegang), wordt het effect maar 1.0% per uur weidegang, oftewel 2.0% per jaar (bij 720 uur weidegang). Bij een ligboxenstal met betonnen roostervloer in de categorie A1.100 (overige huisvestingssystemen) met een emissiefactor van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar bedraagt de emissiereductie door beweiding 0.26 kg NH₃ per dierplaats per jaar in plaats van de nu geldende 0.65 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Belangrijke aanname bij deze berekening is dat de resultaten van de metingen op Dairy Campus ook geldig zijn op ligboxstallen in de praktijk. Vooral de aanname dat bij beweiding geen (jong)vee achter blijft in de stal en dat de koeien (zoals bij gebruik van een automatisch melksysteem (AMS)) niet tussendoor terugkeren naar de stal zal niet voor alle beweidende veehouders gelden. Ook de verhouding tussen vloer- en kelderbijdrage in de praktijk zal nader onderzocht moeten worden.

De belangrijkste verklaring voor deze lagere emissiereductie is waarschijnlijk een veel tragere uitdoving van de emissie dan tot nu toe werd aangenomen. In het ammoniakemissiemodel Snelstal waarop het emissie-effect van beweiding vooral op gebaseerd is, wordt de emissie uit de kelder verondersteld constant te zijn en alleen te worden beïnvloed door het ammoniumgehalte van de (drijf)mest, de pH, de luchtsnelheid over het mestoppervlak en de temperatuur van de mest. Dit zijn factoren die niet op korte termijn door beweiding worden beïnvloed. De uitdoving van de ammoniakemissie wordt in het model dan ook alleen bepaald door de (snelheid) waarmee de vloeremissie uitdooft. Deze uitdoving van de vloeremissie (eigenlijk een sommatie van een aantal urineplassen op het vloeroppervlak) vindt in enkele uren plaats waarna de kelderemissie resteert. Uit de hier beschreven metingen op Dairy Campus blijkt echter dat pas na minimaal drie dagen een stabiel emissieniveau bereikt wordt (kelderbijdrage). De dynamiek van de kelderemissie is kennelijk anders en processen en factoren zijn waarschijnlijk complexer dan tot nu toe gedacht werd en de aanname dat de kelder een constante bijdrage levert aan de stalemissie waarschijnlijk onterecht. De veronderstelling dat ook de kelderbijdrage een variabel deel kent dat, weliswaar langzamer dan de vloeremissie, na verloop van tijd uitdooft, biedt een verklaring voor het gevonden emissiepatroon nadat de dieren uit de afdeling zijn verwijderd. Om beter te begrijpen welke processen en factoren een rol spelen bij de uitdoving en toename van de ammoniakemissie tijdens beweiding is nader onderzoek naar deze dynamiek noodzakelijk. Meer kennis van het uitdovingsproces en met name de variabiliteit van uitdoving in praktijkstallen is nodig om de effecten van beweiding op de stalemissie betrouwbaar te kunnen inschatten.

Voor mogelijkheden om de ammoniakemissie tijdens weidegang verder te reduceren valt te denken aan een beperking van de ventilatie tijdens weidegang of versnelling van de uitdoving van de emissie (en vooral de kelderbijdrage) door toepassing van water.

1 Inleiding

Sinds 1 juli 2015 zijn in bijlage 2 bij de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) voer- en managementmaatregelen opgenomen die de ammoniakemissie uit de stal verminderen. Eén van die maatregelen voor de diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan twee jaar is de toepassing van minimaal 720 uur weidegang per kalenderjaar (bijvoorbeeld 120 dagen gedurende 6 uur per dag). Binnen de programmatische aanpak stikstof (PAS) is aan deze maatregel een emissiereductie per jaar van totaal 5% toegekend. Deze 5% is gebaseerd op de aanname dat de stalemissie per dag afneemt met 2,61% keer het aantal uren weidegang. Dit percentage is gebaseerd op meetgegevens en modelberekeningen van voor 2000 en is vastgesteld onder condities die mogelijk niet meer overeenkomen met huidige bedrijfsvoering in de melkveehouderij. Doel van dit project is daarom om het effect van beweiding op de ammoniakemissie uit de stal met actuele gegevens beter te onderbouwen.

1.1 Achtergrond huidige emissiefactor

De basis voor het reductiepercentage per uur dat nu in gebruik is, wordt gevormd door berekeningen door Monteny et al. (2001). Deze publicatie had als doel om onderbouwing te geven voor een emissiefactor voor ammoniak op jaarbasis omdat tot dan toe alleen een emissiefactor voor het stalseizoen beschikbaar was. Het effect van beweiding op de stalemissie is toen geschat op 2,4% emissiereductie per uur weidegang (zie tabel 6 in Monteny et al., 2001). Dat getal is gebaseerd op berekeningen met het ammoniakemissiemodel, verwijzend naar Monteny (2000). Welke modelparameters bij die berekeningen gebruikt zijn staat niet vermeld in de rapportage van Monteny et al. (2001). De eerste versie van het ammoniakemissiemodel voor rundveestallen is beschreven in Monteny et al. (1998) en komt overeen met hoofdstuk 3 van Monteny (2000). Wanneer de in 1998 genoemde modelparameters worden toegepast in de latere softwareversie van het ammoniakemissiemodel Snelstal (v2.0) is het beweidingseffect inderdaad 2,4% per uur weidegang. In bijlage 1 is in Tabel A een overzicht van de gebruikte invoerparameters opgenomen en in Tabel B worden de modeluitkomsten weergegeven.

Het berekende effect van weidegang op de stalemissie is vergeleken met emissiedata van een aantal weken in mei 1989 op proefbedrijf "De Vijf Roeden" waarbij de koeien overdag geweid werden. Deze metingen zijn beschreven door Kroodsma et al. (1993). Metingen en modelberekeningen van de ammoniakemissie na vertrek en terugkomst van de koeien uit de stal vertonen een vergelijkbaar patroon.

Het ammoniakemissiemodel wordt veel gebruikt om de ammoniakemissie van nieuwe vloeren in te schatten voor vaststelling van een bijzondere emissiefactor. Om willekeur in de gebruikte invoerparameters te voorkomen heeft de toenmalige Technische Adviescommissie Rav (Tac-Rav) in 2009 standaard invoerparameters voor het emissiemodel vastgesteld. Wanneer die gebruikt worden in het ammoniakemissiemodel bedraagt het beweidingseffect 2.9% per uur weidegang (zie ook Tabel A en B in bijlage 1).

In 2014 waren nieuwe meetgegevens uit de praktijk beschikbaar waarmee de relatie tussen temperatuur en melkureumgehalte enerzijds en ammoniakemissie anderzijds ingeschat konden worden. Dat is van belang omdat weidegang vooral in de warmere maanden van het jaar plaatsvindt en omdat door weidegang het aandeel gras in het rantsoen toeneemt. Dat laatste resulteert weer in een hoger melkureumgehalte tijdens de weideperiode. Door deze effecten van temperatuur en ureumgehalte mee te nemen komen Ogink et al. (2014) tot het, ten opzichte van het dan toe gebruikte percentage van 2,4% uit Monteny et al. (2001), aangepaste reductiepercentage van 2.61 % per uur weidegang.

Het totale effect per jaar is dan als volgt te berekenen:

$$\text{Emissiereductie (\%)} = 2,61 \times (\text{uren weidegang per dag}) \times (\text{dagen weidegang per jaar}) / 365$$

Deze rekenregel is gebruikt voor de inschatting van het effect van de huidige beweidingsmaatregel binnen de PAS op de ammoniakemissie.

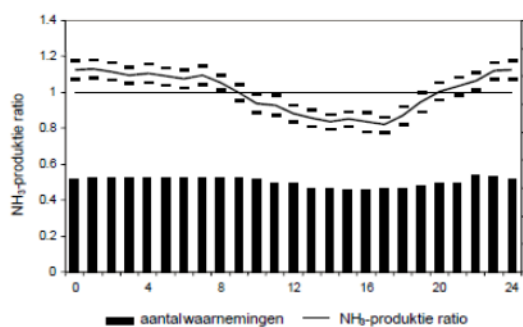
Ook Mosquera et al. (2016) gaan voor hun berekeningen van het effect van verschillende beweidingssystemen op de totale ammoniakemissie uit de stal en weide uit van dit percentage van 2,61% reductie per uur weidegang.

Strikt genomen geldt deze regel echter alleen voor ligboxstallen met een betonnen roostervloer met daaronder mestopslag en voor het aantal uren weidegang per dag en dagen weidegang per jaar die bij de metingen in 1989 en de berekening in 2001 als uitgangspunt zijn genomen. De gevolgen van veranderingen sindsdien in het aantal uren weidegang op de ammoniakemissie uit de stal tijdens weidegang zijn niet bepaald. Ook introductie van andere vloertypen en het toenemend bevuild oppervlak per dier die de afgelopen decennia hebben plaatsgevonden kunnen invloed hebben op het beweidingseffect. Ogink et al. (2014) hebben daarom naast de correctie voor temperatuur en ureumgehalte ook een factor voorgesteld waarmee het effect van weidegang bij gebruik van andere vloertypen ingeschat kan worden, gebaseerd op de bijdrage van de vloer aan de totale ammoniakemissie, en hebben het effect van toenemend bevuild vloeroppervlak per dier inzichtelijk gemaakt.

Hoewel de berekening van het beweidingseffect in de loop van de tijd dus steeds verder verfijnd is stammen de modelberekeningen uit 2001 en de metingen waarmee de modeluitkomsten vergeleken zijn uit mei 1989. Deze periode in mei 1989 is de afsluiting van een meetreeks die in januari 1989 begint. Kroodsmas et al. (1993) beschrijven dat in deze periode gedurende verschillende weken ook experimenten zijn gedaan met het spoelen van roosters om de ammoniakemissie te verminderen. Onduidelijk is echter wanneer deze experimenten precies hebben plaatsgevonden. Mogelijke beïnvloeding van latere emissieresultaten als gevolg van veranderingen in mestsamstelling in de onderliggende mestkelder door het spoelen is daarom niet uit te sluiten al wijst het voor de modelberekeningen gebruikte ammoniumstikstofgehalte van (3,06 g/kg) niet in die richting. Dezelfde gegevens worden ook door Kroodsmas et al. (1995) beschreven maar nu zonder vermelding van de experimenten met het spoelen van de roosters.

Ook Scholtens en Huis in 't Veld (1997) rapporteren een beweidingseffect. Van januari tot en met juli 1996 hebben zij metingen gedaan aan een natuurlijk geventileerde stal voor melkvee voorzien van een betonnen roostervloer. Na 22 april zijn de melkgevende dieren overdag buiten. Het jongvee en de droge koeien bleven in de stal. De stalemissie is gemeten met de tracergastechniek met SF₆ als tracer. In vergelijking met Kroodsmas et al. (1993, 1995) is de emissiereductie bij Scholtens en Huis in 't Veld (1997) lager. Bij de laatsten daalt de emissie tijdens beweiden tot ongeveer 75% van het niveau voordat de koeien naar buiten gingen. Bij Kroodsmas et al. (1993, 1995) is dat ongeveer 40% (zie Figuur 2). In beide gevallen keert de emissie bij terugkeer van de dieren in een aantal uren weer terug tot het oorspronkelijke niveau. De gegevens van Scholtens en Huis in 't Veld (1997) zijn voor zover is na te gaan niet eerder gebruikt om het beweidingseffect op de ammoniakemissie te schatten.

Sinds deze twee rapportages zijn er in Nederland geen nieuwe onderzoeksgegevens beschikbaar gekomen waarmee deze huidige geldende emissiereductie door beweiding getoetst kan worden. Door Duinkerken et al. (2011) is wel onderzoek gedaan naar de emissie tijdens beweiding maar de focus lag daarbij op het effect van rantsoensamstelling en de resultaten zijn alleen gepresenteerd als daggemiddelden.



Figuur 15 Per uurgemiddelde NH₃-productie ratio tijdens de weideperiode plus het 95 % betrouwbaarheidsinterval en het aantal waarnemingen

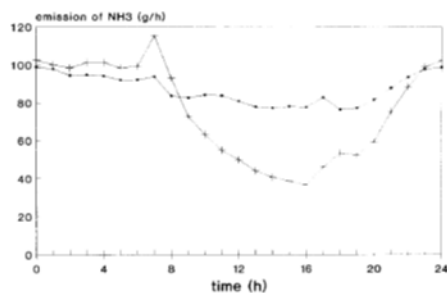


Fig. 3. Mean daily emission during the first and second half of May. — = 24 hours per day inside; +--+ = outside during the day, inside at night.

Figuur 2 Kopie uit Scholtens en Huis in 't Veld (1997) (links) en Kroodsma et al. (1993) (rechts) waarin het gemiddelde verloop van de ammoniakemissie tijdens weidegang weergegeven wordt.

Samenvattend is de huidige emissiereductie door weidegang gebaseerd op modelberekeningen die vergeleken zijn met beperkte meetgegevens verzameld onder omstandigheden die waarschijnlijk niet meer overeenkomen met de huidige situatie in de melkveehouderij. Uit andere beschikbare meetgegevens lijkt het beweidingseffect eerder lager dan hoger te liggen. Deze onzekerheid omtrent het beweidingseffect maakt nieuw onderzoek naar het reductiepercentage wenselijk.

1.2 Emissiereductie door beweiding

De invloed van beweiding op de ammoniakemissie kan opgesplitst worden in minstens vier onderdelen:

- De *afname* van de emissie uit de stal door *afwezigheid* van dieren.
- De *toename* van de emissie in de weide door de *aanwezigheid* van dieren.
- De *afname* van de emissie bij drijfmesttoediening omdat er minder drijfmest hoeft te worden uitgereden.
- De *verandering* van de emissie in de stal en weide door verandering van het rantsoen als gevolg van beweiding.

