



Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

C.A. Schep, H.J.C. van Dooren, J. Mosquera, E.A.P. van Well, J.A. Keuskamp, N.W.M. Ogink

Rapport 1388



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

C.A. Schep¹, H.J.C. van Dooren¹, J. Mosquera¹, E.A.P. van Well², J.A. Keuskamp³, N.W.M. Ogink¹

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 'Klimaat Slim Methaan emissie veehouderij' (BO-53-003-003 en BO-53-003-018).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, september 2022

Rapport 1388

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.

Samenvatting NL Tussen oktober 2018 en oktober 2020 is op 18 melkveebedrijven verdeeld over Nederland de ammoniak- (NH₃) en methaan- (CH₄) emissie bepaald. Hiervoor is een stalmeetsysteem toegepast waarbij emissies op dagbasis zijn bepaald en dit is vergeleken met 24-uurs metingen die als referentie dienen. Het doel van dit onderzoek was om de niveaus en variatie in methaanemissie vast te stellen, relaties met bedrijfsgegevens te achterhalen en aan te tonen hoe een stalmeetsysteem kan bijdragen aan de reductie van ammoniak- en methaanemissie via bedrijfsspecifieke maatregelen. De gemiddelde emissie ± standaarddeviatie is 13,8 ± 3,2 kg NH₃ per dierplaats per jaar en 193 ± 56 kg CH₄ per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen (referentie). Op basis van de continue sensoren is de gemiddelde ammoniakemissie 12,0 ± 2,9 kg per dierplaats per jaar en de gemiddelde methaanemissie 184 ± 50 kg per dierplaats per jaar. De spreiding in methaanemissie is 27% tussen bedrijven en 29% spreiding binnen een bedrijf (dat wil zeggen: tussen dagen) op basis van de continue metingen. De buitentemperatuur is een indicator voor het verloop van de ammoniakemissie door het jaar heen en de CH₄-CO₂ concentratieverhouding van de stallucht is een indicator voor de methaanemissie op een bedrijf. Het inzicht in het verloop van de emissies via het stalmeetsysteem geeft handvatten voor de implementatie van bedrijfsspecifieke maatregelen en een verbetering van de meetmethodiek.

Summary UK Between October 2018 and October 2020 measurements have taken place on 18 dairy farms in The Netherlands based on which their ammonia- (NH₃) and methane (CH₄) emissions were determined. With the measurement equipment, an emission estimation was made per day and compared with a reference measurement. The aim of this study was to determine the methane emissions and its variation from dairy houses in the Netherlands. Besides that, an aim was to find relations with farm management factors. Another aim was to investigate how such a measurement system could support farmers to apply measures in order to reduce ammonia- and methane emissions. The mean emission ± standard deviation was 13,8 ± 3,2 kg NH₃ per animal place per year and 193 ± 56 kg CH₄ per animal place per year based on the reference measurements. Based on the daily averages (from the continuous measurements), the average ammonia emissions were 12,0 ± 2,9 kg per animal place per year and the average methane emissions 184 ± 50 kg per animal place per year. Based on continuous measurements, the variation in methane emissions was 27% between farms and 29% within farms (i.e. the variation between days). The outside temperature is found to be a good predictor for the ammonia emissions pattern throughout the year. In addition to that, the CH₄-CO₂ ratio at concentration level of house air can be used as a predictor for the total methane emission of a certain farm. Quantifying emission levels by a measurement system can help the farmer to implement farm specific measures.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/576706> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen. Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1388

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Materiaal en methode	9
	2.1 Stal en bedrijfssituatie	9
	2.2 Metingen	13
	2.2.1 Meetstrategie	13
	2.2.2 Meetapparatuur	14
	2.3 Verwerking gegevens	18
	2.3.1 Emissieberekening	18
	2.3.2 Berekening emissies tijdens weidegang en vergelijking emissies puntmetingen en continue metingen.	20
	2.3.3 Statistische toetsing	21
3	Resultaten en discussie	22
	3.1 Beschikbaarheid van data	22
	3.2 Bedrijfsgegevens	22
	3.3 Vergelijking tussen punt- en continumetingen	24
	3.4 Vergelijking continumeting en puntmeting: bedrijfsgemiddelde	25
	3.5 Vergelijking continu en punt; dagwaarden	26
	3.6 Spreiding in ammoniakemissie tussen bedrijven en binnen een jaar	28
	3.7 Spreiding in methaanemissie tussen bedrijven en binnen een jaar	29
	3.8 Ammoniakemissie en eiwit	31
	3.9 Stalconcentraties	32
	3.10 Stalmeting en GreenFeed	33
	3.11 Vergelijking tussen bedrijfstypen	34
	3.12 Gebruik van eenheden en vergelijking met K LW	35
4	Implicaties	38
	4.1 Het meten van emissies	38
	4.1.1 De nauwkeurigheid van het concentratieverschil tussen stal en achtergrond	39
	4.1.2 De nauwkeurigheid van het CO ₂ productiemodel voor de debietschatting	40
	4.2 Betrouwbaarheid resultaten	41
	4.2.1 Verschil tussen punt- en continumetingen	41
	4.2.2 Eenheid van uitdrukken	43
	4.3 Verkregen inzichten	43
	4.3.1 Emissiepatroon NH ₃	43
	4.3.2 Verschillen tussen jaren	43
	4.3.3 Samenhang tussen emissie en bedrijfsfactoren	43
	4.4 Continue metingen in de praktijk	44
	4.4.1 Ammoniak	44
	4.4.2 Methaan	44
	4.4.3 Emissiemeting en de K LW	45
	4.4.4 Evaluatie van terugkoppeling van continue gemeten ammoniak- en methaanemissie door CLM	45
5	Conclusies	48

Literatuur 49

Bijlage 1	Meetapparatuur	52
Bijlage 2	Correlatie CH₄- en CO₂ concentratie	56
Bijlage 3	Voorspelde en gemeten CH₄-emissie	57

Samenvatting

De methaanemissie uit de melkveehouderij draagt in belangrijke mate bij aan de Nederlandse broeikasgasemissie. In het klimaatakkoord is daarom een reductiedoelstelling voor 2030 opgenomen. Voor de landbouw bedraagt die 3,5 Mton CO₂-equivalenten waarvan 1 Mton CO₂-eq door minder methaanuitstoot. In het coalitieakkoord van 2021 is de totale reductiedoelstelling omhoog bijgesteld waardoor de opgave nog groter wordt. Representatieve metingen van methaanemissie op stalniveau hebben tot dusver nauwelijks plaatsgevonden. De doelstellingen voor dit onderzoek, gefinancierd uit de klimaatgelden van LNV, waren daarom:

1. Het vaststellen van het niveau van de methaanemissie uit melkveestallen.
2. Het vaststellen van de mate van variatie in methaanemissie binnen en tussen bedrijven.
3. Het vaststellen van de mate van samenhang tussen gemeten methaanemissie en aanwezige bedrijfsfactoren.
4. Het toepassen van een nieuw meetsysteem met continue en directe stalmonitoring van emissies van methaan en ammoniak en van de wijze waarop dit kan bijdragen aan het terugdringen van de methaanemissie via bedrijfsspecifieke maatregelen.

Op 18 melkveebedrijven verdeeld over Nederland zijn in de periode van oktober 2018 tot en met oktober 2020 metingen verricht om de emissieniveaus van ammoniak (NH₃) en methaan (CH₄) per dag op stalniveau te bepalen. Deze continue metingen zijn vergeleken met puntmetingen die als referentie (voor zover mogelijk volgens het RAV-protocol) dienden en op basis daarvan is een veldkalibratie toegepast.

Voor de toepassing van een stalmeetsysteem in de praktijk is het belangrijk dat de CO₂ sensoren nauwkeurig zijn en een representatief monster van de uitgaande- en ingaande lucht meten aangezien de emissies het meest gevoelig zijn voor een afwijking in de CO₂ concentratie. De emissiemetingen geven inzicht in de emissiepatronen over de tijd heen waardoor de betrokken melkveehouders grip krijgen op hun emissies en hun management hierop kunnen aanpassen.

De gemiddelde ammoniakemissie is $13,8 \pm 3,2$ kg NH₃ per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en $12,0 \pm 2,9$ kg per dierplaats per jaar op basis van de continue metingen. De gemiddelde methaanemissie is 193 ± 56 kg per dierplaats per jaar op basis van de puntmetingen en 184 ± 50 kg per dierplaats per jaar op basis van de continue metingen. De spreiding in methaanemissie op basis van de continue metingen is 0,27 (27%) tussen bedrijven en 0,29 (29%) binnen bedrijven. De buitentemperatuur is een indicator voor het verloop van de ammoniakemissie door het jaar heen en toont aan dat de grootste reductie behaald kan worden met maatregelen die effectief zijn bij een hogere temperatuur. De CH₄-CO₂ concentratieverhouding in de stallucht is een grove indicator voor de methaanemissie op een bedrijf. Op basis van de CH₄-CO₂ concentratieverhouding kan de methaanemissie op een bedrijf met een eenvoudiger meetsysteem bepaald worden. Voor absolute emissieschattingen gaat dit gepaard met een fout van gemiddeld 14%. Bedrijven met een (emissiearme) dichte vloer hadden op basis van de puntmetingen geen significant lagere ammoniakemissie, maar wel op basis van de continue metingen. Op andere bedrijfskenmerken (Ras: HF of MRIJ, deelname aan Koeien&Kansen en Biologische bedrijfsvoering) zijn geen significante verschillen aangetoond.

1 Inleiding

In 2020 bedroeg het aandeel van de landbouw in de nationale broeikasgasemissie 16% volgens de IPCC richtlijnen (Emissieregistratie, 2022a). De methaanemissie droeg daar in bij voor ruim de helft (54%). De totale methaanemissie in Nederland was in 2019 en 2020 respectievelijk 746,3 en 733,4 kton (bron: www.emissieregistratie). In 2019 was 479,7 kton (65%) van de methaanemissie afkomstig van de veehouderij (van Bruggen et al. 2021). Om de opwarming van de aarde zoveel mogelijk te beperken, is in het klimaatakkoord uit 2019 een reductie van de nationale broeikasgasuitstoot in 2030 met 49% ten opzichte van 1990 vastgelegd. Om dit te kunnen behalen is er door de deelnemende partijen in het klimaatakkoord een reductieopgave voor verschillende sectoren vastgelegd. Deze is voor landbouw en landgebruik 3,5 Mton CO₂-equivalenten (CO₂-eq.) bovenop bestaande beleid en is opgesplitst in verschillende sectoren en bedraagt voor de veehouderij 1,2-2,7 Mton CO₂-eq¹. Dat komt bij een GWP² van 28 overeen met een afname van 42-96 kton methaan oftewel een reductie van 9-20% ten opzichte de uitstoot van de veehouderij in 2018. Naast het klimaatakkoord, is er in het beleidsprogramma klimaat onderstaande doelstelling opgenomen, waarmee de klimaatopgave van de landbouw groter is dan op basis van het klimaatakkoord.

De te behalen indicatieve restemissie voor de landbouw bedraagt 18,9 Mton in 2030 en voor het landgebruik 1,8 -2,7 Mton CO₂ eq. in 2030. Met deze indicatieve restemissiedoelen wordt ook bijgedragen aan het realiseren van de 'Global methane pledge', waarmee Nederland zich heeft gecommitteerd aan een wereldwijde methaanemissiereductie van 30% in 2030 ten opzichte van 2020. (Beleidsprogramma klimaat, 2022)

De methaanemissie uit de veehouderij wordt momenteel volgens richtlijnen van het IPCC op een landspecifieke manier (TIER 3) gemodelleerd en gerapporteerd in de zogenaamde National Inventory Reports (NIR) (Ruyssenaars et al., 2020). De berekeningen met het model NEMA (National Emission Model Agriculture) en de achterliggende methodiek zijn beschreven in respectievelijk van Bruggen et al. (2021) en Van der Zee et al. (2021). Het gaat daarbij om zowel de enterische (emissie uit pens- en darmfermentatie) methaanemissie van de dieren als de methaanemissie uit de mest. Deze modelmatige berekeningen op basis van dieraantallen en emissiefactoren per diercategorie gaan uit van landelijke gemiddelden. In de praktijk zal er sprake zijn van variatie in methaanemissies uit stallen en mestopslagen als gevolg van een groot aantal bedrijfsfactoren die verbonden zijn aan uitvoer van stal en mestopslag, voer- en mestmanagement en omgevingsfactoren (Groenestein et al., 2016). De grootte van deze variatie is niet bekend. Inzicht in deze variatie en de samenhang met aanwezige bedrijfsfactoren is belangrijk om technische maatregelen voor reductie van de methaanemissie uit stallen en mestopslagen effectief in te zetten. Met deze kennis kan maatwerk per bedrijf en regio worden ontwikkeld. Om inzicht te krijgen in de factoren die bedrijfsspecifieke emissies beïnvloeden, is er kennis nodig over de huidige emissies op bedrijfsniveau. Representatieve metingen van methaanemissie op stalniveau hebben tot dusver beperkt plaatsgevonden (Mosquera et al., 2010).

Voor de ammoniakemissie uit de veehouderij ligt de situatie anders. Ook hier worden op nationaal niveau emissies berekend en gerapporteerd (van Bruggen et al., 2021) maar de aanpak is gedetailleerder en er zijn veel meer representatieve metingen van ammoniakemissie op stalniveau beschikbaar bij wisselende huisvestingssystemen (Mosquera et al., 2012a-h).

Wanneer methaan- en ammoniakemissie uit stallen direct inzichtelijk zou zijn voor veehouders kan dat een belangrijk instrument zijn om de bedrijfsvoering te optimaliseren en/of methaan-reducerende maatregelen in te voeren. Dergelijke bedrijfsmonitoring kan op termijn ook de mogelijkheid bieden om afspraken te maken over de uitstoot van methaan- en ammoniakemissies en deze te borgen.

¹ De overige reductie moet behaald worden door reductie van GHG emissies uit bodem, kassen en bossen.

² GWP: Global Warming Potential. Een factor die de bijdrage van een broeikasgas ten opzichte van CO₂ aan het broeikaseffect weergeeft.

In het kader van het onderzoeksprogramma 'Integraal aanpakken'³ dat gefinancierd wordt door het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV), is daarom eind 2018 dit project opgestart met als belangrijkste doelen:

1. Nieuw meetsysteem met continue en directe stalmonitoring van emissies van methaan en ammoniak en van de wijze waarop dit kan bijdragen aan het terugdringen van de methaanemissie via bedrijfsspecifieke maatregelen.
2. Vaststellen van het niveau van de methaanemissie uit melkveestallen.
3. Vaststellen van de mate van variatie in methaanemissie binnen en tussen bedrijven.
4. Vaststellen van de mate van samenhang tussen gemeten methaanemissie en aanwezige bedrijfsfactoren.

Om deze doelen te kunnen realiseren is er gekozen voor een jaarrond meetaanpak met bestaande meetmethoden aangevuld met een nieuw systeem voor continue monitoring van de emissie van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) op stalniveau. Een jaarrond aanpak is noodzakelijk omdat een aantal invloedsfactoren (zoals bijvoorbeeld voeding en klimaat) seizoensgebonden zijn. De continue metingen zijn minimaal één keer per twee maanden gecontroleerd door middel van een meting met de bestaande en erkende meetmethoden. Deze zogenoemde puntmetingen fungeren als referentie⁴ waarmee afwijkingen in de sensoren kunnen worden bijgesteld. Dit wordt ook wel veldkalibratie genoemd. Vervolgens zijn de metingen nog een jaar voortgezet met als resultaat een dataset met emissiegegevens over twee jaar.

De onderzoeksvragen die zijn opgesteld zijn:

- Welke factoren dragen bij aan de onzekerheid rondom de emissieschatting door metingen?
- Hoe goed functioneren de bedrijfssensoren voor het continu meten van methaan- en ammoniakemissies t.o.v. de puntmetingen en wat zijn de leerpunten?
- Welke samenhang bestaat er tussen de waargenomen emissiepatronen enerzijds en management- en andere omgevingsfactoren anderzijds?

In dit rapport worden alle metingen op de bemeten melkveebedrijven gerapporteerd. Het bevat dus resultaten van zowel de puntmetingen als de continue metingen over een periode van ongeveer twee jaar. Daarmee bouwt dit rapport voort op een eerdere rapportage (Mosquera et al, 2021) waarin alleen de puntmetingen over het eerste jaar werden beschreven.

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving gegeven van de meetlocaties, meetstrategie en berekeningsmethodiek, inclusief statistische analyse. In Hoofdstuk 3 worden de belangrijkste resultaten uit dit onderzoek weergegeven. In hoofdstuk 4 en 5 volgen tenslotte de discussie en conclusies.

³ Het onderzoeksprogramma Integraal aanpakken, gefinancierd door LNV, is erop gericht inzichten en werkbare maatregelen te bepalen om daarmee veehouders in Nederland op elke grondsoort keuzes te bieden voor passende oplossingen zodat ze hun bedrijf rendabel en toekomstgericht kunnen aanpassen aan de opgaven voor klimaat en stikstof. Het gaat daarbij om onderzoek in het voer- en dierspoor en stalsystemen die bijdragen aan emissiereductie. Een integrale aanpak staat in het onderzoek voorop.

