



---

# Emissies van ammoniak en methaan uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven

Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven

C.A. Schep, E.D.W. Vermeulen, H.J.C. van Dooren, J.A. Keuskamp, E.A.P. van Well, K. van Deest

Rapport 1487



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



# Emissies van ammoniak en methaan uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven

Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven

C.A. Schep<sup>1</sup>, E.D.W. Vermeulen<sup>2</sup>, H.J.C. van Dooren<sup>1</sup>, J.A. Keuskamp<sup>3</sup>, E.A.P. van Well<sup>2</sup>, K. van Deest<sup>1</sup>

1 Wageningen Livestock Research

2 CLM Onderzoek en Advies

3 Biont 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 'B1 Emissie reductie methaan veehouderij' (BO-43.10-002-034.00).

Wageningen Livestock Research

Wageningen, juni 2024

---

Rapport 1487

---

Schep, C.A., E.D.W. Vermeulen, H.J.C. van Dooren, J.A. Keuskamp, E.A.P. van Well, K. van Deest, 2024. *Emissies van ammoniak en methaan uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven; Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1487.

Samenvatting: Op 15 melkveebedrijven binnen het Netwerk Praktijkbedrijven is de stalemissie van ammoniak (NH<sub>3</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>) tussen maart 2021 en maart 2024 continu gemeten met sensoren voor ammoniak, methaan en kooldioxide. Daarnaast zijn puntmetingen met referentiemethoden voor deze gassen uitgevoerd. De gemiddelde ammoniakemissie was 9,8 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 9,0 kg op basis van de continue metingen. De gemiddelde methaanemissie was 160 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 153 kg op basis van de continue metingen. Er is een relatie gevonden tussen ammoniakemissie en het ventilatiedebiet van de stal die afhangt van de temperatuur in de stal en de windsnelheid. Bedrijven zonder mestopslag onder de stalvloer hebben met gemiddeld 128 kg methaan per dierplaats per jaar een 14% lagere emissie ten opzichte van bedrijven met een standaard roostervloer. Weidegang beïnvloedt de emissiemetingen. Op het moment van weidegang wordt de emissie niet gemeten. Daardoor is het effect van weidegang op het emissieniveau niet goed vast te stellen. Door benchmarking ontstaat wel beter inzicht in de verschillen tussen vergelijkbare bedrijven dat handvatten geeft voor verbeteringen.

Summary: At 15 dairy farms, the barn emissions of ammonia (NH<sub>3</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) were continuously measured using sensors from March 2021 to March 2024. Additionally, spot measurements using reference methods were conducted. The average ammonia emission was 9.8 kg per animal place per year based on the spot measurements and 9.0 kg based on the continuous measurements. The average methane emission was 160 kg per animal place per year based on the reference measurements and 153 kg based on the continuous measurements. An relation between ammonia emission and ventilation rate was found with an interaction with outside temperature and windspeed. Grazing is influencing the validity of the methods for emission measurements. During the hours of grazing no emissions were measured. Therefore, inside in the effect of grazing on emissions is limited. Farms without in-house manure storage have an average methane emission of 128 kg per animal place per year, which is 14% lower compared to farms with a standard slatted floor. Benchmarking offers opportunities to improve management and reduce emissions within a group of comparable farms.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/659372> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

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

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

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

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

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

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Achtergronden bij het project Netwerk Praktijkbedrijven	11
1.2 Rol van emissiemetingen	13
1.3 Afbakening	14
1.4 Leeswijzer	14
<b>2 Literatuur</b>	<b>15</b>
2.1 Ammoniakemissie	15
2.2 Methaanemissie	15
2.3 Onderzochte relaties	16
<b>3 Materiaal &amp; Methode</b>	<b>18</b>
3.1 Overzicht en kenmerken meetlocaties	18
3.2 Emissiebepaling	19
3.2.1 Meetstrategie en -apparatuur	20
3.2.2 Dataverwerking	21
3.2.3 Statistische toetsing	23
3.3 Benchmarking	24
<b>4 Resultaten</b>	<b>25</b>
4.1 Beschikbaarheid gegevens	25
4.2 Bedrijfsgegevens en meetomstandigheden	26
4.3 Resultaten continue metingen	28
4.4 Resultaten puntmetingen	30
4.5 Invloed weidegang op de ammoniakemissie	33
4.6 Relatie tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet	35
4.7 Benchmarking	38
4.7.1 Verschillen tussen groepen	38
4.7.2 Vloertype	39
4.7.3 Weidegang	40
4.7.4 Grondsoort	41
4.7.5 Melksysteem	42
<b>5 Discussie en conclusies</b>	<b>43</b>
5.1 Beperkingen van het onderzoek	43
5.2 Interpretatie van de resultaten	45
5.3 Conclusies	47
<b>Literatuur</b>	<b>48</b>
<b>Bijlage 1: Meetomstandigheden</b>	<b>50</b>



---

# Woord vooraf

Sinds de start maken de emissiemetingen op de onderzoeksbedrijven een belangrijk onderdeel uit van het project Netwerk Praktijkbedrijven. In deze rapportage worden de eerste resultaten gerapporteerd en wordt de opzet van de metingen toegelicht.

Dank aan alle deelnemende melkveehouders en dank aan de medewerkers van het Air Quality Lab (AQL) voor het uitvoeren van de puntmetingen, monsteranalyses en dataverwerking: Klaas Blanken, Leonie Workel, Patrick van Valkengoed, Kevin van Deest, Yvo Goselink, Geert Kupers, Martin Geukes, Tom Rijkers, Johan Ploegaert en Annemieke Hol.

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





---

# Samenvatting

Het project Netwerk Praktijkbedrijven is in 2020 gestart en richt zich op de reductie van de methaan- en ammoniakemissie uit de melkveehouderij door toepassing van integrale managementmaatregelen in de praktijk. Eén van de aanleidingen voor het project is het doel dat voor de melkveehouderij beschreven is in het klimaatakkoord van 2019: de emissie van methaan is in 2030 met 0,8 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten afgenomen door maatregelen op het gebied van dier & voer en mestopslag & bemesting. Een andere aanleiding is de opgave aan de melkveehouderij om de komende jaren een forse reductie van ammoniakemissie te realiseren.

Voor alle maatregelen om de emissie van ammoniak en methaan te verminderen die uit onderzoek en innovatie naar voren komen is de vraag hoe die toegepast kunnen worden op een melkveebedrijf. Daarnaast is het de vraag of de gewenste reductie behaald kan worden, zonder dat dit ten koste gaat van andere aspecten zoals dierenwelzijn, biodiversiteit en waterkwaliteit. Om deze vragen te beantwoorden is een landelijk netwerk van melkveehouders gevormd dat aan de slag is gegaan om de methaan- en ammoniakemissie op hun bedrijf in vier jaar met 30% te verlagen ten opzichte van 2020. Dat doen ze door concrete emissie-reducerende maatregelen te nemen die passen bij hun bedrijf. Daarmee hebben deze bedrijven een voorbeeldfunctie voor overige melkveehouders in Nederland, met als doel om bij te dragen aan emissiereductie in de hele melkveehouderij. De Kringloopwijzer wordt gebruikt om emissiereductie vast te stellen. In totaal nemen bijna 110 melkveehouders deel aan het project. Deze zijn in te delen in drie groepen: onderzoeksbedrijven (18), demonstratiebedrijven (22) en ambassadeurs (67). Deze groepen verschillen in intensiteit van dataverzameling en begeleiding.

Op 15 van de 18 onderzoeksbedrijven, verdeeld over Nederland wordt vanaf maart 2021 ook de stalemethaan- en ammoniakemissie (NH<sub>3</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>) continu met sensoren gemeten. Daarnaast worden puntmetingen uitgevoerd met referentiemethoden. Doel is om, naast de uitkomsten van de Kringloopwijzer, ook de effecten van de genomen managementmaatregelen op de emissie van methaan en ammoniak uit de stallen inzichtelijk te maken. Dit rapport bevat een *tussenstand* van de resultaten van deze emissiemetingen over de periode van maart 2021 tot maart 2024.

De continue metingen op tien van deze bedrijven worden uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, op de vijf andere bedrijven voert FarmGasLive B.V. in opdracht van CLM Onderzoek en Advies deze metingen uit. De meetmethoden van FarmGasLive en Wageningen Livestock Research zijn gelijk, de gebruikte apparatuur voor de continue metingen verschilt. Met sensoren is de concentratie van methaan, ammoniak en koolstofdioxide in de stal gemeten. Concentraties van ingaande lucht is via puntmetingen gemeten. Samen met gegevens over aanwezige dieren en melkproductie wordt de emissie per dag berekend en uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar of kg per GVE per jaar. Alle puntmetingen zijn door Wageningen Livestock Research uitgevoerd. Tijdens puntmetingen wordt de concentratie van ammoniak in de lucht bepaald met wasflessen met zuur en een nat-chemische analysemethode. De concentratie van methaan en kooldioxide wordt bepaald met een gaschromatograaf in de lucht die verzameld is met de longmethode.

De gemiddelde ammoniakemissie over de hele meetperiode was 9,8 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 9,0 kg per dierplaats per jaar op basis van de continue metingen. De gemiddelde methaanemissie over de hele meetperiode was 160 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 153 kg per dierplaats per jaar op basis van de continue metingen. Deze niveaus liggen lager dan de gemiddelde emissies in eerdere studie (Schep et al., 2022). Daar werd een gemiddelde ammoniakemissie van 13,8 en 12,0 kg per dierplaats per jaar en een methaanemissie van 193 en 184 kg per dierplaats per jaar voor respectievelijk puntmetingen en continue metingen gerapporteerd.

Verschillen tussen deze resultaten ontstaan onder andere door een verschillende periode waarover het gemiddelde bepaald wordt. Dat blijkt ook uit het gemiddelde ventilatiedebiet dat tijdens de continue metingen hoger is dan tijdens de puntmetingen. Deze verschillen (8% voor ammoniak en 4% voor methaan)

zijn kleiner dan gerapporteerd in Schep et al. (2022) toen het verschil 13% was voor ammoniak en 5% voor methaan bedroeg.

De ammoniak- en methaanemissie op basis van de continue metingen *tijdens* een puntmeting was respectievelijk 9,1 en 152 kg per dierplaats per jaar. Dit verschil (7% voor ammoniak en 5% voor methaan) is het gevolg van verschillen tussen meetapparatuur voor continue metingen onderling en gebruikte referentiemethode. Ook speelt hier waarschijnlijk mee dat puntmetingen steeds twee kalenderdag bestrijken.

In tabel S1 wordt de gemiddelde emissie, het ventilatiedebiet en de staltemperatuur weergegeven voor de drie afzonderlijke meetjaren. Daaruit blijkt dat de emissie van methaan vrijwel gelijk is gebleven terwijl de emissie van ammoniak in meetjaar 3 met 2,8% is gestegen ten opzichte van meetjaar 1. De verwachting vooraf was dat de ammoniakemissie uit de stal zou dalen als gevolg van voermaatregelen gericht op verlaging van het ruweiwitgehalte. Het ruweiwitgehalte is op basis van de KringloopWijzer met 2% gedaald in 2023 t.o.v. 2021.

**Tabel S1** Gemiddelde waarden van methaanemissie, ammoniakemissie, ventilatiedebiet en staltemperatuur van 15 bemeten bedrijven per meetjaar inclusief de procentuele verandering in meetjaar 3 ten opzichte van meetjaar 1.

Waarde	Meetjaar 1	Meetjaar 2	Meetjaar 3	Verandering
Methaanemissie [kg/dpl/jaar]	154	152	153	0%
Ammoniakemissie [kg/dpl/jaar]	8,8	9,0	9,1	+2,7%
Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /dier/uur]	1250	1270	1369	+9,5%
Staltemperatuur [°C]	13,8	14,6	14,5	+4,0%
Ruw-eiwitgehalte rantsoen [g/kg DS]	158	154	155	-1,9%

Er is een relatie tussen het ventilatiedebiet en de ammoniakemissie gevonden bij verschillende temperatuurranges, waarbij de ammoniakemissie stijgt bij een oplopend ventilatiedebiet. Deze relatie biedt mogelijkheden om de ammoniakemissie te beperken door het verminderen van het ventilatiedebiet. Het hogere ventilatiedebiet en de hogere temperatuur in meetjaar 3 ten opzichte van meetjaar 1 kan ook een mogelijke verklaring zijn voor het toegenomen ammoniakemissie. Zoals weergegeven in Tabel S1 is het ventilatiedebiet door de stal toegenomen met 9,5% in meetjaar 3 ten opzichte van meetjaar 1.

Met benchmarking worden bedrijven binnen een groep vergeleken met het best presterende bedrijf in die groep. Benchmarking is daarmee een hulpmiddel voor vergelijkbare bedrijven bij het analyseren van verschillen in bedrijfsvoering om door aanpassing daarvan de emissie te verlagen. Voor de toepassing van benchmarking zijn bedrijven ingedeeld op basis van vloertype, hoeveelheid weidegang, grondsoort en het soort melksysteem. Uit de indeling in deze groepen blijkt dat verschillen tussen bedrijven zoals bezettingsgraad, aandeel jongvee in de meetstal en melkproductie invloed hebben op de benchmark, maar slechts weinig zeggen over het management. Benchmarking kan echter wel behulpzaam zijn bij achterhalen van andere verschillen tussen bedrijven binnen een groep en het stimuleren van deelnemers zich te verbeteren.

Uit de indeling van de bedrijven naar vloertype blijkt dat de alle bedrijven met A1.100 stalsysteem (reguliere roostervloer; zie Tabel 2) een gemiddelde ammoniakemissie van 9,4 kg per dierplaats per jaar realiseerden die in elk van de meetjaren duidelijk lager was dan de standaard emissiewaarde voor stalsysteem A1.100 van 13 kg per dierplaats per jaar.

Voor de overige stalsystemen met een emissiefactor tussen 6 en 8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar was de gemeten emissie hoger dan de bijbehorende emissiefactor, maar gemiddeld lager dan het reguliere stalsysteem (A1.100). De methaanemissie is gelijk bij emissie-arme en reguliere stalsystemen. Alleen wanneer er geen mestopslag in de stal aanwezig was, is met 128 kg methaan per dierplaats per jaar een 10-14% lagere methaanemissie gemeten dan in stalsystemen met een mestopslag.

Bij bedrijven zonder weidegang is de emissie van ammoniak in de zomer hoger dan in de winter, in tegenstelling tot bedrijven met (beperkte) weidegang. Voor methaan is er bij de bedrijven zonder weidegang een daling te zien in het voorjaar, mogelijk als gevolg van een dalend mestvolume in de stal. Tijdens weidegang ontbreekt echter een groot deel van de CO<sub>2</sub> productie in de stal. Dit is een probleem voor emissiemetingen omdat onzekerheid over de werkelijke productie toeneemt en de concentratieverschillen

---

tussen stal en achtergrond kleiner worden. Tijdens de uren weidegang kan daarom geen emissie berekend worden. Net als bij eerder gerapporteerde emissiemetingen bij een groep praktijkbedrijven (Mosquera et al., 2021; Schep et al., 2022) is in dit rapport aangenomen dat de productie van CO<sub>2</sub> door de aanwezige dieren binnen een dag constant is en dat de emissie van een dag in de uren zonder weidegang een goede inschatting zijn voor de emissie tijdens de uren weidegang. Mogelijk wordt hierdoor echter de ammoniakemissie enigszins overschat.

Met deze rapportage wordt een eerste overzicht gegeven van de resultaten van de emissiemetingen op 15 onderzoeksbedrijven binnen Netwerk Praktijkbedrijven. De emissiemetingen worden nog voortgezet. Verdere analyse en vergelijking met andere bedrijfsaspecten zoals voeding, stalmaatregelen en resultaten van de kringloopwijzer volgen nog in een later stadium van het project.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergronden bij het project Netwerk Praktijkbedrijven

Het project Netwerk Praktijkbedrijven is in 2020 gestart en richt zich op de integrale toepassing van maatregelen in de praktijk om de emissie van ammoniak en methaan van melkveebedrijven te verminderen. Eén van de aanleidingen voor het project is het doel dat voor de melkveehouderij beschreven is in het klimaatakkoord van 2019: de emissie van methaan is in 2030 met 0,8 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten afgenomen door maatregelen op het gebied van dier & voer en mestopslag & bemesting. In het Meerjarige Missie gedreven Innovatieprogramma Landbouw, Water en Voedsel (MMIP) is dat verder uitgewerkt in missie B1 Emissiereductie methaan veehouderij. Om de beoogde reductie te kunnen behalen is op verschillende deelgebieden veel onderzoek ingezet.

Daarnaast wordt van de melkveehouderij verwacht dat zij de komende jaren een forse reductie van ammoniakemissie bewerkstelligt. De precieze reducties en de aanpak zijn per gebied uitgewerkt in de provinciale programma's landelijk gebied.

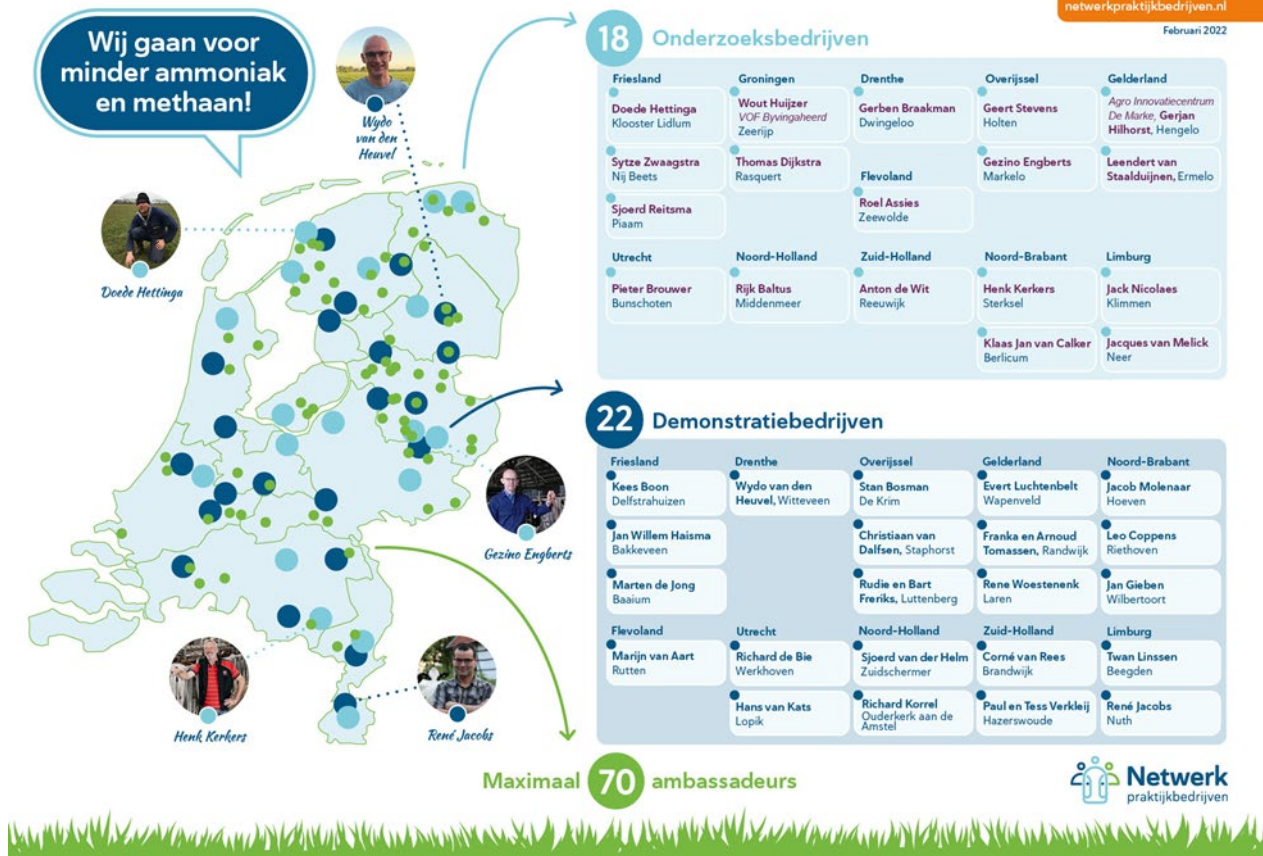
Voor alle managementmaatregelen om de emissie van ammoniak en methaan te verminderen die uit onderzoek en innovatie naar voren komen is de vraag hoe die gecombineerd kunnen worden op een melkveebedrijf. Daarnaast is het de vraag of daarmee de gewenste reductie behaald wordt, zonder dat daarbij andere aspecten als dierenwelzijn, biodiversiteit en waterkwaliteit daaronder lijden. Om deze vragen te beantwoorden is een landelijk netwerk van melkveehouders gevormd dat aan de slag is gegaan met de uitdaging gelijktijdig de emissie van methaan en ammoniak op hun bedrijf met 30% te verlagen. Dat doen ze door concrete emissie reducerende (management)maatregelen te nemen die passen bij hun bedrijf. Daarmee zijn deze bedrijven een voorbeeld en inspireren ze de overige melkveehouders in Nederland, met als doel dat in de hele melkveehouderij de emissie van methaan en ammoniak verminderen. Het meetinstrument bij het vaststellen van de reductie bij de deelnemer is de Kringloopwijzer en als referentie worden de uitkomsten van de berekeningen in de Kringloopwijzer van 2020 genomen. Het project is een initiatief van LTO Noord en Wageningen Livestock Research (WLR) en wordt uitgevoerd in samenwerking met verschillende partners waaronder CLM Onderzoek en Advies (CLM). In totaal nemen bijna 110 melkveehouders deel aan het project. Deze zijn in te delen in drie groepen (zie Figuur 1) verdeeld over Nederland (Figuur 2):

- Onderzoeksbedrijven (18)
- Demonstratiebedrijven (22)
- Ambassadeurs (67)

Deze groepen verschillen in intensiteit van dataverzameling en begeleiding.