De PAS-maatregel zoals opgenomen in de Rav heeft alleen betrekking op het eerste onderdeel: de afname van de emissie uit de stal. De invloed van de andere onderdelen wordt verondersteld veel kleiner te zijn. De reductie van de emissie uit de stal door beweiding is het gevolg van de uitdoving van de ammoniakemissie wanneer de bron (de dieren) de stal verlaten en er dus geen verse urinstikstof meer aan de emitterende pool van ammonium wordt toegevoegd. Achterliggende veronderstelling, die besloten ligt in de opzet van het ammoniakemissiemodel, is dat beweiding alleen effect heeft op de vloeremissie die binnen enkele uren zal uitdoven wanneer koeien de stal verlaten hebben en dat de kelderemissie tijdens beweiding onveranderd blijft. De verhouding tussen kelder- en vloeremissie (ofwel de resterende kelderemissie na uitdoving van de vloeremissie) speelt dus een belangrijke rol bij het effect van beweiding op de stalemissie. Wanneer de koeien terugkeren in de stal zal naar verwachting de emissie weer snel op het oorspronkelijke niveau terug zijn. Het effect van beweiding op ammoniakemissie uit de stal is daarmee samen te vatten in twee processen (afname en toename van de emissie) die met drie parameters te beschrijven zijn:

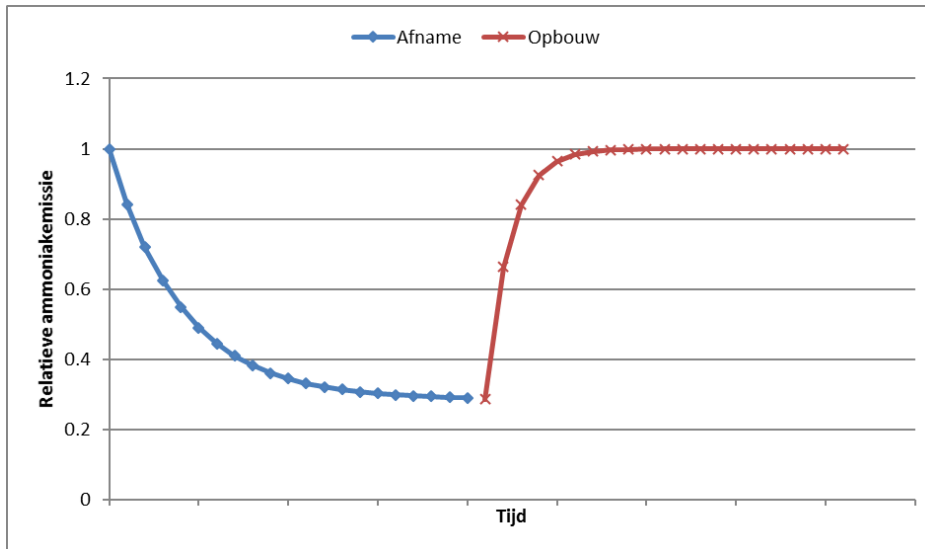
- Snelheid van emissieafname nadat de dieren de stal verlaten hebben
- Het emissieniveau nadat de vloeremissie is uitgedoofd
- Snelheid van emissietoename nadat de dieren weer teruggekeerd zijn in de stal

Deze twee processen zijn schematisch weergegeven in Figuur 3. Aangenomen dat de afname en de opbouw van de emissie een exponentieel verloop kent zijn deze processen elk afzonderlijk te beschrijven als:

$$\text{Ammoniakemissie} = C + \alpha * e^{-\rho_i * t} \quad (1)$$

Met $\rho > 0$ en $\alpha > 0$ tijdens afname en $\rho < 0$ en $\alpha < 0$ tijdens toename van de emissie.

Op het moment dat de koeien de stal verlaten ($t=0$) is de ammoniakemissie gelijk aan $C + \alpha$. Daarna neemt de emissie af met een snelheid die bepaald wordt door de parameter ρ_1 . Na verloop van tijd (bij grotere t) wordt de emissie stabiel (asymptoot) en gelijk aan C . Als de dieren weer terugkomen neemt de emissie weer toe met een andere snelheid (ρ_2) en wordt aangenomen dat uiteindelijk weer het emissieniveau van voordat de koeien de stal verlieten wordt bereikt.



Figuur 3 Theoretisch emissieverloop tijdens weidegang (afname) en na terugkeer van de dieren (opbouw).

1.3 Doelstelling

Doelstelling van het onderzoek is het vaststellen van het effect van beweiding op de ammoniakemissie uit melkveestallen met een roostervloer door bepaling van de:

- Uitdovings- en opbouw karakteristiek van stalemissie bij roostervloer tijdens beweiding
- Bijdrage van vloer en kelder aan de totale stalemissie

Daaruit zijn de volgende vragen af te leiden:

- Met welke snelheid neemt de ammoniakemissie af nadat de koeien uit de stal zijn verdwenen?
- Wat is het niveau waarop de emissie zich stabiliseert?
- Wat is de verhouding tussen vloer- en kelderemissie die daaruit afgeleid kan worden?
- Wanneer wordt dit stabiele emissieniveau bereikt?
- Met welke snelheid neemt de ammoniakemissie weer toe nadat de koeien terugkeren in de stal?

Om deze vragen te beantwoorden zijn experimenten uitgevoerd in de meetunits voor ammoniakemissie op Dairy Campus in Leeuwarden. In hoofdstuk 2 staat de opzet en meetmethoden van deze experimenten beschreven. In hoofdstuk 3 volgende de resultaten en de discussie en in hoofdstuk 4 worden een aantal conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

De effecten van weidegang op stalemissie worden beïnvloed door de verhouding tussen vloer- en stalemissie. Deze verhouding wordt deels bepaald door het vloertype in de stal. Stallen met een dichte vloer hebben een relatief geringere kelderbijdrage dan stallen met een roostervloer. In 2016 was ongeveer 80% van het melkvee in Nederland gehuisvest in een ligboxenstal met roostervloer (van Bruggen et al., 2018). Dit onderzoek beperkt zich daarom tot de effecten van weidegang in stallen met een roostervloer.

2 Opzet van het experiment op Dairy Campus

Voor beantwoording van de onderzoeksvragen is een experiment op Dairy Campus uitgevoerd in de daar beschikbare meetunit. In dit hoofdstuk wordt de opzet en uitvoering van dit experiment en de meetunit beschreven.

2.1 Proefopzet

In de meetunit voor vaststelling van de ammoniakemissie op Dairy Camp is het niet mogelijk, of op z'n minst erg onpraktisch, om weidegang daadwerkelijk uit te voeren. Dat is ook niet nodig. Kern van de vraagstelling is het emissieverloop nadat dieren uit de stal zijn verdwenen en nadat ze weer zijn teruggekeerd. De behandeling 'beweiden' is daarom gesimuleerd door gedurende een week geen dieren in een afdeling te houden en daarna weer terug te brengen. Het effect op de ammoniakemissie kan afgeleid worden uit het verschil tussen de emissie in de referentieafdelingen waarin de dieren permanent aanwezig zijn en de emissie van de afdelingen waarin beweiding gesimuleerd is.

De meetunit bestaat uit vier afdelingen. In elke afdeling is de behandeling beweiden drie keer uitgevoerd waarbij in de andere afdelingen wel dieren aanwezig bleven. Totaal zijn dus twaalf perioden (in drie ronden) te onderscheiden waarin de dieren uit de afdeling zijn gehaald en na een week weer teruggebracht. De emissies in de week voorafgaand en na afloop van de proefperioden zijn ook gemeten zodat in totaal een reeks van 14 weken is ontstaan. In de laatste ronde is in afdeling 1 en 4 de mest uit de kelder vervangen door water in een poging onderscheid te kunnen maken tussen vloer- en kelderemissie. Die opzet is niet geslaagd waarop deze perioden (in blauw aangegeven in Tabel 3) verder niet zijn meegenomen. Er blijven dus maximaal 10 bruikbare perioden over. De week zonder dieren is aangegeven in oranje als GD (geen dieren). De week daarna waarin de dieren weer teruggekeerd zijn, en de emissie zich weer opbouwt, is aangegeven in groen als TD (terugkeer dieren). De overige weken, waarin dieren in de afdeling waren, zijn als WD (wel dieren) gemarkeerd. Per ronde zijn de behandelingen geloot over de afdelingen. Wisselingen tussen de fasen van de behandeling vonden altijd op maandag plaats. Bij de start van de proef zijn vier gelijkwaardige groepen dieren gemaakt wat betreft melkproductie, lactatiestadium en leeftijd.

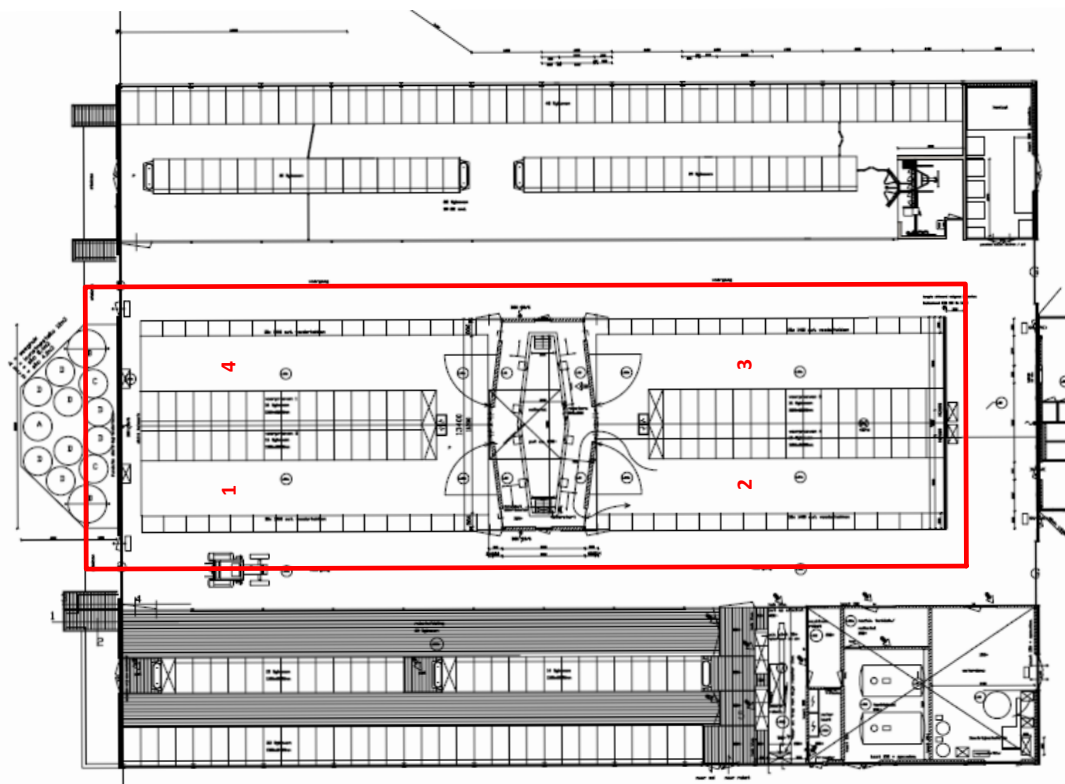
Tabel 3 Overzicht van behandelingen per afdeling tijdens metingen.

Startdatum	Kalenderweek	Proefweek	Periode	Afdeling			
				1	2	3	4
4-5-2015	18	1		WD	WD	WD	WD
11-5-2015	19	2	1	WD	WD	WD	GD
18-5-2015	20	3	2	WD	WD	GD	TD
25-5-2015	21	4	3	WD	GD	TD	WD
1-6-2015	22	5	4	GD	TD	WD	WD
8-6-2015	23	6	5	TD	WD	WD	GD
15-6-2015	24	7	6	WD	WD	GD	TD
22-6-2015	25	8	7	GD	WD	TD	WD
29-6-2015	26	9	8	TD	GD	WD	WD
6-7-2015	27	10	9	WD	TD	WD	
13-7-2015	28	11	10		WD	WD	
20-7-2015	29	12	11		WD	GD	
27-7-2015	30	13	12		GD	TD	
3-8-2015	31	14			TD	WD	

GD: Geen Dieren; TD: Terugkeer Dieren; WD: Wel Dieren.

2.2 Beschrijving meetunit Dairy Campus

Dairy Campus is een proefbedrijf voor melkveehouderij en is onderdeel van Wageningen Livestock Research. Het ligt in de buurt van Leeuwarden. In een stal voor ongeveer 180 melkkoeien is in het midden een gedeelte gereserveerd voor het doen van emissieonderzoek. Deze meetunit ammoniakemissie bestaat uit vier afdelingen met elk plek voor 16 dieren (zie figuur 4). De afdelingen zijn ingedeeld als een 1-rijige ligboxenstal met een loopgang van 3,5 meter breed achter het veiligheidsvoerhek. De loopgang bestaat uit een betonnen roostervloer waarover om de twee uur een roosterschuif loopt. Het totale bevulde oppervlak per dier bedraagt ca. 5,0 m². Elke afdeling is verder voorzien van een krachtvoerbox en een waterbak. De afdelingen zijn gegroepeerd rond een vier maal twee stands open tandem melkstal waar alle dieren twee keer per dag gemolken worden. Elke stand is voorzien van een melkmeter. In de melkstal bestaat de mogelijkheid om krachtvoer te voeren. De afdelingen bevinden zich midden in de stal met aan elke kant een voergang. De afdelingen zijn geheel onderkelderd maar zonder verbinding tussen de afdelingen onderling of de rest van de stal. Het totale mestoppervlak is ca. 125 m² waarvan 50 m² onder de ligboxen. Ook boven de roosters zijn de afdelingen van elkaar gescheiden door een tentconstructie van enigszins lichtdoorlatend folie (zie figuur 5).



Figuur 4 Plattegrond van Dairy Campus met centraal daarin de vier genummerde afdelingen van de meetunit.

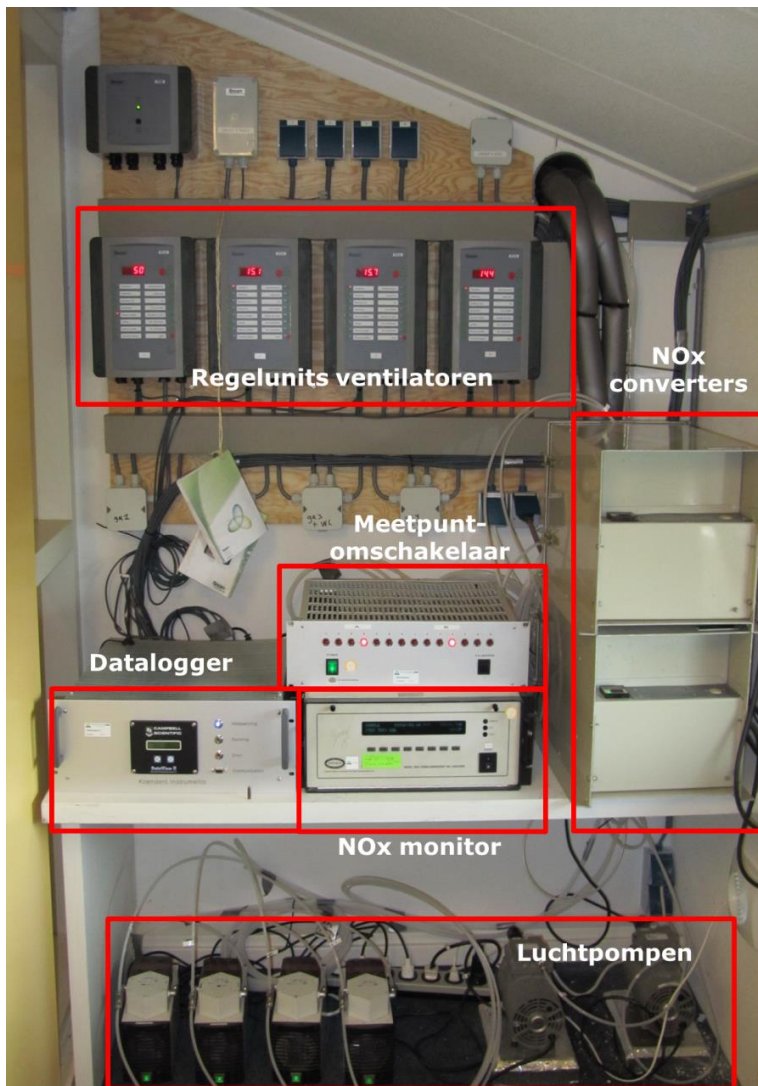
Deze tent is aan de voorkant, bij het voerhek, voorzien van een gordijn dat opgetrokken kan worden. Hiermee wordt de luchtinlaat in de afdelingen geregeld. De onderkant van het gordijn hangt op een hoogte van ca. 50 cm. Alleen tijdens het voeren gaat het gordijn helemaal omhoog. De ingaande lucht is afkomstig uit de rest van de stal. In het dak van de afdelingen zijn twee ventilatoren (Fancom) met een diameter van 80 cm gemonteerd voor de afvoer van de lucht. Elke ventilator heeft volgens fabrieksopgave een maximale capaciteit van 20.750 m³ per uur bij 0 Pa tegendruk en 19.050 m³ per uur bij 30 Pa tegendruk. In elke afdeling is één van de ventilatoren voorzien van een meet- en smoorunit (Fancom ATM80). Van een meet- en smoorunit van dit type is voor de bouw van de meetunit de relatie tussen debiet en uitgangssignaal bepaald door DLG in Duitsland. Deze ventilatiekromme wordt gebruikt voor het berekenen van het ventilatiedebiet. Dit ventilatiedebiet wordt voor elke afdeling onafhankelijk geregeld door een klimaatcomputer (Fancom FC14) die beide ventilatoren simultaan aanstuurt op basis van het signaal uit de meet- en smoorunit.