⁴ Vanwege de weidegang op het bedrijf voldoen de puntmetingen niet altijd aan het meetprotocol waarin een voorwaarde is dat de dieren tijdens een meting volledig op stal staan.

2 Materiaal en methode

2.1 Stal en bedrijfssituatie

In de periode van oktober 2018 tot en met oktober 2020 zijn op 18 melkveelocaties de emissies van ammoniak (NH_3) en methaan (CH_4) continu gemeten (Figuur 2.1) waarvan 13 locaties door Wageningen Livestock Research (WLR) en 5 locaties door CLM Onderzoek en Advies (CLM) en Monteny milieuvadvis (MMA)⁵. Tevens zijn op alle meetlocaties elke twee maanden puntmetingen uitgevoerd waarmee ook de emissies van NH_3 , CH_4 en lachgas (N_2O) bepaald zijn. Voor de puntmetingen zijn zoveel mogelijk de richtlijnen van de huidige meetprotocollen gevolgd (Ogink et al., 2017; VERA, 2018). Omdat er ook tijdens de weideperiode metingen zijn verricht, voldoet 34% van alle puntmetingen niet aan deze protocollen waarin de voorwaarde wordt gesteld dat de dieren volledig op stal staan.

Bij de selectie van de melkveebedrijven is rekening gehouden met een aantal factoren: de spreiding over het land (zie Figuur 2.1), de verhouding tussen meetlocaties met een traditionele roostervloer en met een (dichte) emissiearme vloer en met verschillende rassen (Holstein (HF) vs. MRIJ). Verder zijn zoveel mogelijk Koeien en Kansen bedrijven opgenomen in de selectie, omdat op deze bedrijven al veel data verzameld wordt. De metingen zijn uitgevoerd op vijf Koeien en Kansen bedrijven en 13 overige melkveebedrijven. Op 12 bedrijven was een traditionele roostervloer aanwezig; de overige zes hadden een ammoniakemissie reducerende (dichte) vloer. Van alle 18 melkveebedrijven was één bedrijf biologisch en werden op twee bedrijven MRIJ-koeien gehouden (16 bedrijven met HF-koeien). Op 11 bedrijven was een automatisch melksysteem (AMS) aanwezig. In Tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van alle bemeten melkveestallen in dit onderzoek weergegeven. In Bijlage 1 van Mosquera et.al. (2021) zijn de verschillende locaties verder beschreven, inclusief de belangrijkste resultaten per locatie.



Figuur 2.1 Overzicht meetlocaties melkvee (Bron: Google Maps).

⁵ CLM Onderzoek en Advies (CLM) en Monteny Milieuvadvis waren beide partner in het project. Vanwege de leesbaarheid worden in de rest van het rapport beide partners aangeduid als 'CLM' en de bedrijven als 'CLM-bedrijven'.

Tabel 1 Selectie van kenmerken van de bemeten melkveestallen. WLR-bedrijven zijn gecodeerd als WLR1 t/m WLR13, CLM-bedrijven als CLM1 t/m CLM5.

Kenmerk	WLR1	WLR2	WLR3	WLR4	WLR5	WLR6
Huisvestingssysteem	Traditioneel	Traditioneel	Traditioneel	Traditioneel	Emissiearm	Traditioneel
Stalindeling	1+3	0+6+0	1+2	1+1	1+2	1+4+1
Dierplaatsen (exclusief separatuimtes)	271	217	98	103	115	188
Loopoppervlakte [m ² /dierplaats]	2,8	4,2	3,8	3,5	3,5	4,9
Mestcapaciteit [m ³]	3250	3400	600	1100	580	4200
Melkproductie [kg/dier/dag] ¹⁾	24,6	29,9	29,6	31,3	30,8	34,6
Melk [%vet]	4,35	4,39	4,5	4,38	4,57	4,31
Melk [%eiwit]	3,47	3,50	3,57	3,59	3,61	3,34
Melkureumgehalte [mg/100g] ¹⁾	22	22	19	21	18	21
Vloer (rooster/dicht)	Rooster	Rooster	Rooster	Rooster	Dicht ²⁾	Rooster
Weidegang (dagen x uren per jaar)	210 x 8	167 x 7,4	122 x 6	180 x 4	132 x 7,6	---
Biologisch (ja/nee)	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Ras (HF/MRIJ)	HF	HF	HF	HF	HF	HF
Koeien en kansen (ja/nee)	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee
AMS (ja/nee)	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja

¹⁾ Gebaseerd op gegevens uit de Kringloopwijzer (KLW)

²⁾ Dichte vloer met kelder en met openingen en/of mestafstortplekken in de stal.

Tabel 1 (Vervolg) Selectie van kenmerken van de bemeten melkveestallen (vervolg). WLR-stallen zijn gecodeerd als WLR1 t/m WLR13, CLM-stallen als CLM1 t/m CLM5.

Kenmerk	WLR7	WLR8	WLR9	WLR10	WLR11	WLR12
Huisvestingssysteem	Traditioneel	Traditioneel	Emissiearm	Traditioneel	Traditioneel	Traditioneel
Stalindeling	0+6+0	3+2	0+6+0	2+2	1+2	1+4
Dierplaatsen (exclusief separatieruimtes)	178	190	192	192	88	87
Loopoppervlakte [m ² /dierplaats]	4,3	3,2	5,0	3,5	5,2	3,0
Mestcapaciteit [m ³]	2700	2700	3300	2360	1800	490
Voeropname [kg ds/dier/dag] ¹⁾	18,0	19,5	20,5	23,4	16,6	16,4
Aandeel vers gras [%] ¹⁾	0,0	0,0	5,4	2,0	6,7	11,1
Aandeel graslandproducten [%] ¹⁾	30,9	53,4	37,5	50,0	28,1	25,2
Aandeel maïsproducten [%] ¹⁾	26,9	17,5	18,5	5,0	28,4	24,9
Aandeel overige ruwvoer en bijproducten [%] ¹⁾	11,8	1,0	3,7	31,0	7,0	5,1
Aandeel krachtvoer en mineralen [%] ¹⁾	30,4	28,1	34,9	12,0	29,8	33,7
Melkproductie [kg/dier/dag] ¹⁾	32,4	31	34,8	30,7	23,7	25,1
Melk [%vet]	4,3	4,4	4,25	4,14	4,67	4,41
Melk [%eiwit]	3,57	3,48	3,31	3,62	3,86	3,66
Melkureumgehalte [mg/100g] ¹⁾	23	17	18	20	26	22
Fosforgehalte [mg/100g] ¹⁾	---	101	95	105	113	109
Vloer (rooster/dicht)	Rooster	Rooster	Dicht ²⁾	Rooster	Rooster	Rooster
Weidegang (dagen x uren per jaar)	---	---	141 x 5,3	120 x 6	120 x 6	160 x 6
Biologisch (ja/nee)	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Ras (HF/MRIJ)	HF	HF	HF	HF	MRIJ	MRIJ
Koeien en kansen (ja/nee)	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
AMS (ja/nee)	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee

¹⁾ Gebaseerd op gegevens uit de Kringloopwijzer (KLW)

²⁾ Dichte vloer met kelder en met openingen en/of mestafstortplekken in de stal.

Tabel 1 (Vervolg) Selectie van kenmerken van de bemeten melkveestallen (vervolg). WLR-stallen zijn gecodeerd als WLR1 t/m WLR13, CLM-stallen als CLM1 t/m CLM5.

Kenmerk	WLR13	CLM1	CLM2	CLM3	CLM4	CLM5
Huisvestingssysteem	Traditioneel	Traditioneel	Emissiearm	Emissiearm	Emissiearm	Emissiearm
Stalindeling	2+2	0+4	0+6+0	2+1	0+6+0	3+3
Dierplaatsen (exclusief separatieruimtes)	160	107	252	208	192	282
Loopoppervlakte [m ² /dierplaats]	3,6	5,0	4,2	3,8	4,8	4,2
Mestcapaciteit [m ³]	1420	870	4000	3000	3700	8800
Melkproductie [kg/dier/dag] ¹⁾	30,8	25,5	32,4	33,7	26,3	33,6
Melk [%vet]	4,2	4,62	4,31	4,26	4,4	4,29
Melk [%eiwit]	3,65	3,62	3,56	3,51	3,5	3,49
Melkureumgehalte [mg/100g] ¹⁾	21	17	19	24	20	21
Vloer (rooster/dicht)	Rooster	Rooster	Dicht ²⁾	Dicht ³⁾	Dicht ²⁾	Dicht ²⁾
Weidegang (dagen x uren per jaar)	---	155 x 8,5	---	---	120 x 6	---
Biologisch (ja/nee)	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Ras (HF/MRIJ)	HF	HF	HF	HF	HF	HF
Koeien en kansen (ja/nee)	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
AMS (ja/nee)	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja

¹⁾ Gebaseerd op gegevens uit de Kringloopwijzer (KLW)

²⁾ Dichte vloer met kelder en met openingen en/of mestafstortplekken in de stal.

³⁾ Dichte vloer met kelder maar zonder openingen en/of mestafstortplekken in de stal.

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

De emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O zijn voor zowel de continue- als voor de puntmetingen volgens de tracergas ratiomethode bepaald, met CO_2 als het door dier en mest geproduceerde tracergas (zie hoofdstuk 2.3). Deze methode vereist representatieve metingen van de concentraties van zowel de tracer (CO_2) als van het te meten gas (NH_3 , CH_4 , N_2O). Deze metingen zijn gedaan in zowel de lucht die de stal verlaat (in de stal) als de binnenkomende lucht (buiten de stal).

Voor de metingen in de stal is op alle meetlocaties in de lengte van de stal, ongeveer in het midden (zowel qua hoogte als stalbreedte) een monsternameleiding (polyethyleen (PE) of Teflon) met een aantal bemonsteringspunten geplaatst. Zo wordt een gemengd luchtmonster met een gemiddelde stalluchtconcentratie genomen (Figuur 2.2). Het aantal bemonsteringspunten in deze leiding is afhankelijk van de lengte van de stal, met als voorwaarde een maximale afstand tussen bemonsteringspunten van 10 meter.

Alle bemonsteringspunten zijn voorzien van kritische openingen en voorzien van een stoffilter (Figuur 2.2) om een constante en gecontroleerde monsternameflow door alle meetpunten mogelijk te maken. Bij de CLM -bedrijven was de aangezogen flow per meetpunt ongeveer 300 ml/min, voor de WLR-bedrijven varieerde dit (tussen bedrijven) tussen 400-500 ml/min. De monsternameleiding is aangesloten op een meetbuis (bij de CLM bedrijven een buffervat), waarin de meetapparatuur voor continue concentratiemetingen is geplaatst. Tevens wordt hieruit lucht gezogen voor metingen door apparatuur buiten de meetbuis of het buffervat.

Op de meetbuis of het buffervat is een aantal tappunten aangebracht om tijdens de puntmetingen dezelfde lucht te kunnen bemonsteren als tijdens de continue metingen. De stallucht wordt met behulp van 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) uit de monsternameleiding aangezogen en door meetbuis (of buffervat) geblazen. Met de gebruikte pomp en kritische openingen wordt altijd een overflow gegarandeerd die voldoende is om, gelijktijdig aan de continue metingen ook de puntmetingen uit te kunnen voeren. Alle apparatuur (meetbuis, pomp en de CO_2 -, CH_4 - en NH_3 -meetinstrumenten voor stalluchtconcentraties) is of op een zolder in de stal, of in een (schone) ruimte (e.g. tanklokaal of kantoor) aangrenzend aan de stal of in een industriële meetkast in de stal geplaatst.



Figuur 2.2 Meetopstelling met monsternameleiding. Links: voorbeeld monsternameleiding in de stal. Rechts: voorbeeld van monsternamepunt met kritische opening en stoffilter.

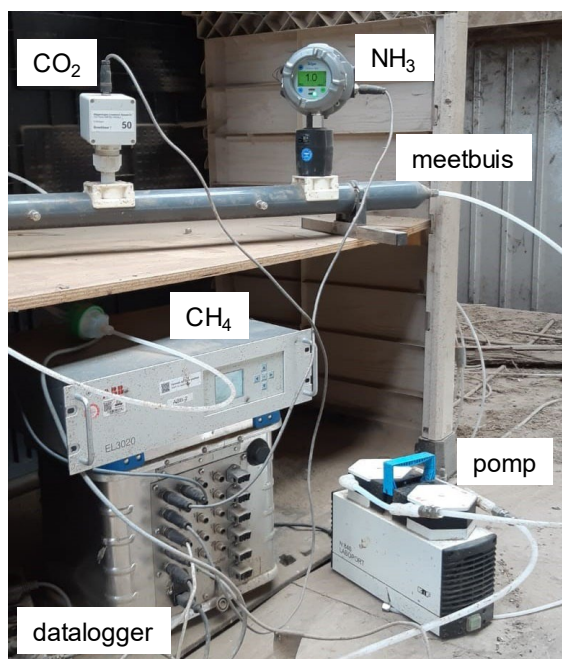
Om emissies te berekenen dient de concentratie van gassen in de stal gecorrigeerd te worden voor de concentratie van de buitenlucht. De apparatuur zoals gebruikt door CLM en WLR verschilt van elkaar. Waar bij WLR de CO₂ concentraties in stallucht en buitenlucht continu zijn bemeaten met verschillende sensoren, worden stal- en buitenlucht op CLM bedrijven steeds om en om bemeaten door dezelfde monitor. Een tweede verschil is dat buitenluchtconcentratie van NH₃ en CH₄ op WLR bedrijven alleen is bepaald tijdens puntmetingen en op CLM bedrijven continu is gemeten door de monitor. De buitenluchtconcentraties van NH₃ en CH₄ zijn op WLR bedrijven bepaald door de gemiddelde waarde van twee opeenvolgende puntmetingen te middelen en te gebruiken als vaste buitenluchtconcentratie in de tussenliggende periode.

2.2.2 Meetapparatuur

2.2.2.1 Meetapparatuur voor continue metingen met meetopstelling 1

De continue metingen met meetopstelling 1 zijn uitgevoerd door WLR. Meetopstelling 1 bestaat uit de volgende instrumenten (Figuur 2.3):

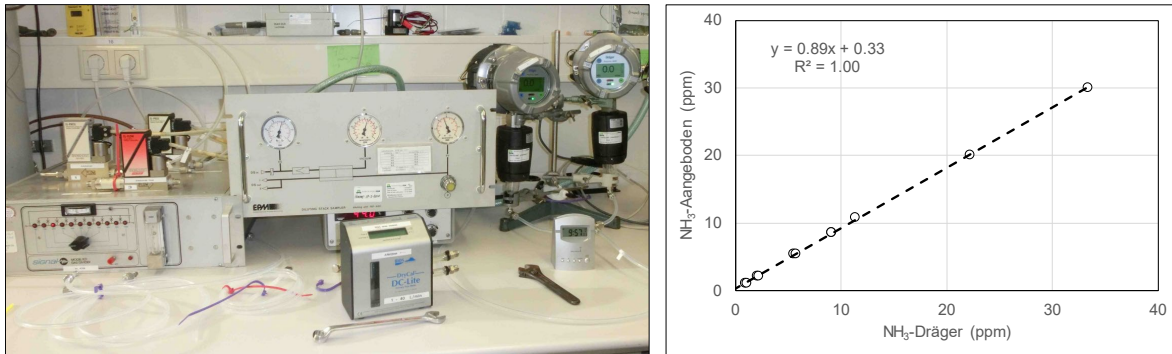
- NH₃: Dräger Polytron® 8000 (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Duitsland). Deze elektrochemische sensoren zijn via een opening in de meetbuis geplaatst, zodat ze in de stroom van de gemengde stallucht in de meetbuis de lucht passief kunnen bemonsteren.
- CO₂: Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252 (Vaisala GmbH, Duitsland). Deze NDIR (Non-Dispersive Infrared) sensoren zijn via een opening in de meetbuis geplaatst, zodat ze in de stroom van de gemengde stallucht in de meetbuis de lucht passief kunnen bemonsteren.
- CH₄: ABB-Uras26 (ABB, Duitsland). Deze NDIR-monitoren zijn via een PE-slang bij een van de tappunten in de meetbuis aangesloten. Via een interne pomp wordt lucht uit de meetbuis met een flow van ca. 1L/min aangezogen en door de meetcel in de monitor geleid om de CH₄-concentratie te bepalen.
- Klimaatgegevens (temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%)) in de stallucht (1 meetpunt midden in de stal) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Vaisala HMP60; Vaisala GmbH, Duitsland). De klimaatgegevens buiten de stal (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting) werden uit de dichtstbijzijnde KNMI-weerstation opgehaald.
- De gemeten concentraties en klimaatgegevens in de stal werden elke 5 minuten in een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.



Figuur 2.3 Meetopstelling WLR voor continue metingen.