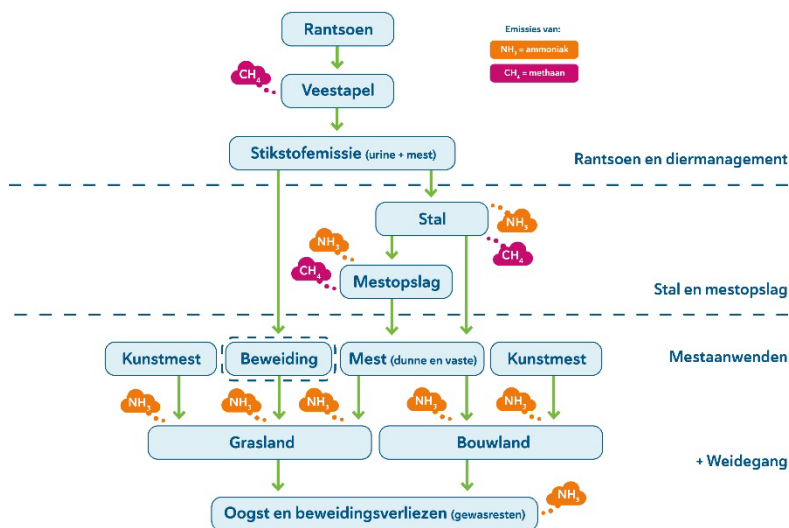


**Figuur 1** Overzicht van de drie groepen deelnemers aan het Netwerk Praktijkbedrijven en de bijbehorende rol.

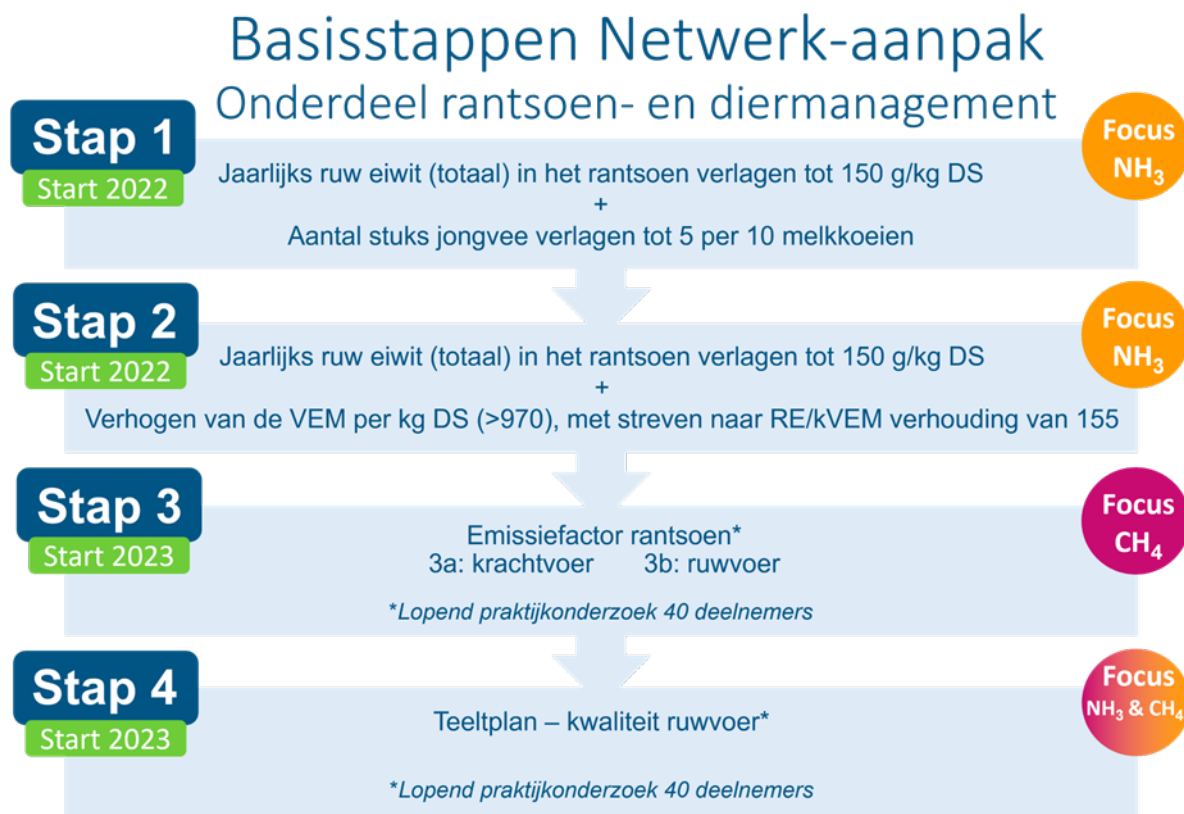


**Figuur 2** Overzicht van de verdeling van de onderzoeksbedrijven, demonstratiebedrijven en ambassadeurs over Nederland.

Om de reductiedoelen te bereiken is een routeplan en een stappenplan uitgezet. Het routeplan (Figuur 3) laat zien op welke onderdelen van het melkveebedrijf de emissie van methaan en ammoniak plaatsvinden en dus gereduceerd kunnen worden. Het stappenplan (Figuur 4) geeft een volgorde van concrete maatregelen aan waarmee deze reductie ook gerealiseerd kan worden.



**Figuur 3** Routeplan voor reductie van methaan- en ammoniakemissie op melkveebedrijven binnen Network Praktijkbedrijven.



**Figuur 4** Stappenplan van managementmaatregelen voor reductie van methaan- en ammoniakemissie op melkveebedrijven binnen Netwerk Praktijkbedrijven.

Het stappenplan is in eerste instantie gericht op het reduceren van de ammoniakemissie door het verlagen van het ruw-eiwit (RE) gehalte in het rantsoen en beperken van het aandeel aangehouden jongvee op het bedrijf. In stap drie en vier wordt ook via het voerspoor gewerkt aan de verlaging van de methaanemissie door pensfermentatie en wordt ook de ruwvoerwinning en beweiding betrokken. Op de onderzoeksbedrijven wordt getoetst of de voorgestelde stappen haalbaar zijn en het gewenste effect opleveren. Dit gebeurt met intensieve ondersteuning van een bedrijfsbegeleider uit het project en met uitgebreide dataverzameling door de veehouder en onderzoekers van WLR en CLM. Op de demonstratiebedrijven worden deze maatregelen ook toegepast, is er ook intensieve begeleiding, maar worden er veel minder data verzameld. Door de verschillen in bedrijfstypes wat betreft omvang, intensiteit, grondsoort etc. ontstaat zo wel een beter beeld van de werking van de maatregelen en eventuele aanpassingen die moeten gedaan om effectief te zijn. De ambassadeurs tenslotte gaan hierna met de maatregelen aan de slag, verspreiden de resultaten en ervaringen en geven feedback. Op de onderzoeksbedrijven worden ook eenvoudige stalmaatregelen (stalmanagement) toegepast die moeten leiden tot een extra reductie van 10-15% van de emissie van methaan en ammoniak.

Het opzetten van het netwerk, het begeleiden van de verschillende groepen melkveehouders, het opstarten en structureren van de dataverzameling en -verwerking en het organiseren van communicatiemateriaal en activiteiten heeft de afgelopen jaren veel tijd en energie gekost. Inmiddels zijn gegevens en resultaten van bijna drie jaar dataverzameling beschikbaar. Dit rapport geeft voor een specifiek onderdeel daarvan, namelijk de resultaten van de emissiemetingen in de stal, een tussenstand.

## 1.2 Rol van emissiemetingen

Op 15 van de 18 onderzoeksbedrijven worden emissiemetingen uitgevoerd om de emissie van methaan en ammoniak uit de melkveestal te bepalen. Doel van de emissiemetingen is om naast de uitkomsten van de Kringloopwijzer de effecten van de genomen managementmaatregelen op de emissie van methaan, ammoniak en lachgas uit de stallen inzichtelijk te maken. Daarnaast bieden deze emissiemetingen de

---

mogelijkheid om de in de Kringloopwijzer berekende ammoniak en methaan uit stal en mestopslagen te vergelijken met de werkelijk gemeten stalemissies.

## 1.3 Afbakening

In dit rapport worden de emissiemetingen vanaf de start van het project tot en met februari 2024 beschreven. Het gaat hierbij om zowel de continue emissiemetingen als de puntmetingen die als referentie dienen voor de continue metingen. De start van de emissiemetingen is niet voor alle bedrijven gelijk. De meting van de lachgasemissie heeft alleen plaatsgevonden tijdens de puntmetingen. Relaties met de uitkomsten van de kringloopwijzer worden in deze fase nog niet gelegd. In de tweede helft van 2024 wordt hiermee begonnen.

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de processen die in een melkveeststal leiden tot de vorming en emissie van methaan en ammoniak. In hoofdstuk 3 volgt een beschrijving van de gebruikte meetmethoden en materialen die gebruikt zijn voor de meting van de stalemissies. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van de metingen beschreven en in het laatste hoofdstuk (5) volgt de discussie en worden enkele conclusies getrokken.



---

## 2 Literatuur

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de principes die leiden tot de vorming en emissie van ammoniak en methaan. Daarnaast worden de factoren besproken die invloed hebben op deze emissies en waar wetenschappelijke consensus over is. Een aantal van die factoren is ook in de data-analyse van deze rapportage meegenomen.

### 2.1 Ammoniakemissie

Ureum is een restproduct van het eiwitmetabolisme in het dier en wordt door melkkoeien uitgescheiden in de melk en de urine. Verlaging van de eiwitopname of -benutting heeft daarom een direct effect op de ammoniakemissie (Tamminga, 1992). Eenmaal uitgescheiden wordt het ureum in de urine omgezet in ammoniak door het enzym urease dat geproduceerd wordt door in de darmen aanwezige bacteriën (Elzing & Monteny, 1997). Urease is in overmaat aanwezig in de mest en in met mest besmeurde oppervlakten, maar ook in de bodem. De omzetting van ureum in een urineplas komt direct op gang na een urine-lozing. Het merendeel van de gevormde ammoniak blijft in oplossing als ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), waar het in evenwicht is met opgelost ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en waterstofionen ( $\text{H}^+$ ). In een statische situatie is de opgeloste ammoniak in evenwicht met gasvormig ammoniak in de lucht boven het emitterende oppervlak (bijvoorbeeld een plas urine en/of mest). In een dynamische situatie zoals in een stal ontstaat een luchtlaag boven de urineplas met een verhoogde ammoniakconcentratie die voortdurend ververst wordt als gevolg van luchtbeving over het oppervlak. De concentratie van ammoniak (l) in de urineplas piekt op ongeveer één tot twee uur na de lozing (Monteny et al., 1998).

Reductiemogelijkheden voor ammoniakemissie grijpen in op deze evenwichtsreacties en het voorkómen van de vorming van ammoniak. Met voermaatregelen kan de stikstofuitscheiding via mest en met name de urine van de dieren worden verminderd. Wanneer de urine vervolgens niet in contact komt met mest besmeurd oppervlak, wordt er minder snel ammoniak gevormd. Als het niet mogelijk is de urine direct op te vangen kan het beperken van de blootstelling van de urine op de vloer (en dus snelle afvoer van urine) zorgen voor minder ammoniakemissie. Ook beperking van de bacteriële activiteit of de aanwezige hoeveelheid urease leidt tot minder (snelle) ammoniakvorming. De emissie van reeds gevormd ammoniak kan worden beperkt door verlaging van de zuurgraad (pH) en/of temperatuur in de mest en urine, waardoor de evenwichtsreactie in oplossing meer richting ammonium schuift. Ook verlagen van de concentratie van ammoniak/ammonium door verdunning met water zorgt voor minder emissie. De evenwichtsreacties met ammoniak in gasvorm zijn vooral afhankelijk van het concentratieverschil tussen de luchtlagen onderling of de emitterende mestoppervlakte met de grenslaag lucht. Vermindering van luchtbeving over de emitterende oppervlakte reduceert daarmee de emissie van ammoniak. Dit wordt in mestopslagen buiten de stal bereikt door deze af te dekken. In mestopslagen onder de vloer (kelders) wordt de luchtuitwisseling met de rest van de stal beperkt door het afdichten van de mestkelder. Daarnaast is verkleining van de emitterende oppervlakte, zowel op de vloer als in de mestkelder, een reductiemogelijkheid. Tot slot spelen ook individuele dierfactoren zoals productieniveau een rol bij de ammoniakemissie (Groenestein, 2006; Mosquera et al., 2017).

### 2.2 Methaanemissie

De vorming van methaan (methanogenese) is een biologisch proces dat onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden plaatsvindt. In een melkveestal zijn er twee belangrijke bronnen van methaan: de dieren en de mest. Bij herkauwers ontstaat methaan in de pens tijdens de vertering van voedermiddelen. Het grootste deel van het methaan verlaat het dier via de longen. Methaan in mest ontstaat als organische stof in de mest wordt afgebroken. Dit proces vindt in het hele mestvolume plaats en niet zoals bij ammoniak vooral in het oppervlak. In tegenstelling tot ammoniak is methaan slecht oplosbaar in water. Hierdoor is in de processen

---

die na de vorming van methaan leiden tot de emissie praktisch geen sprake van een evenwichtsreactie. De emissie van methaan wordt daarmee ook niet beïnvloed door luchtbeweging over het mestoppervlak. Toch kan het verloop van de processen of de hoogte van de methaanemissie wel beïnvloed worden. Op een melkveebedrijf is circa 20-25% van de methaanemissie afkomstig uit mest(opslag) en 75-80% van de dieren (zogenaamde enterisch methaan door fermentatie in de pens) (Šebek et al., 2014).

Reductiemogelijkheden voor methaanemissie kunnen ingrijpen op de mest. Wanneer zo snel mogelijk voor aerobe omstandigheden gezorgd wordt stopt de methanogenese. Dit is echter praktisch moeilijk te realiseren. Mogelijk dat ook gedeeltelijke of tijdelijke aerobe omstandigheden bijdragen aan een vermindering van de methaanemissie. Bij een lagere (mest)temperatuur verlopen biologische processen (waaronder methanogenese) trager. Beneden de 10 graden Celcius stopt de vorming van methaan vrijwel geheel (Zeeman, 1991; Sommer et al., 2004; Elsgaard et al., 2016). Ook een lagere pH van de mest resulteert in remming van de methaanvorming en daarmee een lagere methaanemissie (Petersen et al. 2012). Het verwijderen van (een deel) van de mest verlaagt de emissie van methaan uit de stal, maar bij ongewijzigde omstandigheden zal deze methaanemissie echter wel alsnog buiten de stal plaatsvinden. Daarnaast zijn er reductiemogelijkheden die ingrijpen op het de vorming van de enterische methaanproductie. Dit kan onder andere via (de methaanemissiefactor van) het rantsoen of additieven. Daarover is een grote veelheid aan literatuur beschikbaar. Šebek et al. (2014) beschrijven een aantal reductieopties en geven een overzicht van de impact die deze hebben op de methaanemissie op een melkveebedrijf. Net als bij de emissie van ammoniak is de variatie tussen dieren groot en speelt die een belangrijke rol in de spreiding in emissie op bedrijfsniveau.

## 2.3 Onderzochte relaties

Naast de emissie van ammoniak en methaan zijn op de onderzoeksbedrijven ook veel andere gegevens vastgelegd. Dit biedt mogelijkheden voor het verklaren van niveau en verschillen in de tijd binnen een bedrijf en tussen bedrijven van de gemeten ammoniak- en methaanemissie. Voor de relatie met ammoniakemissie zijn onderstaande parameters in de data-analyse opgenomen:

- Ventilatieniveau: de emissie van ammoniak stijgt naarmate de luchtsnelheid langs het emitterend oppervlak van de vloer en/of de mestkelder hoger is (Mosquera et al., 2017). Een hoger ventilatieniveau kan daarmee tot hogere ammoniakemissies leiden (Smits en Huis in 't Veld., 2006).
- Omgevingstemperatuur: temperatuur verhoogt de snelheid waarmee chemische processen plaatsvinden. Ook de ammoniakemissie zal daarmee hoger zijn bij een hogere omgevingstemperatuur. Daarnaast kan een hogere staltemperatuur indirect leiden tot een toename van ventilatie en daarmee luchtsnelheid, wat de emissie eveneens zal verhogen (Mosquera et al., 2017).

Overige zinvolle relaties die in een later stadium onderzocht gaan worden zijn:

- Melkureum gehalte: het ureumgehalte in de melk (en urine) is een maat voor de eiwit efficiëntie van de koeien, waar via voeding op te sturen is (Spek et al., 2013). Ook is een relatie tussen melkureum en ammoniakemissie in praktijkdata aangetoond (Ogink et al., 2013).
- Melkproductie per koe: de stikstofexcretieforfaits per melkkoe worden berekend aan de hand van de combinatie van melkureum gehalte en melkproductie per koe per jaar (tabel 6 uit de meststoffenwet). Zowel een stijging in melkureum, als een stijging in melkproductieniveau, leiden tot een hogere stikstofexcretie. Tussen melkproductie en melkureum lijkt geen verband te zijn (De Brabander et al, 1999).
- Mestoppervlakte: de emissie van ammoniak neemt toe naarmate de met mest besmeurde oppervlakte toeneemt. Dit geldt zowel op de stalvloer, in de mestkelder als in de mestopslag (Mosquera et al., 2017) .

De factor vloertype wordt in dit rapport gebruikt om de onderzoeksbedrijven in verschillende groepen in te delen (zie paragraaf 3.3).

- 
- Vloertype: binnen het project zijn naast de standaard roostervloer verschillende soorten emissiearme vloeren aanwezig (Rav-codes A1.13, A1.14, A1.15, A1.26) met elk een eigen emissiefactor (zie bijlage 1 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav))<sup>1</sup>

Voor de relatie met methaanemissie zijn onderstaande parameters in de data-analyse zinvol:

- Opslagduur: de vorming van methaan is een biologisch proces dat alleen onder anaerobe omstandigheden plaatsvindt. Hoe langer mest onder anaerobe omstandigheden onafgedekt opgeslagen blijft, des te meer methaan kan vormen en emitteren (Šebek et al, 2014).
- Melkproductie per koe: een hogere melkproductie is gekoppeld aan een hogere voeropname en waardoor er meer methaan gevormd kan worden.
- Mestvolume in de mestkelder: doordat methaan onder anaerobe omstandigheden ontstaat, betekent een groter mestvolume een hogere methaanemissie. Er zijn vanuit de praktijk indicaties dat het overpompen van mest uit de kelder direct terug te zien is in de methaanemissie.
- Temperatuur: in de huidige studie is de mesttemperatuur niet beschikbaar maar kan de buitentemperatuur als proxy gebruikt worden. Echter moet hierbij de bufferende werking van de bodem op de temperatuur van het mestvolume in acht worden genomen.

Deze zullen later opgenomen worden in een analyse.

---

<sup>1</sup> De Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) is per 1 januari 2024 vervallen. In de omgevingswet van maart 2016 die per 1 januari 2024 in werking is getreden wordt een andere codering voor emissie reducerende huisvestingssystemen gehanteerd.

# 3 Materiaal & Methode

In het hoofdstuk materiaal en methoden wordt een beschrijving gegeven van de 15 onderzoeksbedrijven, de stallen waarin de metingen hebben plaatsgevonden, de gebruikte meetmethoden en -apparatuur en de overige data die verzameld is op de bedrijven voor de duiding van de emissieniveaus en verklaring van de verschillen. Een uitgebreidere verantwoording van de verzamelde gegevens en gebruikte methoden daarvoor is beschikbaar in Mosquera et al. (2021) en Schep et al. (2022).

## 3.1 Overzicht en kenmerken meetlocaties

In onderstaande tabellen staan een aantal bepalende kenmerken voor onderzoeksbedrijven waar emissiemetingen zijn uitgevoerd (Tabel 1). Het gaat om gegevens tijdens start van het project Netwerk Praktijkbedrijven in 2020. In tabel 2 is een aantal kenmerken opgenomen van de melkveestallen waarvan de emissie bepaald is. Onderdeel van de afspraken met de deelnemende veehouders is dat de resultaten niet herleidbaar zijn tot individuele bedrijven. Daarom zijn de deelnemende bedrijven weergegeven als nummer. Ook agro-innovatiecentrum De Marke is één van de deelnemende bedrijven. De resultaten die daar behaald worden kunnen wel benoemd worden en worden later in dit rapport ook verder besproken. De Marke is bedrijfsnummer 6.

**Tabel 1** Overzicht bedrijfskenmerken van onderzoeksbedrijven bij de start van het project (2020).

Bedrijf	Meetinstantie	Aantal melkkoeien [#]	Areaal [ha]	Intensiteit [kg FPCM/ha]	Grondsoort	Biologisch	Weidegang	
							dagen x uren	Uren/jaar
1	WLR	83	104	7508	Klei	Nee	-	
2	WLR	120	45	27416	Klei	Nee	-	
3	CLM	120	135	7009	Zand	Ja	220x14	3080
4	WLR	160	109	14796	Zand	Nee	200x6	1200
5	WLR	160	84	21833	Zand	Nee	150x5	750
6	WLR	85	55	15333	Zand	Nee	130x7	910
7	WLR	90	80	6961	Veen	Ja	200x20	4000
8	WLR	400	194	18735	Klei	Nee	120x6	720
9	CLM	200	58	29894	Zand	Nee	120x6	720
10	WLR	120	68	16568	Klei	Nee	200x8	1600
11	WLR	125	60	17104	Klei	Nee	236x10	2360
12	CLM	180	78	16721	Löss	Nee	120x6	720
13	CLM	135	68	18734	Klei	Nee	120x6 <sup>2</sup>	720
14	WLR	110	65	14265	Zand	Nee	120x7	840
15	CLM	160	155	10169	Veen	Nee	120x6	720

<sup>2</sup> Sinds de start van de metingen in 2021 is geen weidegang meer toegepast.