Verder is de afdeling uitgerust met verlichting (2 stuks) en wordt de temperatuur en luchtvochtigheid continue gemeten (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS).



Figuur 5 *Zicht op afdeling 1 van de meetunit. Het gordijn voor regeling van de luchtinlaat is omhoog. Aan de onderzijde van het gordijn zijn de meetpunten voor meting van de achtergrondconcentratie bevestigd (rode lijn). In de afdelingen zijn de twee ventilatoren voor de luchtafvoer te zien (gele cirkels) waarin zich ook de monsterpunten voor de meting van de ammoniakconcentratie bevinden.*

In elke ventilatiekoker is een monsterleiding aangebracht voor de bemonstering van de uitgaande lucht. Deze leidingen (acht stuks in totaal) lopen naar een 12-kanaals meetpuntomschakelaar (MPO) (zie figuur 6). Aan de onderkant van elk gordijn zijn 4 monsterpunten aangebracht voor de bemonstering van de ingaande lucht. De luchtflow van elk punt wordt beperkt door een capillair van ca. 200 ml/min. Deze vier monsterpunten per afdeling worden samengebracht tot één monsterleiding per afdeling (vier in totaal) die ook naar de MPO loopt. De 12 ingangen van de MPO zijn verdeeld over twee kanalen (A en B). Per kanaal wordt afwisselend gedurende 10 minuten één ingang verbonden met een NO_x-monitor die de concentratie NO_x in de aangeboden luchtstroom meet. Om de aanwezige ammoniak om te zetten naar NO_x zijn van beide kanalen de leidingen tussen MPO en NO_x monitor voorzien van een converter die onder hoge temperaturen het aanwezige ammoniak (NH₃) omzet naar NO_x. Gemiddelde concentraties per meetpunt worden elke minuut opgeslagen door een datalogger (Campbell Scientific CR1000) die tevens de MPO aanstuurt. Naast de ammoniakconcentratie slaat de datalogger ook elke minuut het ventilatieniveau per afdeling op en elk kwartier de gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid in elke afdeling, op de twee voergangen en van de buitenlucht.



Figuur 6 Overzicht van meetopstelling voor ammoniakemissiemetingen.

2.3 Waarnemingen en berekeningen

De volgende waarnemingen en berekeningen zijn gedurende de meetperiode uitgevoerd.

2.3.1 Ammoniakemissie

Het ventilatieniveau in de afdelingen is in beide experimenten ingesteld op 40% van de maximale capaciteit (ongeveer 1.100 m³/uur per dier); een niveau dat representatief is voor natuurlijk geventileerde omstandigheden. Wanneer een afdeling leeg kwam (week GD in Tabel 3) is het ventilatieniveau gehalveerd naar 20% van de maximale capaciteit (ongeveer 550 m³/uur). Ook hiermee is geprobeerd de omstandigheden in een natuurlijk geventileerde stal, waar de ventilatie gedeeltelijk gedreven wordt door de warmteproductie van de aanwezige dieren, te simuleren. Met de opgeslagen minuutwaarden van de ammoniakconcentratie worden per ventilator het gemiddelde per uur berekend. Met de opgeslagen minuutwaarden van het ventilatiedebiet worden per afdeling gemiddelden per uur berekend. De ammoniakemissie per afdeling per uur wordt vervolgens berekend door het verschil in concentratie tussen uitgaande en ingaande lucht (omgerekend van 'parts per million' (ppm) naar mg per m³) te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet in m³ per uur. Vermenigvuldiging met het aantal uren per dag, dagen per jaar en deling door het aantal milligram per kilogram en het aantal dierplaatsen resulteert tenslotte in een emissie in kg per dierplaats per jaar.

In formule is dat:

$$E = \frac{(C_{uit} - C_{in}) * 17}{24 * 1000} * V * \frac{24 * 365}{1000 * 15} \quad (2)$$

Met

E: Uurgemiddelde ammoniakemissie uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar

C_{uit}: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie in ppm van de uitgaande lucht gemiddeld over de twee ventilatoren

C_{in}: de uurgemiddelde ammoniakconcentratie in ppm van de ingaande lucht

V: het uurgemiddelde ventilatiedebiet in m³/uur

17/24: factor voor omrekening van ppm naar mg per m³ (T=20°C; p=1 bar).

Op basis van de uurgemiddelde ammoniakemissie wordt de ammoniakemissie per dag berekend als het gemiddelde over de uren. Omdat tijdens het voeren de gordijnen die de luchtinlaat regelen omhoog staan worden daarbij de emissiecijfers tussen 6:00 en 10:00 (totaal 4 uur) niet meegenomen.

2.3.2 Diergegevens

De melkproductie per dier is elk melkmaal gemeten met elektronische melkmeters en vastgelegd in de database voor bedrijfsgegevens. De melksamenstelling is om de vier weken bepaald door van elk dier op twee achtereenvolgende dagen een melkmonster te nemen en die te analyseren op vet, eiwit en ureum. De analyse daarvan is door Qlip uitgevoerd.

Alle afdelingen kregen hetzelfde rantsoen in de vorm van TMR (Total Mixed Ration). De gevoerde hoeveelheden TMR per groep werden dagelijks vastgelegd. Eenmaal per week werd het DS-gehalte van TMR bepaald en werd de voeropname per groep gemeten door de resten terug te wegen.

De samenstelling van het rantsoen is vastgelegd door in week 1, 8 en 14 een monster te nemen genomen van het gevoerde ruwvoer voor analyse. Dat monster was een verzamelmonster van elk van de vier afdelingen.

Krachtvoer werd zowel in de melkstal als de krachtvoerbox in de afdeling verstrekt. Opname van krachtvoer werd per dier vastgelegd in de database voor bedrijfsgegevens.

De koeien hadden onbeperkt drinkwater tot hun beschikking. De wateropname werd per afdeling werd geregistreerd via watermeters in de toevoerleiding van de drinkwaterbakken. De watermeters werden wekelijks afgelezen. Op basis van deze meterstanden is de gemiddelde wateropname per dier per dag uitgerekend.

2.3.3 Mestsamenstelling en mestniveau

De samenstelling van de toplaag van de mest werd vanaf week 2, wekelijks op maandag vastgesteld door per afdeling een mengmonster van ca. 500 ml te nemen op vijf verschillende plekken in de afdeling. Direct na het nemen van het mengmonster is daarin de pH bepaald. Monsters zijn geanalyseerd op droge stof (DS), as, organische stof (OS), totaal stikstofgehalte (N-totaal) en ammonium stikstof (NH₄-N). Aangenomen is dat het monster betrekking heeft op de behandeling in de voorafgaande week.

De samenstelling van de hele kelderinhoud werd in week 1,8 en 14 vastgesteld op basis van een mengmonster per afdeling genomen op vijf verschillende plekken in de afdeling. Direct na het nemen van het mengmonster is ook daarin de pH bepaald. Monsters zijn geanalyseerd op droge stof (DS), as, organische stof (OS) totaal stikstofgehalte (N-totaal), ammonium stikstof (NH₄-N), fosfor (P) en kali (K).

Wekelijks werd per afdeling het mestniveau in de kelder bepaald door het gemiddelde te nemen van bepalingen op vijf verschillende plaatsen in de afdeling.

2.4 Dataverwerking en analyse

Bij de analyse van de gegevens is uitgegaan van de gemiddelde emissie per dag.

2.4.1 Berekening van de gemiddelde ammoniakemissie per dag

Voorafgaand en volgend op de twee weken waarin de afname en toename van de emissie is gemeten (zoals beschreven in paragraaf 2.1 en Tabel 3) is een referentieweek benoemd. In beide weken zijn er dieren aanwezig in de afdeling. De week voorafgaand wordt ook wel 'voor geen dieren' (VGD) genoemd en de week na afloop wordt als 'na terugkeer dieren' (NTD) aangeduid. Hierdoor is de laatste periode van afdeling 2 niet meer bruikbaar en ontstaan zo dus maximaal negen blokken van vier weken (zie Tabel 4).

Tabel 4 Overzicht van behandelingen per afdeling en de bijhorende referentieweken. Bijvoorbeeld voor de behandeling GD in afdeling 2 in week 4 is week 3 in dezelfde afdeling gekozen als referentieweek en voor de behandeling TD in afdeling 1 in week 6 dient week 7 in dezelfde afdeling als referentie. Diezelfde week is voor afdeling 1 ook referentie voor de behandeling GD in week 8.

Proefweek	Afdeling			
	1	2	3	4
1	WD	WD	WD	VGD
2	WD	WD	VGD	GD
3	WD	VGD	GD	TD
4	VGD	GD	TD	NTD
5	GD	TD	NTD	VGD
6	TD	NTD	VGD	GD
7	NTD/ VGD	WD	GD	TD
8	GD	VGD	TD	NTD
9	TD	GD	NTD	WD
10	NTD	TD	WD	
11		NTD	VGD	
12		VGD	GD	
13		GD	TD	
14		TD	NTD	

GD: Geen Dieren; TD: Terugkeer Dieren; NTD: Na Terugkeer Dieren; VGD: Voor Geen Dieren; WD: Wel Dieren.

Het emissieverloop tijdens de fase GD en TD wordt vervolgens gerelateerd aan een referentieniveau in een andere week met dieren. Voor de week zonder dieren (GD) is dat de week voorafgaand aan het verwijderen van de dieren uit de afdeling (VGD). Voor de week waarin de dieren zijn teruggekeerd (TD) is dat de week aansluitend aan de week waarin de dieren zijn teruggekeerd in de afdeling (NTD). Dit is de referentie in de tijd *binnen* een afdelingen. Per week kan het emissieniveau van een afdeling met dieren ook gerelateerd worden aan het niveau van één of twee andere afdelingen met dieren. Dit is de referentie *tussen* afdelingen. Op deze manier ontstaat inzicht in een mogelijk afdelingseffect. Een overzicht van de afdelingen die dienen als vergelijkingsafdeling voor bepaling van afdelingseffecten is opgenomen in Tabel 5. Daarin staat voor elke keer dat een afdeling in fase VGD of NTD was aangegeven welke afdeling(en) gebruikt zijn om het afdelingseffect in te schatten.

Uit het schema in Tabel 4 blijkt dat het in de derde ronde niet altijd mogelijk is om een referentieafdeling te vinden. Deze weken zijn niet meegenomen in verdere analyse. In totaal is dus acht keer het uitdoven van de emissie en acht keer de opbouw van de emissie meegenomen in de analyse.

Tabel 5 Overzicht van afdelingen die gebruikt zijn voor inschatting van het afdelingseffect. Voor elke week voorafgaand aan de behandeling GD of aansluitend aan de behandeling TD is aangegeven welke afdeling(en) daarvoor gebruikt zijn. Bijvoorbeeld in week 1 is het gemiddelde van afdeling 1 en 3 gebruikt om een mogelijk afdelingseffect voor afdeling 4 te corrigeren.

	Proefweek	Afdeling			
		1	2	3	4
4-5-2015	1				1 - 3
11-5-2015	2			1	1- 3
18-5-2015	3		1	1	1
25-5-2015	4	4	1 en 4	1 en 4	1
1-6-2015	5	3 en 4	3 en 4	4	3
8-6-2015	6	3	3	2	3
15-6-2015	7	2		1	1
22-6-2015	8	3	4	4	2
29-6-2015	9	3 en 4	3 en 4	4	
6-7-2015	10	3	1 en 3		
13-7-2015	11		3	2	
20-7-2015	12		-	2	
27-7-2015	13		-	-	
3-8-2015	14		-	-	

Op basis van hierboven aangegeven schema's van referentie en vergelijkingsweken is de volgende procedure bij verwerking van de data gevolgd.

1. Voor elke afdeling is de emissie berekend volgens vergelijking (2) en gemiddeld over de betreffende dag met weglating van uren 6:00 tot 10:00 vanwege voeren.
2. Om voor afdelingseffecten te corrigeren is voor elke afdeling per week de referentieafdeling(en) bepaald (zie Tabel 5).
3. De emissie in de referentieweek voorafgaand aan de week waarin de dieren elders gehuisvest werden is zowel voor de behandelde afdeling als de referentieafdeling(en) gemiddeld over de (zeven) dagen en wordt verder aangeduid als de emissie op dag 0.
4. De emissie van de referentieafdeling(en) wordt per dag vermenigvuldigd met de verhouding tussen behandelde en referentieafdeling(en) op deze dag 0 volgens vergelijking (3). Op deze manier wordt emissie in de referentieafdeling afdeling gecorrigeerd voor eventuele afdelingseffecten die tussen de twee afdelingen bestonden in de week voorafgaand aan de behandeling.

$$E_{corref_n} = \frac{E_{beh_0}}{E_{ref_0}} \quad (3)$$

Met:

n=dag in week (1-7)

E_{corref_n} =gecorrigeerde emissie van de referentieafdeling(en) op dag n

E_{beh_0} =emissie van de behandelde afdeling op dag 0

E_{ref_0} =emissie van de referentieafdeling(en) op dag 0

5. Door het verloop van de emissie in de behandelde afdeling uit te drukken als percentage van de gecorrigeerde referentieafdeling(en) ontstaan uniforme krommen die het emissieverloop gedurende de week zonder dieren weergeven (vergelijking 3).

$$E_{relbeh_n} = 100\% * \frac{E_{beh_n}}{E_{corref_n}} \quad (4)$$

Met:

n=dag in week (1-7)

E_{corref_n} =gecorrigeerde emissie van de referentieafdeling(en) op dag n

E_{beh_n} =emissie van de behandelde afdeling op dag n

E_{relbeh_n} =relatieve emissie van de behandelde afdeling op dag n

6. Zo ontstaan in totaal acht emissiekrommen die het verloop van de daggemiddelden in de behandelingsweek aangegeven.

-
7. Op de emissiekrommen is met Genstat 19th edition (VSN, 2018) een niet lineaire regressieanalyse uitgevoerd waarbij een exponentieel emissieverloop is aangenomen. Hieruit volgt een relatie zoals vergelijking (1) die de kromme van een afnemende emissie beschrijft. Met de gevonden kromme wordt het emissieverloop per uur tijdens de eerste dag berekend.