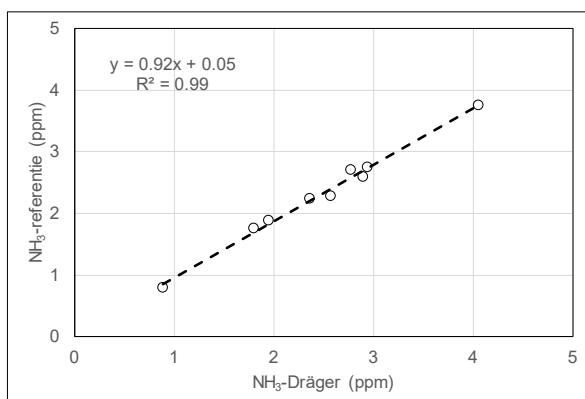
In Bijlage 2 worden deze instrumenten en het bijbehorende meetprincipe kort beschreven. Alle instrumenten zijn op twee verschillende manieren gekalibreerd:

- Labkalibratie in het 'Air Quality Laboratorium' (AQL) van WLR (Figuur 2.4). De instrumenten zijn in het lab tegen standaard kalibratiegassen gekalibreerd (gouden standaard). Met behulp van een verdunningsapparaat zijn van de standaard kalibratiegassen verschillende concentraties aangemaakt en aan de meetinstrumenten aangeboden. Op basis van het signaal van de meetinstrumenten en de aangeboden concentratie (kalibratiegassen) is per instrument een lineaire regressieanalyse ($y = a * x + b$) uitgevoerd om de parameters a en b te bepalen. De sensoren zijn voorafgaand aan het gebruik in het veld gekalibreerd. Na maximaal één jaar, zijn de sensoren vervangen door andere exemplaren en opnieuw gekalibreerd. Bij onrealistische waarnemingen zijn de sensoren eerder vervangen.



Figuur 2.4 Links: Meetopstelling voor de kalibratie van NH₃ Dräger-sensoren in het Air Quality Laboratorium (AQL) van Wageningen Livestock Research (WLR). Rechts: regressielijn voor een van de NH₃ Dräger-sensoren.

- Veldkalibratie in de praktijk. De puntmetingen zijn genomen om de sensordata te controleren. Daarnaast is er op basis van de puntmetingen, ook een veldkalibratie toegepast. Dit houdt in dat de concentraties op basis van de continue sensoren uitgezet zijn tegen de concentraties verkregen met de puntmetingen zoals zichtbaar in Figuur 2.5. Hiervoor is alleen de data geselecteerd waarop er gelijktijdig is gemeten via de punt- en continumetingen. Per sensor is vervolgens een lineaire regressieanalyse ($y = a * x + b$; Figuur 2.5) uitgevoerd om de parameters a en b te bepalen. Op basis van deze sensor-specifieke veldkalibratielijnen, is de data achteraf gekalibreerd. Voor de CO₂ buitenluchtconcentraties is de kalibratielijne toegepast op basis van de stalconcentraties. Dit omdat de variatie in buitenluchtconcentraties te klein was om een sensor-specifieke kalibratielijne te maken.



Figuur 2.5 Regressielijn (veldkalibratie) van een van de NH₃ Dräger-sensoren in de praktijk.

2.2.2.2 Meetapparatuur voor continue metingen met meetopstelling 2

De continue metingen met meetopstelling 1 zijn uitgevoerd door CLM. Meetopstelling 1 bestaat uit de volgende instrumenten (Figuur 2.6; Bijlage 2):

- NH₃-en CO₂-monitor (Fabrikant: LSE). Met deze monitor werden zowel de NH₃- als de CO₂-concentraties gemeten. Voor NH₃ wordt gebruik gemaakt van het foto-akoestische meetprincipe met infrarood laser (LSE-NH₃ 1700). Voor CO₂ wordt gebruik gemaakt van het NDIR-meetprincipe (Vaisala GMP 251, Vaisala GmbH, Duitsland). Deze monitor heeft twee meetingangen en wisselt elk half uur tussen meetingangen. Eén van de meetingangen werd via een Teflon-slang op het buffervat aangesloten van waaruit stallucht werd bemonsterd. Op de andere meetingang werd een leiding aangesloten die rechtstreeks naar buiten de stal loopt, om de buitenlucht te kunnen bemonsteren. Met behulp van een interne pomp werd elke minuut een monster van 30-60 ml genomen van afwisselend stal- en buitenlucht en in de meetkamer van het instrument geanalyseerd.
- CH₄-en CO₂-monitor (Fabrikant: LSE). Met deze monitor werden zowel de CH₄- als de CO₂-concentraties gemeten. Voor CH₄ wordt gebruik gemaakt van het foto-akoestische meetprincipe met infrarood laser. Verder is deze monitor gelijk aan de NH₃-monitor.



Vooraanzicht meetopstelling

1. Aanzuigleiding stallucht
2. Pomp aanzuiging stallucht
3. Meetbuis/buffervat stallucht
4. Achteraanzicht buffervat
5. Aftappunten voor referentiemetingen
6. CH₄- en CO₂ analyser
7. NH₃- en CO₂ analyser
8. Scherm met live meetwaarden

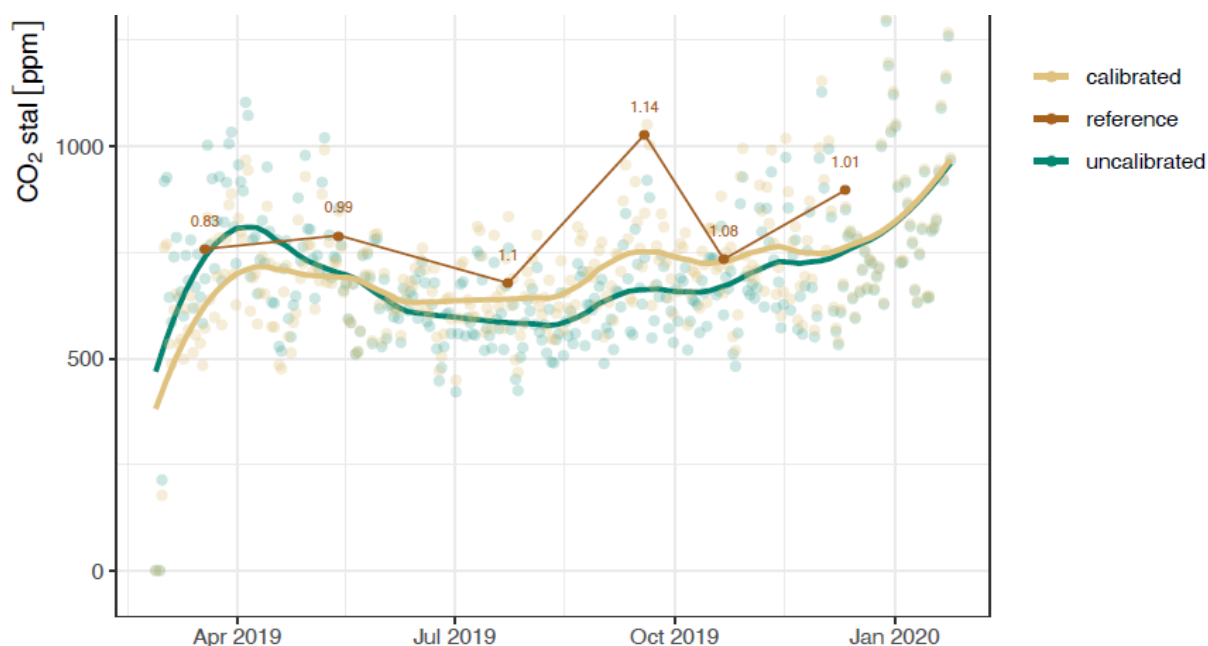


Achteraanzicht meetopstelling

Figuur 2.6 Meetopstelling 2 voor continue metingen.

De instrumenten van meetopstelling 2 zijn ook op twee manieren gekalibreerd:

- Kalibratie in het lab. De FarmGasLive apparatuur is gekalibreerd door de leverancier LSE met standaard kalibratiegassen (gouden standaard). Dit is gedaan aan het begin van de meetperiode en in de periode van februari tot april 2020. Per gas zijn er 7 concentraties gas aangeboden tussen de 0 en 75, 500 en 2000 ppm voor respectievelijk NH₃, CH₄ en CO₂. Op basis van het signaal van het meetinstrument en de aangeboden concentratie (kalibratiegassen) is per gas een lineaire regressieanalyse ($y = a * x + b$) uitgevoerd om de parameters a en b te bepalen. Op basis van de regressielijn is de data gecorrigeerd.
- Veldkalibratie in de praktijk. Op basis van de puntmetingen, is er een correctie uitgevoerd op de sensordata van de continue metingen. De kalibratiemethode zoals toegepast op de WLR data voldeed niet vanwege een te lage regressiecoëfficiënt in de relatie tussen punt- en continumetingen. In Figuur 2.7 wordt weergegeven hoe de continue metingen op concentratieniveau worden gekalibreerd met de puntmetingen. Per puntmeting wordt de verhouding tussen de puntmetingen en de continue metingen bepaald door de puntmeting te delen door het gemiddelde van de continue metingen die plaats hebben gevonden tijdens een puntmeting. Deze verhoudingsfactor is vervolgens geïnterpoleerd voor de meetperiode tussen twee puntmetingen in. De correctie is achteraf toegepast op de data.



Figuur 2.7 Procedure voor de veldkalibratie van de CO₂ concentraties met de apparatuur van meetopstelling 2. Puntmetingen zijn weergegeven als 'reference' met daarbij het verschil tussen punt- en continue metingen als verhoudingsfactor.

2.2.2.3 Meetapparatuur voor puntmetingen door WLR

Minimaal zesmaal per jaar zijn door WLR op alle meetlocaties in zowel de stallucht als in de binnenkomende (buiten)lucht concentratiemetingen verricht volgens referentiemethoden. Elke meting duurde 24 uur. Deze puntmetingen zijn voor elk meetpunt in duplo uitgevoerd. De volgende referentiemethoden zijn gebruikt:

- NH₃: nat-chemische methode (Figuur 2.8) volgens Mosquera et al. (2019), met spectrofotometrische bepaling in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR).
- CO₂, CH₄ en N₂O: longmethode (Figuur 2.9) volgens Mosquera et al. (2020) met analyse van de monsterlucht met gaschromatografie in het laboratorium van WLR.



Figuur 2.8 Meetopstelling WLR voor NH₃-referentiemetingen. Links: wasflessen. Midden: Droge gasstroommeter (DryCal® Defender 510-m, Bios Int. Corp, VS). Rechts: pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS), monsternaleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (diameter: 8 mm; lengte: 80 mm), gehuisvest in a roestvrijstaal container voor bescherming).



Figuur 2.9 Meetopstelling WLR voor broeikasgas-referentiemetingen (via longmethode). Gesloten vaten met 40 liter Nalophan monsternazakken voor luchtbemonstering, monsternameleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (binnendiameter: 8 mm; lengte: 80 mm), ondergebracht in een roestvrijstalen container voor bescherming; flow: ~ 20 ml/min). Lucht wordt met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS) uit het vat gezogen, waardoor de lucht in de zakken wordt aangezogen.

2.2.2.4 Management en diergegevens

Gedurende de gehele onderzoeksperiode zijn op alle meetlocaties ook de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal aanwezige dieren per leeftijdscategorie (elke twee weken)
- Gemiddelde gewicht (en wanneer van toepassing groei) van de aanwezige dieren (indien beschikbaar, elke twee weken)
- Wanneer van toepassing, gemiddelde melkproductie per dier en melksamenstelling (elke twee weken)
- Rantsoensamenstelling (op basis van gegevens uit de KringloopWijzer)

Daarnaast is voor alle melkveelocaties de KringloopWijzer gebruikt om de jaargemiddelde NH₃ en CH₄-emissies voor alle locaties te kunnen vergelijken.

2.3 Verwerking gegevens

2.3.1 Emissieberekening

De ammoniakemissies (E_i ; in kg/jaar per dierplaats) werden per meetdag ($i=1, 2, \dots, n$) bepaald op basis van de geschatte CO₂-productie in de stal (PCO_{2i} ; in m³ CO₂/uur) en de gemiddelde CO₂-, NH₃-, CH₄- of N₂O-concentratie (24-uurgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_i^{stal} ; in mg/m³) en in de ingaande lucht (C_i^{buiten} ; in mg/m³) volgens:

$$E_i = PCO_{2i} * \frac{C_i^{stal} - C_i^{buiten}}{(CO_2)_i^{stal} - (CO_2)_i^{buiten}} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{1}{\text{dierplaats}}$$

De CO₂-productie in de stal is berekend met behulp van de CIGR-rekenregels (Pedersen and 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 drogestof). 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 CO₂-productie per hpu⁶ is. Volgens Pedersen et al. (2002) moet bij melkvee voor metingen op stalniveau een waarde van *a* = 0,2 m³ CO₂/uur per hpu aangenomen worden. Melkproductie (en -samenstelling) wordt altijd gemeten en gerapporteerd. Voor de andere benodigde parameters (diërgewicht, dagen in dracht en, voor jongvee, de energiewaarde van het voer en de gewichtstoename), zijn werden de standaardwaarden van Tabel 2 voor het CO₂-productiemodel gebruikt.

Tabel 2 Standaardwaarden voor een aantal productiegegevens voor de CO₂-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 CO₂-productie in de stal (m³ CO₂/uur) bij een standaardtemperatuur van 20 °C wordt bepaald als:

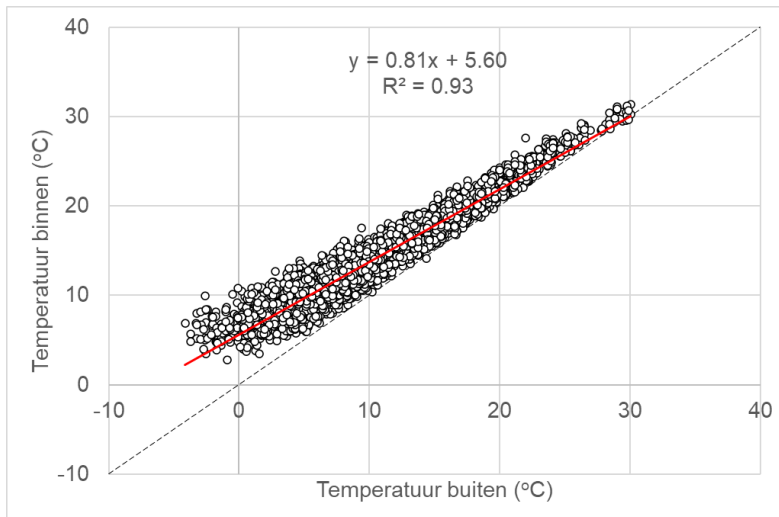
$$PCO2 = PCO2 \text{ (melkgevende koeien)} * \text{aantal melkgevende koeien} \\ + PCO2 \text{ (droge koeien)} * \text{aantal droge koeien} \\ + PCO2 \text{ (jongvee, drachtig)} * \text{aantal jongvee (drachtig)} \\ + PCO2 \text{ (jongvee, niet drachtig)} * \text{aantal jongvee (niet drachtig)}$$

Aangezien tijdens de metingen de staltemperatuur (*t_{stal}*) anders is dan 20°C, moet een correctiefactor worden toegepast om de werkelijke CO₂-productie PCO₂ in de stal te bepalen:

$$PCO2 = PCO2 * (1000 + 4 * (20 - t_{stal})) / 1000$$

Bij een aantal locaties (WLR5, CLM1 t/m CLM5) 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 op de overige bedrijven (Figuur 2.10).

⁶ hpu: heat producing unit. 1 hpu komt overeen met 1000 W voelbare, metabolische warmteproductie.

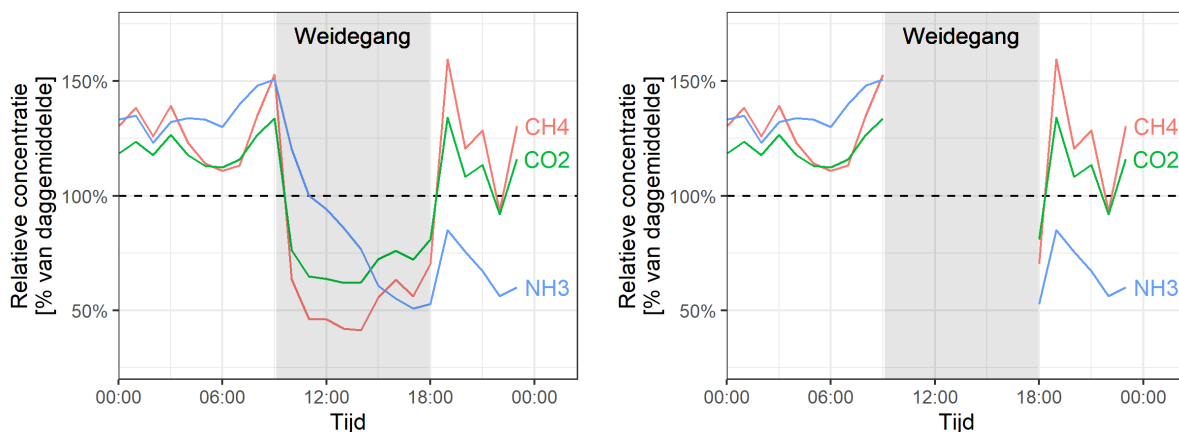


Figuur 2.10 Relatie tussen de gemeten staltemperatuur (Temperatuur binnen) en de temperatuur buiten de stal (Temperatuur buiten) bij de dichtstbijzijnde KNMI-weerstation.