**Tabel 2** Selectie van kenmerken van de bemeten melkveestal.

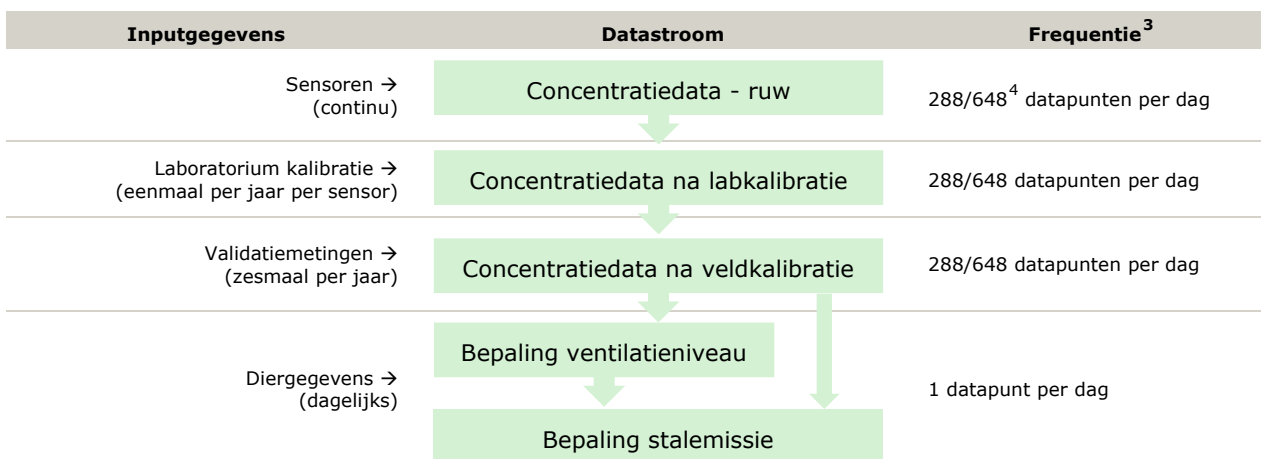
Bedrijf	Dierplaatsen [#]	Looppoppervlak [m <sup>2</sup> .dpl <sup>-1</sup> ]	Vloertype	Rav-Code	Rav EF NH <sub>3</sub> [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]	Mestopslag-capaciteit [m <sup>3</sup> ]	Startdatum
1	174	3,3	Roostervloer	A1.100	13	3500	08-03-2021
2	190	3,2	Roostervloer	A1.100	13	2700	01-03-2021
3	126	NB	Roostervloer	A1.13	6	1700	23-10-2021
4	217	4,2	Roostervloer	A1.100	13	3400	01-03-2021
5	192	4,5	Dichte vloer	A1.14	8	3700	01-03-2021
6	115	3,5	Dichte vloer	A1.15	11,8	580	01-03-2021
7	122	3,1	Roostervloer	A1.100	13	1600	01-03-2021
8	280	4,5	Dichte vloer	A1.26	8	0	06-04-2021
9	192	4,8	Dichte vloer	A1.14	7	3700	23-07-2021
10	148	4,7	Roostervloer	A1.100	13	3000	01-03-2021
11	144	6,5	Roostervloer	A1.100	13	3500	09-04-2021
12	145	NB	Dichte vloer	A1.26	8	0	21-10-2021
13	215	3,2	Roostervloer	A1.100	13	2000	06-09-2021
14	132	3,6	Dichte vloer	A1.100	13	0	16-03-2021
15	128	NB	Dichte vloer	A1.100	13	0	26-08-2021

## 3.2 Emissiebepaling

Bij de start van het project is op 15 van de 18 onderzoeksbedrijven een emissie monitoringsysteem geïnstalleerd waarmee de stalemissie dagelijks berekend wordt. In verband met een stalaanpassing op één van de onderzoeksbedrijven is er besloten om per 1 november 2022 te stoppen met de emissiemetingen op dit bedrijf. Op tien van deze 15 bedrijven zijn de emissiemetingen uitgevoerd door WLR en op de overige vijf door CLM. De meetmethode en meetstrategie was voor beide meetinstanties gelijk. De apparatuur voor de continue metingen verschilde. De puntmetingen zijn op alle bedrijven uitgevoerd door WLR.

Tabel 3 geeft schematisch weer hoe de gegenereerde concentratiegegevens via aanvullende data berekend worden tot emissiewaarden op dagbasis. De verschillende inputgegevens worden in dit hoofdstuk besproken.

**Tabel 3** Schematisch overzicht van de datastromen voor emissieberekening met inputgegevens en frequentie.



<sup>3</sup> Het aantal datapunten bij volledig opstellen. Bij weidegang zijn minder datapunten per dag beschikbaar.

<sup>4</sup> Wageningen Livestock Research/Farm Gas Live

### 3.2.1 Meetstrategie en -apparatuur

De stalemissie wordt bepaald via een verschilmeting tussen concentratie van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), methaan ( $\text{CH}_4$ ) en kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) in de ingaande en uitgaande lucht van de stal. De hoeveelheid  $\text{CO}_2$  die in de stal aan de lucht is toegevoegd per kubieke meter lucht is een maat voor het ventilatiedebiet. Om een schatting van de  $\text{CH}_4$  en  $\text{NH}_3$  emissie te maken zijn de volgende gegevens nodig:

- De concentratie  $\text{CH}_4$  en  $\text{NH}_3$  van de uitgaande lucht;
- De concentratie  $\text{CH}_4$  en  $\text{NH}_3$  van de ingaande lucht en
- Het ventilatiedebiet.

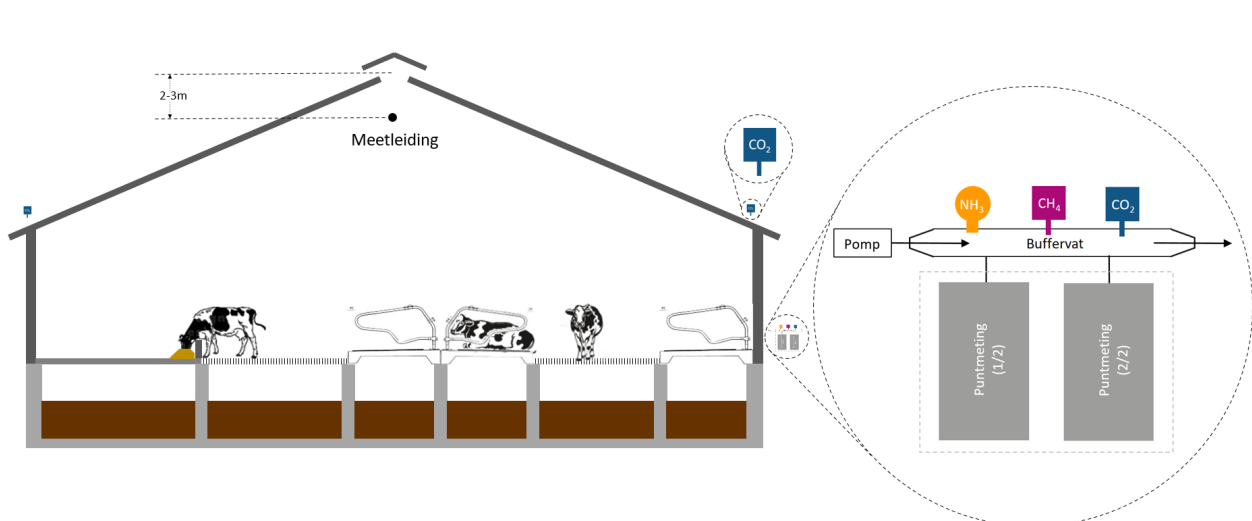
#### 3.2.1.1 Continue metingen

Om de gegevens, zoals benoemd in Tabel 3, te verzamelen is de meetopstelling zoals afgebeeld in Figuur 5 geïnstalleerd op de 15 stalmeetbedrijven. Op 2-3 meter onder de nok van de stal is een verzamelleiding ( $\varnothing$  1/4 inch) bevestigd over de volledige lengte van de stal met elke 7-10 meter een monsternamepunt. Dit monsternamepunt bestaat uit een stoffilter (10  $\mu\text{m}$ ) en een kritische opening resulterend in een flow van 400-500 ml/min. Op de locaties gemeten door CLM was deze flow per monsternamepunt 300 ml/min.

Lucht uit de monsternameleiding wordt aangezogen door een pomp (WLR: LABOPORT® Membraan vacuümpomp model N840.1.2FT.18, KNF Verder BV; CLM: LABOPORT® Membraan vacuümpomp model N816.3 KT.18, KNF Verder BV) en naar een buffervat gevoerd waarop de meetapparatuur voor de doelgasen  $\text{CH}_4$  en  $\text{NH}_3$  en het tracergas  $\text{CO}_2$  zijn aangesloten. Het buffervat heeft een opening waardoor de luchtdruk in de meetbuis nagenoeg gelijk is aan de omgevingsdruk.

De gebruikte meetapparatuur is:

- Voor  $\text{NH}_3$ :
  - WLR: meting in de luchtstroming door de meetbuis met een elektrochemische sensor Dräger Polytron® 8000 (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Duitsland).
  - CLM: meting door aanzuigen van lucht uit het buffervat met een foto-akoestische infrarood laser (LSE-NH3 1700).
- Voor  $\text{CH}_4$ :
  - WLR: meting door aanzuigen van lucht uit de meetbuis met NDIR analyzer ABB-Uras26 (ABB, Duitsland) en een flow van ca. 1 L/min.
  - CLM: meting door aanzuigen van lucht uit het buffervat met een foto-akoestische infrarood laser (LSE-CH4)
- Voor  $\text{CO}_2$ :
  - WLR: meting in de luchtstroming door de meetbuis met een NDIR sensor Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252 (Vaisala GmbH, Duitsland).
  - CLM: meting door aanzuigen van lucht uit de meetbuis met NDIR sensor (Vaisala GMP 251, Vaisala GmbH, Duitsland) ingebouwd in zowel de LSE-NH3 als de LSE-CH4.



**Figuur 5** Schematische weergave van de onderdelen van het gebruikte meetsysteem voor continue emissiemetingen.

### 3.2.1.2 Puntmetingen

Minimaal zesmaal per jaar zijn er op alle locaties aanvullende metingen (puntmetingen) uitgevoerd. De resultaten van deze metingen zijn gebruikt om de meetapparatuur voor continue metingen te ijken en tevens voor het berekenen van stalemissies. Tijdens de puntmetingen is er gedurende 24 uur een luchtmonster genomen van de stallucht en de buitenlucht (zie Figuur 5). Deze monsters zijn geanalyseerd in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR) in Wageningen. De metingen zijn per meetpunt in duplo uitgevoerd gebruik makend van de volgende methoden:

- NH<sub>3</sub>: nat-chemische methode volgens Mosquera et al. (2019) met spectro-fotometrische bepaling.
- CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O: longmethode volgens Mosquera et al. (2020) met analyse van de monsterlucht met behulp van gaschromatografie.

Verdere details over gebruikte meetapparatuur is te vinden in Mosquera et al. (2021) en Schep et al. (2022).

## 3.2.2 Dataverwerking

### 3.2.2.1 Labkalibratie

De ruwe sensorgegevens zijn gecorrigeerd aan de hand van een sensor-specifieke kalibratielij die voorafgaand aan de metingen in het laboratorium van Wageningen Livestock Research is bepaald.

### 3.2.2.2 Controle van gegevens

De concentraties na toepassing van de laboratorium kalibratielij (zie Tabel 3) zijn gecontroleerd op onrealistische waarden en/of metingen buiten het meetbereik van de apparatuur (WLR). Daarbij zijn de volgende criteria gehanteerd alvorens een veldkalibratielij toe te passen.

**Tabel 4** Selectiecriteria voor datafiltering na toepassen van de labkalibraties.

	Ondergrens	Bovengrens
Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )	200 ppm	3000 ppm
Methaan (CH <sub>4</sub> )	0 ppm	200 ppm
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	0 ppm	10 ppm
Temperatuur (T)	-10 °C	35 °C
Relatieve vochtigheid (RV)	0%	100%

In het onderzoek is een methaansensor gebruikt met een meetbereik van 0-100 ppm. Wanneer de methaanconcentratie boven de 100 ppm kwam, wat sporadisch gebeurde, is de methaanconcentratie benaderd door de CO<sub>2</sub> concentratie te vermenigvuldigen met de daggemiddelde CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> verhouding.

### 3.2.2.3 Veldkalibratie

De lab gekalibreerde sensorwaarden zijn gecorrigeerd door de sensoren te ijken op de puntmetingen. Deze ijklijnen zijn sensor specifiek bepaald door een lineaire regressie toe te passen tussen de puntmetingen (y) en de gemiddelde sensorrespons gedurende een puntmeting (x). Wanneer er minder dan 3 puntmetingen beschikbaar waren voor een sensor, is het gemiddelde verschil tussen sensor en puntmeting als correctie gebruikt. Voor het bepalen van een correctie moet minimaal 80% van de sensorrespons gedurende een puntmeting tussen de grenswaarden uit Tabel 4 liggen.

Grote afwijkingen tussen sensorrespons en puntmeting kunnen duiden op een fout. Hiervoor is een filter toegepast waardoor punten waarbij de 'Cook's distance' > 4 x de gemiddelde 'Cook's distance' van een sensor, niet meegenomen zijn in de lineaire regressie.

### 3.2.2.4 Controle veldgekalibreerde waarden

Nadat de sensorwaarden gecorrigeerd zijn aan de hand van de veldkalibratielij, zijn de sensorwaarden wederom gefilterd met de selectiecriteria uit Tabel 5 om te komen tot realistische sensorwaarden.

**Tabel 5** Selectiecriteria voor datafiltering na toepassen van de veldkalibraties.

	Ondergrens	Bovengrens
Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )	320 ppm	3000 ppm
Methaan (CH <sub>4</sub> )	0 ppm	200 ppm
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	0 ppm	10 ppm
Temperatuur (T)	-5 °C	35 °C
Relatieve vochtigheid (RV)	20%	100%

### 3.2.2.5 Gemiddelde concentratie per dag

De veldgekalibreerde sensorwaarden zijn geaggregeerd naar daggemiddelden om het ventilatieniveau en de emissie te bepalen. De registratie van de aanwezigheid van de dieren in de stal is daarin cruciaal. Daarom speelt weidegang een belangrijke rol bij het bepalen van de dagelijkse emissies. In Schep et al. (2022) zijn de achtergronden daarvan verder toegelicht. Weidegang is dagelijks bijgehouden door de deelnemende melkveehouders. De geregistreerde weidegangperiode is uitgebreid met een uur aan de voor- én achterkant om te corrigeren voor eventuele onnauwkeurigheid in notatie én om te komen tot een evenwichtssituatie in de stalconcentraties. De gemiddelde concentraties per dag zijn bepaald op basis van de periode dat de dieren in de stal aanwezig waren.

De daggemiddelde concentratie van CH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub> in de ingaande lucht is bepaald door het rollend gemiddelde van 2 puntmetingen. De meetapparatuur zoals gebruikt door CLM is weliswaar in staat om de achtergrondconcentraties van CH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub> continu te meten, maar vanwege consistentie is ervoor gekozen om voor alle bedrijven dezelfde meetmethode toe te passen. De CO<sub>2</sub> concentratie is aan beide zijden van de stal wél op continue basis gemeten op alle bedrijven. De achtergrondconcentratie van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub> is daarmee aan beide inlaatzijden van de stal bekend. Onder de aanname dat de inlaatzijde met de laagste concentratie ook de daadwerkelijke inlaatzijde is geweest, is de minimumconcentratie gebruikt als schatting voor de ingaande lucht. Hiervan is vervolgens het daggemiddelde bepaald.

### 3.2.2.6 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet van een stal ( $VR_i$  in m<sup>3</sup>/uur) is op dagbasis bepaald met behulp van de geschatte CO<sub>2</sub>-productie in de stal ( $PCO2_i$ ; in m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/uur) en de daggemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie na veldkalibratie in de uitgaande lucht ( $C_i^{stal}$ ; in ppm) en in de ingaande lucht ( $C_i^{buiten}$ ; in ppm) volgens:

$$VR_i = PCO2_i * \frac{C_i^{stal} - C_i^{buiten}}{10^6}$$

De CO<sub>2</sub>-productie in de stal is berekend met behulp van de CIGR-rekenregels (Pedersen en Sällvik, 2002; Pedersen et al., 2008), op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren ( $m$ ; kg), de gemiddelde drachtijd ( $p$ ; dagen in dracht), de melkproductie ( $Y_1$ ; kg melk/dag per dier), en bij jongvee de gewichtstoename ( $Y_2$ ; kg/dag) en energiewaarde van het voer ( $M$ ; MJ/kg droge stof). De gebruikte rekenregels zijn:

$$PCO2 \text{ (melkgevende koeien)} = a * (5,6 * m^{0,75} + 22 * Y_1 + 1,6 * 10^{-5} * p^3) / 1000$$

$$PCO2 \text{ (droge koeien)} = a * (5,6 * m^{0,75} + 1,6 * 10^{-5} * p^3) / 1000$$

$$PCO2 \text{ (jongvee, drachtig)} = a * \left( 7,64 * m^{0,69} + Y_2 * \left( \frac{23}{M} - 1 \right) * \left( \frac{57,27 + 0,302 * m}{1 - 0,171 * Y_2} \right) + 1,6 * 10^{-5} * p^3 \right) / 1000$$

$$PCO2 \text{ (jongvee, niet drachtig)} = a * \left( 7,64 * m^{0,69} + Y_2 * \left( \frac{23}{M} - 1 \right) * \left( \frac{57,27 + 0,302 * m}{1 - 0,171 * Y_2} \right) \right) / 1000$$

De parameter  $a$  geeft aan wat de verwachte CO<sub>2</sub>-productie per hpu<sup>5</sup> is. Volgens Pedersen et al. (2008) moet bij melkvee voor metingen op stalniveau een waarde van  $a = 0,2$  m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/uur per hpu aangenomen worden. Melkproductie werd dagelijks vastgelegd. Melksamenstelling werd regelmatig met melkcontrole bepaald. Voor de andere benodigde parameters (diergewicht, dagen in dracht en voor jongvee de energiewaarde van

<sup>5</sup> hpu: heat producing unit. 1 hpu komt overeen met 1000 W voelbare, metabolische warmteproductie.



het voer en de gewichtstoename), werden de standaardwaarden van Tabel 6 voor het CO<sub>2</sub>-productiemodel gebruikt.

**Tabel 6** Standaardwaarden voor een aantal productiegegevens voor de CO<sub>2</sub>-productiemodel (Ogink et al., 2017).

Diercategorie	Gewicht (kg)	Dagen in dracht (dagen)	Energiewaarde voer (MJ/k ds)	Gewichtstoename (kg/dag)
Melkgevende koeien	650	160	---	---
Droge koeien	650	220	---	---
Jongvee, drachtig	400	140	10	0,6
Jongvee, niet drachtig	250	---	10	0,6

De totale CO<sub>2</sub>-productie in de stal (m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/uur) bij een standaardtemperatuur van 20 °C wordt bepaald als:

$$PCO_2 = PCO_2 (\text{melkgevende koeien}) * \text{aantal melkgevende koeien} + PCO_2 (\text{droge koeien}) * \text{aantal droge koeien} + PCO_2 (\text{jongvee, drachtig}) * \text{aantal jongvee (drachtig)} + PCO_2 (\text{jongvee, niet drachtig}) * \text{aantal jongvee (niet drachtig)}$$

Aangezien tijdens de metingen de staltemperatuur ( $t_{\text{stal}}$ ) anders is dan 20°C, is een correctiefactor toegepast om de werkelijke CO<sub>2</sub>-productie PCO<sub>2</sub> in de stal te bepalen (Pedersen et.al. 2002):

$$PCO_2 = PCO_2 * (1000 + 4 * (20 - t_{\text{stal}})) / 1000$$

Op een aantal locaties (Bedrijf 3, 9, 12, 13, 15) (zie Tabel 2) is de temperatuur in de stal niet gemeten. Aangezien de staltemperatuur nodig is om de bovengenoemde correctie toe te passen, is voor deze bedrijven de staltemperatuur geschat op basis van de buitentemperatuur bij de dichtstbijzijnde KNMI-weerstation en de relatie tussen de staltemperatuur en de buitentemperatuur uit Mosquera et al. (2021).

### 3.2.2.7 Emissiebepaling

De ammoniak- en methaanemissie zijn bepaald aan de hand van het ventilatiedebiet en het concentratieverschil op dagbasis van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> tussen ingaande en uitgaande lucht. Aan de hand van onderstaande formule is vervolgens de emissie berekend. Voorwaarden voor het berekenen van de emissie waren:

1. De dieren waren minimaal 14 uur aanwezig in de stal
2. Het CO<sub>2</sub>-concentratieverschil tussen ingaande en uitgaande lucht is groter dan 50 ppm
3. Het NH<sub>3</sub> en/of CH<sub>4</sub> concentratieverschil tussen ingaande en uitgaande lucht is groter dan 0 ppm

$$E_{i,g} = VR_i * \frac{C_{i,g}^{\text{stal}} - C_{i,g}^{\text{buiten}}}{10^6} * \frac{M_g}{1000 * 0,083145 * \frac{(273,15 + T_i^{\text{stal}})}{1013,25}} * \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} * \frac{365,2422 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{1}{\text{aantal dierplaatsen}}$$

Waarbij E<sub>i,g</sub> de emissie van gas g (NH<sub>3</sub> of CH<sub>4</sub>) op dag i is uitgedrukt in kg/dierplaats/jaar, VR<sub>i</sub> het ventilatiedebiet, C<sub>i,g</sub><sup>stal</sup> en C<sub>i,g</sub><sup>buiten</sup> respectievelijk de daggemiddelde concentratie in de uitgaande en ingaande lucht, M<sub>g</sub> de molaire massa van gas g (NH<sub>3</sub>: 17,03; CH<sub>4</sub>: 16,04) en T<sub>i</sub><sup>stal</sup> de daggemiddelde temperatuur in de uitgaande lucht.

### 3.2.2.8 Criteria voor uitbijters

Uitbijters in stalemissies kunnen voorkomen vanwege verschillende onzekerheden in meetmethode en berekening. Het onderstaande uitbijtercriterium is gebruikt:

$$Q_1 - 3 * (Q_3 - Q_1) \leq x \leq Q_3 + 3 * (Q_3 - Q_1)$$

Met Q<sub>1</sub> en Q<sub>3</sub> respectievelijk de 25% en 75% kwartielen van afzonderlijk de NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> emissies per bedrijf.

## 3.2.3 Statistische toetsing

In deze rapportage zijn de data die binnen het project verzameld zijn, geanalyseerd op een aantal relaties met invloedfactoren op de emissie van ammoniak en methaan waar wetenschappelijke consensus over is (zie hoofdstuk 2). Relaties met voer- en stalmaatregelen die binnen het project genomen zijn om de emissies te sturen, worden in een aparte rapportage behandeld en vallen buiten de scope van deze rapportage.

---

De variatiecoëfficiënt is berekend door de interkwartielafstand (verschil tussen kwartiel 1 en kwartiel 3) te delen door de mediaan. Dit is gedaan omdat de emissies per dag niet normaal verdeeld zijn volgens de Shapiro-Wilk test.