Dezelfde procedure wordt ook gevolgd voor de week waarin de dieren weer terugkeren in de afdeling (TD) om de opbouw van de emissie te berekenen. Met dit verschil, dat de emissie in de week *volgend* op de week waarin de dieren terugkeren dient als referentie om te corrigeren voor afdelingseffecten. Deze week (NTD) is dus referentie voor de week TD. De emissie van de behandelde afdeling en de referentieafdeling(en) worden dus weer gemiddeld over de dagen van deze week en verder aangeduid als emissie op dag 15.

2.4.2 Berekening van beweidingseffect per jaar

De analyse van de gemiddelde emissie per dag levert een beschrijving van de af- en toename van de emissie wanneer de koeien uit de stal vertrekken en er weer in terugkeren. Op basis van deze relatie kunnen beweidingsscenario's doorgerekend worden die verschillen in het aantal uren per dag en het aantal dagen per jaar dat de dieren weidegang hebben.

De reductie per jaar wordt uitgerekend door de relatieve emissie bij weidegang te vergelijken met een situatie waarbij de dieren altijd binnen gehuisvest zijn. De emissie in dit scenario wordt op 100% gesteld. Er wordt gerekend met 4, 6, 8, 10 of 12 uur weidegang per dag en 120, 150 of 180 dagen per jaar.

2.4.3 Overige analyse

Effect van behandeling op samenstelling van de mest in de toplaag is met een variantieanalyse onderzocht gebruik makend van de REML-procedure in Genstat 19th edition (VSN, 2018).

3 Resultaten en discussie

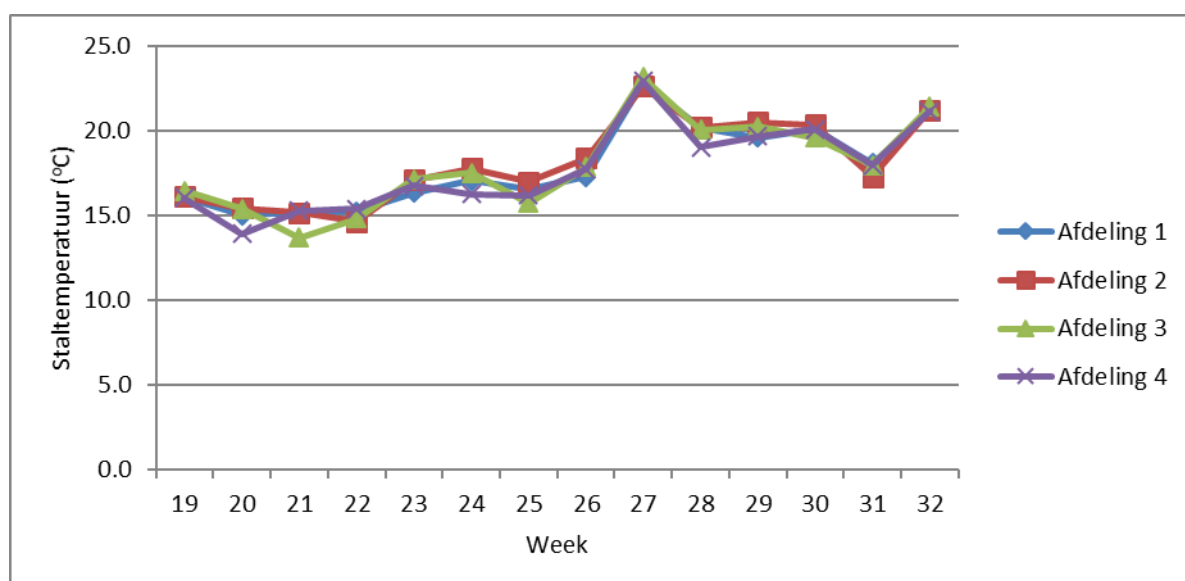
Metingen hebben plaatsgevonden tussen 4 mei 2015 (week 19) en 10 augustus 2015 (week 32). In de afdelingen die niet ontruimd waren zijn steeds 15 dieren gehuisvest. Op maandag 11 mei zijn de dieren van afdeling 4 verplaatst naar een ander gedeelte van het bedrijf. Op elke van de volgende wisseldagen zijn dieren steeds als groep naar een andere afdeling verhuist zodanig dat de beoogde afdeling leeg kwam. Deze verplaatsingen zijn schematisch weergegeven in Tabel 6. Vanaf 1 juni zijn er gedurende de resterende looptijd van het experiment in totaal 18 individuele dieren vervangen omdat ze droog werden gezet.

Tabel 6 Overzicht van dierverplaatsingen. Geel is leegstand. Overige kleuren vertegenwoordigen een diergroep.

Proefweek	Kalenderweek	Startdatum	Afdeling			
			1	2	3	4
1	19	4-5-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
2	20	11-5-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
3	21	18-5-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
4	22	25-5-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
5	23	1-6-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
6	24	8-6-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
7	25	15-6-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
8	26	22-6-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
9	27	29-6-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
10	28	6-7-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
11	29	13-7-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
12	30	20-7-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
13	31	27-7-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg
14	32	3-8-2015	Leeg	Leeg	Leeg	Leeg

3.1 Stalklimaat

De staltemperatuur nam tijdens het experiment toe van ongeveer 15°C in de eerste weken tot ongeveer 20°C in de laatste twee weken (zie Figuur 7). De verschillen tussen de afdelingen waren echter zeer beperkt en naar verwachting niet van invloed op de emissieresultaten.



Figuur 7 Verloop van de staltemperatuur tijdens het experiment.

3.2 Diergegevens

Bij aanvang van de proef zijn vier gelijkwaardige groepen samengesteld ten aanzien van leeftijd, lactatiestadium, melkproductie en melksamenstelling. Alleen de melkproductie van de dieren in afdeling 4 wijkt uiteindelijk enigszins af van de overige drie afdelingen.

Tabel 7 Overzicht van de gemiddelde dier- en melkparameters per afdeling bij start van het experiment (week 0).

Parameter	Eenheid	Afdeling			
		1	2	3	4
Lactatie	#	1.7	1.9	1.7	2.0
Lactatiestadium	Dagen	244	246	275	315
Gewicht ¹	kg	649	642	636	644
Melkproductie	kg/dag	20.5	23.5	19.6	15.2
Ureum	mg/100 g	19	21	20	20
Vet	%	4.8	5.0	5.1	4.7
Eiwit	%	3.7	3.8	3.9	3.8

¹ Gemeten in week 34

In de loop van het experiment bleven onderlinge verschillen tussen gemiddelden per afdeling beperkt. De ontwikkeling van de gemiddelde melkproductie per dier per dag gedurende het experiment is weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Overzicht gemiddelde melkproductie per week in kg per dier per dag.

Proefweek	Kalenderweek	Startdatum	Afdeling			
			1	2	3	4
1	19	4-5-2015	19.9	23.0	19.3	14.3
2	20	11-5-2015	18.1	20.6	17.6	
3	21	18-5-2015	16.2	20.0		16.2
4	22	25-5-2015	16.1		18.6	16.2
5	23	1-6-2015		14.5	16.7	14.5
6	24	8-6-2015	16.0	15.1	17.5	
7	25	15-6-2015	15.6	15.3		17.2
8	26	22-6-2015		14.9	15.2	16.4
9	27	29-6-2015	14.4		16.3	15.4
10	28	6-7-2015	14.3	15.8	15.6	
11	29	13-7-2015		17.9	17.1	14.5
12	30	20-7-2015	17.5	19.2		17.0
13	31	27-7-2015	18.6		20.8	17.3
14	32	3-8-2015	19.0	17.5	21.1	17.7

Ook de verschillen in ruwvoeropname (Tabel 9) en krachtvoeropname (Tabel 10) zijn beperkt. Alle dieren kregen hetzelfde ruwvoerrantsoen gevoerd. Krachtvoer werd verstrekt in relatie tot de melkgift.

Tabel 9 Overzicht gemiddelde ruwvoeropname (kg ds per dier per dag).

Proefweek	Kalenderweek	Startdatum	Afdeling			
			1	2	3	4
1	19	4-5-2015	17.7	17.4	16.6	17.3
2	20	11-5-2015	15.4	15.3	15.2	
3	21	18-5-2015	15.6	15.9		16.6
4	22	25-5-2015	16.3	16.9	16.4	16.5
5	23	1-6-2015		15.2	15.5	15.5
6	24	8-6-2015	14.4	14.5	14.4	
7	25	15-6-2015	13.9	13.7		13.7
8	26	22-6-2015		15.9	16.0	15.9
9	27	29-6-2015	16.2		16.5	15.9
10	28	6-7-2015	15.0	15.0	14.8	
11	29	13-7-2015		16.3	16.4	16.2
12	30	20-7-2015	16.5	16.5		16.4
13	31	27-7-2015	15.8		15.8	15.8
14	32	3-8-2015	16.0	15.6	15.7	15.7

Tabel 10 Overzicht gemiddelde krachtvoeropname (kg per dier per dag).

Proefweek	Kalenderweek	Startdatum	Afdeling			
			1	2	3	4
1	19	4-5-2015	1.9	1.8	1.8	0.7
2	20	11-5-2015	1.8	1.7	1.5	
3	21	18-5-2015	1.8	1.5		1.4
4	22	25-5-2015	1.8		1.6	1.4
5	23	1-6-2015		1.4	1.5	1.4
6	24	8-6-2015	1.4	1.2	1.4	
7	25	15-6-2015	1.9	2.1		1.8
8	26	22-6-2015		2.0	1.7	1.6
9	27	29-6-2015	2.2		2.0	1.9
10	28	6-7-2015	2.2	2.0	2.0	
11	29	13-7-2015		2.2	1.8	2.2
12	30	20-7-2015	1.9	2.4		2.3
13	31	27-7-2015	1.9		3.0	2.3
14	32	3-8-2015	2.0	2.1	3.0	2.3

Verschillen in voeropname of melkproductie hebben niet geleid tot grote verschillen tussen afdelingen in gemiddelde melkureumgetal (Tabel 11). Dit is elke vier weken bij alle individuele dieren bepaald.

Tabel 11 Overzicht gemiddelde ureumgetal (mg per 100 g melk) inclusief laatste meting voor start en eerste meting na afronding van het experiment.

Proefweek	Kalenderweek	Startdatum	Afdeling			
			1	2	3	4
0	18	27-4-2015	19.3	21.3	19.8	19.9
4	22	25-5-2015	16.7		16.3	17.4
8	26	22-6-2015		22.8	21.7	21.7
12	30	20-7-2015	16.1	16.8		17.3
16	34	17-8-2015	20.5	21.1	21.6	20.8

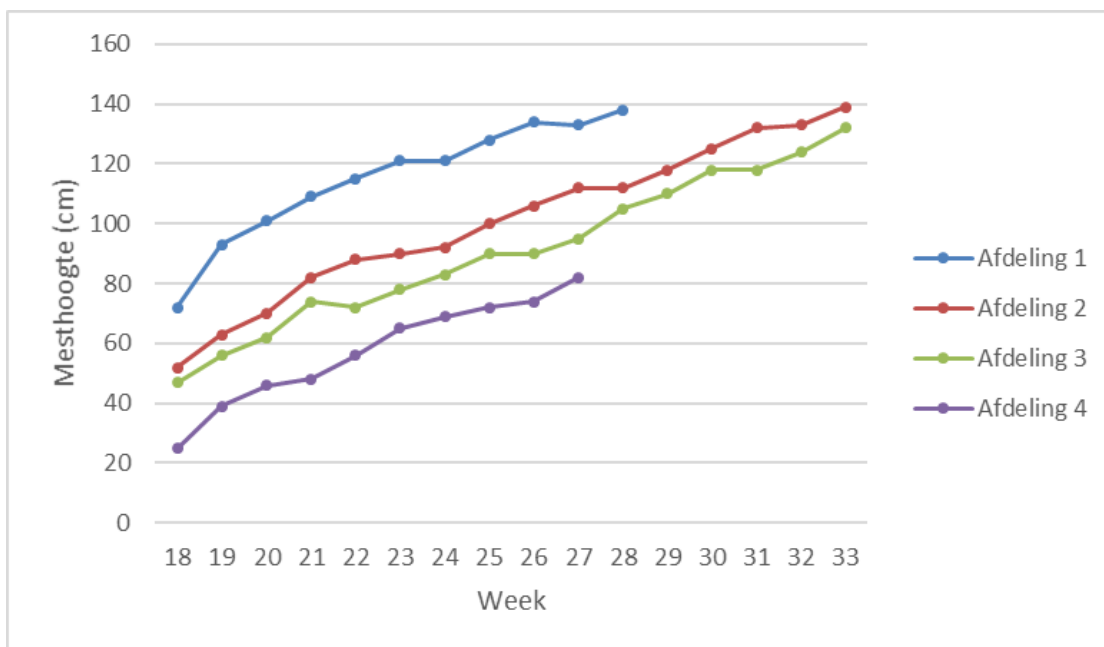
3.3 Wateropname en mestniveau

Het verloop van de standen van de watermeters is een maat voor de wateropname van de dieren. Afwijkende standen kunnen duiden op een lekkage. De berekende gemiddelde wateropname per dier is voor de duur van het experiment per afdeling weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Gemiddelde wateropname (liter per dier per dag).

Proefweek	Kalenderweek	Startdatum	Afdeling			
			1	2	3	4
1	19	4-5-2015	93	104	100	88
2	20	11-5-2015	85	95	89	
3	21	18-5-2015	85	96		87
4	22	25-5-2015	83		81	91
5	23	1-6-2015		85	98	88
6	24	8-6-2015	92	82	90	
7	25	15-6-2015	90	86		91
8	26	22-6-2015		86	94	93
9	27	29-6-2015	100		115	105
10	28	6-7-2015	80	98	87	
11	29	13-7-2015		97	94	82
12	30	20-7-2015	150	112		99
13	31	27-7-2015	109		114	95
14	32	3-8-2015	110	113	118	99

Het verloop van het wekelijks gemeten mestniveau in de afdelingen is weergegeven in Figuur 8. De mestniveaus verschillen per afdeling maar houden min of meer gelijke tred in de loop van de weken. Tijdens leegstand van de afdeling is het mestniveau niet altijd constant. Dit heeft te maken met de meetfout bij het bepalen van het mestniveau. Op 6 en 13 juli (week 28 en 29) is in respectievelijk afdeling 4 en afdeling 1, na het verwijderen van de dieren de mestkelder zoveel mogelijk leeggepompt en is daarna weer met water gevuld tot aangegeven niveau. Zie ook de opmerking daarover in hoofdstuk 2.1.



Figuur 8 Verloop van de mestniveau (cm) tijdens het experiment.