Aangezien de meetperiode (oktober 2018 – oktober 2020) meer dan 12 maanden bevatte en er meer koude dan warme maanden in de dataset voorkwamen is de emissie op jaarbasis hiervoor gecorrigeerd.

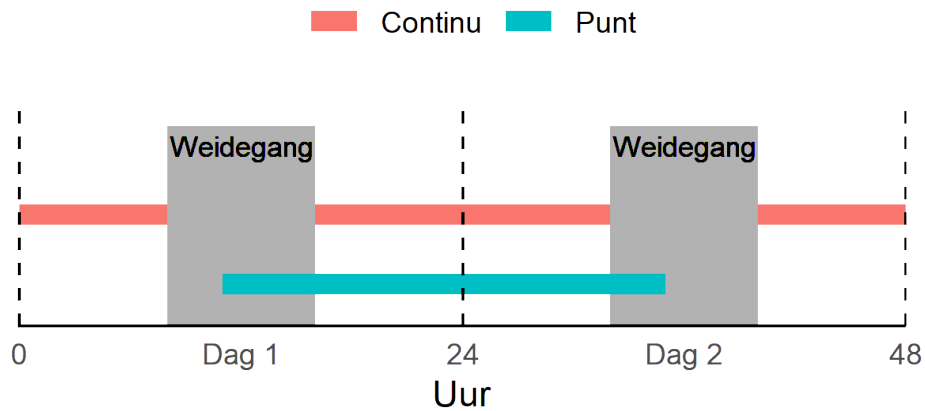
2.3.2 Berekening emissies tijdens weidegang en vergelijking emissies puntmetingen en continue metingen.

Zoals genoemd in hoofdstuk 2.1, past een aantal bedrijven weidegang toe waardoor er voor de puntmetingen is afgeweken van het protocol dat vereist dat de dieren op stal staan. Op dagen dat er weidegang is toegepast, is de continue data omgerekend naar een volledige stalbezetting. Deze correctie was nodig aangezien het CO₂-productiemodel (CIGR, 2002) resulteert in een CO₂ productie op dagbasis. Tijdens weidegang wordt echter een deel van de CO₂ buiten de stal geproduceerd en dus niet gemeten in de stal. De transformatie die is toegepast op dagen met weidegang is gevisualiseerd in Figuur 2.11. Op basis van de Figuur 2.11 (rechts) zijn de daggemiddelde concentraties berekend en hiermee zijn ook de emissies berekend. Dit resulteert in een overschatting in emissies tijdens weidedagen, maar geen overschatting wanneer de dieren volledig op stal hadden gestaan. Deze 'weidegangcorrectie' maakt het mogelijk om bedrijven mét en zonder weidegang met elkaar te vergelijken.



Figuur 2.11 Links: CH₄-, CO₂- en NH₃ concentraties als percentage van het daggemiddelde tijdens een dag waarop weidegang is toegepast. Rechts: de selectie van data uit de linkerfiguur op basis waarvan de daggemiddelde CH₄-, CO₂- en NH₃ concentraties zijn berekend.

Zoals beschreven in paragraaf 2.2.2.3, wordt bij een puntmeting een mengmonster verzameld gedurende 24 uur. Voor de puntmetingen is het daarom niet mogelijk om bovenstaande correctie op weidegang toe te passen. Figuur 2.12 geeft weer op welke manier punt- en continumetingen met elkaar vergeleken zijn. Een puntmeting start op dag 1 en eindigt op dag 2. Daarom is de emissie op basis van de puntmeting vergeleken met de gemiddelde emissie van dag 1 én dag 2 op basis van de continue metingen.



Figuur 2.12 Schematisch overzicht van het verloop van de continu- en puntmetingen wanneer er sprake is van weidegang. Continue metingen tijdens weidegang zijn niet meegenomen in de analyses.

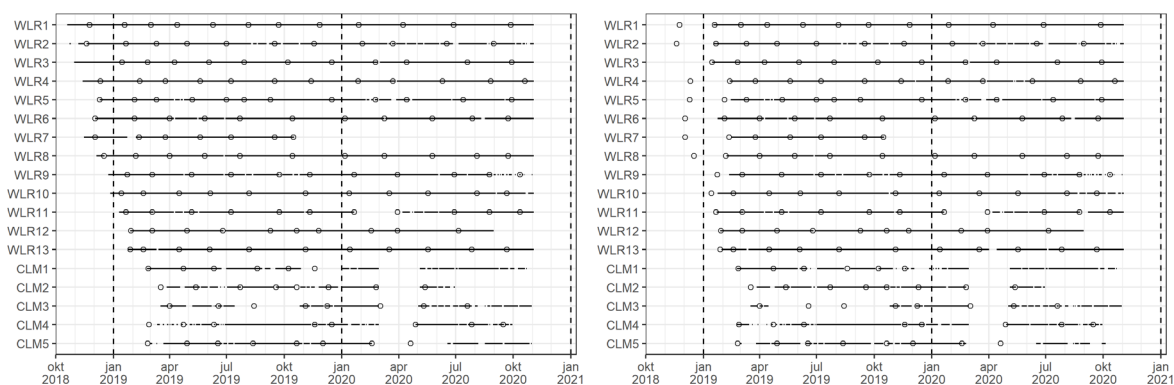
2.3.3 Statistische toetsing

Statistische analyse is uitgevoerd met het programma Genstat 19th Edition. De gebruikte methoden worden in de betreffende paragrafen toegelicht. Op alle statistische testen is een α van 0,05 gebruikt. Statistische analyses zijn uitgevoerd en variatiecoëfficiënten zijn bepaald op basis van de log-getransformeerde data. Gemiddelden en standaarddeviaties zijn berekend op basis van de data zonder logtransformatie.

3 Resultaten en discussie

3.1 Beschikbaarheid van data

In de periode van oktober 2018 tot en met oktober 2020 is de emissie van methaan, ammoniak en lachgas op 18 melkveebedrijven gemeten. Dit heeft geresulteerd in 10.452 en 9659 dagen aan emissiedata voor respectievelijk NH₃ en CH₄ op basis van de continue metingen. Binnen dezelfde volledige meetperiode zijn 180 puntmetingen verricht. Een overzicht van de dagen waarop is gemeten per bedrijf is weergegeven in Figuur 3.1. De continue meting van de NH₃ emissie is op de meeste bedrijven eerder begonnen dan de continue meting van de CH₄ emissie vanwege de beschikbaarheid van de meetapparatuur voor methaan. Niet alle meetreeksen zijn even lang. Zo zijn de metingen op bedrijf WLR 7 na een jaar gestopt als gevolg van een bedrijfsbeëindiging en is de meetapparatuur op de CLM-bedrijven weggevoerd voor onderhoud in maart en april 2020. Ook is er sprake geweest van storing in de meetapparatuur waardoor datapunten wegvielen. Van bedrijf WLR11 is de data tussen januari en april 2020 niet meegenomen in de analyse vanwege een kapotte buitenluchtsensor.



Figuur 3.1 Data waarop continue (-) en puntmetingen (o) plaatsvonden per bedrijf voor NH₃ (links) en CH₄ (rechts).

3.2 Bedrijfsgegevens

Van de gegevens die verzameld zijn naast de emissiemetingen, is een overzicht gegeven in Tabel 3.1. Het gemiddelde aantal melkkoeien per stal (melkgevend + droogstaand) was 148 stuks en daarmee boven het Nederlands gemiddelde van 108 stuks in 2021 (CBS, 2022). De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht (niet in tabel) tijdens de continue metingen (waargenomen op het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation) waren in de meetperiode respectievelijk 12°C en 78% (langjarig gemiddelde: 10,5 °C en 80,3%).

Tabel 3.1 Bedrijfsgegevens van de 18 gemeten melkveebedrijven met het totaal aantal dierplaatsen en de bezettingsgraad van de stal, het aandeel jongvee, temperatuur in de stal en luchtvochtigheid in de stal (RV), de melkproductie per dier per dag, het ureumgetal en het aantal meetdagen voor de puntmetingen van de emissies van NH₃, CH₄ en N₂O en de continue metingen van de NH₃- en CH₄-emissies. Tussen haakjes het aantal weidedagen waarop een meting is uitgevoerd.

Code	Aantal dierplaatsen [#] (Betztingsgraad ² [%])	Aandeel jongvee ³ [%]	Temp stal [°C]	RV stal [%]	Melkproductie per dier [kg/dag] (Eiwit%/Vet%)	Ureum [mg/100g]	Punt metingen NH ₃ ,CH ₄ ,N ₂ O (weidedagen) [#dgn]	Continu metingen NH ₃ (weidedagen) [#dgn]	Continu metingen CH ₄ (weidedagen) [#dgn]
WLR1	271 (81%)	14%	15,2	81	24,6 (3.5/4.4)	22	12 (8)	741 (469)	651 (425)
WLR2	217 (96%)	14%	14,0	78	29,9 (3.5/4.4)	22	11 (6)	696 (335)	623 (290)
WLR3	98 (84%)	0%	14,1	77	29,6 (3.6/4.5)	19	11 (3)	722 (222)	645 (206)
WLR4	103 (102%)	4%	15,7	69	31,3 (3.6/4.4)	21	12 (5)	712 (309)	625 (306)
WLR5	115 (90%)	17%	14,8	-	30,8 (3.6/4.6)	18	12 (5)	675 (297)	608 (296)
WLR6	192 (88%)	33%	14,7	76	34,6 (3.3/4.3)	21	11 (2)	693 (125)	641 (125)
WLR7	178 (96%)	0%	15,2	76	32,4 (3.6/4.3)	23	7 (0)	324 (0)	245 (0)
WLR8	190 (89%)	29%	15,0	81	31,0 (3.5/4.4)	17	11 (0)	692 (0)	635 (0)
WLR9	192 (84%)	0%	14,8	74	34,8 (3.3/4.2)	18	10 (5)	638 (346)	589 (346)
WLR10	192 (89%)	0%	15,2	76	30,7 (3.6/4.1)	20	11 (5)	675 (332)	640 (330)
WLR11	88 (122%)	0%	14,9	74	23,7 (3.9/4.7)	26	11 (5)	576 (311)	552 (299)
WLR12	87 (94%)	17%	16,4	75	25,1 (3.7/4.4)	22	10 (4)	581 (320)	581 (320)
WLR13	160 (85%)	0%	16,5	74	30,8 (3.7/4.2)	21	11 (0)	648 (0)	629 (0)
CLM1	107 (96%)	0%	15,4	-	25,6 (3.6/4.6)	17	6 (4)	447 (279)	459 (275)
CLM2	269 (88%)	0%	14,7	-	32,4 (3.6/4.3)	19	8 (0)	346 (0)	376 (0)
CLM3	203 (82%)	1%	16,0	-	33,8 (3.5/4.3)	24	8 (0)	383 (0)	302 (0)
CLM4	192 (93%)	0%	15,6	-	26,3 (3.5/4.4)	20	8 (6)	456 (332)	468 (331)
CLM5	286 (104%)	0%	15,,5	-	33,6 (3.5/4.3)	21	9 (0)	456 (0)	399 (0)

¹ Som van aantal ligboxen in de stal waar de emissies gemeten zijn

² Gemiddeld totaal aantal aanwezige dieren gedeeld door het aantal beschikbare dierplaatsen

³ Gemiddeld totaal aantal stuks jongvee in de bemeten stal als percentage van het totaal aantal aanwezige dieren.

3.3 Vergelijking tussen punt- en continumetingen

Figuur 3.2 geeft een overzicht van alle NH₃-emissiemetingen per bedrijf op basis van de continu- en puntmetingen. Het doel van de vergelijking is om te zien of de gemeten variatie en de emissieniveaus van beide meetmethoden (continu- en puntmetingen) overeenkomen.

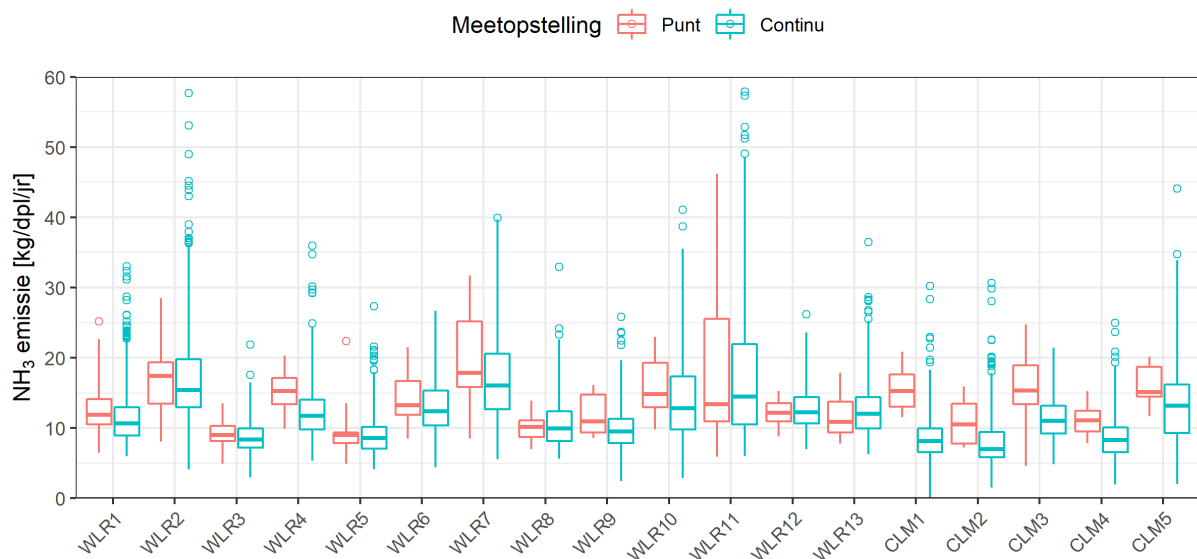
Tabel 3.2 Bedrijfsgemiddelde NH₃-, CH₄- en N₂O emissies op basis van punt- en continumetingen.

	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
Punt	13,8 ± 3,2	193 ± 56	0,6 ± 0,2
Continu	12,0 ± 2,9	184 ± 50	-

De mediaan van de puntmetingen ligt in 14 van de 18 gevallen hoger dan die van continumetingen. Het verschil in de gemiddelde NH₃ emissie tussen de twee meetmethoden is 1,8 kg NH₃ per dierplaats per jaar (14% van het gemiddelde van beide methoden). Het verschil in spreiding in de resultaten tussen en binnen bedrijven is groot waarbij WLR11 en WLR2 de grootste spreiding in emissie binnen het bedrijf laten zien bij zowel de continue- als de puntmetingen en WLR3 de kleinste. In Figuur 3.1 is zichtbaar dat de binnen-bedrijfsspreiding behoorlijk varieert tussen bedrijven.

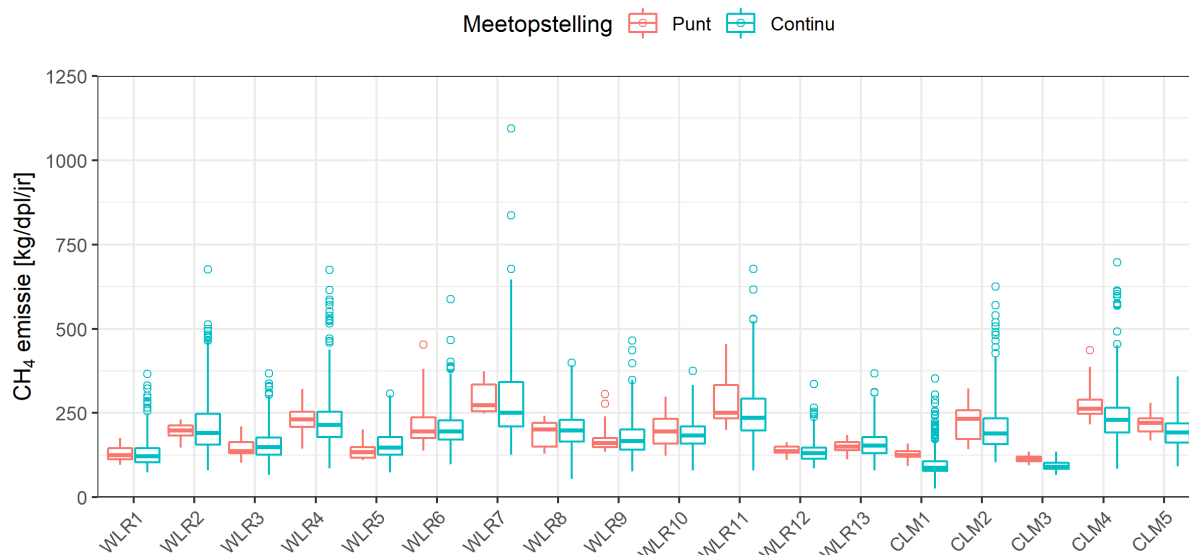
Omdat de data niet normaal verdeeld is, is de variatiecoëfficiënt berekend op basis van log-getransformeerde data. De minste spreiding tussen dagen zowel van de continue- als van de puntmetingen was op WLR12 (CV_{continu}=0,23). WLR11 laat de grootste spreiding in NH₃-emissie tussen dagen zien bij zowel de continue- als de puntmetingen (CV_{continu}=0,51).