### 3.3 Benchmarking

Benchmarking is een veelgebruikte term en methode om eigen prestaties te verbeteren. Eigen prestaties worden systematisch vergeleken met die van toonaangevende, vergelijkbare anderen uit een groep. Uit de analyse van de verschillen kunnen vervolgens verbeterpunten gehaald worden. Toegepast op de groep van 15 onderzoeksbedrijven in het Netwerk Praktijkbedrijven betekent dit dat benchmarking meer inzicht kan geven in mogelijkheden om de emissies van ammoniak en methaan te verlagen.

Om bedrijven goed te kunnen vergelijken via een benchmark-methode is een indicator vereist die voor elk bedrijf beschikbaar is. In Mosquera et al. (2021) is een vergelijkbare groep van 18 melkveebedrijven onderverdeeld in verschillende subgroepen zoals vloertype en ras en zijn onderlinge resultaten vergeleken. Ook in de studie van Schep et. al. (2022) is dat gedaan. Daarnaast is in deze studie voor een drietal indicatoren in kaart gebracht of de keuze voor een indicator invloed heeft op de ranking van bedrijven van meer naar minder emissies. In beide studies is verder geen analyse op de verschillen uitgevoerd.

In de huidige studie is ervoor gekozen om de emissie uit te drukken per dierplaats en op basis hiervan onder te verdelen in subgroepen die gebaseerd zijn op stabiele, lastig beïnvloedbare kenmerken van een bedrijf. Dit zijn kenmerken die niet zonder grote veranderingen in de bedrijfsopzet of aanzienlijke investeringen te veranderen zijn. Wel kunnen deze kenmerken in potentie een deel van de emissieverschillen tussen groepen bedrijven verklaren. Het bedrijf met de laagste emissie van ammoniak of methaan per subgroep is gekozen als referentiebedrijf voor deze groep. De verschillen in emissie van de andere bedrijven in deze subgroep ten opzichte van dit referentiebedrijf geeft de potentie aan die er is voor verbetering. Analyse van de achtergrond en reden van deze verschillen zal in een later stadium plaatsvinden.

Voor de vergelijking zijn de bedrijven onderverdeeld naar de volgende kenmerken:

- Vloertype
  - Regulier: Betonnen roostervloer met mestopslag vallend onder A1.100.
  - Emissiearm: Een vloer met een Rav-code anders dan A1.100 met mestopslag in de stal.
  - Geen mestkelder: Een vloer (onafhankelijk van RAV-code) zonder mestopslag in de stal.
- Grondsoort
  - Klei
  - Zand
  - Overig (Veen en löss)<sup>6</sup>
- Weidegang:
  - Geen
  - Beperkt: Minder dan 1000 uur weidegang per jaar
  - Veel: Meer dan 1000 uur weidegang per jaar
- Melksysteem
  - AMS: Automatisch melksysteem (Melkrobot)
  - Melkstal: Elk type melkstal

---

<sup>6</sup> Door het kleine aantal bedrijven op deze grondsoorten zijn deze samengevoegd.

---

## 4 Resultaten

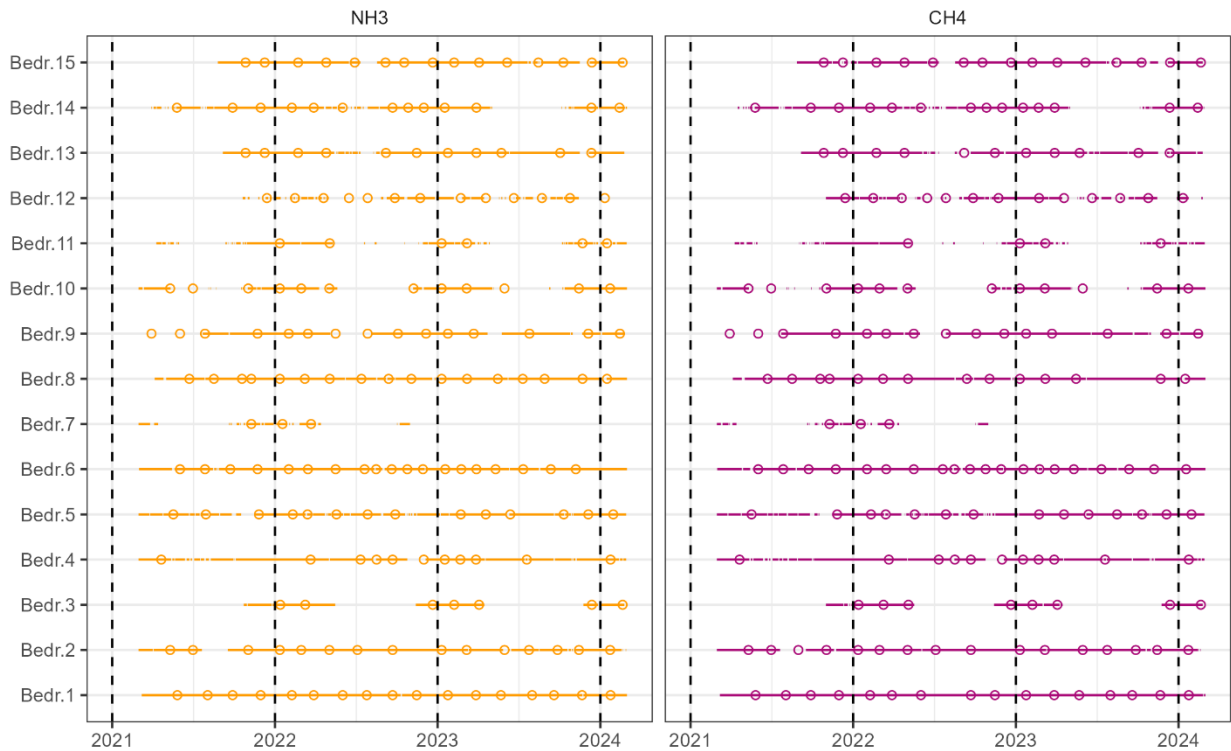
Resultaten van zowel de continue metingen als de puntmetingen hebben betrekking op de periode tussen 1 maart 2021 en 29 februari 2024. Metingen in deze periode zijn meegenomen in de rapportage. Startpunt van de metingen was echter niet voor alle bedrijven gelijk (zie Tabel 2 en Figuur 6) en ook in de tussentijd ontbreken er soms gegevens (paragraaf 4.1). De emissieresultaten worden weergegeven in kg per dierplaats per jaar. Deze manier van weergave is ook gebruikelijk in de regelgeving rond de emissie van ammoniak. Verschillen in bezetting van de stal en het aandeel jongvee dat aanwezig is, beïnvloeden de onderlinge vergelijking van stallen. De emissie kan ook uitgedrukt worden per dier, per grootvee-eenheid of per 'heat producing unit' (HPU) maar hebben elk ook hun beperkingen. In Schep et al. 2022 is hier aandacht aan gegeven. In de discussie van dit rapport zal de invloed van gebruikte eenheid verder besproken worden.

### 4.1 Beschikbaarheid gegevens

In Figuur 6 is de beschikbaarheid van meetgegevens weergegeven per bedrijf. Hoewel er continu gemeten is betekent dat niet dat er voor elke dag een emissiepunt beschikbaar is. Reden hiervoor is de datafiltering zoals beschreven in paragraaf 3.2.2 en uitval als gevolg van storing of onderhoud van apparatuur. Van de in totaal 14856 meetdagen is er op 3000 (20,2%) en 2894 (19,5%) meetdagen voor respectievelijk NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> geen meetpunt beschikbaar. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- Meer dan 10 uur per dag ontbrekende data als gevolg van weidegang (56% van missende waarden)
- Een verschil in CO<sub>2</sub> concentratie tussen stallucht en buitenlucht van minder dan 50 ppm (gemiddeld over een dag) bijvoorbeeld als gevolg van een hoog ventilatieniveau. (32% van missende waarden)
- Storing/onderhoud in het meetsysteem of een negatief concentratieverschil (9% van missende waarden).
- Uitbijters (3% van missende waarden)

Een vijftal meetbedrijven was onderdeel van een eerdere studie waarover gerapporteerd is in Mosquera et al. (2021) en Schep et al. (2022). Deze bedrijven zijn in 2019 begonnen met emissiemetingen. Deze historische data is geen onderdeel van het huidige rapport, maar wordt in toekomstige rapportages wel meegenomen. De overige 10 meetbedrijven zijn in de loop van 2021 geïnstalleerd. Zoals benoemd in de Materiaal en Methode zijn op bedrijf 7 de metingen per november 2022 beëindigd vanwege stalaanpassing.



**Figuur 6** Beschikbaarheid van meetgegevens per bedrijf van de continue metingen (--) en puntmetingen (o) in de periode van maart 2021 t/m februari 2024.

## 4.2 Bedrijfsgegevens en meetomstandigheden

Van de verzamelde bedrijfsgegevens is een overzicht gemaakt en weergegeven in Tabel 7. De gemiddelde bezettingsgraad van de stal ligt tussen de 74% en 125%. Van de 15 bedrijven hebben er negen nagenoeg geen jongvee in de gemeten melkveeststal en voor de overige zes bedrijven verschilt het jongvee-aandeel als percentage van het totaal aantal dieren in de meetstal tussen de 13% en 39%. Deze factoren hebben invloed op de uiteindelijke emissies wanneer die uitgedrukt worden in kg per dierplaats per jaar. Bij een onderbezetting wordt de totale emissie immers verdeeld over een groter aantal dierplaatsen terwijl een pink een kleinere bijdrage levert dan een melkkoe maar de ligbox wel beschouwd als volwaardige dierplaats. De melkproductie van de bedrijven is gemiddeld 27,7 kg per dier per dag uiteenlopend van 18,3 tot 32,1 kg per dier per dag. De variatie in melksamenstelling is beperkt. Het gemiddelde ureumgetal van de tankmelk is 17,9 mg/100g variërend tussen de 16 en 24.

Het aantal meetpunten voor de NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> emissie zoals weergegeven in Tabel 8 is gebaseerd op het aantal valide meetpunten per bedrijf. Dit is daarmee exclusief onderbrekingen als gevolg van meer dan 10 uur weidegang per dag, een te hoog ventilatieniveau, uitbijters en storingen/onderhoud aan de meetinstallatie. De gemiddelde temperatuur, windsnelheid en het aantal dieren uitgesplitst naar meetjaar is te vinden in 1.

**Tabel 7** Gemiddeld aantal dierplaatsen, aanwezige dieren (melkkoeien, droge koeien, grootvee-eenheden (GVE)) en gemiddelde stalbezetting en aandeel jongvee per bedrijf in de gemeten stal.

Bedrijf	Aantal				Aandeel jongvee [%]	Bezettingsgraad
	Dierplaatsen	Melkkoeien	Droge koeien	GVE		
1	174	80	7	108	39%	81%
2	190	108	12	139	27%	87%
3	126	110	10	122	2%	98%
4	217	151	22	188	16%	95%
5	192	142	19	160	0%	83%
6	115	70	11	90	19%	88%
7	122	65	18	90	13%	80%
8	280	224	32	256	0%	91%
9	192	192	0	192	0%	100%
10	148	122	0	122	0%	82%
11	144	112	14	126	0%	87%
12	145	176	6	181	0%	125%
13	215	129	15	167	29%	94%
14	132	94	5	99	0%	75%
15	128	90	17	106	0%	83%
<b>Gemiddeld</b>	<b>168</b>	<b>124</b>	<b>13</b>	<b>143</b>	<b>10%</b>	<b>90%</b>

**Tabel 8** Beschikbaar aantal meetpunten.

Bedrijf	Continue metingen		Puntmetingen	
	NH <sub>3</sub> -emissie	CH <sub>4</sub> -emissie	NH <sub>3</sub> -emissie	CH <sub>4</sub> -emissie
1	1086	1088	17	16
2	1014	1019	15	16
3	449	437	7	8
4	1014	1017	11	11
5	1020	1012	14	14
6	1074	1073	19	20
7	225	214	3	3
8	1029	1030	17	14
9	799	860	15	15
10	615	614	12	12
11	548	556	6	4
12	445	584	13	13
13	841	799	11	11
14	849	840	13	14
15	848	819	15	15
<b>Gemiddeld</b>	<b>797</b>	<b>790</b>	<b>13</b>	<b>13</b>

**Tabel 9** Gemiddelde melkproductie met bijbehorende gehalten en het ruw-eiwit (RE) van het gevoerde rantsoen op basis van de KringloopWijzer (KLW) gegevens van de bedrijven.

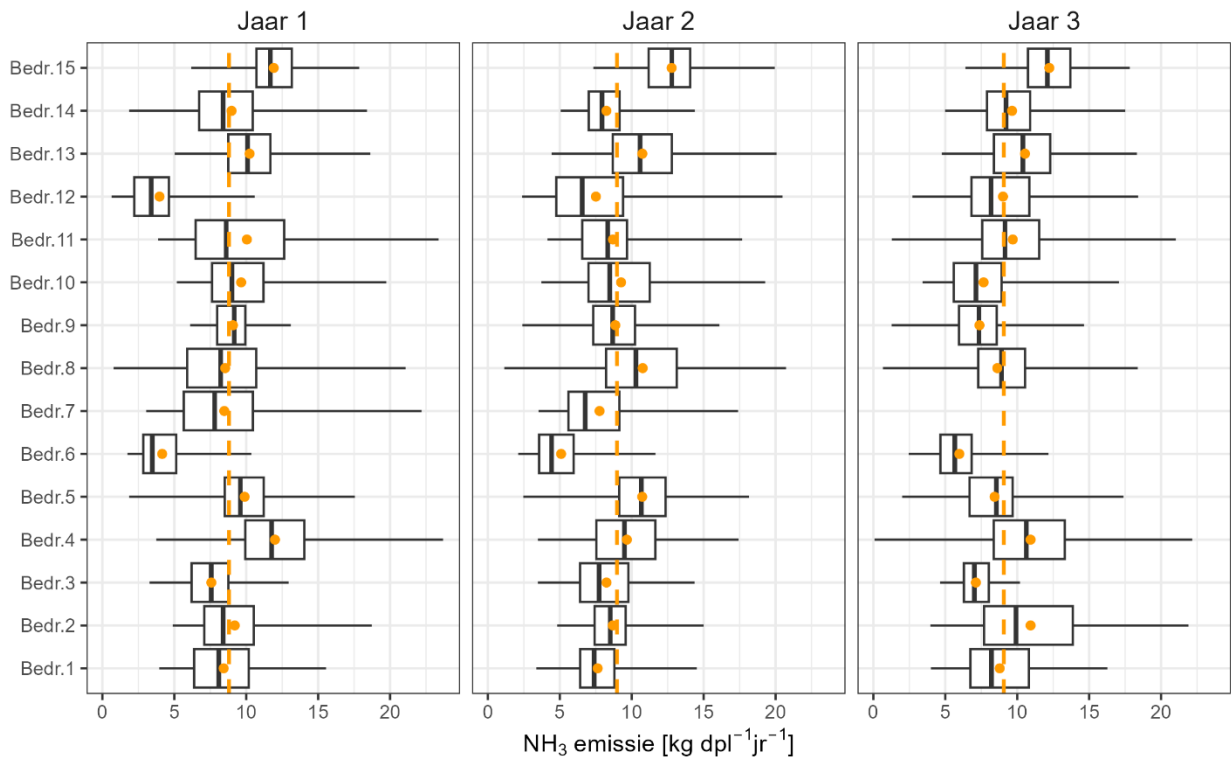
Bedrijf	Melkproductie [kg/dier/dag]	Vetgehalte [%]	Eiwitgehalte [%]	FPCM [kg/dier/dag]	Ureum [mg/ 100g]	RE gehalte (o.b.v. KLW)			
						2020	2021	2022	2023
1	26,6	4,5	3,6	28,4	17	157	163	143	145
2	31,9	4,5	3,4	33,8	17	156	153	150	154
3	23,6	4,4	3,5	24,8	16	146	147	160	158
4	29,4	4,4	3,5	31,0	16	154	146	143	148
5	32,1	4,4	3,4	33,7	18	160	158	162	158
6	30,7	4,5	3,5	32,8	16	159	145	141	150
7	18,3	4,2	3,4	18,6	24	169	161	155	175
8	31,3	4,3	3,5	33,0	20	165	170	165	154
9	27,1	4,5	3,5	28,9	16	155	154	145	148
10	26,9	4,6	3,5	29,0	16	160	153	149	141
11	24,8	4,5	3,6	26,4	18	171	167	158	165
12	27,2	4,5	3,7	29,2	19	164	163	167	155
13	29,3	4,6	3,7	32,1	18	172	165	158	154
14	24,7	4,6	3,5	26,8	20	164	151	146	159
15	31,5	4,3	3,4	32,7	17	168	172	162	166
<b>Gemiddeld</b>	<b>27,7</b>	<b>4,5</b>	<b>3,5</b>	<b>29,4</b>	<b>17,9</b>	<b>161</b>	<b>158</b>	<b>154</b>	<b>155</b>

### 4.3 Resultaten continue metingen

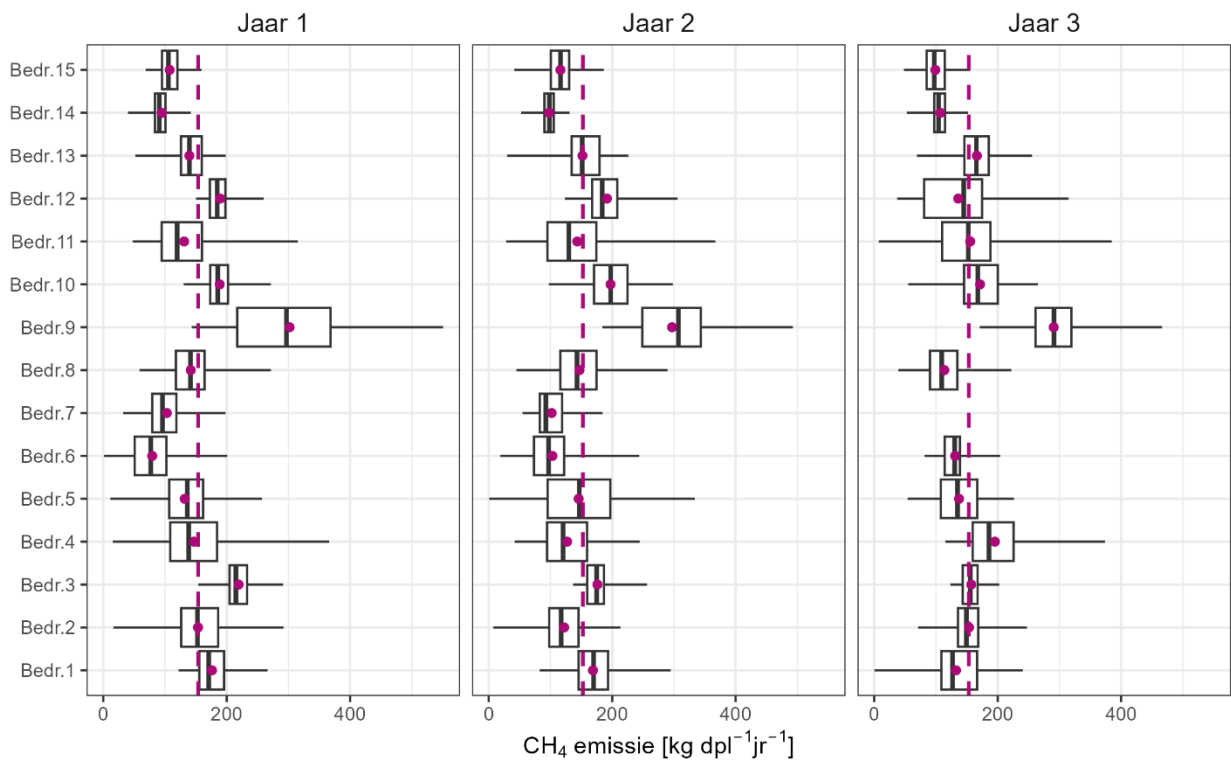
In Figuur 7 en Figuur 8 is de emissie per meetjaar weergegeven voor respectievelijk methaan en ammoniak onafhankelijk van het aantal meetdagen per jaar. Een meetjaar is gedefinieerd als de periode tussen 1 maart en 28/29 februari. De gemiddelden per jaar zijn opgenomen in Tabel 10. Duidelijk is dat de spreiding binnen een bedrijf per jaar groter is dan de spreiding tussen bedrijven of de spreiding tussen jaren. Maar ook de spreiding binnen bedrijf per jaar verschilt erg tussen de bedrijven en jaren. Deze spreidingen zijn ook weergegeven in Tabel 11 als variatiecoëfficiënt. Het valt daarin op dat de spreiding tussen bedrijven groter wordt voor NH<sub>3</sub> en kleiner wordt voor CH<sub>4</sub>. De spreiding binnen een bedrijf daalt voor zowel NH<sub>3</sub> alsook CH<sub>4</sub>.

De gemiddelde ammoniakemissie is door de jaren heen licht gestegen met 8,8 kg per dierplaats per jaar in jaar 1, 9,0 kg in jaar 2 en 9,1 kg in jaar 3. Vijf bedrijven laten een daling zien in jaar 3 ten opzichte van jaar 1, in een range van 0,3-2,0 kg per dierplaats per jaar. Bij negen andere bedrijven stijgt juist in de ammoniakemissie tussen 0,1-5,0 kg per dierplaats per jaar. De lage emissie in het eerste jaar bij bedrijf 12 is te wijten aan de zeer beperkte periode (2 maanden) dat in het eerste jaar emissies gemeten zijn.

De gemiddelde methaanemissie is door de jaren heen gelijk gebleven met 154 kg per dierplaats per jaar in jaar 1, 152 kg per dierplaats per jaar in jaar 2 en 153 kg per dierplaats per jaar in jaar 3. In de gemiddelden van jaar 1 en jaar 2 is bedrijf 7 meegenomen, in jaar 3 niet, omdat daar niet meer gemeten werd. Wanneer bedrijf 7 in alle jaren buiten beschouwing gelaten wordt, is de gemiddelde methaanemissie in jaar 1, 2 en 3 respectievelijk 157, 156 en 153 kg per dierplaats per jaar. Vanwege de onzekerheid rondom de metingen kan hier niet gesproken worden van een daling. Op zeven van de 14 bedrijven is een daling in methaanemissie gemeten, in een range van 9-62 kg per dierplaats per jaar. Op zes bedrijven is een stijging te zien in een range van 5-49 kg. De exacte reden per bedrijf voor een stijging of daling kan op basis van dit onderzoek niet vastgesteld worden. Wel is bekend dat sommige bedrijven een ander mestmanagement hebben toegepast door minder organische stof aan de mest toe te voegen zodat er minder methaan kan worden gevormd. Het effect van voerparameters wordt in een vervolgrapport onderzocht.