3.4 Mestsamenstelling

Tijdens het experiment is regelmatig (elke week op maandag) een monster van de toplaag van de mest in de kelder genomen en geanalyseerd. Uitslagen van de monsters zijn gerelateerd aan de week (en de behandeling) die voorafging. Dat is ook gedaan, maar minder frequent, voor de hele mestkolom (bulk). Daarbij wordt een monster van de hele mestkolom in de kelder genomen. De resultaten van beide analyses zijn opgenomen in Tabel 13 en

Tabel 14. De monsters genomen in afdelingen met VGD behandeling zijn samengevoegd met de WD behandeling. In de monsters genomen uit de toplaag lijkt een onderscheid te zijn in samenstelling tussen de behandeling GD aan de ene kant en TD en WD (incl. VGD) aan de andere kant. Het ammoniumgehalte van behandeling GD is ongeveer 8% lager dan het gemiddelde van de andere behandelingen maar niet significant afwijkend. Het droge stofgehalte is ongeveer 5% hoger en verschilt wel significant van andere behandelingen ($p=0.02$). Dit kan verklaard worden door het ontbreken van continue verversing van de toplaag door urine- en mestlozingen. Het ammoniumgehalte daalt na verloop van tijd vanwege doorgaande emissie en het droge stofgehalte stijgt door uitdroging. Ook de pH is tijdens de GD periode significant afwijkend ($p=0.01$) van de andere behandelingen. Er traden geen afdelingseffecten op.

Tabel 13 Samenstelling van mest genomen in de toplaag (g/kg)

Behandeling	Aantal monsters	pH	NH4	Ntot	DS	OS
GD	10	7.1	1.42	4.26	113.8	87.0
TD	8	7.4	1.54	4.25	108.2	82.1
WD	30	7.4	1.56	4.20	107.4	82.0

WD: Wel dieren; GD: Geen dieren; TD: Terug dieren.

Tabel 14 Samenstelling van mest genomen in de bulk (g/kg)

Behandeling	Aantal monsters	pH	NH4	Ntot	P	K	DS	OS
GD	1	6.9	1.88	3.52	0.70	5.23	78.6	58.8
WD	8	7.2	2.31	4.24	0.86	5.94	93.8	70.1

WD: Wel dieren; GD: Geen dieren; TD: Terug dieren.

3.5 Ventilatieniveau

Het ventilatieniveau is weergegeven in Tabel 15. Bij de eerste ronde waarbij de dieren uit afdeling drie verwijderd zijn is het ventilatieniveau niet naar beneden aangepast. Het behandelingsgemiddelde voor die afdeling ligt daarom iets hoger dan bij de andere afdelingen. Hetzelfde geldt voor afdeling vier, maar dan omgekeerd, toen in de week na de eerste week zonder dieren het ventilatieniveau niet weer naar boven is aangepast. Overige variatie is het gevolg van kleine verschillen tussen de afdelingen en zijn verwaarloosbaar.

Tabel 15 Ventilatieniveau (behandelingsgemiddelde) in m³/h

Behandeling	Afdeling			
	1	2	3	4
VGD	14150	14152	14151	14147
GD	7647	8009	9808	7674
TD	13756	13660	13842	10442
WD	14150	14151	13466	13569

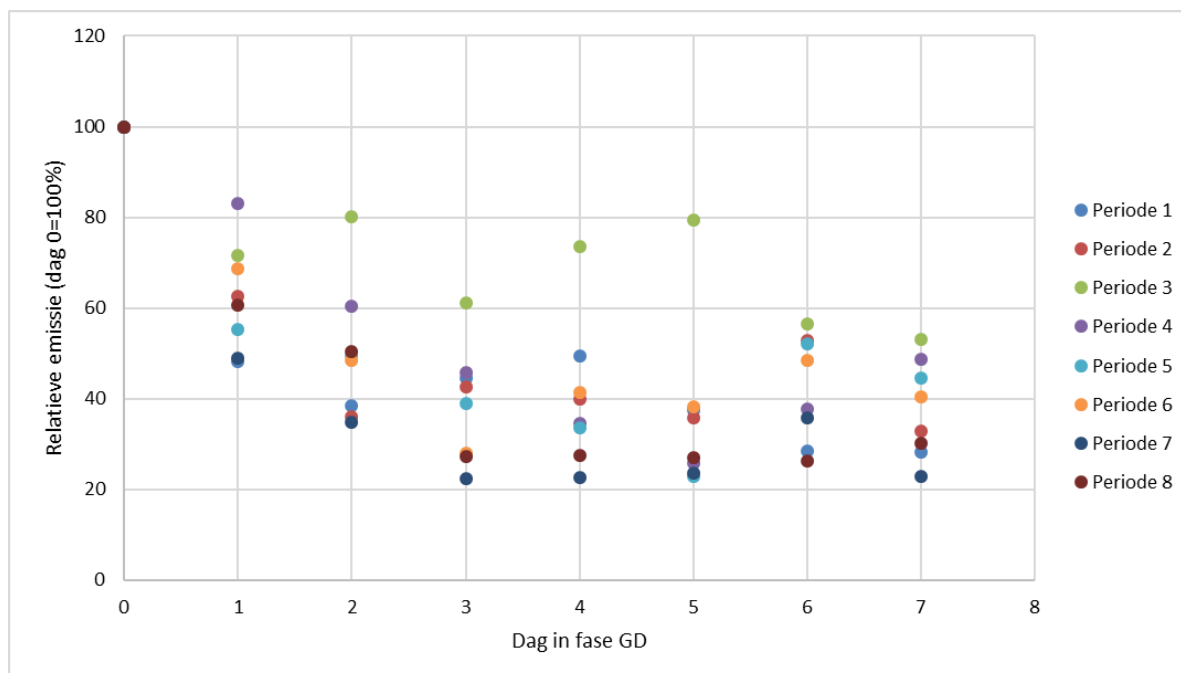
VGD: Voor geen dieren; GD: Geen dieren; TD: Terug dieren; WD: Wel dieren.

3.6 Ammoniakemissie

Het gesimuleerde effect van beweiding op de ammoniakemissie wordt uitgerekend zoals beschreven in paragraaf 2.4.1. De absolute emissie tijdens afwezigheid en terugkeer van de dieren is weer gegeven in de figuren A t/m F in bijlage 1.

3.6.1 Resultaten van de emissieafname

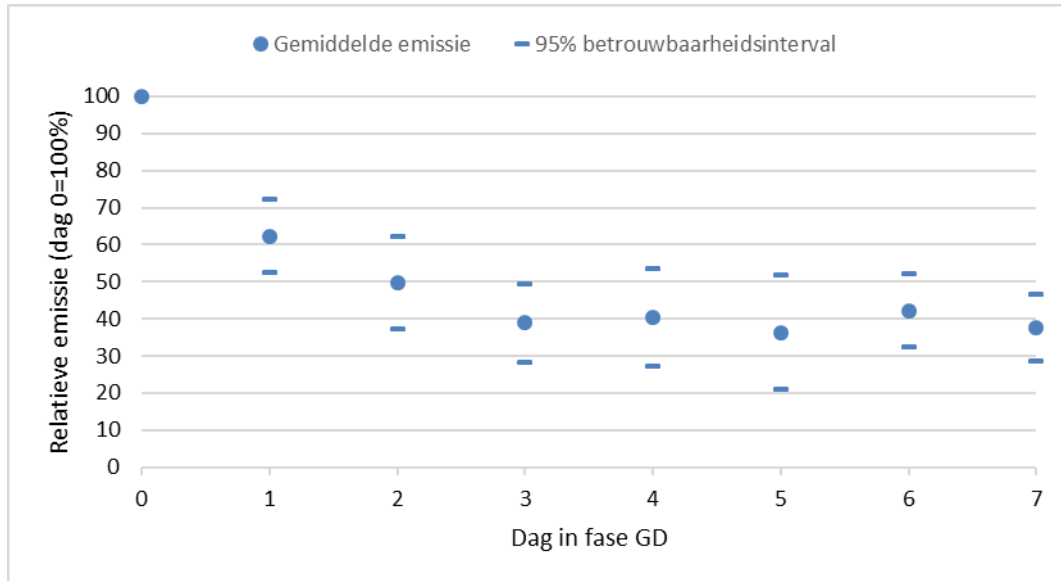
De emissie uitgedrukt als percentage van de emissie op dag 0 (week VGD) is opgenomen in Figuur 9. Daaruit blijkt de gestage afname van de emissie die pas vanaf dag 3 een stabiel niveau bereikt.



Figuur 9 Verloop van de emissie per dag gedurende fase GD.

Om inzicht te geven in het gemiddelde verloop en de spreiding is in Figuur 10 de emissie gemiddeld over de periode weergegeven met daarbij het 95% betrouwbaarheidsinterval per dag. De emissie van

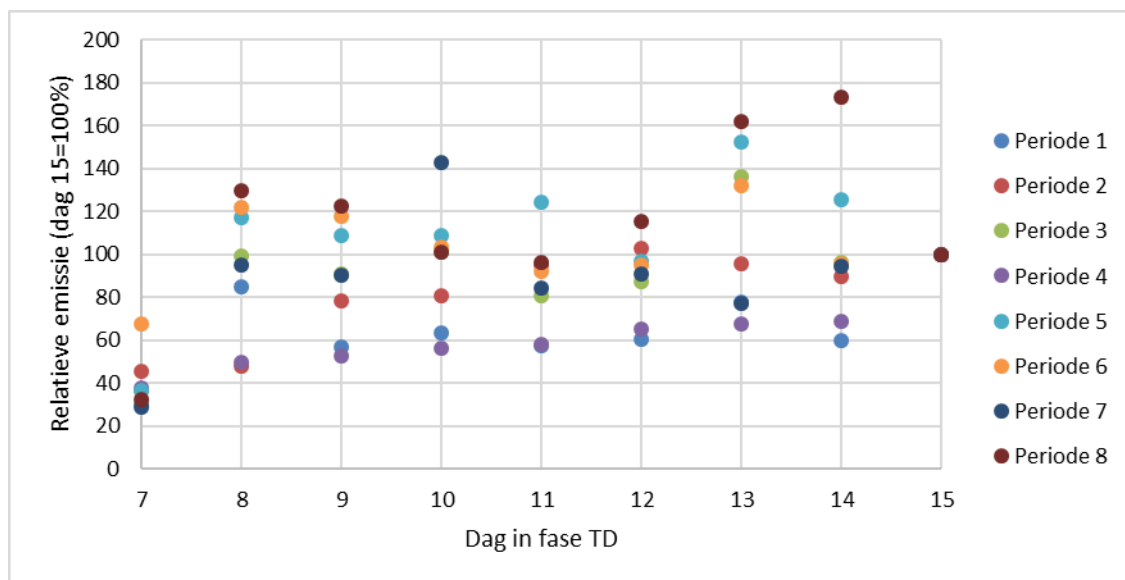
dag 3 tot en met 7 is 37.6 % van de emissie op dag 0 en vertegenwoordigt de (op korte termijn) stabiele bijdrage van de kelder aan de totale stalemissie.



Figuur 10 Gemiddelde plus 95% betrouwbaarheidsinterval van de emissie per dag ($n=8$; zie Figuur 9) gedurende fase GD.

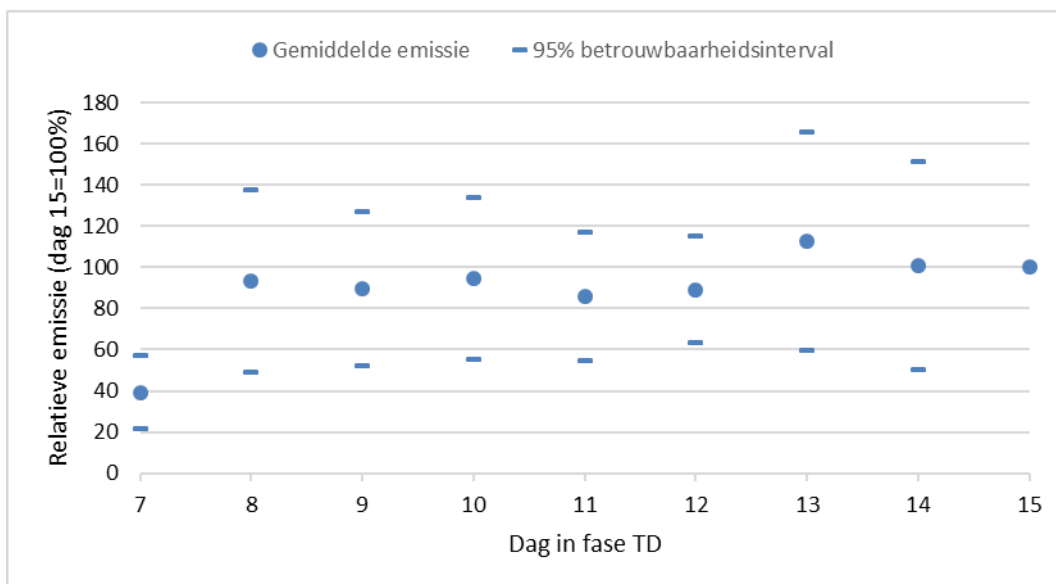
3.6.2 Resultaten van de emissietoename

In Figuur 11 is de opbouw van de emissie in fase TD opgenomen uitgedrukt als percentage van de emissie op dag 15 (NTD). Voor goed inzicht in het verloop is ook de emissie op dag 7 nogmaals weergegeven. De emissie blijkt gemiddeld binnen één dag weer op een stabiel niveau te zijn.



Figuur 11 Verloop van de emissie per dag gedurende fase TD.

Om inzicht te geven in het gemiddelde verloop en de spreiding is in Figuur 12 de emissie gemiddeld over de periode weergegeven met daarbij het 95%-betrouwbaarheidsinterval per dag. Het startniveau van fase TD op dag 7 komt niet helemaal overeen met het eindniveau van de fase GD omdat een ander referentieniveau is gekozen (dag 0 voor fase GD en dag 15 voor fase TD). De toename van de emissie naar een niveau dat vergelijkbaar is met dat van voordat de koeien uit de afdeling verwijderd werden gaat dus veel sneller dan de afname naar een stabiel eindniveau in fase GD.