Een overzicht van de variatiecoëfficiënten tussen en binnen bedrijven is gegeven in tabel 3.2.



Figuur 3.2 Boxplot van de NH₃-emissie per bedrijf per meetmethode voor de periode van oktober 2018 tot november 2020. Van onder naar boven geeft deze boxplot de minimale waarde aan, het eerste kwartiel (25% van waarnemingen), de mediaan (middelste waarde), het derde kwartiel (75% van waarnemingen), de mediaan + driemaal de interkwartielafstand (afstand tussen het eerste en het derde kwartiel) en de waarnemingen die buiten het interval vallen van de mediaan plus driemaal de interkwartielafstand (afstand tussen het eerste en derde kwartiel), zijn weergegeven als individuele punten.

In Figuur 3.3 zijn de CH₄ emissies gevisualiseerd op dezelfde manier als in Figuur 3.3. Allereerst valt op dat de spreiding van het tweede en derde kwartiel kleiner is dan die van NH₃. Net als bij de NH₃ emissies, is de binnen-bedrijfsspreiding van de CH₄-emissies ook groter bij de continue metingen dan bij de puntmetingen (zie tabel 3.3). De minste spreiding binnen een bedrijf is gevonden voor CLM3 (CV_{continu}=0,13) en de meeste spreiding voor WLR7 (CV_{continu}=0,44). De gemiddelde CH₄ emissie is op basis van de continue metingen 184 ± 50 en op basis van de puntmetingen 193 ± 56. Het verschil tussen het gemiddelde van de twee meetmethoden is 9 kg CH₄ per dierplaats per jaar (5%).



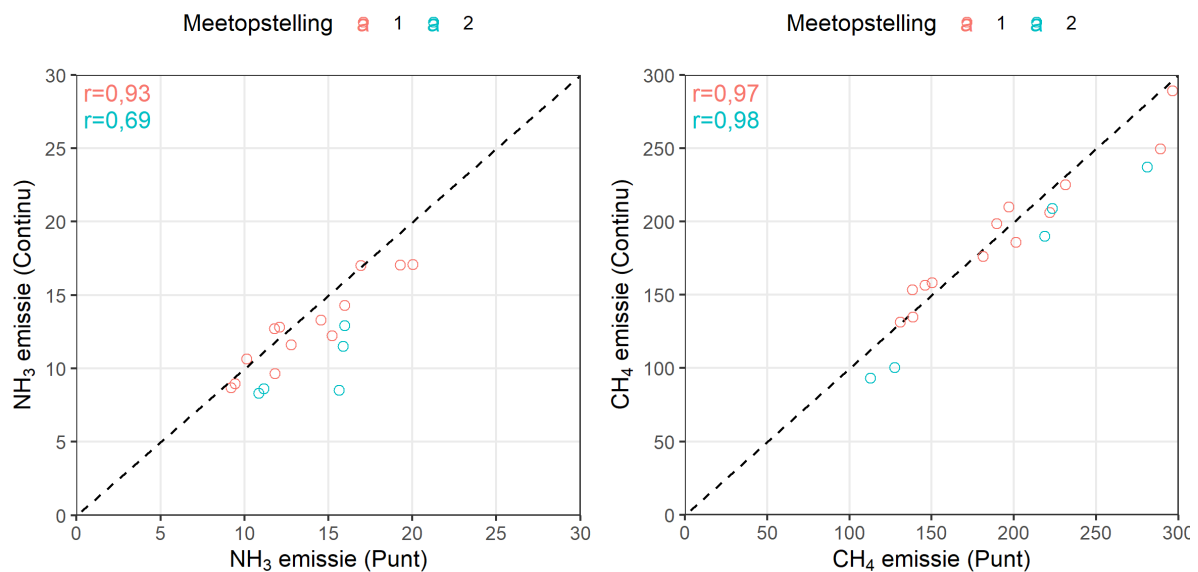
Figuur 3.3 Boxplot van de CH₄-emissie per bedrijf per meetmethode voor de periode van oktober 2018 tot november 2020.

Tabel 3.3 Variatiecoëfficiënten (CV) op basis van de log-getransformeerde data tussen en binnen bedrijven voor puntmetingen en continue metingen van de emissie van ammoniak (NH₃), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O).

Emissie	Puntmetingen		Continue metingen	
	Tussen bedrijven	Binnen bedrijven	Tussen bedrijven	Binnen bedrijven
NH ₃	0,23	0,30	0,24	0,36
CH ₄	0,30	0,19	0,30	0,28
N ₂ O	0,35	0,84	-	-

3.4 Vergelijking continumeting en puntmeting: bedrijfsgemiddelde

Figuur 3.4 laat zien in welke mate het bedrijfsgemiddelde van de continue metingen overeenkomt met de puntmetingen voor de NH₃- en CH₄ emissie. Voor het gemiddelde is alle beschikbare data per bedrijf meegenomen. Uit tabel 3.2 werd als duidelijk dat de continumetingen voor zowel ammoniak als methaan lager uitpakken dan de puntmetingen. Daarnaast blijken de verschillen bij de WLR bedrijven (meetopstelling 1) kleiner te zijn dan bij de CLM bedrijven (meetopstelling 2). De ammoniakemissie gemeten met meetopstelling 1 is gemiddeld 7% lager dan op basis van de puntmetingen. Met meetopstelling 2 wijken zowel de ammoniakemissie alsook de methaanemissie af van de puntmetingen met respectievelijk 28% en 14%. Dit verschil kan echter ook (deels) bepaald worden door andere omstandigheden in de perioden tussen de puntmetingen. Daarom is ook een vergelijking opgenomen waarin alleen de data van de continue metingen tijdens de puntmetingen is meegenomen (zie ook paragraaf 2.3.2).



Figuur 3.4 Vergelijking van punt- en continu metingen voor bedrijfsgemiddelde ammoniak (links) en methaanemissies (rechts), uitgedrukt in kg/dierplaats per jaar, op basis van alle beschikbare data in de periode van oktober 2018 tot november 2020, met onderscheid naar meetopstelling. Stippellijn is $y=x$

De correlatiecoëfficiënt voor de gecombineerde data bedroeg voor ammoniak 0,80 en voor methaan 0,95. De relatie tussen continue metingen en puntmetingen voor ammoniak kan beschreven worden als

$$Y_{\text{NH}_3} = 1,90 + 0,73 \cdot X_{\text{NH}_3}$$

$$Y_{\text{CH}_4} = 19,8 + 0,85 \cdot X_{\text{CH}_4}$$

Met:

Y is de emissie volgens de continue meetmethode voor NH_3 en CH_4

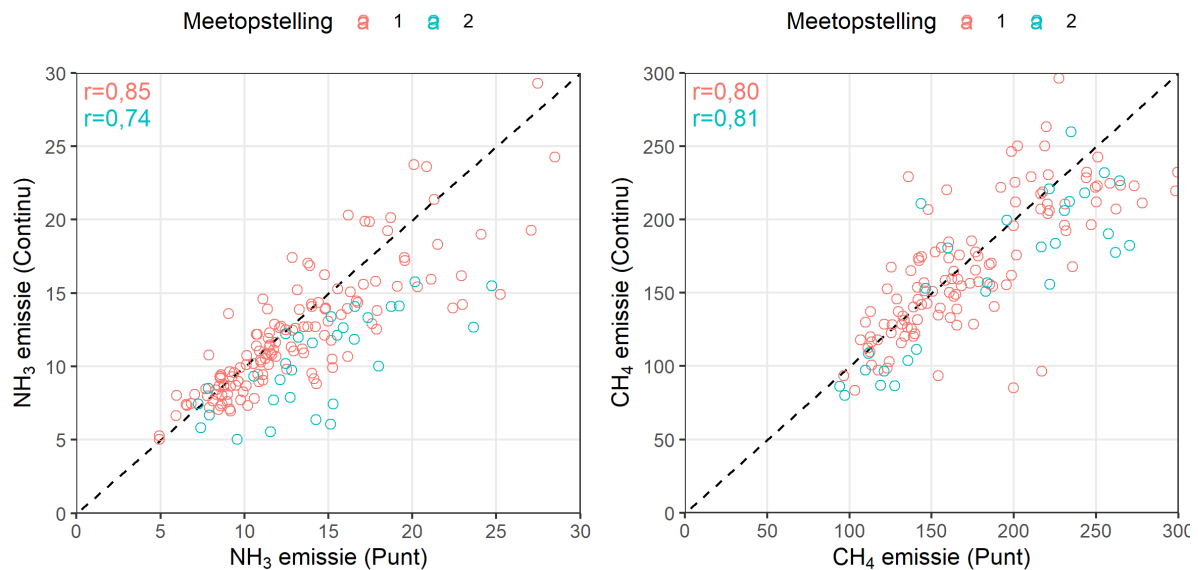
X is de emissie volgens de puntmetingen voor NH_3 en CH_4

De constanten wijken niet significant af van 0. De regressiecoëfficiënten wel ($p < 0,001$). Onderscheid tussen meetopstelling 1 en 2 bij de lineaire regressie laat een significant systematisch effect van meetmethode 2 ten opzichte van meetmethode 1 zien voor ammoniak en methaan van respectievelijk -2,9 kg $\text{NH}_3/\text{dpl}/\text{jr}$ ($p < 0,001$) en -23,8 kg $\text{CH}_4/\text{dpl}/\text{jr}$ ($p = 0,001$). Bij gebruik van deze sensoren voor continue emissiemetingen moet op basis van deze uitkomsten bij vergelijking op bedrijfsniveau rekening gehouden worden met een onderschatting van emissie door de continue meetopstelling.

3.5 Vergelijking continu en punt; dagwaarden

Om te onderzoeken wat de relatie tussen beide meetmethoden op dagbasis is, zijn de continu- en puntmetingen met elkaar vergeleken op de dagen dat er een puntmeting heeft plaatsgevonden. Hierbij is de puntmeting die start op dag 1 en stopt op dag 2 vergeleken met de gemiddelde emissie van dag 1 én 2 zoals gemeten met de continue meetmethode. Verschillen in emissie tussen continue metingen en puntmetingen worden zo vrijwel teruggebracht tot verschillen door de methode. Net als op jaarbasis, resulteren de continue metingen via deze manier van vergelijken eveneens in lagere emissies. De ammoniak- en methaanemissie gemeten met meetopstelling 1 zijn respectievelijk 8% en 6% lager dan de puntmetingen. De emissies gemeten met meetopstelling 2 zijn 29% en 12% lager dan de puntmetingen voor respectievelijk de methaan- en ammoniakemissie. De afwijking op jaarbasis (zoals beschreven in 3.4) is daarmee in dezelfde orde grootte als de afwijking op basis van dagwaarden.

Zoals beschreven in de materiaal en methode, kent de vergelijking tussen punt- en continumetingen extra variatie wanneer de koeien geweid worden. De concentratieniveaus tijdens weidegang worden namelijk wel meegenomen in de puntmetingen, maar niet in de continumetingen. Het absolute verschil (dus zowel positief als negatief) tussen de punt- en continumetingen in CH₄ emissie is tijdens weidegang groter (22%) dan wanneer de dieren op stal staan (14%). Dit is anders voor NH₃ waar het verschil tussen punt- en continu niet verschillend is tussen de weide- en de stalperiode (beide 18% verschil). Op basis van de methode waarop een puntmeting wordt genomen zoals beschreven in paragraaf 2.2.2.3 en 2.3.2 wordt duidelijk dat de puntmetingen tijdens weidegang geschikt zijn voor veldkalibratie op concentratieniveau van de continue sensoren, maar minder geschikt zijn om emissies te bepalen.



Figuur 3.5 Vergelijking van punt- en continu metingen voor ammoniak (links) en methaanemissies (rechts) op dagen wanneer er een puntmeting is gedaan. Stippellijn is $y=x$

De correlatiecoëfficiënt voor de gecombineerde data bedroeg voor ammoniak 0,82 en voor methaan 0,80. De relatie tussen continue metingen en puntmetingen voor ammoniak kan beschreven worden als

$$Y_{\text{NH}_3} = 3,01 + 0,66 \cdot X_{\text{NH}_3}$$

$$Y_{\text{CH}_4} = 48,4 + 0,67 \cdot X_{\text{CH}_4}$$

Met:

Y is de emissie volgens de continue meetmethode voor NH₃ en CH₄

X is de emissie volgens de puntmetingen voor NH₃ en CH₄

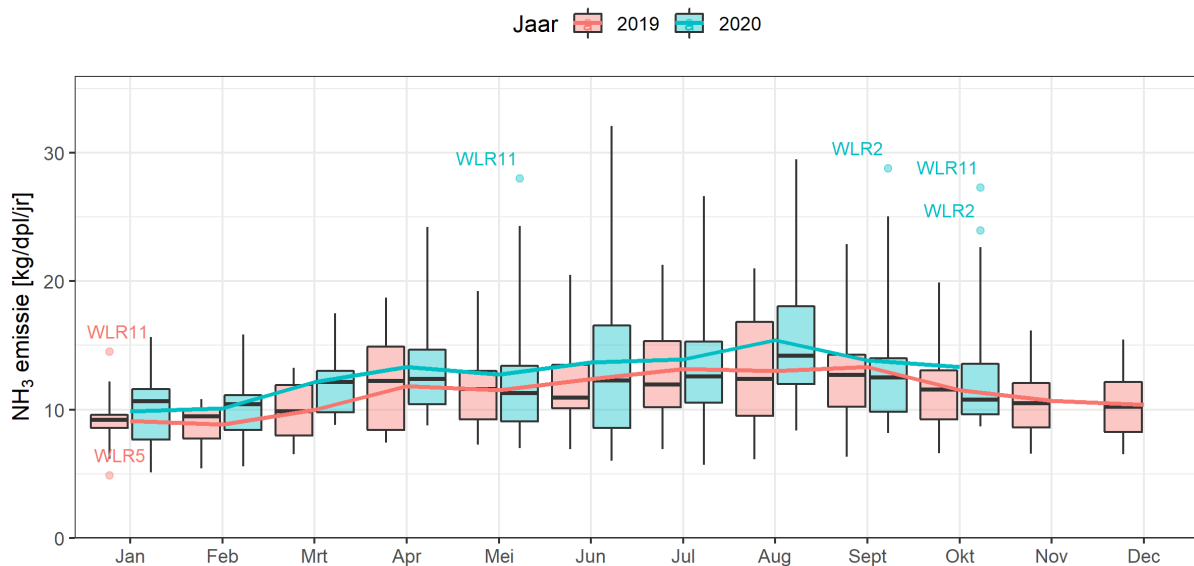
Zowel de constanten als de regressiecoëfficiënten wijken significant af van 0 ($p < 0,001$). Onderscheid tussen meetmethode 1 en 2 bij de lineaire regressie laat een significant systematisch effect van meetmethode 2 ten opzichte van meetmethode 1 zien voor ammoniak maar niet voor methaan. De ammoniakemissie valt bij meetmethode 2 ten opzichte van meetmethode 1 2,7 kg NH₃ per dierplaats per jaar lager uit ($p < 0,001$).