**Figuur 7** *Boxplot van de ammoniakemissie per bedrijf per jaar (uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar) met de gemiddelde emissie per bedrijf als punt en de gemiddelde emissie per jaar van alle bedrijven als verticale stippellijn. De uiterste punten van de boxplot lijn geven de minimaal en maximaal gemeten emissie aan. De dikke verticale lijn in de box is de mediaan van de gemeten waarden en de verticale randen van de box staan het niveaus waarbinnen zich de helft van de waarnemingen bevindt.*



**Figuur 8** Boxplot van de methaanemissie per bedrijf per jaar (uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar) met de gemiddelde emissie per bedrijf als punt en de gemiddelde emissie per jaar van alle bedrijven als verticale stippellijn. De uiterste punten van de boxplot lijn geven de minimaal en maximaal gemeten emissie aan. De dikke verticale lijn in de box is de mediaan van de gemeten waarden en de verticale randen van de box staan het niveau waarbinnen zich de helft van de waarnemingen bevindt.

**Tabel 10** Gemiddelde emissie van ammoniak en methaan per bedrijf in kg per dierplaats per jaar berekend uit de continue metingen.

Bedrijf	Ammoniak (kg per dierplaats per jaar)				Methaan (kg per dierplaats per jaar)			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld
1	8,4	7,6	8,8	8,3	176	169	132	159
2	9,2	8,7	10,9	9,6	154	122	154	143
3	7,6	8,2	7,1	7,6	219	176	157	184
4	12,0	9,7	10,9	10,9	147	127	196	157
5	9,9	10,7	8,4	9,7	132	146	137	138
6	4,2	5,1	6,0	5,1	79	103	131	104
7	8,5	7,8		8,2	103	102		103
8	8,5	10,8	8,6	9,3	142	147	114	134
9	9,1	8,9	7,4	8,5	302	297	291	297
10	9,7	9,3	7,7	8,9	189	197	171	186
11	10,0	8,7	9,7	9,5	131	143	156	143
12	4,0	7,5	9,0	6,8	189	191	136	172
13	10,2	10,7	10,5	10,5	140	152	166	153
14	9,0	8,2	9,6	8,9	95	98	107	100
15	11,9	12,8	12,2	12,3	108	116	99	108
Gemiddeld	8,8	9,0	9,1	9,0	154	152	153	153

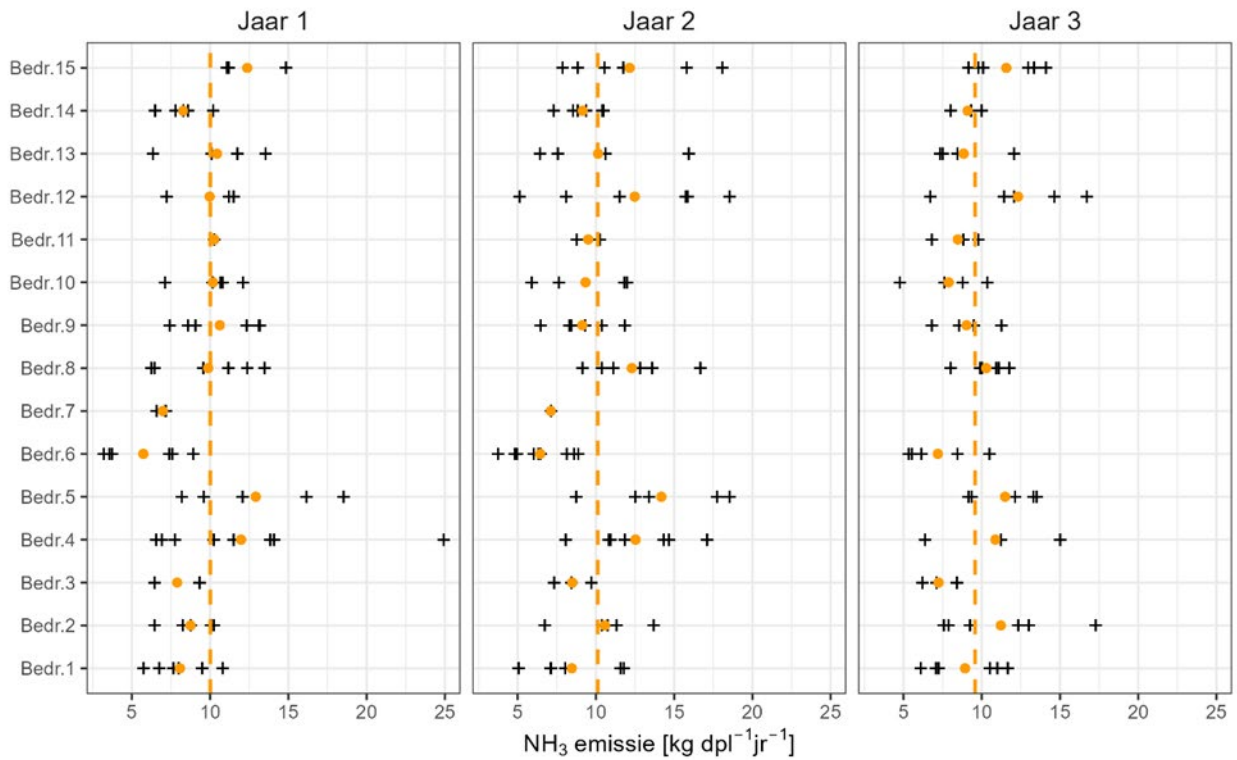
**Tabel 11** Variatiecoëfficiënten (inter-kwartielafstand tussen 25% en 75% gedeeld door de mediaan) van de emissiewaarden (continue metingen) binnen bedrijven, tussen bedrijven en tussen jaren.

Variatiecoëfficiënt (%)	Ammoniak			Methaan		
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3
Binnen bedrijven	47,6	42,5	41,3	37,9	39,8	35,9
Tussen bedrijven	16,7	25,3	27,8	44,6	36,6	22,4
Tussen jaren		12,9			12,9	

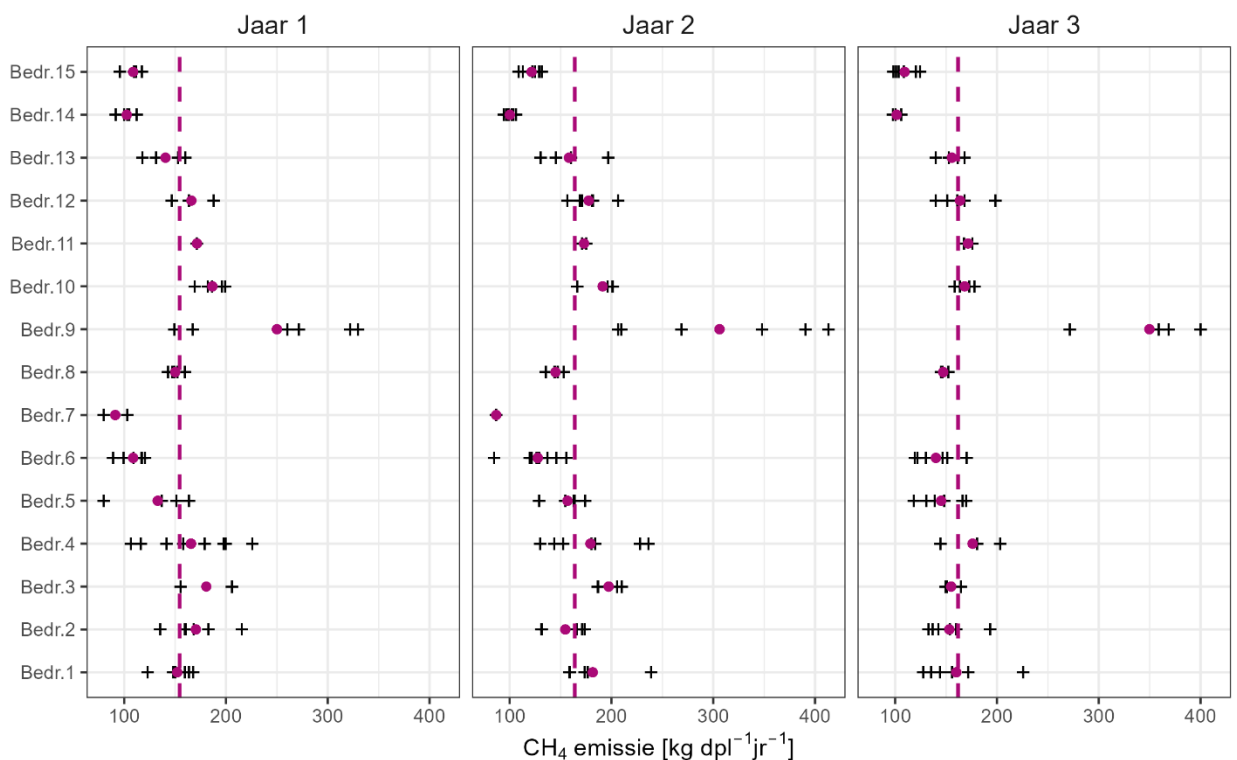
## 4.4 Resultaten puntmetingen

De resultaten van de puntmetingen zijn per jaar weergegeven in Figuur 9, Figuur 10 en Tabel 12 en geven vergelijkbare resultaten als de continue metingen. Het emissieniveau is op basis van de puntmetingen respectievelijk 0,8 en 7 kg hoger voor NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub>. De richting van emissieontwikkeling is voor NH<sub>3</sub> op 11 bedrijven en voor CH<sub>4</sub> op 10 van de 14 bedrijven hetzelfde. Een verschil ten opzichte van de continue-metingen is dat waar de continue-metingen een lichte stijging toonden in NH<sub>3</sub>-emissie, deze op basis van de puntmetingen gelijk is gebleven. De CH<sub>4</sub> emissie is gelijk gebleven op basis van de sensormetingen en licht gestegen op basis van de puntmetingen. Evenals bij de sensormetingen, is ook op basis van de puntmetingen de spreiding tussen bedrijven kleiner geworden in CH<sub>4</sub>-emissie, maar groter geworden voor de NH<sub>3</sub> emissie. Echter daalt de spreiding binnen een bedrijf per jaar wat erop duidt dat er enige invloed wordt uitgeoefend op de emissie waardoor met name hoge pieken minder voorkomen zoals terug te zien is in Figuur 9.





**Figuur 9** *Overzicht van de resultaten van de puntmetingen per jaar voor ammoniak. Elke puntmeting wordt aangegeven door een +. Het gemiddelde over de puntmetingen per bedrijf wordt weergegeven door een o. Het gemiddelde over bedrijven wordt weergegeven als een verticale stippellijn.*



**Figuur 10** *Overzicht van de resultaten van de puntmetingen per jaar voor methaan. Elke puntmeting wordt aangegeven door een +. Het gemiddelde over de puntmetingen per bedrijf wordt weergegeven door een o. Het gemiddelde over bedrijven wordt weergegeven als een verticale stippellijn.*

**Tabel 12** Gemiddelde emissie van ammoniak en methaan per bedrijf in kg per dierplaats per jaar berekend uit de puntmetingen.

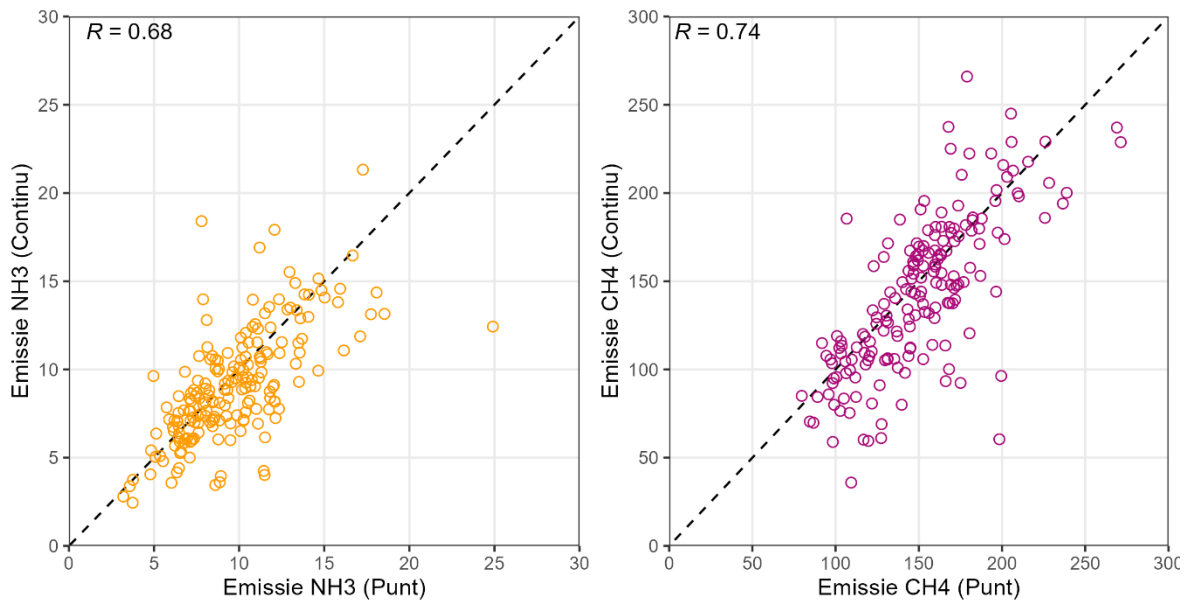
Bedrijf	Ammoniak (kg per dierplaats per jaar)				Methaan (kg per dierplaats per jaar)			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld
1	8,1	8,5	8,9	8,5	152	182	160	165
2	8,7	10,6	11,2	10,2	170	155	153	159
3	7,9	8,5	7,2	7,9	181	197	155	178
4	12,0	12,5	10,9	11,8	166	179	176	174
5	12,9	14,2	11,5	12,9	133	157	145	145
6	5,7	6,4	7,2	6,4	109	128	140	126
7	7,0	7,1		7,1	91	87		89
8	9,9	12,3	10,3	10,8	150	145	147	147
9	10,6	9,1	9,0	9,6	250	306	350	302
10	10,2	9,3	7,9	9,1	187	191	168	182
11	10,3	9,5	8,5	9,4	171	173	172	172
12	10,0	12,5	12,3	11,6	166	178	164	169
13	10,4	10,1	8,8	9,8	141	158	156	152
14	8,3	9,2	9,1	8,9	102	100	101	101
15	12,4	12,2	11,6	12,1	109	121	109	113
<b>Gemiddeld</b>	9,6	10,1	9,6	9,8	152	164	164	160

Op basis van de puntmetingen én de continumetingen blijkt dat alle bedrijven met A1.100 stalsysteem een emissie realiseren die lager is dan de referentiewaarde van 13 kg per dierplaats per jaar gedurende elk van de drie meetjaren. Op bedrijf 6 (De Marke) heeft het stalsysteem een emissiefactor van 11,8 kg per dierplaats per jaar en zowel de continue metingen alsook de puntmetingen wijzen uit dat de emissie lager is dan de emissiefactor. Voor de overige stalsystemen met een emissiefactor van 6-8 kg per dierplaats per jaar is de gemeten emissie hoger dan de bijbehorende emissiefactor gedurende de drie meetjaren. Wel moet in acht worden genomen dat de metingen niet aan alle voorwaarden voldoen zoals opgenomen in het meetprotocol voor emissies (Ogink et. al. 2013).

**Tabel 13** Variatiecoëfficiënten (standaardafwijking gedeeld door gemiddelde waarde per groep) van de emissiewaarden (puntmetingen) binnen bedrijven, tussen bedrijven en tussen jaren.

Variatiecoëfficiënt (%)	Ammoniak			Methaan		
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3
Binnen bedrijven	34,8	35,3	29,9	18,7	18,4	12,7
Tussen bedrijven	23,6	35,9	28,3	32,9	27,9	13,8
Tussen jaren		8,9			7,7	

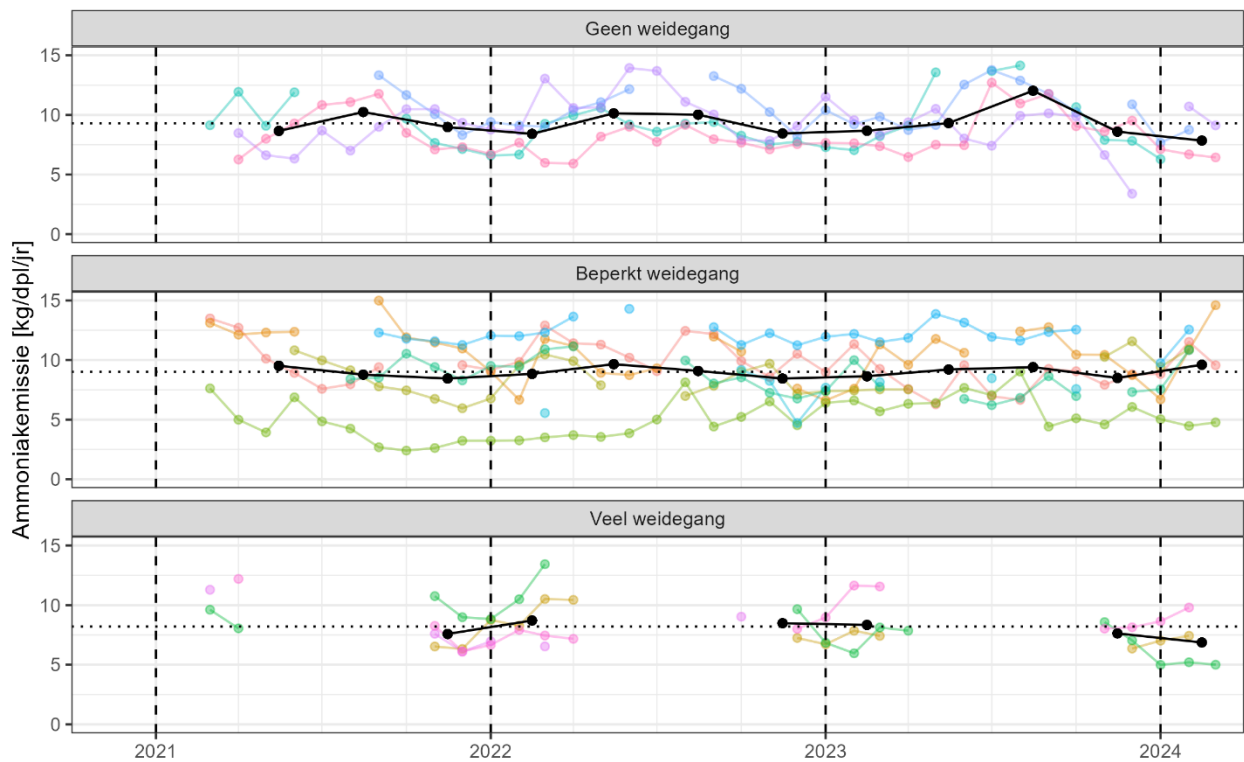
Figuur 11 toont de correlatie tussen de emissie op basis van de sensormetingen en de puntmetingen. Omdat een puntmeting wordt opgestart halverwege dag één en eindigt op dag n+1 is een puntmeting uitgezet tegen de emissiebepaling op basis van de continumetingen van zowel dag n als dag n+1. De relatie tussen punt- en continumeting heeft een correlatie van respectievelijk 0,68 en 0,74 voor ammoniak en methaan en zijn daarmee in lijn met elkaar. Dit geeft vertrouwen dat de veldkalibratie op een goede manier is toegepast op de continue metingen.



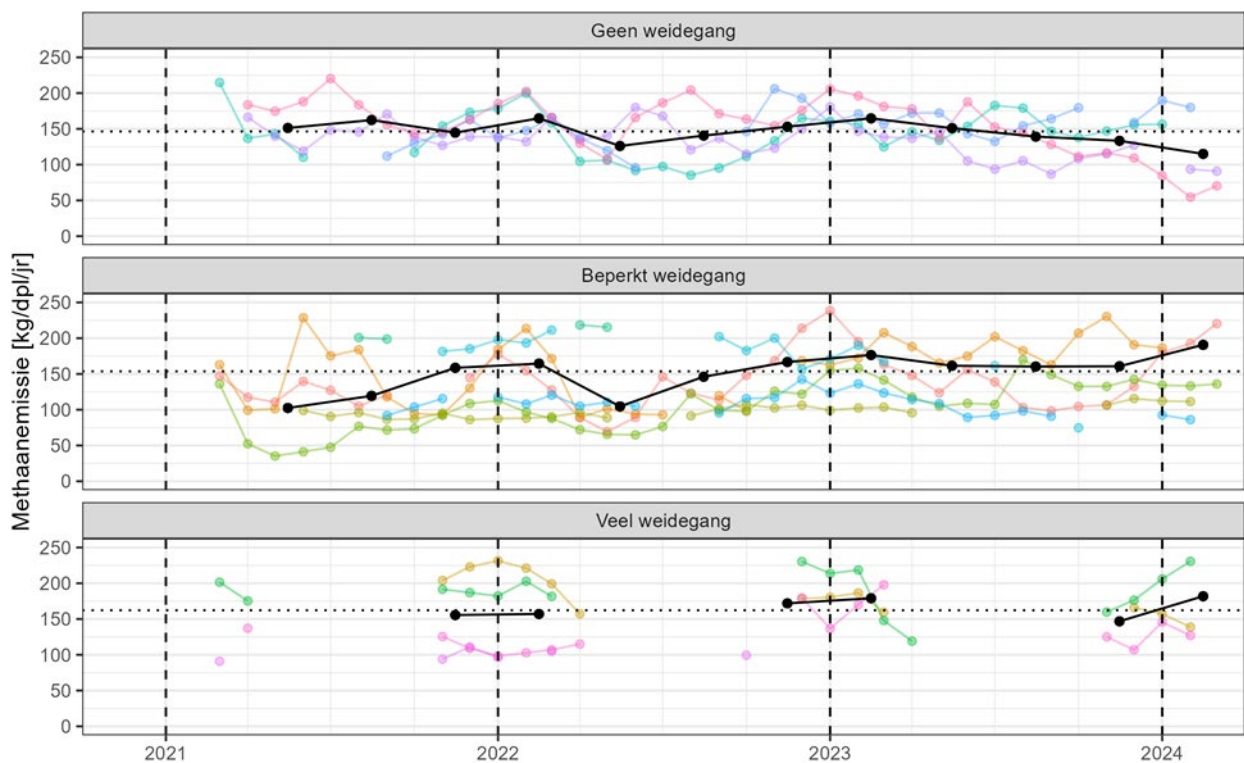
**Figuur 11** Emissie op basis van puntmetingen (x) tegen emissies op basis van sensormetingen (y). Omdat een puntmeting start op dag n en eindigt op dag n+1 is de emissie op basis van de puntmetingen uitgezet tegen de emissie op basis van de sensormetingen van zowel dag n als dag n+1.