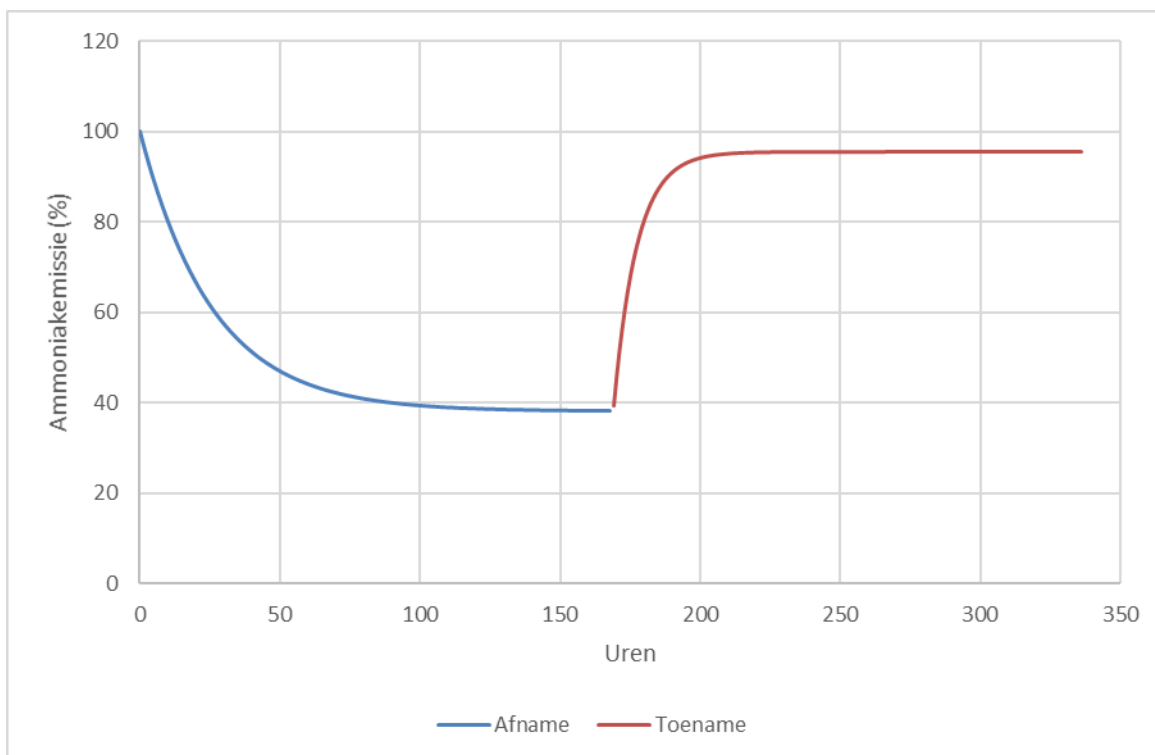
Figuur 12 Gemiddeld verloop en 95% betrouwbaarheidsinterval van de emissie per dag (n=8; zie Figuur 11) gedurende fase TD.

3.6.3 Invloed van beweiding

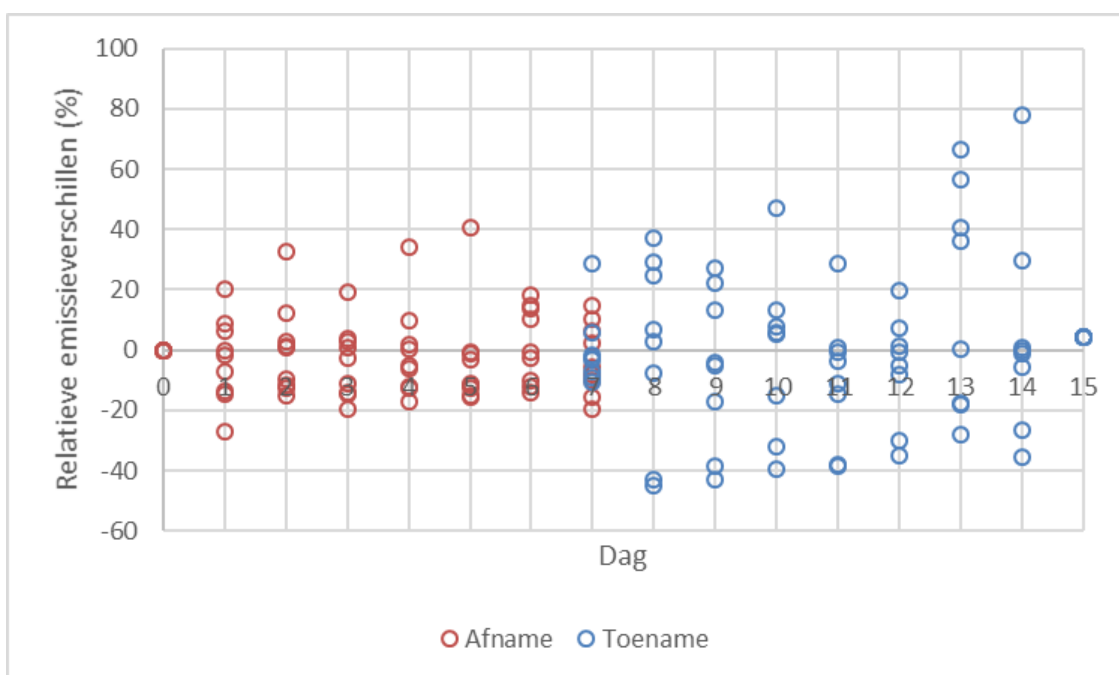
Het effect van beweiding op de ammoniakemissie uit de stal is een combinatie van een afnemende emissie wanneer de koeien de stal verlaten en een toenemende emissie wanneer ze weer terugkeren in de stal. De weideduur wordt uitgedrukt in uren en varieert van enkele uren tot 12 uur of meer per dag. Om op basis de resultaten van de metingen op Dairy Campus de invloed van beweiding op de ammoniakemissie te kunnen berekenen moet dus de afname en de toename in de eerste 24 uur uitgerekend worden. Daarvoor is met Genstat 19th edition (VSN, 2018) een niet lineaire regressieanalyse uitgevoerd op de gevonden af- en toenemende relatieve emissies per dag uitgaande van een exponentieel verloop (zie vergelijking 1). Daaruit volgt een vergelijking waarmee de af- en toename van de emissie per uur binnen een dag kan worden berekend. Daarmee is het dan mogelijk beweidingsscenario's door te rekenen die verschillen in aantal uren beweiding per dag en aantal dagen beweiding per jaar. De berekende modelparameters zijn weergegeven in Tabel 16. Het verloop van de emissie per uur is weergegeven in Figuur 13. In Figuur 14 worden de residuen per dag van het bovengenoemde model weergegeven.

Tabel 16 Berekende modelparameters voor reductie per uur in fase GD en TD met $C + a = \text{emissie bij } t=0$; $p = \text{snelheid waarmee emissie af- of toeneemt}$; $C = \text{emissie 7 dagen na } t=0$.

Parameter	Afname (GD)		Toename (NGD)	
	Waarde	se	Waarde	se
C	38.2	2.42	95.6	4.05
A	61.9	4.90	-56.2	10.5
P	-0.93	0.18	-2.90	3.36



Figuur 13 Gemodelleerde verloop van de afnemende en toenemende relatieve emissie per uur op basis van gemiddelde emissie per dag. Referentie voor de afnemende emissie is dag 0. Referentie voor de toenemende emissie is dag 15.



Figuur 14 Overzicht van verschillen (residuen) tussen relatieve emissie op basis van metingen en relatieve emissie berekend met statistisch model.

Met deze toe- en afnemende emissie zijn verschillende beweidingsscenario's doorgerekend waarbij het verloop van de gemeten toename in de periode (TD) geprojecteerd is op het verloop van de toename na een aantal uren weidegang.

Belangrijke uitgangspunten daarbij zijn:

- Er blijft geen (jong)vee achter in de stal.
- Koeien komen niet meer binnen tijdens weideperiode (zoals wel gebeurd bij AMS-bedrijven).

Daaruit zijn de volgende reductiepercentages per dag en per uur af te leiden (Tabel 17). Deze ontstaan door de afnemende emissie tijdens een aantal uren weidegang per dag en de toenemende emissie vanaf het moment dat de koeien weer terugkeren te berekenen met modelparameters gegeven in Tabel 16. In bijlage 1 zijn deze berekende emissie per dag voor 4, 6, 8, 10 en 12 uur weidegang per dag weergegeven. De reductie per uur volgt uit de reductie per dag gedeeld door het aantal uren weidegang per dag.

Tabel 17 *Berekende emissiereductie per dag en per uur.*

	Uren weidegang per dag				
	4	6	8	10	12
Reductie per dag	3.9%	6.0%	8.1%	10.2%	12.3%
Reductie per uur	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%

Ondanks het exponentieel verlopende emissie op langere termijn neemt de emissie in de eerste uren vrijwel lineair af. De emissiereductie per uur is dus ook vrijwel constant.

Om de invloed van beweiding per jaar uit te rekenen moet ook het aantal weidedagen per jaar betrokken worden. De reductie per uur uit Tabel 17 wordt vermenigvuldigd met het aantal uur weidegang per dag en het aantal dagen weidegang per jaar en gedeeld door 365. De resulterende emissiereductie per jaar, vergelijkbaar met het huidige percentage dat opgenomen is in de bijlage 2 van de Rav, is weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18 *Berekende emissiereductie per jaar bij verschillende weide-uren per dag en weidedagen per jaar.*

Dagen weidegang per jaar	Uren weidegang per dag				
	4	6	8	10	12
120	1.3%	2.0%	2.6%	3.3%	4.0%
150	1.6%	2.5%	3.3%	4.2%	5.1%
180	1.9%	2.9%	4.0%	5.0%	6.1%

De emissiereductie per jaar bij 720 uur weidegang (120 dagen per jaar; 6 uur per dag) blijkt in deze berekening minder dan de helft van het huidige reductiepercentage te zijn.

3.7 Discussie

Voorafgaand aan het onderzoek werden de volgende vragen gesteld.

- Met welke snelheid neemt de ammoniakemissie af nadat de koeien uit de stal zijn verdwenen?
- Wat is het niveau waarop de emissie zich stabiliseert?
- Wat is de verhouding tussen vloer- en kelderemissie die daaruit afgeleid kan worden?
- Wanneer wordt dit stabiele emissieniveau bereikt?
- Met welke snelheid neemt de ammoniakemissie weer toe nadat de koeien terugkeren in de stal?

Uit de metingen is de ammoniakemissie per dag berekend. Vervolgens is uit het verloop van de toenemende en afnemende emissie per dag, de emissie per uur berekend. Daaruit blijkt dat de emissie het eerste uur nadat de koeien uit de afdeling zijn verdwenen met 2.4% afneemt. Gemiddeld over de eerste 12 uur is de afname 1.9% per uur. De emissie stabiliseert na minimaal 3 dagen op een niveau dat ongeveer 38% van de oorspronkelijke emissie bedraagt. Dit kan gezien worden als de gestabiliseerde kelderbijdrage aan de totale stalemissie. Na terugkeer van de koeien stijgt de emissie het eerste uur met 16.1% en gemiddeld over de eerste 12 uur met 9.1%.

Als deze afname en toename van de emissie als uitgangspunt wordt genomen voor de berekening van de gezamenlijke invloed van beweiding op de ammoniakemissie uit de stal, blijkt dat deze invloed een stuk lager is dan tot nu toe wordt aangenomen en zoals ook opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij. In plaats van een effect van 2.6% per uur beweiding, resulterend in 5% reductie op jaarbasis (bij 720 uur weidegang), wordt een effect van maar 1.0% per uur, oftewel 2.0% per jaar (bij

720 uur weidegang) vastgesteld. Dat is meer dan een halvering. Bij een ligboxenstal met betonnen roostervloer in de categorie A1.100 (overige huisvestingssystemen) met een emissiefactor van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar zou de emissiereductie door beweiding daarmee 0.26 kg NH₃ per dierplaats per jaar bedragen in plaats van de nu geldende 0.65 kg NH₃ per dierplaats per jaar.

Belangrijk discussiepunt is of deze resultaten van metingen op Dairy Campus als uitgangspunt genomen kunnen worden voor de berekening van een algemeen geldende emissiereductie van beweiding in praktijkstallen. Uit de omstandigheden waaronder de metingen zijn uitgevoerd volgen (minstens) twee punten waarmee rekeningen moet worden gehouden bij toepassing van de resultaten in de bredere praktijk.

1. Tijdens de metingen op Dairy Campus waren en geen dieren meer aanwezig. Dat zal niet gelden voor alle weidende melkveebedrijven omdat er soms (jong)vee achter blijft in de stal en koeien tijdens de weideperiode binnen kunnen komen (zoals bij AMS-bedrijven).
2. Of de verhouding tussen vloer- en kelderbijdrage zoals gemeten op Dairy Campus ook geldig is bij ligboxstallen in de praktijk zal nader onderzocht moeten worden.

De huidige 5% emissiereductie door beweiding is het resultaat van modelberekeningen. De toepassing van het emissiemodel in een situatie met beweiding is, voor zover wij hebben kunnen nagaan, door Monteny et al. 1998 niet in de praktijk gevalideerd. De uitkomsten zijn alleen vergeleken met de eerder genoemde emissiemetingen die verzameld zijn in mei 1989 (Kroodsmā et al. 1993) en kwamen daarmee goed overeen.

De belangrijkste reden voor de nu gemeten lagere emissiereductie is waarschijnlijk een veel tragere uitdoving van de emissie dan tot nu toe werd aangenomen. In het ammoniakemissiemodel Snelstal waarop het emissie-effect van beweiding vooral gebaseerd is, wordt de emissie uit de kelder verondersteld constant te zijn en alleen te worden beïnvloed door het ammoniumgehalte van de (drijf)mest, de pH, de luchtsnelheid over het mestoppervlak en de temperatuur van de mest. Dit zijn factoren die niet op korte termijn door beweiding worden beïnvloed. De uitdoving van de ammoniakemissie wordt in het model dan ook alleen bepaald door de (snelheid) waarmee de vloeremissie uitdooft. Deze uitdoving van de vloeremissie (eigenlijk een sommatie van een aantal urineplassen op het vloeroppervlak) vindt in enkele uren plaats waarna de kelderemissie resteert. Uit hier beschreven metingen op Dairy Campus blijkt echter dat pas na minimaal drie dagen een stabiel emissieniveau bereikt wordt (kelderbijdrage). De dynamiek van de kelderemissie is kennelijk anders en processen en factoren zijn waarschijnlijk complexer dan tot nu toe gedacht werd en de aanname dat de kelder een constante bijdrage levert aan de stalemissie is waarschijnlijk onterecht. De veronderstelling dat ook de kelderbijdrage een variabel deel kent dat, weliswaar langzamer dan de vloeremissie, na verloop van tijd uitdooft biedt een verklaring voor het gevonden emissiepatroon nadat de dieren uit de afdeling zijn verwijderd.

Voorstelbaar is ook dat de snelheid waarmee dit variabele deel van de kelderemissie uitdooft afhankelijk is van de mestsamenstelling. Als urine zich kan ophopen in de toplaag zorgt het daarmee voor een langzame daling van de (kelder)emissie maar als urine juist snel mengt met de bulk van de mest daalt de emissie veel sneller. Eerder gevonden snellere uitdoving van de stalemissie (Kroodsmā et al., 1993) zou hiermee kunnen samenhangen omdat, zoals eerder aangegeven in hoofdstuk 1.1, de samenstelling van de mest mogelijk beïnvloed is door eerder onderzoek met water. Als dat inderdaad zo is dan lijkt het verdunnen van de mest in de kelder een mogelijkheid om het reducerende effect van beweiding op de ammoniakemissie te vergroten.

Daarbij moet wel bedacht worden dat ook de zijkanten en de onderkant van de betonnen roosters hierin een rol kunnen spelen. Wanneer gesproken wordt over de vloeremissie wordt eigenlijk altijd de emissie van het vloeroppervlak bedoeld terwijl ook de zijkanten van de roosters (en in mindere mate de onderkant) bevuild zijn met feces en veelvuldig in contact komen met urine. Hoe de emissie van deze vloeronderdelen zich verhouden tot de emissie van het vloeroppervlak en wat de dynamiek is van dit emitterend oppervlak, is onbekend. Ook in de metingen uitgevoerd op Dairy Campus kan geen onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende oppervlakken.