3.6 Spreiding in ammoniakemissie tussen bedrijven en binnen een jaar

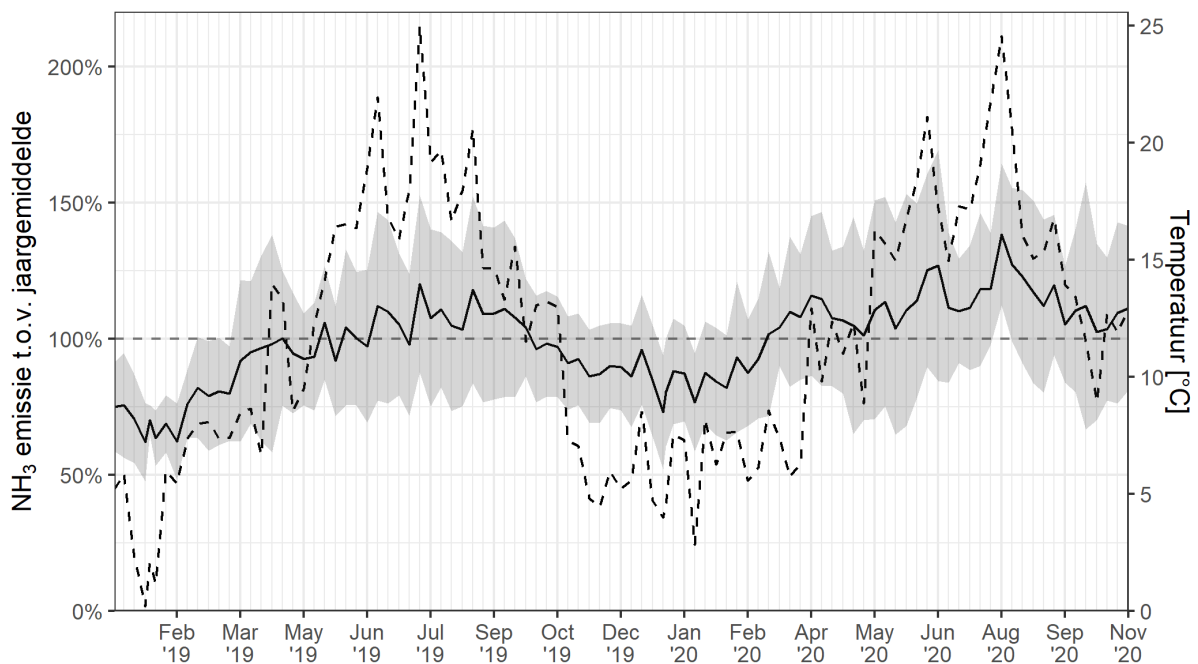
De spreiding tussen bedrijven en tussen maanden was in 2019 anders dan in 2020. In Figuur 3.6 is de maandgemiddelde NH₃ emissie van de individuele bedrijven weergegeven. De gemiddelde NH₃ emissie (\pm standaarddeviatie tussen maandgemiddelden) lag in 2020 ($13,0 \pm 1,7$ kg/dpl/jr) hoger dan in 2019 ($11,3 \pm 1,4$ kg/dpl/jr). De spreiding tussen maanden was in 2019 (CV=0,12) vergelijkbaar met 2020 (CV=0,13). Daarentegen was de spreiding tussen bedrijven in 2020 (CV=0,37) groter dan in 2019 (CV=0,28). Figuur 3.6 laat ook zien dat er in 2020 ook meer maandgemiddeldes buiten het 95% gegevensbereik vallen. Dit gaat met name om de NH₃ emissie bij bedrijf WLR2 en WLR11 die ook in Figuur 3.2 een grote spreiding tussen meetdagen hebben.

Figuur 3.6 maakt ook zichtbaar dat er een jaarpatroon aanwezig is in de NH₃ emissie met de hoogste emissies gedurende de zomermaanden. Dit wordt nog duidelijker zichtbaar in Figuur 3.7 waar de jaarpatronen van alle bemeten bedrijven zijn samengevoegd. In Figuur 3.7 is ook het jaarpatroon van de buitentemperatuur toegevoegd en dit heeft een sterke correlatie ($R=0,83$) met de ammoniakemissie. Deze bevinding strookt ook met het fysiologische proces van ammoniakvorming waarin temperatuur een rol speelt. Ook Snoek (2016) heeft temperatuur aangemerkt als een gevoelige factor voor de ammoniakemissie.

De temperatuur kan daarmee ook het verschil in ammoniakemissie tussen 2019 en 2020 verklaren. De gemiddelde temperatuur was tijdens de metingen in 2020 met 12,5 °C ruim een graad hoger dan de gemiddelde temperatuur in 2019 (11,1 °C).



Figuur 3.6 Boxplot van de NH₃ emissie per maand in 2019 en 2020. Bedrijfsmiddelen die buiten de boxplot vallen zijn gelabeld en aangegeven met een punt. De trendlijn geeft de maandgemiddelde NH₃ emissie op basis van alle bedrijven.

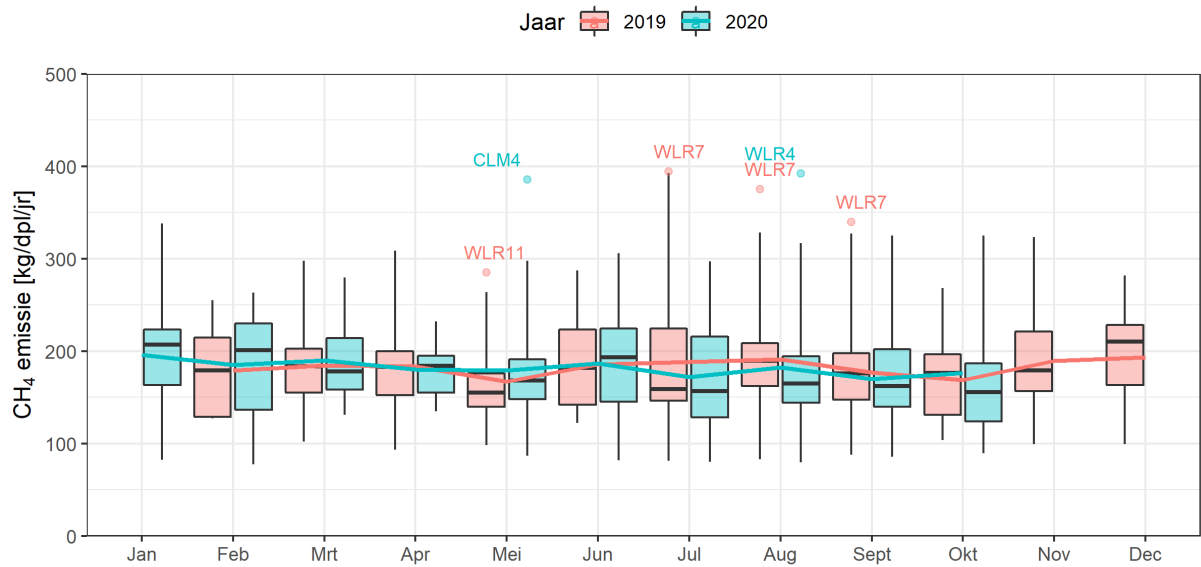


Figuur 3.7 Het gemiddelde NH_3 emissiepatroon (\pm standaarddeviatie tussen bedrijfsgemiddelden) in 2019 en 2020 op basis van de 18 melkveebedrijven. De NH_3 emissie per week is uitgedrukt als percentage van de gemiddelde emissie in 2019 en 2020 (getrokken lijn). Weekgemiddelde buitentemperatuur (stippellijn) is weergegeven op de rechter y-as. De correlatie tussen het emissiepatroon en buitentemperatuur is 0,83.

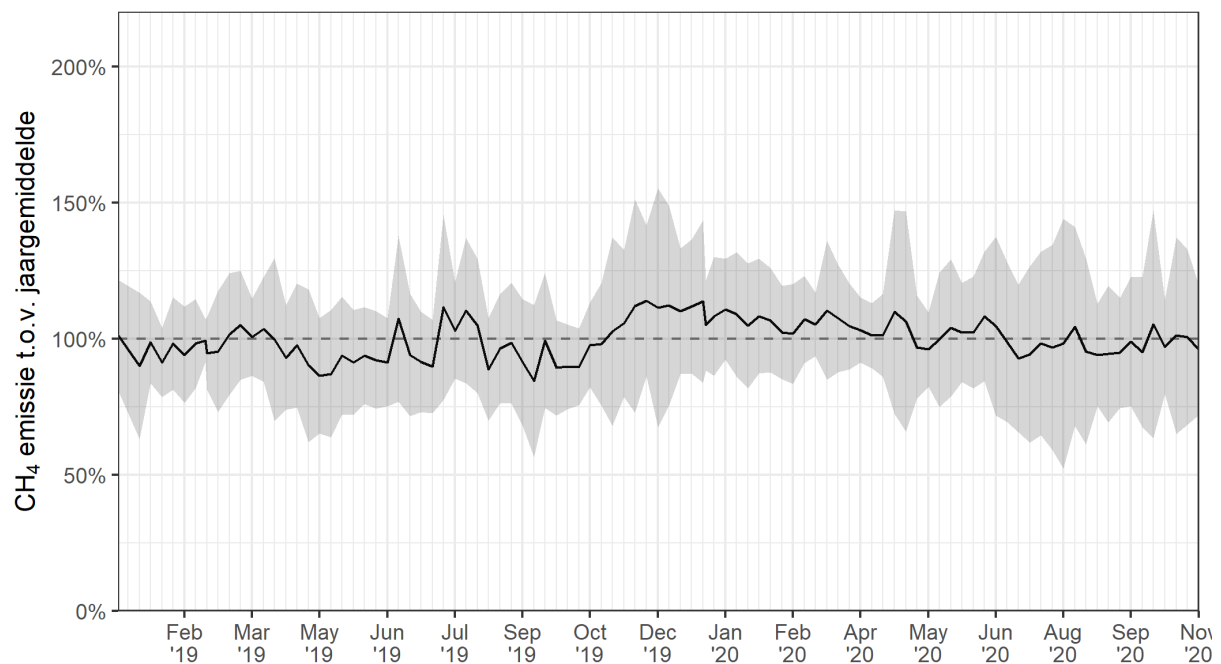
3.7 Spreiding in methaanemissie tussen bedrijven en binnen een jaar

De methaanemissie is constant door het jaar heen. Figuur 3.8 toont de maandgemiddelde methaanemissies en de spreiding tussen de bedrijven per maand. De gemiddelde methaanemissie (\pm SD) was in 2019 met 180 ± 10 kg/dpl/jr nagenoeg gelijk aan de methaanemissie in 2020 (184 ± 12 kg/dpl/jr). De spreiding tussen bedrijven was in 2020 (evenals voor ammoniak) groter dan in 2019 met een variatiecoëfficiënt van respectievelijk 0,36 en 0,29. De mate van spreiding komt overeen met de spreiding tussen bedrijven in ammoniakemissie zoals beschreven in sectie 3.6. De spreiding tussen maanden was in 2020 ($\text{CV}=0,06$) vergelijkbaar met 2019 ($\text{CV}=0,05$). Het gemiddelde patroon over de bedrijven zoals weergegeven in Figuur 3.9, laat een minder duidelijke trend zien dan het jaarpatroon de

ammoniakemissie. Wat wel opvalt is de verhoogde methaanemissie gedurende de wintermaanden van. Dit correspondeert met de hoogste verwachte mestbijdrage vanwege de volle mestkelders in de winter.



Figuur 3.8 Boxplot van de CH₄ emissie per maand in 2019 en 2020. Bedrijfsgegevens die buiten de boxplot vallen zijn gelabeld en aangegeven met een punt. De lijn geeft de maandgemiddelde CH₄ emissie op basis van alle bedrijven.

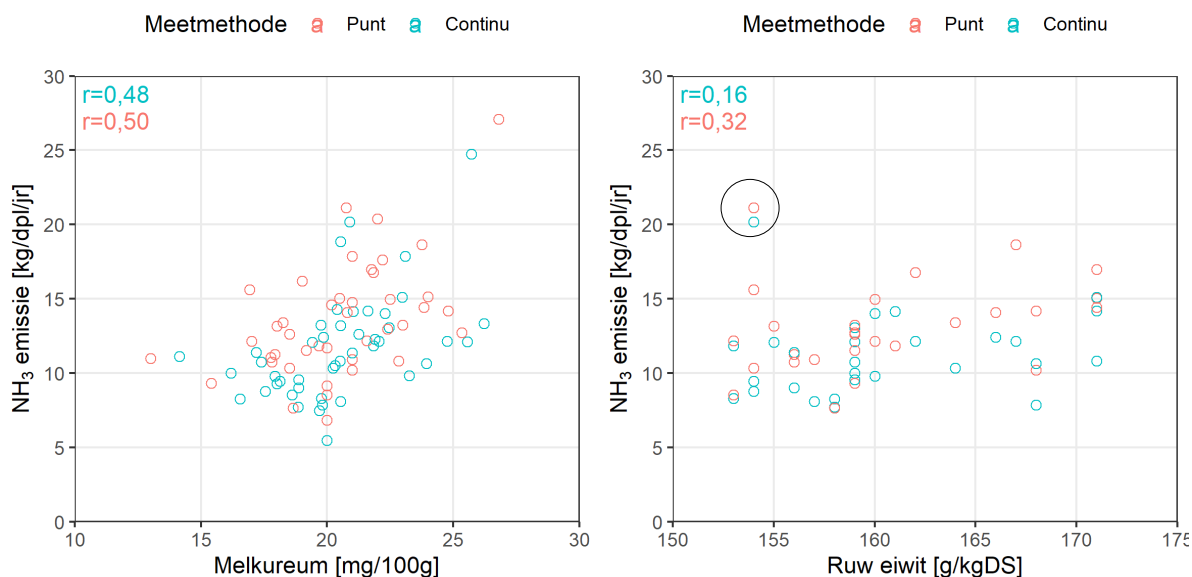


Figuur 3.9 Het gemiddelde CH₄ emissiepatroon (\pm SD) in 2019 en 2020 op basis van de 18 melkveebedrijven. De CH₄ emissie per week is uitgedrukt als percentage van de gemiddelde emissie in 2019 en 2020.

3.8 Ammoniakemissie en eiwit

Voor de jaren 2019 en 2020 zijn de gemiddelde emissieniveaus vergeleken met de gemiddelde melkureumgehalten. Dit is te zien Figuur 3.10 links. De positieve correlatie is tussen de ammoniakemissie en het melkureumgehalte is significant, maar kent een forse spreiding. Concreet betekent dit dat een bedrijf met een melkureumgehalte van 25 een lagere NH₃-emissie kan hebben dan een bedrijf met een ureumgehalte van 20 mg/100g.

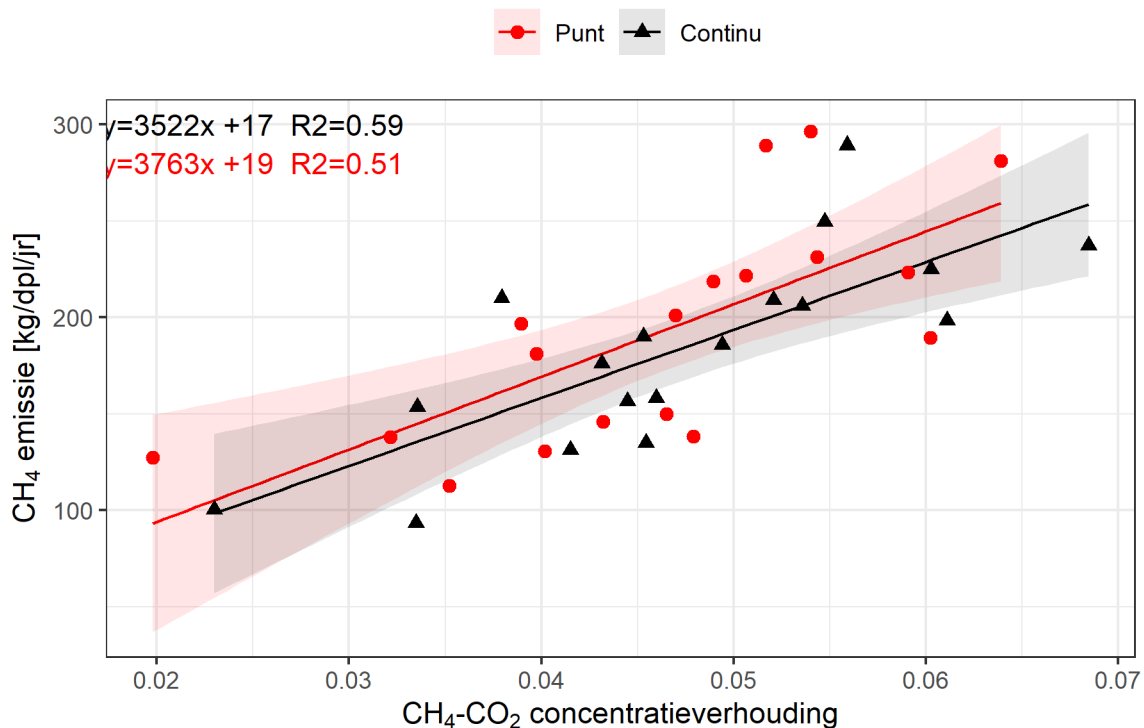
In het rechterfiguur is op dezelfde wijze de gemiddelde ammoniakemissie per jaar uitgezet tegen het ruw-eiwit gehalte uit de KringloopWijzer. De correlatiecoëfficiënt in deze figuur is laag vanwege de omcirkelde punten waarbij een hoge emissie is gemeten bij een laag ruw-eiwit gehalte. Voor deze studie was alleen het ruw-eiwit gehalte op jaarbasis in de KringloopWijzer beschikbaar. Frequente en nauwkeurige bepaling van de rantsoenvariaties kunnen bijdragen aan het vaststellen van een beter verband in de praktijk. De aanpak hiervan in het project Netwerk Praktijkbedrijven biedt daarvoor mogelijkheden. Daarnaast is er variatie aanwezig door verschillen in bedrijfsmanagement en andere (onbekende) factoren.



Figuur 3.10 Links: NH₃-emissie [kg/dpl/jr] in relatie tot het melkureumgehalte gemiddeld per jaar. Rechts: NH₃-emissie [kg/dpl/jr] in relatie tot het ruw-eiwit gehalte in het rantsoen gemiddeld per jaar.

3.9 Stalconcentraties

Uit de analyses blijkt dat er een verband aanwezig is tussen de CO₂-CH₄ concentratieverhouding in de stallucht en de CH₄ emissie van het desbetreffende bedrijf zoals weergegeven in Figuur 3.11. Dit is ook te verwachten aangezien CO₂ en CH₄ beiden voornamelijk worden geproduceerd door de dieren. Madsen et. al. (2010) heeft aangetoond dat de CH₄ productie voorspeld kan worden aan de hand van de CO₂-CH₄ concentratieverhouding en de berekende CO₂ productie met het CIGR CO₂ productiemodel (CIGR 2002).