## 4.5 Invloed weidegang op de ammoniakemissie

Omdat weidegang een belangrijke reden is voor de beschikbaarheid van meetgegevens zijn de bedrijven ingedeeld in drie groepen die verschillen in de hoeveelheid weidegang: geen weidegang, beperkt weidegang (<1000 uur per jaar) en veel weidegang (>1000 uur per jaar). In Figuur 12 is het emissiepatroon voor ammoniak per groep weergegeven, in Figuur 13 dat voor methaan. De stalemissie per bedrijf is weergegeven als maandgemiddelde wanneer de ammoniakemissie minimaal 24 dagen per maand berekend kon worden. Per kwartaal is vervolgens de gemiddelde emissie van alle bedrijven weergegeven. Zichtbaar wordt dat wanneer er niet wordt geweid, de emissie van ammoniak in de zomer hoger is dan in de winter. Dit wordt waarschijnlijk verklaard door de hogere temperaturen in die periode. Bij de bedrijven met beperkte weidegang is dit patroon veel minder of bijna niet meer zichtbaar. Onduidelijk is of dit komt omdat de stalemissie door weidegang in deze maanden is verlaagd of omdat er door gebrek aan gegevens een selectie heeft plaatsgevonden waardoor een vertekend beeld van het emissieniveau ontstaat. Als er veel wordt beweid is een goede bepaling van de emissie helemaal niet meer mogelijk; er ontbreken dan te veel gegevens waardoor met de huidige methodiek geen goede inschatting van het emissieniveau meer mogelijk is. Voor methaan is er bij de bedrijven zonder weidegang een daling te zien in het voorjaar. Mogelijk wordt dit verklaard doordat het mestvolume in de stal afneemt. Die daling is bij bedrijven met beperkt weiden in 2022 scherper. Of dit veroorzaakt wordt door veranderingen in het rantsoen (vers gras) is niet eenduidig af te leiden omdat ook hier selectie van gegevens een rol kan spelen en het effect in het daaropvolgende jaar niet (zo duidelijk) optreedt. De absolute emissieniveaus voor methaan- en ammoniak zijn gelijk tussen de groep met beperkt en de groep zonder weidegang.



**Figuur 12** Verloop van de ammoniakemissie per bedrijf weergegeven als gemiddelde per maand voor verschillende mate van beweiding (beperkt weiden < 1000 uur per jaar en veel weidegang >1000 uur per jaar). De horizontale stippellijn geeft de gemiddelde ammoniakemissie van alle bedrijven over de gehele periode weer.



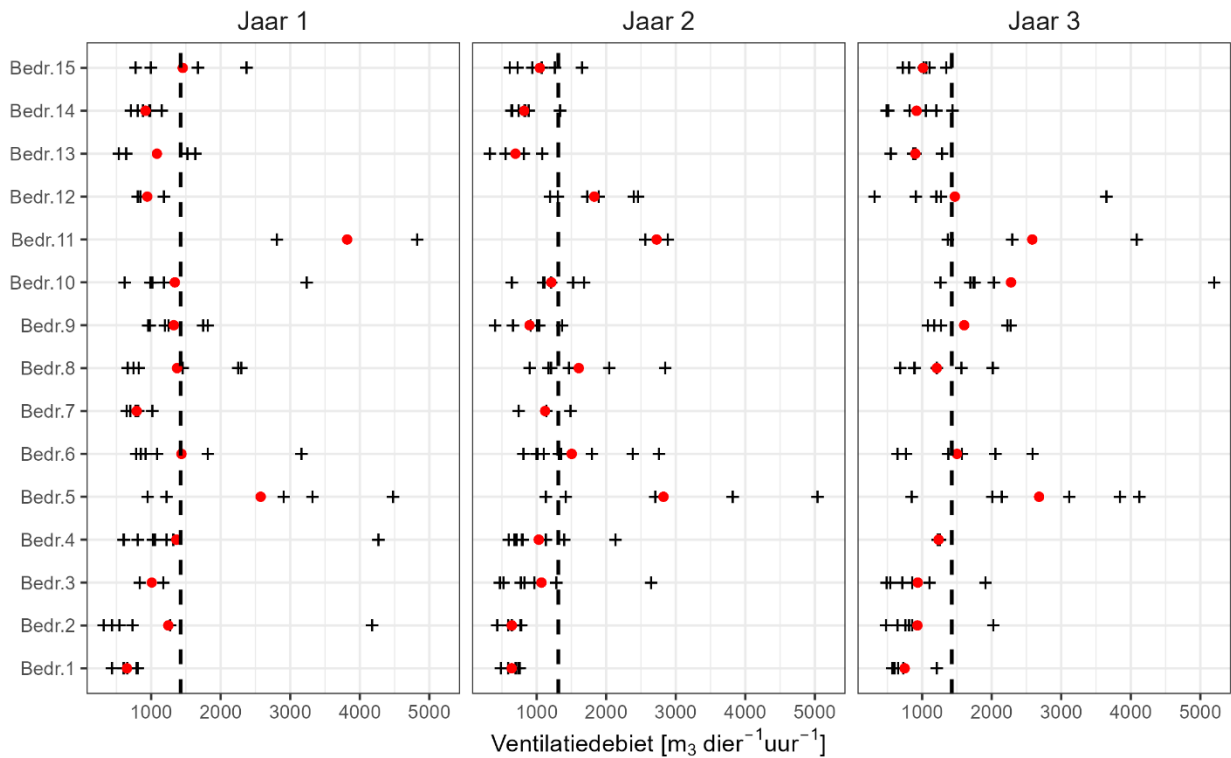
**Figuur 13** Verloop van de methaanemissie per bedrijf weergegeven als gemiddelde per maand voor verschillende mate van beweiding (beperkt weiden < 1000 uur per jaar en veel weidegang >1000 uur per jaar). De horizontale stippellijn geeft de gemiddelde methaanemissie van alle bedrijven over de gehele periode weer.

## 4.6 Relatie tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet

Het project Netwerk Praktijkbedrijven richt zich op het verlagen van de emissies van ammoniak en methaan op bedrijfsniveau. De emissie uit de melkveestal maakt daar een belangrijk onderdeel van uit. Voor ammoniak is die grofweg 50% van de bedrijfsemissie, voor methaan is dat meer en varieert het naar gelang het aandeel weidegang en mestopslag in de stal. Voor de reductie van beide emissies wordt in het project allereerst gekeken naar de mogelijkheden die voeding biedt. Aanpassingen van het rantsoen in de loop van het project worden ook zichtbaar in de stalemissies. In een volgende rapportage worden de relaties tussen voeding en emissies uitgediept. Naast invloed via voeding kunnen ook stalaanpassingen een effect hebben op de emissie van ammoniak en methaan. Omdat de emissie van ammoniak en methaan berekend wordt uit zowel het concentratieverschil tussen stal en achtergrond van deze gassen als het ventilatiedebiet zou het beperken van de ventilatie een mogelijke stalmaatregelen kunnen zijn om de emissie te verlagen. Of dit zinvol is kan verkend worden door de relatie tussen emissie en ventilatie in deze data verder te onderzoeken. In deze rapportage wordt de relatie tussen ventilatiedebiet en ammoniak- en methaanemissies daarom beschreven. In Tabel 14 is het gemiddelde ventilatiedebiet tijdens zowel de puntmetingen als de continue metingen weergegeven. Net als bij de ammoniak- en methaanemissie is de spreiding zowel binnen als tussen bedrijven groot (Figuur 14).

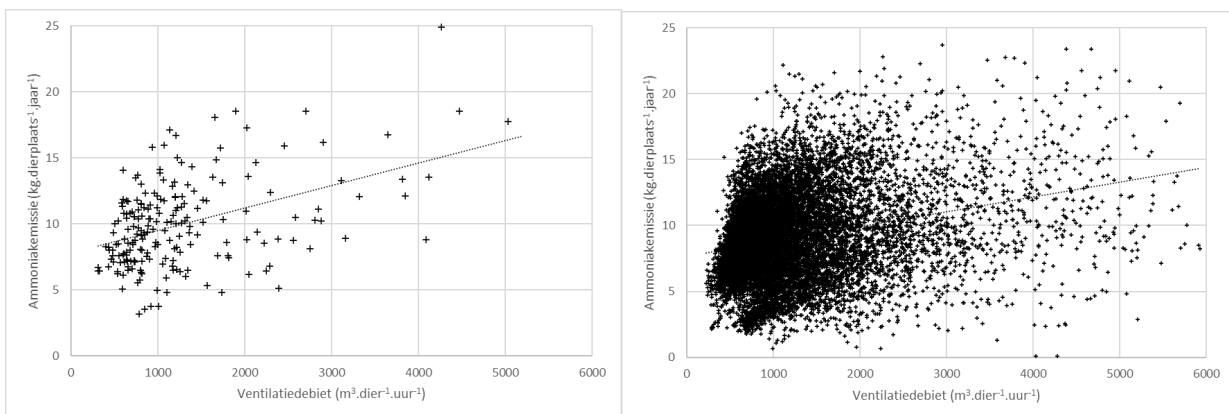
**Tabel 14** Gemiddeld ventilatiedebiet per bedrijf in  $m^3$  per dier per uur berekend uit de puntmetingen en continue metingen.

Bedrijf	Ventilatiedebiet ( $m^3 \cdot dier^{-1} \cdot uur^{-1}$ )							
	Puntmetingen				Continue metingen			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld
1	651	641	749	680	673	652	678	668
2	1246	642	932	940	750	776	982	836
3	1009	1069	936	1005	875	734	675	761
4	1363	1030	1236	1210	1398	1069	1948	1472
5	2574	2824	2682	2693	1812	2275	2007	2031
6	1435	1503	1501	1480	991	1254	1708	1318
7	791	1121		956	1180	1174		1177
8	1373	1605	1209	1396	1250	1418	1398	1355
9	1325	897	1605	1276	1142	1081	984	1069
10	1340	1210	2277	1609	1158	1231	1342	1244
11	3818	2725	2583	3042	2886	2714	3069	2890
12	943	1828	1470	1414	1316	1496	1312	1375
13	1083	695	902	893	1139	1219	1052	1137
14	918	820	919	886	1042	864	837	914
15	1454	1045	1012	1170	1132	1088	1172	1131
Gemiddeld	1422	1310	1430	1387	1250	1270	1369	1296



**Figuur 14** Overzicht van het ventilatiedebiet tijdens puntmetingen per bedrijf in  $\text{m}^3$  per dier per uur. Elke puntmeting wordt aangegeven door een +. Het gemiddelde over de puntmetingen per bedrijf wordt weergegeven door een o. Het gemiddelde over bedrijven wordt weergegeven als een verticale stippellijn.

Er is een relatie zichtbaar tussen het ventilatiedebiet uitgedrukt in  $\text{m}^3$  per dier per uur en de ammoniakemissie in kg per dierplaats per jaar (Figuur 15). Deze relatie biedt mogelijkheden om de ammoniakemissie te beperken door het verminderen van het ventilatiedebiet. In het algemeen is er in natuurlijk geventileerde stallen de mogelijkheid om het ventilatieniveau te verminderen omdat er meer geventileerd wordt dan de behoefte van de dieren. Beperking van het ventilatiedebiet kan met automatische regeling van ventilatiegordijnen.



**Figuur 15** Relatie tussen ventilatiedebiet en ammoniakemissie bij de puntmetingen (links) en sensormetingen (rechts)

In deze paragraaf wordt de relatie tussen ventilatiedebiet en ammoniakemissie verder verkend en verfijnd door rekening te houden met de verschillen tussen bedrijven en tussen jaren binnen bedrijven. In de analyse zijn ook vloertype, temperatuur, windsnelheid en windrichting meegenomen, omdat deze invloed kunnen hebben op het ventilatiedebiet en/of de ammoniakemissie. De temperatuurwaarden zijn ingedeeld in de categorieën  $<5^\circ\text{C}$ ,  $5\text{--}10^\circ\text{C}$ ,  $10\text{--}15^\circ\text{C}$ ,  $15\text{--}20^\circ\text{C}$ ,  $20\text{--}25^\circ\text{C}$  en  $25\text{--}30^\circ\text{C}$ . Windrichting en windsnelheid kunnen van invloed zijn op het ventilatiedebiet. Windrichting is ingedeeld in acht categorieën van elk  $45^\circ$  aan weerszijde van Noord (N), Noordoost (NO), Oost (O), Zuidoost (ZO), Zuid (Z), Zuidwest (ZW), West (W) en Noordwest (NW).

Uit de analyse blijkt dat de relatie tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet in elk van de 5 temperatuurcategorieën significant van elkaar verschilt ( $p < 0,05$ ). Vanuit het oogpunt van praktische toepassing is ook een analyse per seizoen gedaan. Daarbij zijn niet de astronomische maar de meteorologische seizoenen gekozen die van hele maanden uitgaan. Uit de analyse blijkt dat de relatie tussen ventilatiedebiet en ammoniakemissie ook voor elk van de seizoenen significant van elkaar verschillen. De relaties kunnen beschreven worden met de volgende formule en de bijhorende coëfficiënten (Tabel 15) en zijn weergegeven in Figuur 16.

$$E = a * \frac{VR}{1000} + b$$

Met

E: emissie van ammoniak in kg NH<sub>3</sub> per GVE per jaar

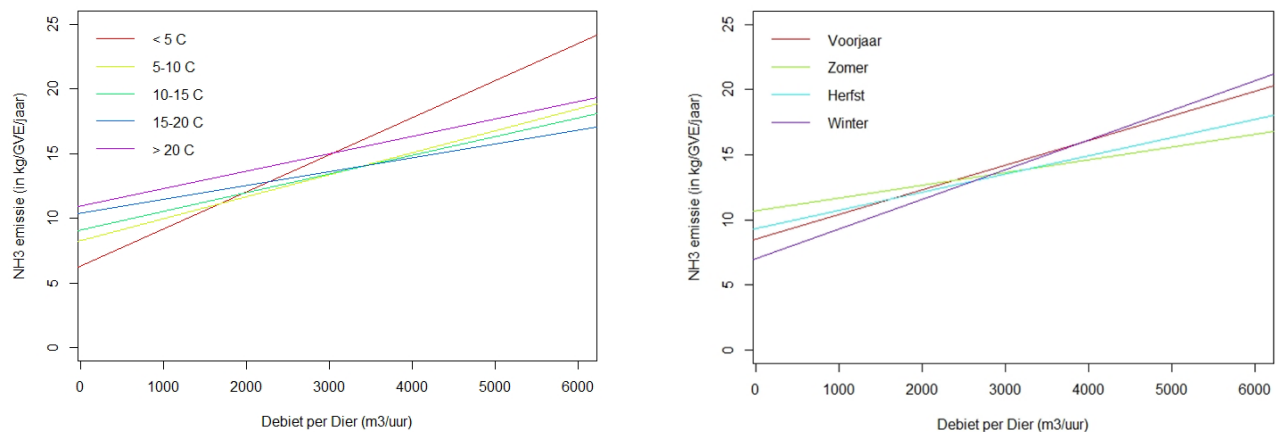
VR: ventilatiedebiet in m<sup>3</sup> per dier per uur

a: richtingscoëfficiënt

b: asafsnijding

**Tabel 15** Coëfficiënten voor de relatie tussen ventilatiedebiet ( $\times 1000$  m<sup>3</sup> per dier per uur) en ammoniakemissie (kg NH<sub>3</sub> per GVE per jaar).

Categorie	a	b
< 5 °C	2,86	6,3
5-10 °C	1,69	8,3
10-15 °C	1,44	9,1
15-20 °C	1,07	10,4
> 20 °C	1,35	10,9
Voorjaar	1,89	8,5
Zomer	0,98	10,7
Herfst	1,39	9,4
Winter	2,28	7,0



**Figuur 16** Relatie tussen ventilatiedebiet en ammoniakemissie per GVE voor verschillende temperaturen (links) en seizoenen (rechts) gebaseerd op de sensormetingen.

In het basismodel is alleen ventilatiedebiet opgenomen als verklarende variabele voor ammoniakemissie. Wanneer hieraan de factor windsnelheid wordt toegevoegd, heeft dit extra verklarende waarde. Het blijkt dat de emissie van ammoniak toeneemt met 0,99 kg NH<sub>3</sub> per GVE per jaar bij elke toename van de windsnelheid met 1 meter per seconde. Het onderscheid naar vloertype is hierbij minimaal.

Windrichting geeft weinig toegevoegde waarde aan het model. Alleen bij grote verschillen tussen windrichting (bijvoorbeeld oost vs west) is er een significant verschil in ammoniakemissie. De verwachting is echter dat dit gerelateerd is aan seizoen en temperatuur en windrichting.

In de relatie tussen ventilatiedebiet en ammoniakemissie geldt het voorbehoud dat nog geen rekening is gehouden aanwezige autocorrelatie in de dataset. Door rekening te houden met een jaarpatroon of een langjarige trend in het emissieverloop kan hiervoor gecorrigeerd worden.

## 4.7 Benchmarking

Benchmarking van de bedrijven op basis van bedrijfsverschillen is uitgevoerd op het verschil in vloertype, grondsoort, weidegang en melksysteem (zie paragraaf 3.3 en Tabel 17). In paragraaf 4.7.1 zijn de gemiddelde emissies tussen groepen met elkaar vergeleken. In de daaropvolgende paragrafen zijn per benchmark-categorie de verschillen binnen een groep geïnventariseerd waarbij bedrijven vergeleken worden met het best presterende bedrijf binnen de groep. Dit geeft een indicatie van de theoretische reductiepotentie van de andere bedrijven. Bedrijf 6 (De Marke) scoort binnen de verschillende groeperingen vaak het beste en geeft daarmee een hoge reductiepotentie weer die in de praktijk niet altijd geëvenaard kan worden.

### 4.7.1 Verschillen tussen groepen

De gemiddeld, minimum en maximum gemeten emissie van methaan en ammoniak per groep in de benchmark categorie zijn weergegeven in Tabel 16. De verschillen tussen de groepen variëren tussen de 3% (methaanemissie tussen niveaus van weidegang) en de 30% (methaanemissie tussen vloertypes).

**Tabel 16** Groepsgemiddelde en minimum en maximum stalemissie in kg per dierplaats per jaar van ammoniak en methaan per groepering waarop een benchmark is toegepast.

Groepering	Gas	Gemiddelde emissie [min: max] in kg per dierplaats per jaar			Maximaal verschil tussen groepen [%]
		Groep 1	Groep 2	Groep 3	
Vloertype		<i>Regulier (A1.100)</i>	<i>Emissie-arm</i>	<i>Zonder mestopslag</i>	
	n	7	4	4	
	NH <sub>3</sub>	9,4 [8,2:10,9]	7,7 [5,1:9,7]	9,6 [7,6:12,4]	20%
	CH <sub>4</sub>	149 [102:185]	180* [105:296]	128 [99:172]	29%
Weidegang		<i>Geen weidegang</i>	<i>Beperkt weidegang</i>	<i>Veel weidegang**</i>	
	n	4	7	4	
	NH <sub>3</sub>	9,5 [8,3:10,5]	9,0 [5,1:12,4]	8,6 [7,7:9,5]	9%
	CH <sub>4</sub>	148 [134:159]	154 [99:296]	153 [102:185]	4%
Grondsoort		<i>Klei</i>	<i>Zand</i>	<i>Overig</i>	
	n	6	7	2	
	NH <sub>3</sub>	9,4 [8,3:10,5]	9,0 [5,1:12,4]	7,9 [7,6:8,2]	16%
	CH <sub>4</sub>	153 [134:185]	155 [99:296]	137 [102:172]	12%
Melksysteem		<i>AMS</i>	<i>Melkstal</i>		
	n	11	4		
	NH <sub>3</sub>	9,3 [5,1:12,4]	8,3 [7,6:9,5]		11%
	CH <sub>4</sub>	148 [99:296]	164 [143:182]		10%

\* Het gemiddelde van deze groep wordt sterk beïnvloedt door de resultaten van 1 bedrijf (zie Tabel 17).

\*\* Van deze groep is zeer beperkt data beschikbaar, omdat op een groot aantal dagen meer dan 10 uur weidegang wordt toegepast.