Analyse van de emissie per dag laat zien dat vanaf de derde dag nadat de koeien uit de afdelingen zijn gehaald de emissie stabiliseert. Deze, min of meer constante, kelderbijdrage van 38% van de totale emissie is vergelijkbaar met het niveau gerapporteerd door Kroodsmā et al. (1993) en ligt ook in

dezelfde orde grote als de kelderemissie in het ammoniakemissiemodel. In een praktijkstal met natuurlijk ventilatie maten Scholtens et al. (1997) een grotere kelderbijdrage (ongeveer 75%) die wel (net als bij Kroodsma et al. 1993) al binnen een paar uur bereikt wordt. Wel is het zo dat tijdens deze metingen jongvee en droge koeien in de stal aanwezig bleven. Zowel bij Kroodsma et al. (1993) als bij Scholtens et al. (1997) beperkte de leegstand zich tot de dagperiode en is uit het emissie-patroon niet met zekerheid te zeggen of de kelderemissie aan het eind van deze periode als stabiel was.

Het zou echter ook zo kunnen zijn dat de manier waarop de emissiemetingen op Dairy Campus uitgevoerd zijn van invloed is op emissieresultaten en dan met name de kelderbijdrage aan de totale emissie. Net als de metingen bij Kroodsma et al. (1993) zijn de metingen op Dairy Campus uitgevoerd in een mechanische geventileerde stal. Hoewel in beide gevallen een ventilatiedebiet is toegepast dat vergelijkbaar is met praktijkomstandigheden in natuurlijk geventileerde stallen, is het mogelijk dat de luchtbeweging in en -uitwisseling met de kelder afwijkt van wat in de praktijk optreedt bij natuurlijke ventilatie. Dit zou dan vooral van invloed zijn op de kelderbijdrage aan de totale emissie.

Uit de metingen op Dairy Campus blijkt dat de toename van de emissie veel sneller verloopt dan de afname. De snelheidsparameter ρ_2 die de toename beschrijft is hoger dan de snelheidsparameters ρ_1 die de afname beschrijft. Dit is in overeenstemming met eerdere waarnemingen door Kroodsma et al. (1993) en Scholtens en Huis in 't Veld (1997). Ook daar bleek de emissie binnen korte tijd weer terug te keren tot het niveau van voor de weidegang.

Bij de berekening van de emissiereductie per jaar is aangenomen dat het verloop van de emissietoename die plaatsvindt wanneer de dieren weer terugkeren na een aantal uren beweiding gelijk is aan de gemeten toename wanneer de dieren weer terugkeren in de afdelingen die een week hebben leeggestaan zoals tijdens de experimenten op Dairy Campus het geval was. Waarschijnlijk wordt daarmee de snelheid van de emissietoename enigszins onderschat. Aanwijzing daarvoor is dat bij simulatie van verschillende beweidingduur de emissie na terugkeer niet meer het oude emissieniveau van voor de weidegang bereikt maar daar een paar procenten onder blijft (zie Tabel A en Figuur G in Bijlage 1). Bij zowel Kroodsma et al. (1993) als Scholtens en Huis in 't Veld (1997) is de emissie na terugkeer van de dieren snel weer terug op het oude niveau.

De gekozen aanpak van analyse van de emissies per dag, referentieperioden van een week en correctie van afdelingseffecten door vergelijking met andere afdelingen heeft een aantal nadelen:

- Er moet altijd een vergelijkingsafdeling beschikbaar zijn die in dezelfde week geen behandeling ondergaat. Dat lukt voor de meeste afdelingen maar door het gebruikte schema is er meestal maar één afdeling als referentie beschikbaar.
- Hierdoor wordt niet maximaal gebruik gemaakt van de informatie die in het verloop van de emissies in andere afdelingen besloten licht.
- Er wordt gebruik gemaakt van daggemiddelden waaruit uurgemiddelden worden afgeleid om het effect van beweiding binnen een dag te schatten, terwijl uurgemiddelden beschikbaar zijn in de dataset.
- Er wordt met twee referentieniveaus gewerkt: dag 0 (VGD) voor de emissieafname en dag 15 (NTD) voor de emissietoename. Hierdoor sluiten deze krommen mogelijk niet goed op elkaar aan bijvoorbeeld omdat er sprake kan zijn van een trend in het emissieverloop gedurende die twee weken.
- Andere verschillen tussen weken in een afdeling (temperatuur) worden meegenomen in beweidingseffect.

Verdere analyse van resultaten per uur ligt daarom voor de hand.

4 Conclusies en aanbevelingen

- Uit metingen op Dairy Campus naar het effect van afwezigheid van dieren op de ammoniakemissie uit een stal met roostervloer blijkt dat de afname van de emissie nadat koeien de stal verlieten veel langzamer verliep dan eerder op basis van modelberekeningen werd aangenomen.
- De toename van de ammoniakemissie nadat de dieren weer terugkeerden verliep veel sneller dan de afname.
- Combinatie van de afname en toename laat zien dat de ammoniakemissie daalt met 1.0% per uur afwezigheid van de dieren. Dat is veel minder dan de 2.6% die tot nu toe werd aangenomen en die de basis was voor een beweidingseffect van 5% emissiereductie per jaar.
- Wanneer deze resultaten als uitgangspunt genomen worden voor het doorrekenen van de invloed van beweiding op de ammoniakemissie uit een melkveestal blijkt dat bij 720 uur weidegang per jaar de emissiereductie 2.0% per jaar.
- Een oorzaak voor deze lagere reductie is waarschijnlijk gelegen in bijdrage van de mestkelder. Eerdere aanname dat de kelderbijdrage aan de emissie constant is en dat daarmee de dynamiek van de stalemissie alleen veroorzaakt wordt door het vloeraandeel, is waarschijnlijk niet terecht. Een deel van de kelderbijdrage dooft weliswaar uit maar dit proces gaat langzamer dan de uitdoving van de vloeremissie. Ook de emissie van de zijkanten en onderkant van de rooster(balken) kunnen een rol spelen en zijn tot nu toe niet eerder onderzocht.
- Om beter te begrijpen welke processen en factoren een rol spelen bij de uitdoving en toename van de ammoniakemissie tijdens beweiding is het noodzakelijk onderzoek te doen naar de:
 - Bijdrage en dynamiek van de kelderemissie. Vooral het idee dat de inhoud van de kelder uit meerdere, in samenstelling verschillende lagen kan bestaan moet verder onderbouwd worden.
 - Emissiebijdrage van de zijkanten (wangen) en onderkant van de roostervloer.
- Meer kennis van het uitdovingsproces en met name de variabiliteit van uitdoving in praktijkstallen is nodig om de effecten van beweiding op de stalemissie in praktijkstallen betrouwbaar te kunnen inschatten.
- Voor mogelijkheden om de ammoniakemissie tijdens weidegang verder te reduceren valt te denken aan:
 - Beperking van de ventilatie tijdens weidegang. Wanneer er geen, of minder dieren in de stal aanwezig zijn kan de ventilatie beperkt worden door ventilatieopeningen te verkleinen.
 - Versnelling van de uitdoving van de emissie en vooral de kelderbijdrage door toepassing van water. Als de aanname dat de mestsamenstelling van invloed is op de mate waarin urine aan de oppervlakte blijft correct is zou door toepassing van water de emissie sneller kunnen dalen nadat de koeien de stal verlaten hebben.

Literatuur

- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof, J. Vonk (2018). Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur& Milieu, WOT-technical report 119. 124 pp.; 48 tab.; 6 figs.; 65 ref.; 7 bijl.
- Duinkerken, G. van, M. C. J. Smits , G. André , L. B. J. Šebek , J. Dijkstra (2011) Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of Dairy Science* 94: 321-335.
- Kroodsma, W., J. Huis in 't Veld, R. Scholtens (1993) Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science* 35 (1993) 293-302
- Kroodsma, W. J. Huis in 't Veld, N.W.M. Ogink (1995) Ammoniakemissie uit een ligboxenstal voor melkvee: emissieniveau en temperatuurseffect. IMAG-DLO Rapport 95-17, Wageningen, 25 p.
- Monteny G. J., D. D. Schulte, A. Elzing, E. J. J. Lamaker (1998) A conceptual mechanistic model for the ammonia emissions from free stall cubicle dairy houses. *Transactions of the ASAE* 41 (1): 193-201.
- Monteny, G.J., J. Huis in 't Veld, G. van Duinkerken, G. André, F. van der Schans (2001) Naar een jaarrond emissie van ammoniak uit melkveestallen. IMAG, Praktijkonderzoek Veehouderij, CLM. Wageningen.
- Ogink N.W.M., C.M. Groenestein, J. Mosquera (1994) Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Wageningen Livestock Research, Rapport 744, 28 p.
- Scholtens en Huis in 't Veld (1997) Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI - Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. IMAG-DLO Rapport 97-1006.
- VSN (2018). Genstat for Windows 19th Edition. VSN International, Hemel Hempstead, UK

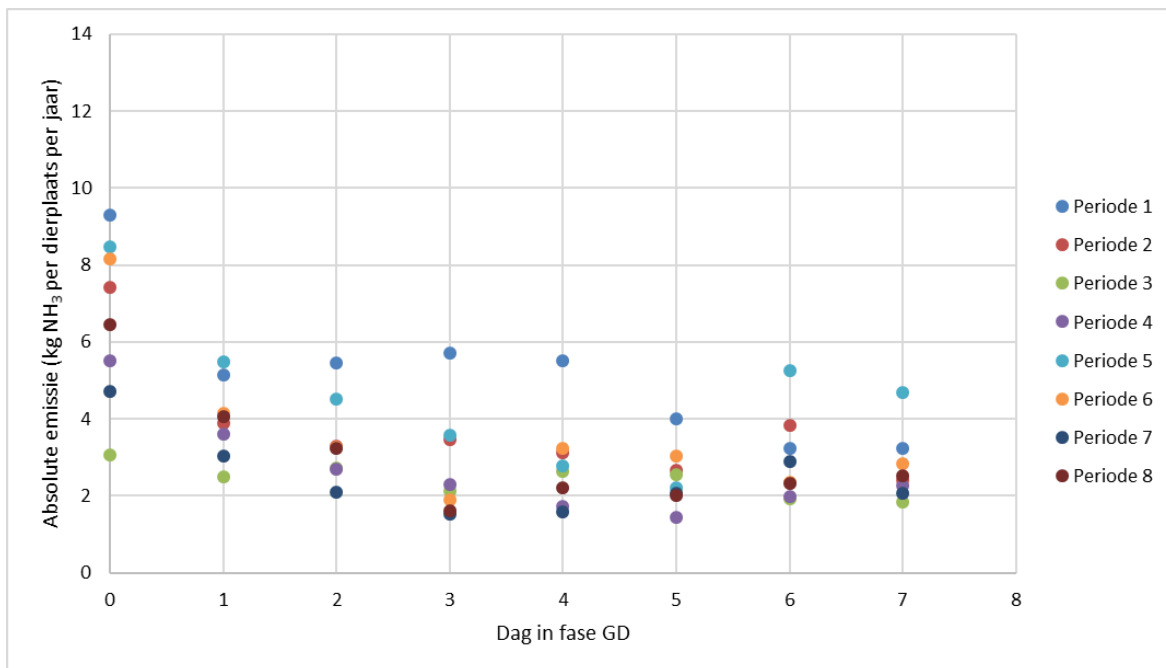
Bijlage 1 Achtergrondinformatie

Tabel A Overzicht van modelparameters gebruikt voor berekening van het beweidingseffect.

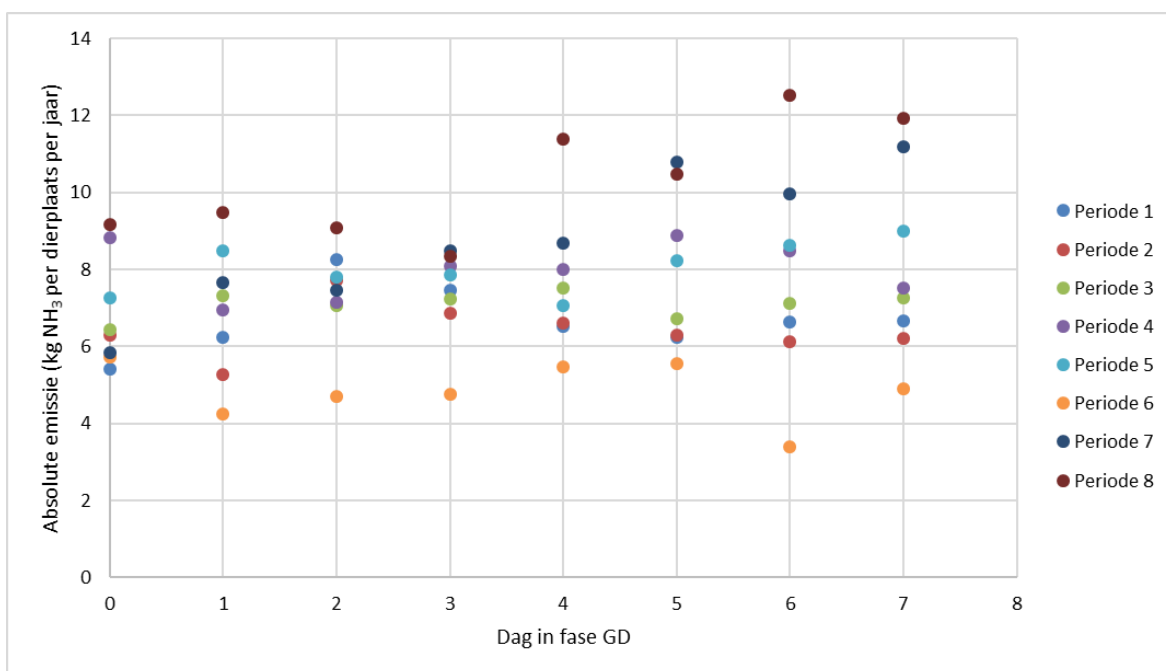
Parameter	Monteny et al 1998	TAC-Rav	Eenheid
Aantal berekeningen	10	10	-
Rekenperiode	30	30	-
Aantal dieren	40	100	-
Urineer frequentie	10	10	-
Ureum concentratie	7.65	5	g-N/l
Mestsamenstelling (TAN)	3.06	3.5	g-N/l
Beweiding	0/6/8/10	0/6/8/10	uur
Vloeroppervlak	140	350	m ²
Temperatuur	18	10	°C
Luchtsnelheid	0.21	0.15	m/s
Plasoppervlak	0.8	0.8	m ²
Plasdikte	0.48	0.48	mm
pH	8.6	9.4	-
Kelderoppervlak	184	350	m ²
Temperatuur	18	10	°C
Luchtsnelheid	0.02	0.05	m/s
pH	8.6	8.4	-
Kelderbijdrage	100	100	%

Tabel B Uitkomsten modelberekeningen bij verschillende beweidingduur.