Figuur 3.12 De CH₄ emissie als functie van de CH₄-CO₂ concentratieverhouding op massabasis in de stallucht.

Uit Figuur 3.12 is af te leiden dat de relatie tussen de CH₄-CO₂ concentratieverhouding en de CH₄ emissie wordt beschreven door een lineair model (CH₄ emissie [kg/dpl/jr]=17+3522 x [CH₄-CO₂ concentratieverhouding]) met een verklaarde variantie (R²) van 59%. Het model kan verbeterd worden door de emissies uit te drukken per hpu waardoor er een correctie wordt toegepast voor de bezettingsgraad van de stal en het aandeel jongvee. Het lineaire model biedt de mogelijkheid om een schatting van de CH₄ emissie te maken zonder achtergrondconcentraties te hoeven meten en zonder het CO₂ productiemodel te gebruiken waardoor stalmetingen goedkoper worden. Dit levert wel extra onzekerheid op. Een voorwaarde voor betrouwbare emissieschatting op basis van de CH₄-CO₂ concentratieverhouding is een stabiele achtergrondconcentratie.

Wanneer de CH₄ emissies op jaarbasis worden voorspeld aan de hand van het lineaire model voor continue metingen, is het verschil tussen de voorspelde en gemeten methaan gemiddeld 14%. Op dagbasis is het verschil tussen voorspeld en gemeten CH₄ emissie gemiddeld 24%. De variatie tussen bedrijven is hierin echter groot. De correlatie tussen de voorspelde en gemeten CH₄ emissie varieert tussen de 0,13 en 0,80. Dit betekent dat op sommige bedrijven de emissie goed voorspeld kan worden aan de hand van het model, maar op andere bedrijven niet. In bijlage 3 is een voorbeeld opgenomen waarin de voorspelde (op basis van het lineaire model voor continue metingen uit Figuur 3.12) en de gemeten CH₄ emissie zijn weergegeven. De correlatie tussen de gemeten en voorspelde CH₄ emissie is hier 0,60.

3.10 Stalmeting en GreenFeed

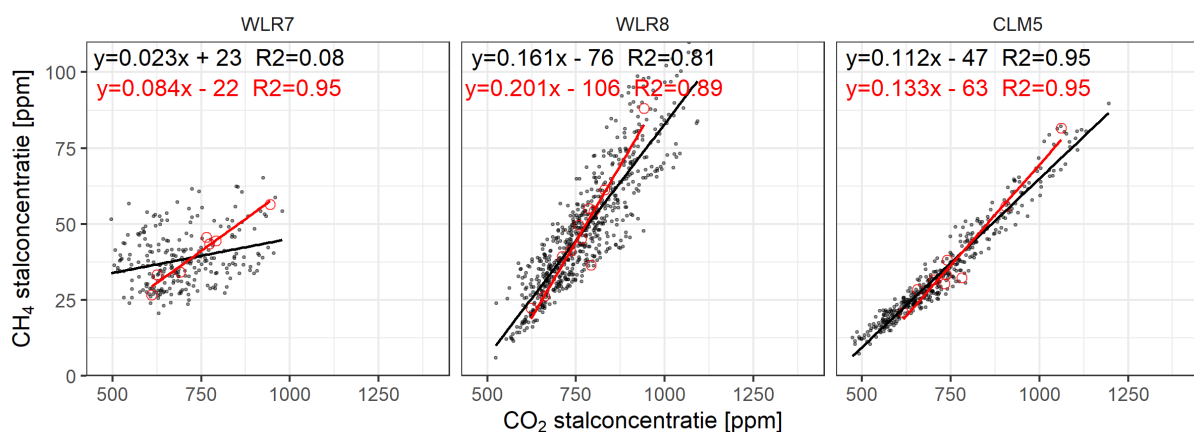
Vanuit de CO₂ en CH₄ concentraties in de stal kan ook de CO₂-CH₄ productieverhouding worden bepaald en dit is weergegeven in Figuur 3.12 en Tabel 3.4. De CO₂-CH₄ productieverhouding geeft inzicht in de methaanproductie van de veestapel en maakt een vergelijking met de GreenFeed (meetinstrument om de enterische methaanproductie van melkkoeien te meten) mogelijk.

Deze productieverhouding is bepaald aan de hand van de lineaire vergelijking ($y=ax+b$) tussen de CH₄- en CO₂ stalluchtconcentraties. De richtingscoëfficiënt (a) van de lijn is gelijk aan de CO₂-CH₄ productieverhouding. Het snijpunt (b) is een correctie voor het verschil in achtergrondconcentratie tussen CO₂ (392-514 ppm) en CH₄ (2-6 ppm) (Vonk et. al. 2021).

De CO₂-CH₄ productieverhouding is daardoor niet gelijk aan de CO₂-CH₄ concentratieverhouding.

In Figuur 3.12 is de relatie tussen de CO₂ en CH₄ stalluchtconcentratie weergegeven voor drie bedrijven. Op bedrijf WLR7 is de laagste productieverhouding is gevonden én het grootste verschil tussen de continu- en puntmetingen; op bedrijf WLR8 is de hoogste productieverhouding is gevonden en op bedrijf CLM5 was de relatie tussen de CO₂ en CH₄ concentratie in de stal het sterkst aanwezig. Van de overige bedrijven is zijn de productieverhoudingen dikgedrukt weergegeven in Tabel 3.4. Het valt op dat er veel variatie aanwezig is tussen de bedrijven (de richtingscoëfficiënt varieert voor de continue emissiemetingen tussen de 0,008 en 0,059) en de productieverhouding op basis van de puntmetingen bij 13 van de 18 bedrijven hoger is dan op basis van de continue metingen. Hiervoor is geen verklaring gevonden in de data en dit zal in toekomstig onderzoek verder onderzocht moeten worden. Wel komt dit overeen met de hogere gemeten emissies op basis van de puntmetingen ten opzichte van de continue metingen.

Gemiddeld is de CO₂-CH₄ productieverhouding $0,088 \pm 0,034$ op basis van de continue metingen en $0,100 \pm 0,031$ op basis van de puntmetingen. In de studie van Ellen et. al. (2022) is een productieverhouding van $0,089 \pm 0,031$ gevonden op basis van GreenFeed metingen op 19 melkveebedrijven. Een 1-op-1 vergelijking tussen beide studies is lastig aangezien de productieverhouding rantsoen-afhankelijk is, maar ondanks dat komen de productieverhoudingen goed overeen. Er moet wel rekening worden gehouden dat de CO₂-CH₄ productieverhouding van de mest anders is dan in de adem van de koe.



Figuur 3.11 De CH₄ stalconcentratie tegen de CO₂ stalconcentratie op basis van de puntmetingen (rood) en de continue metingen (zwart) voor de bedrijven WLR7 met de laagste CH₄-CO₂ verhouding; bedrijf WLR8 met de hoogste CH₄-CO₂ verhouding en CLM5 met de hoogste regressiecoëfficiënt.

Tabel 3.4 *Vergelijking van een linear model ($y=ax+b$) voor zowel continu- als puntmetingen dat de relatie beschrijft tussen de CO₂ concentratie (in ppm) in de stallucht (x) en de CH₄ concentratie in de stallucht (y). De richtingscoëfficiënt (a) beschrijft de verhouding waarin CH₄ wordt geproduceerd ten opzichte van CO₂. De verklaarde variantie is een maat voor de sterkte van de relatie tussen de CO₂- en CH₄ concentratie en de bedrijfsgemiddelde emissie is gecorreleerd aan de richtingscoëfficiënt.*

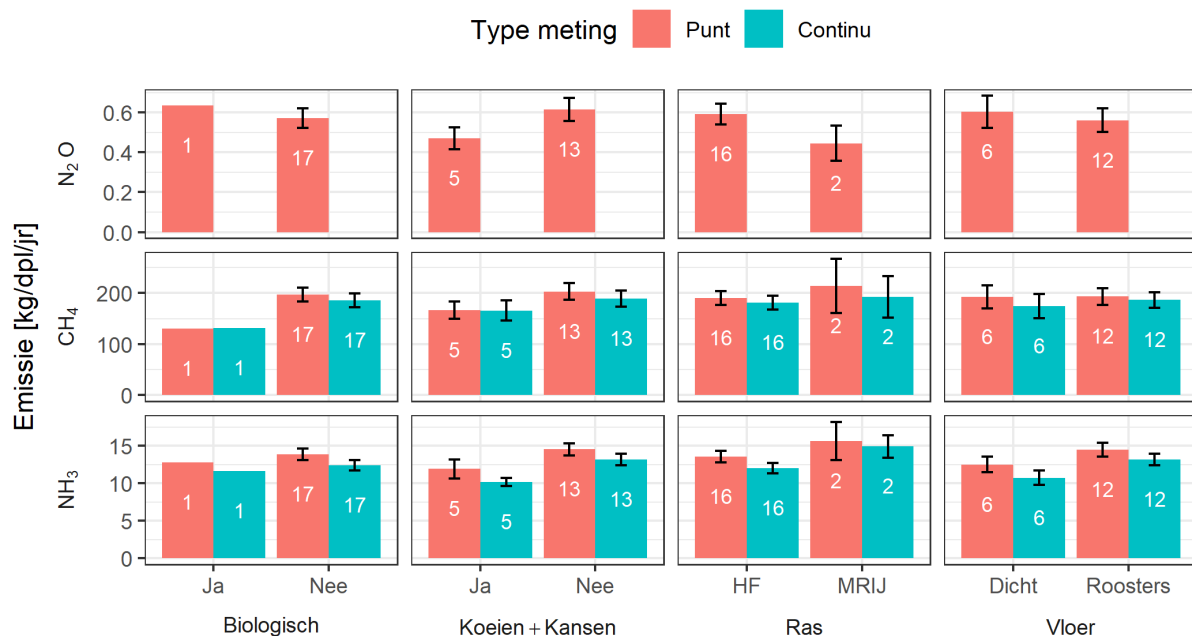
Bedrijf	Puntmetingen			Continu-metingen		
	Richtings-coëfficiënt	Verklaarde variantie	Emissie [kg/dpl/jr]	Lineair model	Verklaarde variantie	Emissie [kg/dpl/jr]
WLR1	0,073 x - 23	0,76	131	0,055 x - 10	0,55	131
WLR2	0,111 x - 47	0,99	197	0,069 x - 20	0,61	210
WLR3	0,114 x - 54	0,90	146	0,065 x - 15	0,53	156
WLR4	0,074 x - 17	0,92	231	0,112 x - 43	0,61	225
WLR5	0,089 x - 37	0,83	138	0,081 x - 31	0,55	154
WLR6	0,082 x - 22	0,81	222	0,096 x - 30	0,55	206
WLR7	0,084 x - 22	0,95	297	0,023 x + 23	0,08	289
WLR8	0,201 x - 106	0,89	190	0,161 x - 76	0,81	199
WLR9	0,089 x - 34	0,98	181	0,079 x - 24	0,65	176
WLR10	0,078 x - 22	0,73	201	0,108 x - 43	0,80	186
WLR11	0,097 x - 32	0,82	289	0,075 x - 14	0,46	250
WLR12	0,090 x - 35	0,94	138	0,078 x - 27	0,89	135
WLR13	0,098 x - 43	0,91	150	0,079 x - 28	0,53	158
CLM1	0,077 x - 34	0,95	127	0,050 x - 18	0,81	101
CLM2	0,097 x - 31	0,65	223	0,133 x - 57	0,73	209
CLM3	0,071 x - 27	0,96	113	0,069 x - 25	0,88	93
CLM4	0,137 x - 53	0,85	281	0,143 x - 51	0,40	237
CLM5	0,133 x - 63	0,95	219	0,112 x - 47	0,95	190

3.11 Vergelijking tussen bedrijfstypen

Binnen de selectie van 18 melkveebedrijven zijn verschillende bedrijfstypen vertegenwoordigd. Onderscheid wordt gemaakt in het type vloer (dicht of rooster), het ras (HF of MRIJ), bedrijfsvoering (gangbaar of biologisch) en deelname aan het project Koeien & Kansen. In Figuur 3.13 zijn deze typen met elkaar vergeleken op basis van de gemiddelde emissiewaarden per bedrijf (\pm standaardfout). Om significante verschillen tussen de bedrijfstypen vast te stellen is een Restricted Maximum Likelihood (REML) analyse uitgevoerd in Genstat waarbij de verschillende bedrijfstypen als fixed effect en de verschillende bedrijven als 'random effect' zijn opgenomen. Net als in analyse van een deel van de puntmetingen (Mosquera et al., 2021) is er bij de puntmetingen geen significant effect gevonden van de verschillende bedrijfstypen op de emissie van ammoniak, lachgas of methaan. Op één uitzondering na: er is een aanwijzing dat de ammoniakemissie bij de Koeien & Kansen bedrijven lager ligt dan bij de overige bedrijven ($p=0,089$). Een vergelijkbare REML analyse is uitgevoerd op de continue emissiemetingen. Ook daarin zijn de effecten van bedrijfstypen op de emissie per dag geanalyseerd rekening houdend met de variatie tussen bedrijven. Vanwege de afhankelijkheid van opeenvolgende dagelijkse emissiemetingen is ook de factor dag als random factor meegenomen.

In overeenstemming met Mosquera et al. (2021), geven de continue metingen een indicatie dat melkveehouders binnen het project 'Koeien & Kansen' een lagere ammoniakemissie hebben dan de andere bedrijven ($p=0,06$). Daarnaast is er op basis van de continue metingen een significant effect van vloertype op de ammoniakemissie gevonden ($p=0,03$). Een kanttekening die hierbij geplaatst moet worden is dat 80% van de dichte vloeren is gemeten met Meetopstelling 2 waarvan uit paragraaf 3.4 blijkt dat deze meetopstelling resulteert in lagere emissies dan de puntmetingen (die dienen als

referentie). Dit is niet het geval voor Meetopstelling 1 waarmee de roostervloeren zijn bemeten. Op basis van de puntmetingen waarvoor dezelfde meetmethode is toegepast op alle bedrijven, is geen significant effect gevonden voor de dichte vloer. Ook een biologische bedrijfsvoering of een ander ras, leidt niet tot significante effecten in de ammoniak-, methaan- of lachgasemissies.



Figuur 3.13 Emissie van NH₃, CH₄ en N₂O met standaardfout in kg/dpl/jr per bedrijfstype op basis van punt- en continumetingen met data uit de volledige meetperiode. De cijfers in de balkjes geven aan hoeveel bedrijven er zijn meegenomen in het gemiddelde.

Tabel 3.5 NH₃-, CH₄- en N₂O emissies op basis van bedrijfsgemiddelden geordend naar bedrijfs- of stalsysteem. Per gas zijn de emissies van zowel de continue alsook de puntmetingen weergegeven.