**Tabel 17** Indeling van meetbedrijven naar benchmarkgroepen en de gemiddeld gemeten emissie per bedrijf.

Bedrijf	Vloer	Weidegang	Grondsoort	Melksysteem	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	Opmerkingen
1	Regulier	Geen	Klei	Melkstal	8,3	159	
2	Regulier	Geen	Klei	AMS	9,6	143	
3	Emissie-arm	Veel	Zand	Melkstal	7,6	184	
4	Regulier	Beperkt	Zand	AMS	10,9	157	
5	Emissie-arm	Beperkt	Zand	AMS	9,7	138	
6	Emissie-arm	Beperkt	Zand	AMS	5,1	104	Agro-innovatie De Marke
7	Regulier	Veel	Overig	AMS	8,2	103	Metingen t/m 2022
8	Geen kelder	Geen	Klei	AMS	9,3	134	
9	Emissie-arm	Beperkt	Zand	AMS	8,5	297	Paardenmest als box strooisel
10	Regulier	Veel	Klei	AMS	8,9	186	
11	Regulier	Veel	Klei	Melkstal	9,5	143	
12	Geen kelder	Beperkt	Overig	Melkstal	6,8	172	
13	Regulier	Geen	Klei	AMS	10,5	153	
14	Geen kelder	Beperkt	Zand	AMS	8,9	100	
15	Geen kelder	Beperkt	Zand	AMS	12,3	108	

#### 4.7.2 Vloertype

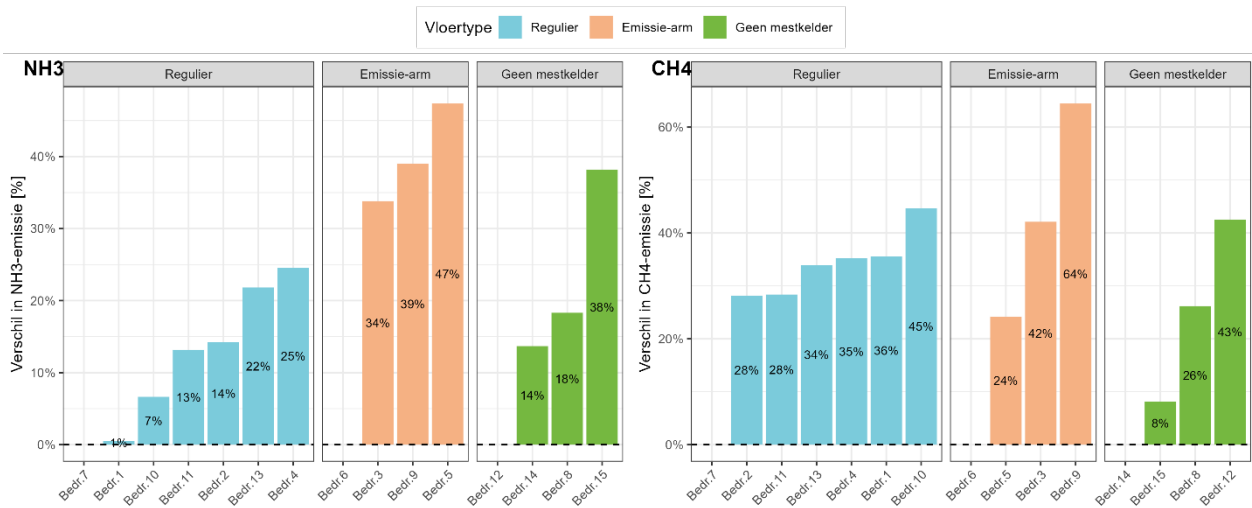
Binnen de verschillende vloertypen komen de overige (emissiearme) stalsystemen op een lagere gemiddelde emissie uit (7,7 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar) ten opzichte van reguliere vloeren (9,4 kg per dierplaats per jaar) en stallen zonder mestopslag (9,6 kg) (Tabel 16). Het is opvallend dat de gemiddelde methaanemissie van de overige systemen met 180 kg CH<sub>4</sub> per dier plaats per jaar 31 en 52 kg hoger ligt ten opzichte van respectievelijk de reguliere systemen en die zonder mestopslag in de stal. Dit wordt veroorzaakt door bedrijf 9 met een gemiddelde methaanemissie van 296 kg. Het vermoeden bestaat dat dit veroorzaakt wordt door het type boxvulling, maar dit kan in deze studie statistisch niet onderbouwd worden. Als dit bedrijf buiten beschouwing gelaten wordt, omdat dit geen resultante van het stalsysteem is, komt de gemiddelde methaanemissie van deze groep bedrijven op 142 kg uit en is daarmee vergelijkbaar met de bedrijven met een roostervloer.

Wanneer de bedrijven gegroepeerd worden naar vloertype, blijkt dat de ammoniakemissie van het slechts presterende bedrijf tot 47% hoger is van de emissie van het best presterende bedrijf, dit binnen de emissie-arme vloeren. Daarbij moet opgemerkt worden dat alle emissie-arme vloeren in één categorie zitten, met een emissiefactor van 6 - 11,8 kg. Bedrijf 6 (agro-innovatiecentrum De Marke), heeft de laagste ammoniakemissie van 5,2 kg bij een RAV factor van 11,8 kg en is daarmee geen representatief bedrijf voor de standaard praktijk.

De absolute spreiding in ammoniakemissie binnen groepen is met 4,6 en 4,8 kg per dierplaats per jaar het grootst voor respectievelijk de emissie-arme systemen en de bedrijven zonder mestopslag in de stal. Dit betekent dat bij deze systemen met management nog een grotere invloed op de emissies uitgeoefend kan worden dan op bedrijven met een A1.100 stalsysteem. Voor methaanemissie is de spreiding binnen groepen gelijk met ongeveer 56% (excl. bedrijf 9). Zoals verwacht heeft de aanwezigheid van mestopslag in de stal invloed op de methaanemissie. Gemiddeld is de methaanemissie in de groep bedrijven zonder mestopslag in de stal 12% lager dan voor de bedrijven met mestopslag in de stal (excl. bedrijf 9).

De ranking van de bedrijven in Figuur 17 verschilt voor NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub>. Hier liggen verschillende redenen aan ten grondslag. Zo is bijvoorbeeld bedrijf 12 een stal zonder mestopslag met een goed-presterende emissie-arme vloer. Echter is vanwege de overbezetting de methaanemissie per dierplaats het hoogst binnen de categorie 'Geen mestkelder'. Verder valt op dat bedrijf 6 (De Marke) en bedrijf 7 goed presteren op zowel de NH<sub>3</sub> als de CH<sub>4</sub> emissie. Op De Marke wordt dit verklaard doordat de voerefficiëntie en stikstofefficiëntie hoog

zijn. Bedrijf 7 presteert goed omdat de melkproductie laag is. Hierdoor is de voeropname per dier lager en daarmee ook de bijbehorende emissies.



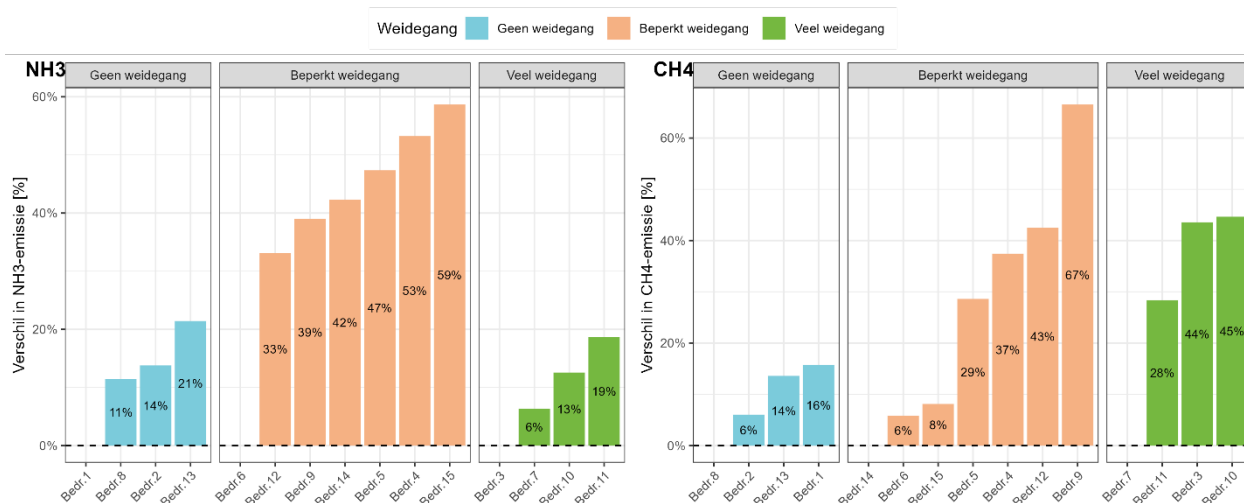
**Figuur 17** Benchmarking van de meetbedrijven onderverdeeld naar vloertype (Reguliere roostervloer, Emissie reducerend vloersysteem en bedrijven zonder mestopslag onder de stal) voor ammoniak (links) en methaan (rechts). Het procentuele verschil geeft de emissiereductie aan per bedrijf die benodigd is om het niveau van het best presterende bedrijf te evenaren. Het absolute emissieniveau op 0% is terug te vinden in tabel 10.

#### 4.7.3 Weidegang

Uit Tabel 16 blijkt dat de ammoniakemissie 0,9 kg per dierplaats per jaar lager is bij meer weidegang.

Daarbij moet opgemerkt worden dat bij veel weidegang (een groot deel van) de metingen in de zomerperiode mist. Een periode waarin de ammoniakemissie doorgaans door hogere temperaturen hoger is dan in de winterperiode. Echter is de methaanemissie gelijk over de verschillende groepen.

De variatie tussen bedrijven in emissie is zowel voor CH<sub>4</sub> als voor NH<sub>3</sub> het grootst in de groep met beperkte weidegang zoals af te leiden is uit Tabel 16 en Figuur 18. In totaal is het relatieve verschil 59% in ammoniakemissie. Wanneer hierin De Marke buiten beschouwing wordt gelaten, is het verschil tussen het best presterende bedrijf (bedrijf 12) en het slechtst presterende bedrijf (bedrijf 15) beperkt tot 26%. Het best presterende bedrijf per benchmark-categorie verschilt voor methaan en ammoniak. Dit heeft deels te maken met het verschil in emissieproces tussen methaan en ammoniak en deels door bedrijfskarakteristieken die invloed hebben op de emissie per dierplaats. Hier wordt in de discussie verder op ingegaan.

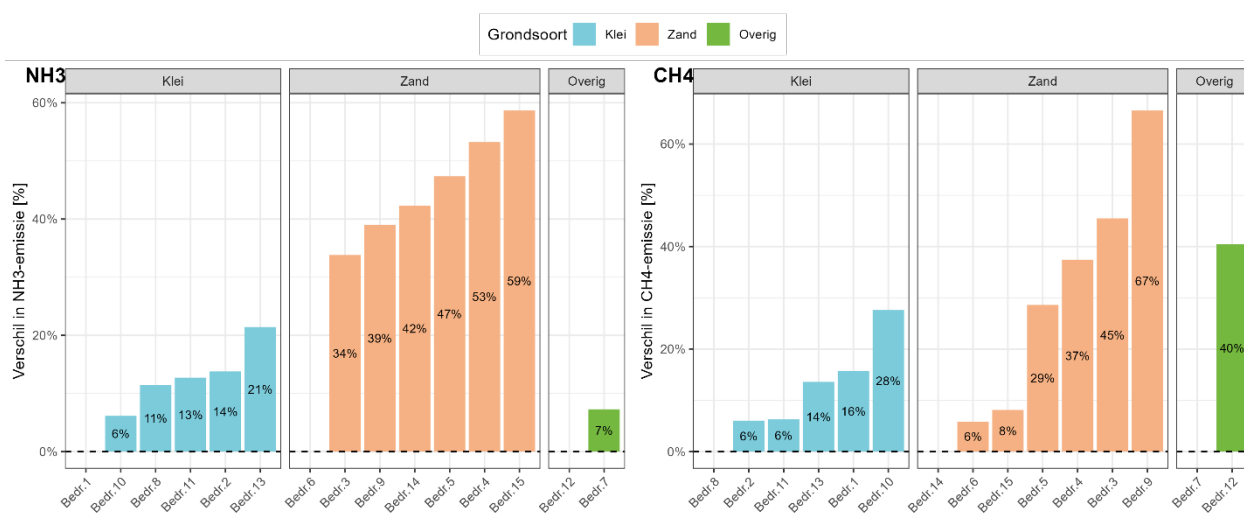


**Figuur 18** Benchmarking van de meetbedrijven onderverdeeld naar de hoeveelheid weidegang (Geen, beperkte weidegang < 1000 uur/jaar en veel weidegang > 1000 uur/jaar) voor ammoniak (links) en methaan (rechts). Het procentuele verschil geeft de emissiereductie aan per bedrijf die benodigd is om het niveau van het best presterende bedrijf te evenaren.

#### 4.7.4 Grondsoort

Bedrijven op zandgrond weiden hoofdzakelijk beperkt (6 van de 7), terwijl de bedrijven op kleigrond juist of geen (4 van de 6) of juist veel (2 van de 6) weidegang toepassen. Gemiddeld is de ammoniakemissie van de bedrijven op zandgrond 0,4 kg lager met 9,0 kg per dierplaats per jaar ten opzichte van 9,4 kg op kleigrond. Zonder agro-innovatiecentrum de Marke is de gemiddelde ammoniakemissie van de bedrijven op zandgrond juist 0,3 kg hoger met 9,7 kg per dierplaats per jaar. In de gemiddelde methaanemissie is geen verschil te zien tussen bedrijven op zand en klei. De groep 'overige' is klein (twee bedrijven) en bevat ook twee verschillende grondsoorten waardoor er geen zinvolle uitspraken over niveau of variatie gedaan kunnen worden.

Binnen de groep bedrijven op kleigrond is het verschil tussen het beste en slechtst presterende bedrijven zowel voor ammoniak- als methaanemissie kleiner dan bij de bedrijven op zandgrond. Dat geldt zowel voor de methaan- als de ammoniakemissie. Ook zonder bedrijf 6 is de spreiding tussen bedrijven op zandgrond het grootst.

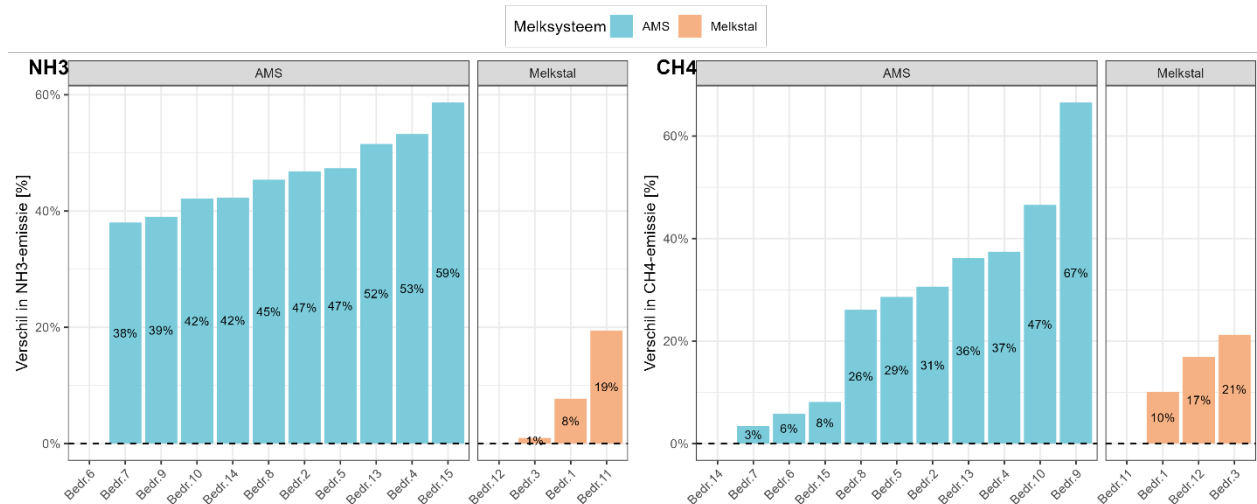


**Figuur 19** Benchmarking van de meetbedrijven onderverdeeld naar de grondsoort (klei, zand, overig) voor ammoniak (links) en methaan (rechts). Het procentuele verschil geeft de emissiereductie aan per bedrijf die benodigd is om het niveau van het best presterende bedrijf te evenaren.

## 4.7.5 Melksysteem

De ammoniakemissie van bedrijven met een reguliere melkstal ligt met 8,3 kg per dierplaats per jaar 1,0 kg later ten opzichte van stallen met een automatisch melksysteem (AMS) met 9,3 kg. Echter wordt door 2 van de 4 bedrijven met een melkstal veel geweid waardoor de jaargemiddelde emissie van methaan en ammoniak op deze bedrijven voornamelijk is gebaseerd op de winterperiode waarin de ammoniakemissie lager is dan in de zomer. Op de AMS bedrijven wordt door slechts 2 van de 11 bedrijven veel weidegang toegepast waardoor dit de resultaten minder beïnvloedt. Desalniettemin ligt een hogere ammoniakemissie bij bedrijven met een AMS wel in de lijn der verwachting omdat hier de bezetting van de stal hoger is en er dus een groter bevuild oppervlak is wat de ammoniakemissie stimuleert.

De verwachting is dat het type melksysteem geen invloed heeft op de methaanemissie van de dieren. Zoals zichtbaar in tabel 14 is een hogere methaanemissie gemeten op bedrijven met een reguliere melkstal. Echter, omdat het verschil klein is, kan dit ook verklaard worden uit overige bedrijfsverschillen.



**Figuur 20** Benchmarking van de meetbedrijven onderverdeeld naar het melksysteem (Automatisch melksysteem (AMS) of melkstal) voor ammoniak (links) en methaan (rechts). Het procentuele verschil geeft de emissiereductie aan per bedrijf die benodigd is om het niveau van het best presterende bedrijf te evenaren.

---

## 5 Discussie en conclusies

In dit rapport worden de eerste resultaten van de ammoniak- en methaanemissie uit de melkveestallen van de 15 onderzoeksbedrijven van het Netwerk Praktijkbedrijven gepresenteerd. Deze bedrijven maken onderdeel uit van een groep van meer dan 100 melkveebedrijven die in dit project actief zijn. Zij proberen door het nemen van managementmaatregelen op het gebied van voer, dier, mest en stal de emissies van methaan en ammoniak proberen te verlagen. De 15 onderzoeksbedrijven worden hierbij intensief gevolgd waarbij naast de emissies ook gegevens over voeropname, rantsoensamenstelling en melkproductie vastgelegd worden. Deze rapportage richt zich op de weergave van emissieniveaus en de variatie tussen en binnen bedrijven. Verder zijn bedrijven onderling vergeleken in min of meer gelijkwaardige groepen (benchmarking). Relaties met managementmaatregelen worden in een vervolgrapportage beschreven. Ook de relatie tussen gemeten emissie uit de stallen de uitkomsten van de Kringloopwijzer worden later onderzocht en gerapporteerd.

Resultaten van langdurige continue emissiemetingen bij een groep melkveehouders van deze omvang zijn eerder gerapporteerd in Mosquera et al, (2021) en Schep et al, (2022). Vijf bedrijven van de huidige groep maakten ook deel uit van deze eerdere groep. Ondanks de relatieve omvangrijke onderzoeksgroep (n=15) kunnen op basis van deze metingen bieden deze metingen nog onvoldoende basis van algemeen geldende conclusies over relaties tussen management en emissies.

### 5.1 Beperkingen van het onderzoek

Metingen tot 1 maart 2024 zijn meegenomen in deze rapportage. Deze datum is gekozen omdat de metingen op 8 van de 15 bedrijven in maart 2021 is gestart (Tabel 2). Gerekend vanaf deze startdatum ontstaan zo drie meetjaren die echter niet gelijk zijn aan de kalenderjaren. Omdat de bedrijven niet allemaal tegelijk gestart zijn, bestaan er in het eerste jaar verschillen tussen in het aantal meetpunten. Ook in de overige jaren zijn verschillen ontstaan in hoeveelheid gegevens als het gevolg van uitval door beweiding, weersomstandigheden en storingen (zie paragraaf 4.14.1 en Figuur 6). Bij bedrijf 7 zijn de metingen voortijdig gestopt. Het verschil in aantal meetpunten per bedrijf per meetjaar heeft invloed op de bedrijfsgemiddelde emissie. Echter verandert het beeld van de emissie-ontwikkeling over de jaren niet wanneer alleen de bedrijven worden meegenomen waarvan de volledige drie meetjaren beschikbaar zijn (Bedrijven 1, 2, 4, 5, 6, 10 en 14).

De bedrijven voldeden tijdens de metingen niet altijd aan de landbouwkundige randvoorwaarden op het gebied van stalbezetting en maximaal aandeel jongvee zoals beschreven in het protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij (Ogink et al., 2017). Ook zijn de resultaten niet gestandaardiseerd naar ureumgetal, temperatuur en emitterend oppervlak. Dat beperkt de vergelijking van de gemiddelden emissie van ammoniak met een emissiefactor uit de voormalige Regeling ammoniak en veehouderij.

Emissievermindering door dier- en voermanagement en door stalmaatregelen is doel van het project. In hoeverre deze onderzoeksbedrijven individueel of als groep daarin slagen wordt afgemeten aan de resultaten van de kringloopwijzer op bedrijfsniveau in het jaar 2020. In dat jaar werden nog geen emissiemetingen uitgevoerd en de emissiemetingen hebben ook alleen betrekking op de stal voor melkgevendende dieren. Uit de stalmetingen kunnen dus niet de projectresultaten als geheel worden afgeleid.

Er is gekozen om de stalemissies meestal uit te drukken in kg per dierplaats per jaar om aan te sluiten bij de tot dusver gebruikelijke manier van uitdrukken. Voor de interpretatie van de resultaten is het van belang om het effect van bedrijfskenmerken op de emissie per dierplaats te begrijpen. Tabel 18 geeft een overzicht van de bedrijfskenmerken die van invloed zijn op het absolute emissieniveau van een bedrijf.

**Tabel 18** Beschrijving van het effect van bedrijfskenmerken op de ammoniak- en methaanemissie per dierplaats per jaar.

Bedrijfskenmerk	Invloed op ammoniakemissie per dierplaats	Invloed op methaanemissie per dierplaats
Bezettingsgraad	Bij een hogere bezettingsgraad is het bevuild oppervlak per dierplaats weliswaar gelijk maar neemt de totale input van stikstof toe. Urine plassen worden wel eerder weggespoeld door een nieuwe urineplas. Per saldo zal de emissie per dierplaats stijgen.	Bij een hogere bezettingsgraad is het aantal dieren per dierplaats hoger en daarmee ook de methaanemissie per dierplaats. Er wordt ook meer mest geproduceerd.
Melkproductie	Een hogere melkproductie leidt bij een gelijkblijvend rantsoen tot een hogere voeropname en daarmee tot een hogere TAN-excretie. De TAN concentratie verandert echter niet. De ammoniakemissie per dierplaats zal stijgen.	Een hogere melkproductie leidt bij een gelijkblijvend rantsoen tot een hogere voeropname en daarmee tot een hogere methaanemissie per dierplaats.
Aandeel jongvee	Een groot aandeel jongvee in de stal leidt tot een lagere ammoniakemissie per dierplaats, omdat de emissie van een jongvee-eenheid lager is dan van een melkkoe, maar wel meetelt als dierplaats.	Een groot aandeel jongvee in de stal leidt tot een lagere methaanemissie per dierplaats, omdat een jongvee-eenheid minder methaan emitteert dan een melkkoe, maar wel meetelt als dierplaats.