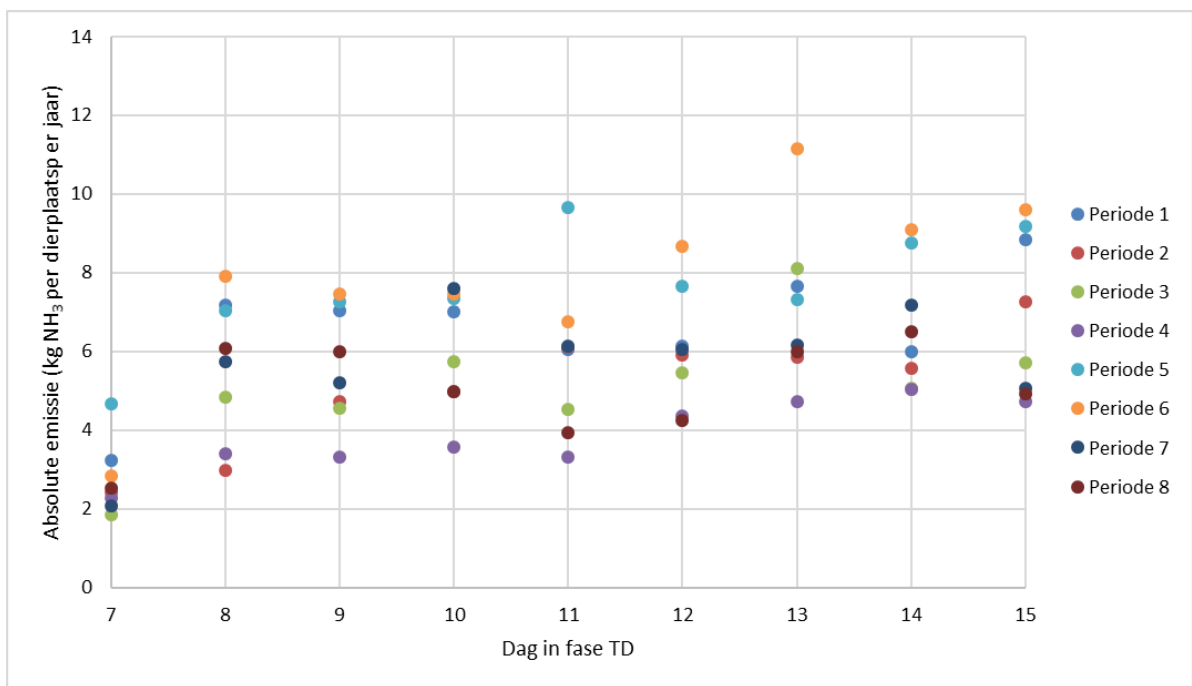
	Monteny et al 1998				Tac-Rav			
	0	6	8	10	0	6	8	10
Vloer (kg/dp/jaar)	11.0	8.3	7.5	6.5	7.7	5.8	5.2	4.5
Kelder (kg/dp/jaar)	7.2	7.2	7.2	7.2	3.4	3.4	3.4	3.4
Totaal (kg/dp/jaar)	18.2	15.6	14.7	13.8	11.1	9.2	8.6	7.9
Relatieve emissie	100%	86%	81%	76%	100%	83%	77%	71%
Reductie per uur weidegang		2.4%	2.4%	2.4%		2.9%	2.9%	2.9%



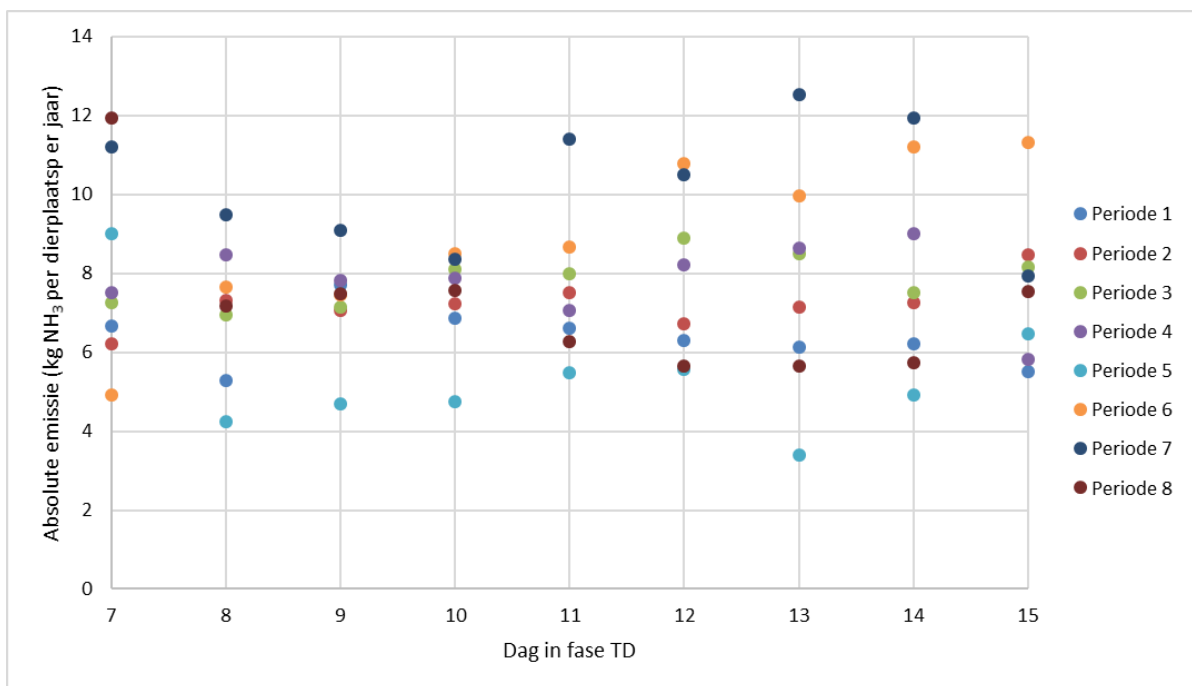
Figuur A Overzicht van het absolute emissieverloop per periode van de referentieafdelingen in de fase geen dieren (GD).



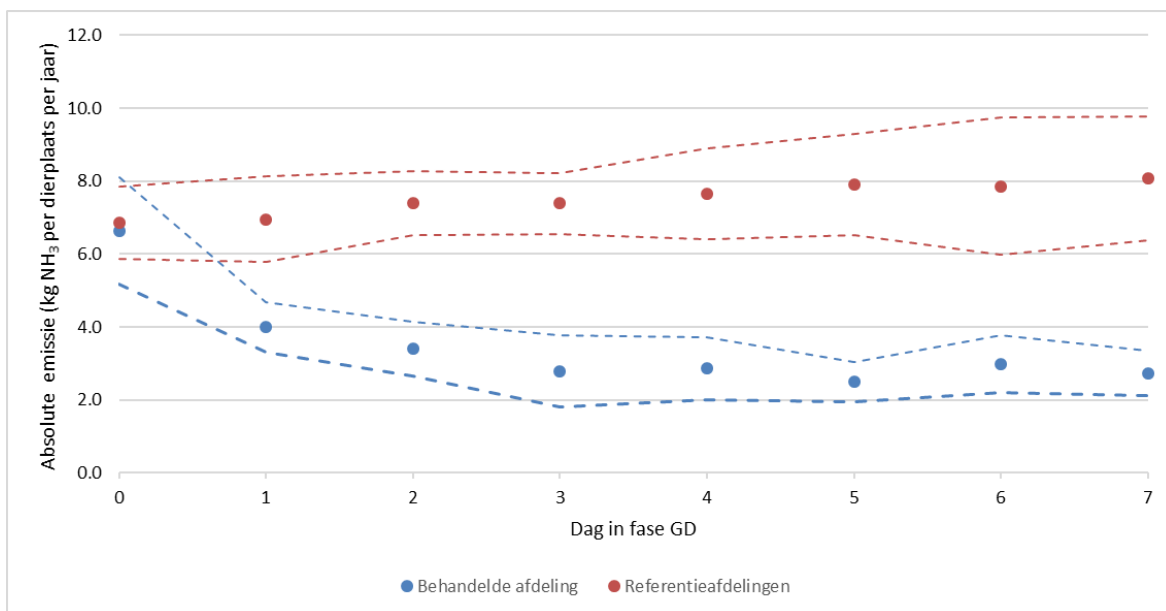
Figuur B Overzicht van het absolute emissieverloop per periode van de behandelde afdelingen in de fase geen dieren (GD).



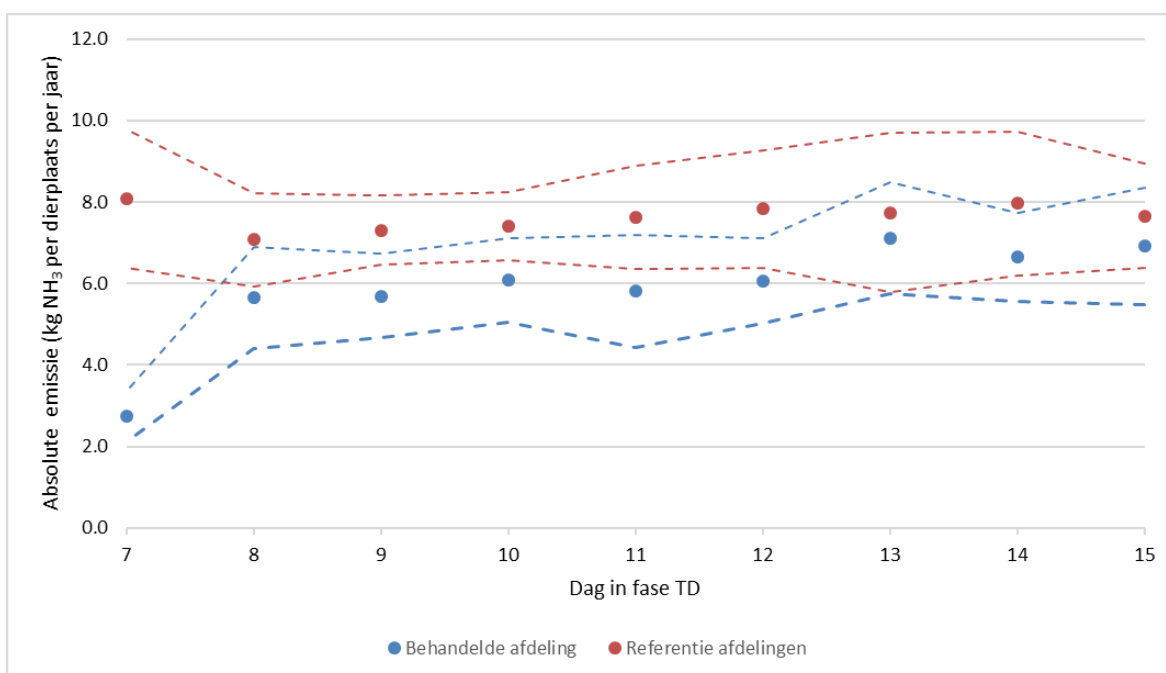
Figuur C Overzicht van het absolute emissieverloop per periode van de behandelde afdelingen in de fase terugkeer dieren (TD).



Figuur D Overzicht van het absolute emissieverloop per periode van de referentieafdelingen in de fase terugkeer dieren (TD).



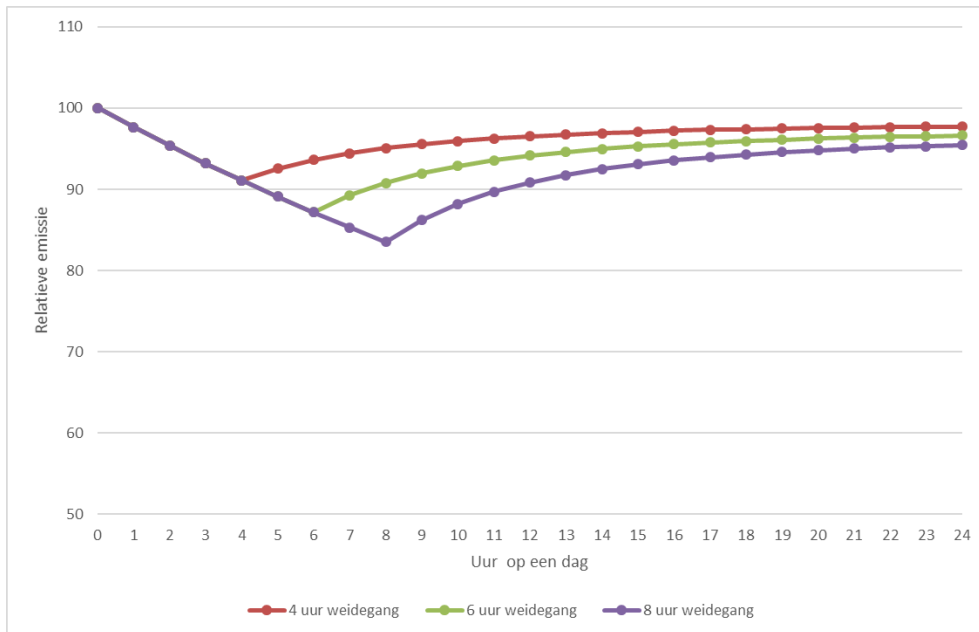
Figuur E Overzicht van het gemiddelde absolute emissieverloop van referentie en behandelde afdelingen in de fase geen dieren (GD). De stippellijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.



Figuur F Overzicht van het gemiddelde absolute emissieverloop van referentie en behandelde afdelingen in de fase terugkeer dieren (TD). De stippellijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

Tabel C Overzicht van relatief emissieverloop bij verschillende beweidingsduur (toenemende emissie in **vet**).

Uur na start weidegang	0	4	6	8	10	12
0	100	100	100	100	100	100
1	100	97.6	97.6	97.6	97.6	97.6
2	100	95.4	95.4	95.4	95.4	95.4
3	100	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2
4	100	91.1	91.1	91.1	91.1	91.1
5	100	92.6	89.1	89.1	89.1	89.1
6	100	93.6	87.2	87.2	87.2	87.2
7	100	94.4	89.2	85.3	85.3	85.3
8	100	95.1	90.8	83.5	83.5	83.5
9	100	95.6	92.0	86.2	81.8	81.8
10	100	96.0	92.9	88.2	80.1	80.1
11	100	96.3	93.6	89.7	83.3	78.5
12	100	96.5	94.2	90.8	85.7	77.0
13	100	96.7	94.6	91.8	87.6	80.7
14	100	96.9	95.0	92.5	89.0	83.5
15	100	97.1	95.3	93.1	90.1	85.6
16	100	97.2	95.6	93.6	91.0	87.2
17	100	97.3	95.8	94.0	91.7	88.5
18	100	97.4	96.0	94.3	92.2	89.5
19	100	97.5	96.1	94.6	92.7	90.4
20	100	97.5	96.2	94.8	93.1	91.0
21	100	97.6	96.4	95.0	93.5	91.6
22	100	97.7	96.4	95.2	93.7	92.0
23	100	97.7	96.5	95.3	94.0	92.4
24	100	97.7	96.6	95.4	94.2	92.7
Totaal	2400	2305.7	2256.7	2206.7	2156.1	2105.1



Figuur G *Berekend emissieverloop binnen een dag bij verschillende beweidingduur.*

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](http://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.