De keuze voor een eenheid waarin de ammoniak- en methaanemissie wordt uitgedrukt hangt af van het beoogde doel. Op bedrijfsniveau kan de emissie worden uitgedrukt per eenheid product als maat voor efficiëntie of als bedrijfstotaal om de milieu- en klimaatimpact zichtbaar te maken. Wanneer het doel is om bedrijven met elkaar te vergelijken, ligt de keuze voor een eenheid gecompliceerder en zal er genormaliseerd moeten worden naar de kenmerken zoals benoemd in Tabel 18.

De methaan- en ammoniakemissies weergegeven in dit rapport kennen een aanzienlijke onzekerheid als gevolg van meetonzekerheid en modelaannames. In de studie van Schep et al. (2022) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op een aantal modelaannames waaruit bleek dat het CO<sub>2</sub>-concentratieverschil tussen ingaande en uitgaande stallucht het grootste effect op emissies heeft via een schatting van het ventilatiedebiet. Deze relatie is exponentieel wat betekent dat de onzekerheid op momenten met een hoog ventilatiedebiet (laag CO<sub>2</sub> concentratieverschil) exponentieel groter is dan wanneer het ventilatiedebiet lager is. Uit Tabel 14 blijkt dat het jaargemiddelde ventilatiedebiet varieerde tussen de 652 m<sup>3</sup> per dier per uur (Bedrijf 1) en 3069 m<sup>3</sup> per dier per uur (Bedrijf 11). Wanneer aangenomen wordt dat de meetonzekerheid rondom het CO<sub>2</sub> concentratieverschil 20 ppm is en alle overige inputs een onzekerheid van 0% hebben, hebben de emissieschattingen bij respectievelijk 652 en 3069 m<sup>3</sup> per dier per uur een onzekerheid van 4,6% en 27,7%.

Wanneer aangenomen wordt dat de schatting van de CO<sub>2</sub> productie op basis van het CIGR CO<sub>2</sub> productiemodel een extra onzekerheid van 10% kent en de meetonzekerheid van het NH<sub>3</sub> concentratieverschil 0,05 ppm is, stijgen de onzekerheden rondom een ammoniakemissieschatting bij een ventilatieniveau van respectievelijk 652 en 3069 m<sup>3</sup> per dier per uur naar 16,9% en 50,8%. Meetonzekerheid als gevolg van weidegang is hierin niet meegenomen. Op absoluut niveau zijn de emissies van deze specifieke bedrijven 7,6 ± 1,28 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar en 9,7 ± 4,9 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. Emissies kunnen dus nauwkeuriger geschat worden in een situatie met een beperkt ventilatiedebiet.

Vanwege het grote aantal datapunten, mag aangenomen worden dat de meetonzekerheid uitgemiddeld is. Een eventueel systematisch verschil als gevolg van een afwijking in het CO<sub>2</sub> productiemodel geldt voor alle bedrijven.

Naast meetonzekerheid en modelonzekerheid, kan correlatie en autocorrelatie effect hebben gehad op de gevonden relatie zoals die tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet bij verschillende temperatuurniveaus. In de bepaling van methaan- en ammoniakemissie wordt gebruik gemaakt van het ventilatiebied door de gemeten concentratie te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet. Daarnaast zijn de emissiewaarnemingen geen volledige onafhankelijke waarnemingen doordat de omstandigheden gedurende waarneming n van invloed kunnen zijn op waarneming n+1. De meting op dag n+1 is dus niet onafhankelijk van de meting op dag n. In de huidige analyses is niet gecorrigeerd voor deze aspecten. Ze kunnen bestaan uit een jaarpatroon dat afgeleid kan worden uit de data maar ook uit een langjarige trend. Dat laatste is alleen al

---

vanwege het doel van het project (vermindering van de emissies) reden om rekening mee te houden. In het vervolg van het project zal hier verder op ingaan worden.

## 5.2 Interpretatie van de resultaten

De gemiddelde ammoniakemissie over de hele meetperiode was 9,8 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 9,0 kg per dierplaats per jaar op basis van de continue metingen. De gemiddelde methaanemissie over de hele meetperiode was 160 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 153 kg per dierplaats per jaar op basis van de continue metingen. Deze niveaus liggen lager dan de gemiddelde emissies in eerdere studie (Schep et al., 2022). Daar werd een gemiddelde ammoniakemissie van 13,8 en 12,0 kg per dierplaats per jaar en een methaanemissie van 193 en 184 kg per dierplaats per jaar voor respectievelijk puntmetingen en continue metingen gerapporteerd.

Verschillen tussen deze resultaten ontstaan onder andere door een verschillende periode waarover het gemiddelde bepaald wordt. Dat blijkt ook uit het gemiddelde ventilatiedebiet dat tijdens de continue metingen hoger is dan tijdens de puntmetingen. Deze verschillen (8% voor ammoniak en 4% voor methaan) zijn kleiner dan gerapporteerd in Schep et al. (2022) toen het verschil 13% was voor ammoniak en 5% voor methaan bedroeg.

De ammoniak- en methaanemissie op basis van de continue metingen *tijdens* een puntmeting was respectievelijk 9,1 en 152 kg per dierplaats per jaar. Dit verschil (7% voor ammoniak en 5% voor methaan) is het gevolg van verschillen tussen meetapparatuur voor continue metingen onderling en gebruikte referentiemethode. Ook speelt hier waarschijnlijk mee dat puntmetingen steeds twee kalenderdag bestrijken.

Zowel de methaan- als ammoniakemissie is gemiddeld over alle bedrijven niet gedaald gedurende de drie meetjaren. Ondanks het feit dat hier sinds de start van het project actief op gestuurd wordt via de samenstelling van het rantsoen. Dit betekent echter niet dat de maatregelen niet werken: het principe is immers aangetoond onder gecontroleerde omstandigheden. Het betekent wellicht dat andere (bedrijfs-) factoren de daling in ammoniak- en methaanemissie beïnvloeden. Zo is in het derde jaar ten opzichte van het eerste jaar een 2,8% hogere emissie gemeten met een 9,5% hoger ventilatiedebiet per dier en een 4,0% hogere staltemperatuur. Vanuit Monteny et al. (1998) is bekend dat de luchtsnelheid over het oppervlak van een urineplas en de temperatuur stimulerend werken op de emissie van ammoniak. Deze interacties volgen ook uit de gevonden relaties tussen ammoniakemissie, ventilatiedebiet en staltemperatuur in paragraaf 4.6. Uit gegevens uit de kringloopwijzer van deelnemers in het project (hier niet gepresenteerd) is af te leiden dat er ook in het eerste jaar al een daling heeft plaatsgevonden. Deze daling is niet zichtbaar in de emissiegegevens omdat pas in 2021 is begonnen met de metingen.

Gemiddeld over alle bedrijven is de methaanemissie gedurende de drie meetjaren gelijk gebleven. Op basis van het emissieproces heeft het ventilatiedebiet geen invloed op de methaanemissie. Staltemperatuur kan via de temperatuur van de mest in de mestkelder enige invloed op de methaanemissie hebben. De verwachting is echter dat deze invloed beperkt is. Dit omdat de bodemtemperatuur een bufferende werking heeft op de mesttemperatuur in de mestkelder. Omdat 80% van de methaanemissie gerelateerd is aan het dier, heeft het aantal dieren wel invloed op de methaanemissie per dierplaats. De toename van slechts 0,5% in het aantal dieren in de meetstal maakt het aannemelijk dat de methaanemissie gelijk is gebleven. Daarnaast is pas in 2023 gestart met maatregelen om de methaanemissie via voermaatregelen te verlagen. Resultaten hiervan worden wellicht zichtbaar in de resultaten van komende jaren.

In Figuur 11 zijn de resultaten van de continue metingen uitgezet tegen de puntmetingen zoals dat ook in Schep et al. (2022) is gedaan. Enig verschil is dat in de huidige studie niet meer is gedifferentieerd naar meetopstelling omdat beide meetopstellingen beter op elkaar zijn afgestemd. De correlatie tussen punt- en continue metingen is in de huidige studie lager dan in Schep et al. (2022) (0,7 vs 0,8). In Schep et al. (2022) resulteerden de puntmetingen echter in een 15% hogere emissie dan de continue metingen. Dit is in de huidige studie beperkt tot 9% en is te danken aan een verfijning van het rekenmodel voor het berekenen van emissies op basis van continue metingen met sensoren. Een betere correlatie tussen punt- en continue metingen is echter gewenst. Een eerste stap daarin is om de emissie op basis van de continue

---

metingen te berekenen over dezelfde tijdsperiode als waarin een puntmeting is verkregen in plaats van te vergelijken met de emissie op dag n en dag n+1.

De spreiding tussen dagen binnen een bedrijf voor ammoniak en methaan is in het derde jaar duidelijk lager dan in het eerste jaar van de metingen. Uit de figuren 7 t/m10 blijkt dat vooral de maximum emissie lager is. Dit kan betekenen dat via verbeterd management de uitschieters in de emissies zijn voorkomen. De spreiding tussen bedrijven is daarentegen toegenomen voor ammoniak en gedaald voor methaan. Aangezien de ammoniakemissie afhankelijk is van allerlei stalkarakteristieken en methaanemissie voornamelijk van het dier, is het in de lijn der verwachting dat de spreiding tussen bedrijven groter is voor ammoniak dan voor methaan.

Het ammoniak- en methaanemissiepatroon bij bedrijven met en zonder weidegang is zoals verwacht, op basis van de kennis over het emissieproces van beide gassen. De stijging in ammoniakemissie op bedrijven waar niet geweid wordt is het gevolg van een hogere temperatuur en mogelijk ook een toegenomen ventilatiedebiet als gevolg van een hogere temperatuur. Bij bedrijven met beperkt weidegang is deze stijging niet waarneembaar. Hierbij moet een eventuele bias in acht worden genomen doordat de uren waarin de dieren in de weide stonden, niet zijn meegenomen in de emissieberekening. In een vervolgrapportage wordt hier verder op in gegaan en worden alternatieven gepresenteerd voor het omgaan met deze weideperiode. Het methaanemissiepatroon is gelijk voor bedrijven met- en zonder weidegang. Dit patroon wordt gekenmerkt door een lagere emissie in het tweede kwartaal. Verwacht was dat dit het gevolg is van een afname in mestvolume gedurende het eerste kwartaal van het jaar.

De relatie tussen ammoniakemissie en ventilatiedebiet verschilt per seizoen waarbij een sterkere relatie is gevonden in de winter en het voorjaar ten opzichte van de zomer en de herfst. Een mogelijke verklaring hiervoor is de bijdrage van ammoniakemissie uit de mestkelder. Monteny et al. (2000) en Schep et al. (2022) laten zien dat het ventilatiedebiet van de mestkelder afhankelijk is van het temperatuurverschil tussen stallucht en de ingaande buitenlucht. Koude buitenlucht heeft een hogere dichtheid dan de warmere stallucht waardoor de warmere lucht in de kelder naar buiten gestuwd wordt. Deze kelderventilatie draagt sterk bij aan een hogere emissie van ammoniak.

Het opstellen van een benchmark biedt bedrijven binnen uniforme groepen een richtpunt voor verbetering. Verdere verdieping in de oorzaken van de verschillen binnen een groep dragen daaraan bij. De strategie of verklaring voor de best presterende bedrijven in de verschillende groepen kan sterk variëren. Zo presteren bedrijf 6 (De Marke), bedrijf 7 en bedrijf 14 in de categorie vloertype alle drie het beste binnen hun groep maar heeft elk bedrijf hiervoor een andere verklaring die onafhankelijk is van het vloertype:

1. Op De Marke is de stikstofefficiëntie en de voerefficiëntie hoog, de melkproductie gemiddeld en de bevuiling van de vloer minimaal;
2. Op Bedrijf 7 is de stikstof- en voerefficiëntie laag, maar ook de melkproductie waardoor de voeropname daalt (zie ook Tabel 18);
3. Op Bedrijf 14 is de bezettingsgraad laag (75%) en daardoor de methaanemissie per dierplaats (zie Tabel 18).

Het belang van de eenheid waarin de emissies worden uitgedrukt wordt daarmee extra relevant wanneer benchmark-strategieën worden toegepast om bedrijven met elkaar te vergelijken. Er zal een normalisatie plaats moeten vinden op basis van de kenmerken uit Tabel 18 voor een eerlijke vergelijking of bedrijven moeten met elkaar vergeleken worden op basis van een combinatie van eenheden waarin de emissie is uitgedrukt. Beide oplossingen gaan ten koste van een eenvoudige interpretatie.

Desalniettemin komt uit de benchmark op een aantal kenmerken verschillen tussen groepen naar voren. Sommige verschillen worden verklaard uit bovengenoemde beperkingen, maar andere verschillen (tussen vloertype, hoeveelheid weidegang en melksysteem) zijn verklaarbaar. Eén van de verschillen tussen groepen is het verschil in methaanemissie tussen stallen mét mestopslag en stallen zonder mestopslag onder het loopoppervlak. Het verschil tussen beide groepen is 14-21 kg CH<sub>4</sub> per dierplaats per jaar (10-14%). Dit getal geeft een schatting van de methaanemissie uit de mestopslag. Hindrichsen et al. (2006) heeft de methaanemissie uit mest van melkkoeien met een melkproductie van 20 kg per dier per jaar onderzocht. Dit is gedaan tijdens een opslagperiode van 14 weken en zij vonden daarin een methaanproductie van 25-63 gram per dier per dag bij verschillende rantsoenen. Het rantsoen met hooi, graskuil en krachtvoer



---

resulteerde in de hoogste methaanemissie uit mest van omgerekend 23 kg per dier per jaar (13% van totale methaanproductie). De getallen in dit onderzoek zijn in dezelfde orde van grootte. Šebek et al. (2014) heeft echter een mestbijdrage van 20-25% van de totale methaanemissie gevonden. Het verschil hiertussen kan meerdere oorzaken hebben en kan op basis van de huidige studie niet eenduidig benoemd worden. Het wordt aanbevolen om (redenen van) variatie tussen bedrijven van de methaanbijdrage uit mest en mogelijkheden om die te reduceren te onderzoeken. Dit omdat daarmee waarschijnlijk een snellere reductie van de methaanemissie op bedrijfsniveau te behalen is dan door voeding.

Uit de indeling van de bedrijven naar vloertype blijkt dat de alle bedrijven met A1.100 stalsysteem (reguliere roostervloer; zie Tabel 2) een gemiddelde ammoniakemissie van 9,4 kg per dierplaats per jaar realiseerden die in elk van de meetjaren duidelijk lager was dan de standaard emissiewaarde voor stalsysteem A1.100 van 13 kg per dierplaats per jaar. Voor de overige stalsystemen met een emissiefactor tussen 6 en 8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar was de gemeten emissie hoger dan de bijbehorende emissiefactor, maar gemiddeld lager dan die met het reguliere stalsysteem (A1.100). De methaanemissie is gelijk bij emissie-arme en reguliere stalsystemen. Alleen wanneer er geen mestopslag in de stal aanwezig was, is met 128 kg methaan per dierplaats per jaar een 10-14% lagere methaanemissie gemeten dan in stalsystemen met een mestopslag.

## 5.3 Conclusies

- Op basis van de continue metingen op de 15 onderzoeksbedrijven in drie meetjaren is de gemiddelde emissie van ammoniak en methaan respectievelijk 9,0 en 153 kg per dierplaats per jaar.
- De ammoniakemissie is tussen maart 2021 en maart 2024 met 2,8% per dierplaats per jaar gestegen. De methaanemissie was constant gedurende de meetjaren. De stijging van de ammoniakemissie is zeer beperkt en kan deels verklaard worden uit het toegenomen ventilatiedebiet en de hogere temperatuur in meetjaar 3 ten opzichte van meetjaar 1.
- De emissieresultaten van de puntmetingen liggen voor ammoniakemissie gemiddeld 8% en voor de methaanemissie gemiddeld 4% hoger dan die van de continue metingen.
- Er is een duidelijk effect van ventilatiedebiet op de emissie van ammoniak dat per seizoen verschilt. Per 1000 m<sup>3</sup> per dier per uur neemt de emissie in de zomer met 1,0 en in de winter met 2,3 kg NH<sub>3</sub> per GVE per jaar toe. Dit biedt aangrijpingspunten om door actieve sturing van het ventilatiedebiet de emissie van ammoniak te beperken.
- De meetonzekerheid van emissies uit natuurlijk geventileerde stallen is minimaal 17% bij een meetonzekerheid van CO<sub>2</sub> van 20 ppm en een modelonzekerheid van 10%. De onzekerheid stijgt exponentieel met het ventilatieniveau in een stal.
- Het toepassen van een benchmark-strategie op de emissie van methaan of ammoniak per dierplaats per jaar is zinvol wanneer de bedrijven onderling vergelijkbaar zijn op de kenmerken melkproductie, bezettingsgraad en aandeel jongvee in de meetstal. Een verschil tussen benchmark-groepen kan informatie geven over verschillen tussen systemen.

---

# Literatuur

- Brabander, D. de, J. Vanacker, S. Botterman, J. de Boever en Ch. Boucqué, 1999. Invloedsfactoren op het melkureumgehalte, Mededeling DVV nr. 1108, Departement Dierenvoeding en Veehouderij, Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek, Gent, België.
- Elsgaard, L., A.B. Olsen, S.O. Petersen, 2016. Temperature response of methane production in liquid manures and co-digestates, *Science of the Total Environment* 539 (2016), pp.:78-84.
- Elzing, A., G.J. Monteny, 1997. Ammonia emission in a scale model of a dairy-cow house, *Transactions of the ASAE VOL. 40(3):713-720*.
- Groenestein, C.M., 2006. Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw. PhD Thesis, Wageningen Universiteit.
- Hindrichsen, I.K., H.-R. Wettstein, A. Machmüller, M. Kreuzer, 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113 (2006), pp.:150-161, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.004>.
- 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 cow houses, *Transactions of the ASAE*, 41(1), pp.:193-201, doi: 10.13031/2013,17151.
- Monteny, G.J., G.P.A Bot, J.H.W Raaben and J.P.E. Overbeek, 2000. 'Air exchange through a slatted floor for dairy-cow housing' in Monteny, G.J., *Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses*, Wageningen, pp.: 77-96.
- Mosquera, J., A.J.A. Aarnink, H. Ellen, H.J.C. van Dooren, R.A van Emous, J. van Harn, N.W.M. Ogink, 2017. Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken, Geactualiseerde versie 2017, Wageningen, Wageningen Livestock Research, Livestock Research Rapport 645.
- Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink, E.A.P van Well, G.J. Monteny, 2021. Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit melkveestallen, Wageningen Livestock Research, Rapport 1286.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, en J.M.G. Hol, 2013. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013, Wageningen UR Livestock Research Rapport 726,
- Pedersen, S. en K. Sällvik, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses, Heat and moisture production at animal and house levels.
- Pedersen, S., V Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, en A.J.A. Aarnink, 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review, *Agricultural Engineering International: CIGR E journal*, Manuscript BC 08 008, Vol, X, December, 2008.
- Schep, C.A., H.J.C. van Dooren, P.W.G. Groot Koerkamp, N.W.M. Ogink, 2022. Using slurry pit headspace gas concentrations to quantify pit ventilation rate in a dairy house, Comparison between a closed and slatted floor, *Biosystems Engineering* 223, pp.:206-218.
- Schep, C.A., H.J.C. van Dooren, J. Mosquera, E.A.P. van Well, J.A. Keuskamp, N.W.M. Ogink, 2022. Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018 - oktober 2020, 2022, Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1388.
- Šebek, L.B., M.H.A. de Haan, A. Bannink, 2014. Methaanemissie op het melkveebedrijf, Impactanalyse voor reductiemaatregelen en doorrekening daarvan in de Kringloopwijzer, Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 796.
- Smits, M.C.J., en J.W.H. Huis in 't Veld, 2006. Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien & Kansen-bedrijven en De Marke, Resultaten van diverse korte meetsessies, K&K-Rapport 35.
- Sommer, S.G., S.O. Petersen, H.B. Møller, 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69, pp.:143-154.
- Spek, J.W., J. Dijkstra, G. van Duinkerken, en A. Bannink, 2013. A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle, *Journal of Agricultural Science* 151, 407-423.
- Tamminga, S., Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control, 1992. *Journal of Dairy Science* 75, 345-357.

---

Zeeman, G., 1991. Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure, PhD thesis, Wageningen University, 118 p.

# Bijlage 1: Meetomstandigheden

**Tabel 19** Gemiddelde windsnelheid (KNMI) en staltemperatuur tijdens de continue metingen.

Bedrijf	Windsnelheid (m/s)				Staltemperatuur (°C)			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld
1	4,3	4,0	4,4	4,2	14,1	15,2	15,3	14,9
2	4,7	4,5	4,9	4,7	14,3	15,0	14,8	14,7
3	4,0	3,7	4,2	4,0	14,1	14,4	14,6	14,4
4	3,3	3,2	3,5	3,3	13,7	14,3	14,2	14,1
5	3,9	3,6	4,1	3,9	13,7	14,6	14,7	14,3
6	3,5	3,5	4,0	3,7	13,3	14,1	15,0	14,1
7	4,2	3,6		3,9	13,8	17,3		15,6
8	6,2	5,9	6,4	6,2	13,7	13,6	13,6	13,6
9	3,1	3,1	3,4	3,2	14,1	14,8	15,0	14,6
10	4,8	4,4	4,8	4,7	13,7	14,4	13,8	14,0
11	6,2	5,9	6,4	6,2	12,1	12,2	12,3	12,2
12	2,2	2,2	2,4	2,3	14,6	15,3	15,4	15,1
13	5,7	5,2	5,9	5,6	14,9	14,6	14,8	14,8
14	3,3	3,0	3,4	3,2	13,5	14,2	14,4	14,0
15	4,8	4,4	5	4,7	14,0	14,4	14,6	14,3
Gemiddeld	4,3	4,0	4,5	4,3	13,8	14,6	14,5	14,3

**Tabel 20** Gemiddelde aantal dieren in de meetstal tijdens de continue metingen.

Bedrijf	Aantal dieren in meetstal (#)			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Gemiddeld
1	142	143	141	142
2	163	163	170	165
3	127	126	119	124
4	209	205	202	205
5	159	161	161	160
6	100	102	100	101
7	104	87		96
8	277	276	271	275
9	187	194	194	192
10	123	124	120	122
11	121	127	127	125
12	171	182	181	178
13	199	200	205	201
14	100	101	96	99
15	102	110	104	105
Gemiddeld	156	158	157	157



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](mailto: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.