		NH ₃		CH ₄		N ₂ O	
		Punt	Continu	Punt	Continu	Punt	Continu
Biologisch	Ja	12,5 ± 1,0	11,3 ± 1,5	128 ± 11	129 ± 12	0,6 ± 0,2	-
	Nee	13,9 ± 3,4	12,1 ± 3,5	196 ± 56	190 ± 58	0,6 ± 0,3	-
KK	Ja	12,3 ± 3,3	9,8 ± 1,7	163 ± 43	162 ± 47	0,4 ± 0,2	-
	Nee	14,4 ± 3,2	13 ± 3,5	203 ± 59	196 ± 61	0,6 ± 0,3	-
Ras	HF	13,5 ± 3,1	11,5 ± 3,1	188 ± 53	181 ± 48	0,6 ± 0,3	-
	MRIJ	15,9 ± 4,6	15,6 ± 3,4	213 ± 88	216 ± 109	0,5 ± 0,3	-
Vloer	Dicht	11,8 ± 2,5	9,6 ± 1,9	195 ± 62	181 ± 47	0,6 ± 0,2	-
	Roosters	14,6 ± 3,3	13,1 ± 3,3	190 ± 56	188 ± 63	0,6 ± 0,3	-

3.12 Gebruik van eenheden en vergelijking met KLW

Om de variatie tussen bedrijven goed te kunnen beoordelen, is het belangrijk oog te hebben voor de eenheid waarmee emissie wordt uitgedrukt. De keuze van eenheid kan namelijk extra spreiding in emissie tussen bedrijven veroorzaken. Een voorbeeld is spreiding in de bezettingsgraad die invloed heeft op de emissies per dierplaats. Om het effect van gekozen eenheid te onderzoeken is het verschil in

emissie-rangorde van bedrijven tussen verschillende eenheden onderzocht. Hiervoor zijn alle bedrijven gerankt op basis van drie verschillende eenheden zijnde:

- Emissie per dierplaats per jaar
- Emissie per dier per jaar
- Emissie per heat production unit (HPU) per jaar

In de vergelijking van rangordes met verschillende eenheden is ook de emissie-rangorde volgens informatie uit de K LW-gegevens van de bedrijven opgenomen. De K LW geeft zelf op basis van rantsoengegevens een schatting van NH₃ en CH₄ productie. Deze zijn hier toegepast met de volgende eenheden:

- o NH₃: per grootvee-eenheid (GVE)
- o CH₄: bedrijfstotaal

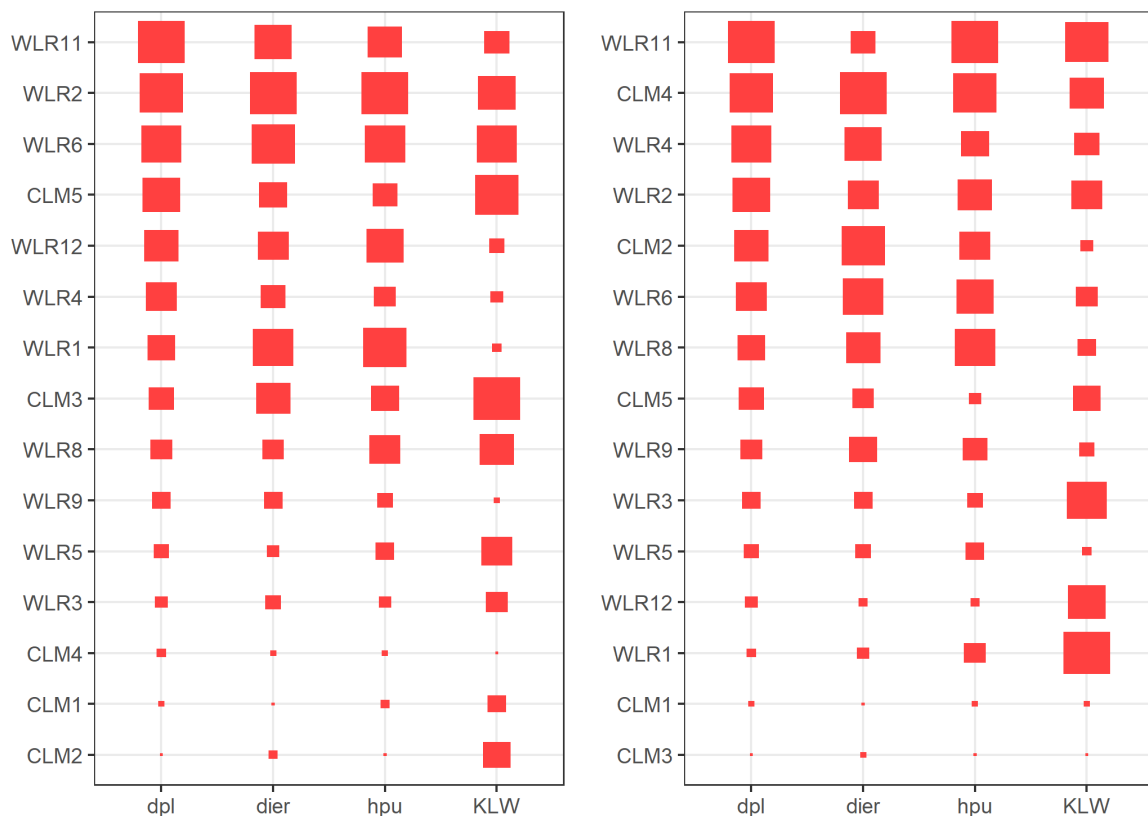
Geen van de eenheden resulteert in een eenzelfde ranking (Figuur 3.14). De emissie per dierplaats en per dier komen het meest met elkaar overeen. De emissie per hpu verschilt van de emissie per dierplaats en per dier. Dit wordt verklaard doordat binnen de berekening van het aantal hpu's (via het CO₂ productiemodel) wordt gecorrigeerd voor melkproductie, gewicht van de dieren, aantal dagen dat de dieren drachtig zijn en het aandeel jongvee in de stal.

Op bedrijf WLR1 is het verschil tussen de verschillende eenheden goed te zien. Dit bedrijf heeft 271 dierplaatsen met gemiddeld 220 dieren waarvan 55 stuks jongvee. Omdat de stal niet volledig bezet is, is de emissie per dier hoger dan de emissie per dierplaats. De emissie per hpu (heat production unit) is wel hoger dan de emissie per dier vanwege het hoge aandeel jongvee (ten opzichte van de andere bemeten stallen). Dat betekent gemiddeld minder hpu's per dier waardoor de emissie-rangorde tussen dier en hpu verandert.

De verschillen tussen de metingen (dpl, dier, hpu) en de schatting via de K LW vallen op. Bedrijf WLR1 heeft volgens de K LW een lagere ammoniak- en een hogere methaanemissie dan de andere bedrijven, maar dat is niet gebleken uit de metingen. Dit wordt waarschijnlijk verklaard doordat WLR1 een biologische bedrijfsvoering hanteert waarop de K LW niet volledig is ingespeeld.

De spreiding tussen bedrijven verschilt tussen de metingen en de K LW-inschatting voor CH₄ emissies. De spreiding tussen bedrijven op basis van de CH₄ emissies per dierplaats is 0,30 (variatiëcoëfficiënt) terwijl de spreiding tussen bedrijven op basis van de K LW 0,08 is. De kleinere spreiding in emissieschattingen op basis van de K LW is het gevolg van de modellen waarin wordt gerekend met vaste emissiefactoren die gemiddeld een goed beeld geven, maar niet bedrijfsspecifiek zijn. Voor NH₃ wordt de breedte van de variatie beter weergegeven door de K LW dan voor methaan. Waar de spreiding tussen bedrijven voor de NH₃ emissie op basis van de metingen uitgedrukt per dierplaats 0,24 is (variatiëcoëfficiënt), is deze op basis van de K LW 0,19.

Op basis van de Spearman rank-order test is de correlatie (maat voor overeenkomst) tussen de rankingen op basis van de metingen (per dierplaats; per dier; per hpu) significant, maar is er geen significante correlatie gevonden tussen de rankingen op basis van de metingen met de ranking op basis van de KringloopWijzer. Dit betekent dat de ranking op basis van de metingen significant anders uitkomt dan op basis van de KringloopWijzer.



Figuur 3.14 Ranking van de bedrijven op basis van de verschillende eenheden voor de NH₃- (links) en CH₄-emissie (rechts). De grootte en kleur van de blokjes geeft de ranking aan. Een bedrijf met een hoge ranking heeft een hoge emissie en vice versa. Emissies per dierplaats (dpl), dier (dier) en heat production unit (hpu) zijn gemeten. De emissie vanuit de K LW is uitgedrukt per grootvee eenheid (GVE) voor NH₃ en totaal per bedrijf voor CH₄. De KringloopWijzers voor WLR7, WLR10 en WLR13 waren niet beschikbaar.

4 Implicaties

De discussie richt zich op de onderzoeksopzet, toegepaste onderzoeksmethoden en de verkregen resultaten in relatie tot de doelen van dit onderzoek:

- Welke factoren dragen bij aan de onzekerheid rondom de emissieschatting door metingen?
- Hoe goed functioneren de bedrijfssensoren in de twee meetopstellingen voor het continu meten van methaan- en ammoniakemissies t.o.v. de puntmetingen en wat zijn de leerpunten?
- Welke samenhang bestaat er tussen de waargenomen emissiepatronen enerzijds en management- en andere omgevingsfactoren anderzijds?

4.1 Het meten van emissies

Voor het goed interpreteren van de emissiecijfers, is het van belang dat de gemeten emissies voldoende nauwkeurig zijn. Figuur 4.1 geeft een schematisch overzicht van een meetopstelling inclusief factoren die bijdragen aan de meetonzekerheid. Hoewel toegespitst op meetopstelling 1 zijn de hier besproken aspecten ook van toepassing op meetopstelling 2. Emissies worden berekend door het concentratieverschil in de stal tussen ingaande en uitgaande lucht te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet. Deze twee componenten (concentratieverschil en ventilatiedebiet) dragen elk bij aan onzekerheid in de emissies.

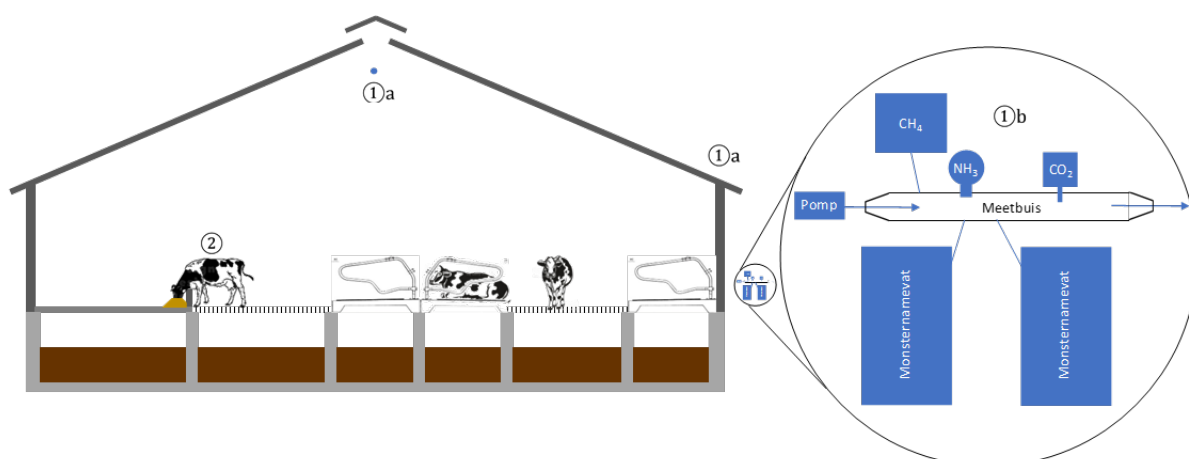
Volgens de nummering in Figuur 4.1 zijn de verschillende factoren die bijdragen aan meetonzekerheid:

1. De nauwkeurigheid van het concentratieverschil tussen stal en achtergrond

- a. De bemonstering van de luchtstromen.
 - i. Representatief luchtmonster van uitgaande lucht (stallucht).
 - ii. Representatief luchtmonster van ingaande lucht (buitenlucht).
- b. De nauwkeurigheid van de CO₂, NH₃ en CH₄ sensoren in stal en achtergrond. De sensoren moeten gekalibreerd zijn zodat er geen systematische meetfout wordt gemaakt. Voor de precisie van de sensoren is het van belang dat systematische afwijkingen door stoorcomponenten in de lucht beperkt van omvang zijn.

2. De nauwkeurigheid van het CO₂-productiemodel voor de debietschatting

- De juistheid van de aannames in het CIGR CO₂-productiemodel over gewicht, aantal dagen in dracht, melkproductie, het CO₂ concentratieverschil en de mestbijdrage.



Figuur 4.1 Schematisch overzicht van de stal en meetopstelling zoals toegepast in dit onderzoek. Verschillende factoren die invloed kunnen hebben op de onzekerheid van de metingen zijn aangegeven met nummers.

4.1.1 De nauwkeurigheid van het concentratieverschil tussen stal en achtergrond

4.1.1a Bemonstering van luchtstromen

Uitgaande lucht

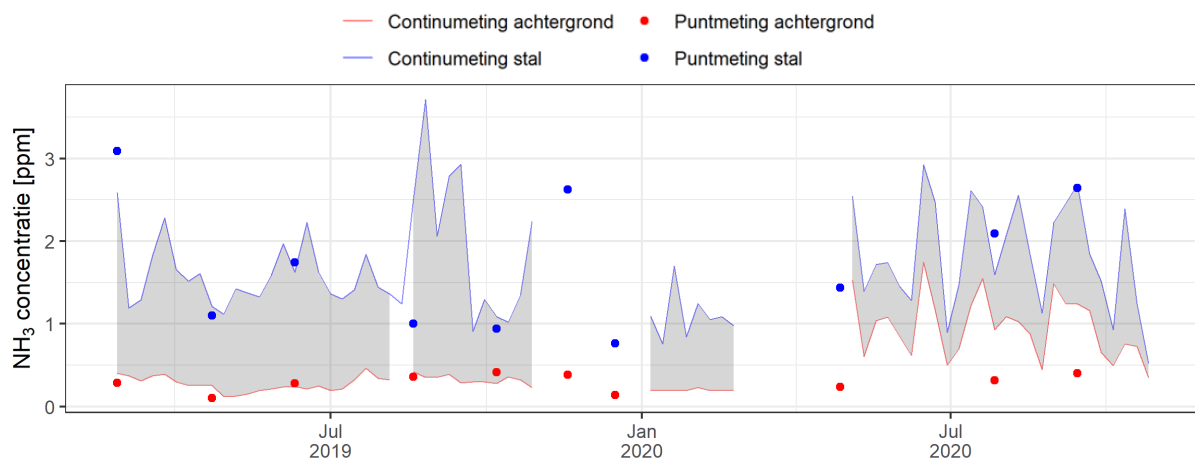
Om een representatief luchtmonster van uitgaande stallucht te krijgen, is in dit onderzoek een verzamelleiding gebruikt met meerdere monsternamepunten in het midden van de stal (op zowel hoogte als breedte). Op basis van eerder onderzoek (Mendes et al. 2015) is bekend dat dit een representatief luchtmonster oplevert van uitgaande lucht.

Ingaande lucht

Het nauwkeurig bepalen van de werkelijke achtergrondconcentratie is een uitdaging. Een aspect daarbij is het aandeel van de lucht die de stal via de nok verlaat dat ook weer de stal ingaat als ingaande lucht. Vanuit dat oogpunt is de positionering van de achtergrondsensoren of -meetpunten boven de dakgoot de beste benadering die voor nu beschikbaar is. Deze benadering is ook toegepast binnen het huidige project.

Naast de positionering van sensoren, is het functioneren van de sensor zelf uiteraard belangrijk. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 4.2. Vanaf april 2020 zijn op bedrijf CLM1 de achtergrondconcentraties hoger dan in de periode daarvoor en gecorreleerd aan de stalluchtconcentraties. Ook is er een fors verschil tussen de continue metingen en de puntmetingen in deze periode. Puntmetingen hielpen in deze situatie om deze onjuiste buitenmetingen te detecteren. Daarnaast weten we vanuit eerdere metingen dat de NH_3 buitenluchtconcentratie tussen de 0,1 en 0,3 ppm ligt en dat geeft ook een handvat om onjuiste metingen te signaleren (Vonk et.al., 2021). Hogere concentraties van ingaande lucht zijn wel mogelijk wanneer die bijvoorbeeld beïnvloed worden door de uitgaande lucht van een nabijgelegen stal.

Wanneer de continue achtergrondmetingen voor NH_3 worden vervangen door de gemiddelde achtergrondconcentratie op basis van de puntmetingen, stijgt de gemiddelde ammoniakemissie over de gehele meetperiode van 2019 en 2020 van 8,5 kg/dpl/jr naar 10,3 kg/dpl/jr. Dit is een toename van 21% en laat zien dat het effect van een meetfout in achtergrondconcentratie een groot effect kan hebben. Hoewel het grootste deel van de dataverzameling goed is gegaan, is het belangrijk dergelijke sensorproblemen snel te achterhalen. Dit vereist een regelmatige controle van de meetgegevens.



Figuur 4.2 Weekgemiddelde NH_3 concentratie in stal en achtergrond voor bedrijf CLM1 gedurende de meetperiode. Vanaf april 2020 is er een hoge correlatie tussen stal- en achtergrondconcentraties.

4.1.1b Nauwkeurigheid CO_2 , NH_3 en CH_4 sensoren

Naast positionering van de monsternamepunten en sensoren, is de nauwkeurigheid van het concentratieverschil tussen stal en achtergrond afhankelijk van de nauwkeurigheid van de sensoren. De impact van een onnauwkeurigheid is afhankelijk van de grootte van het concentratieverschil. Hoe kleiner het concentratieverschil tussen stal en achtergrond, hoe groter het effect van een sensorafwijking. Kleine

concentratieverschillen komen voor in zeer open stallen waar veel ventilatie door de stal heen is. Metingen bij deze categorie stallen kennen daarom een grotere onnauwkeurigheid van het concentratieverschil tussen stal en achtergrond.

Sensorafwijkingen kunnen systematisch of random zijn én variëren over tijd. Random fouten (ruis) vormen geen groot probleem aangezien het concentratieverschil over langere tijd wordt bepaald waarbij random fouten elkaar uitmiddelen. Systematische fouten hebben daarentegen wel een effect op de uiteindelijke emissieberekening. Sensorspecifieke systematische fouten (bias) zijn deels te ondervangen door de sensoren voorafgaand aan de meting te kalibreren. Het groter of kleiner worden van een systematische fout na verloop van tijd (drift) is echter lastig te achterhalen en kan alleen ondervangen worden via regelmatig uitgevoerde puntmetingen.

4.1.2 De nauwkeurigheid van het CO₂ productiemodel voor de debietschatting

Met het CO₂-productiemodel wordt een schatting gemaakt van het ventilatiedebiet in de stal. Het model berekent de CO₂ productie per dier op basis van de melkproductie, het gemiddelde gewicht van de dieren en het aantal dagen dat de dieren drachtig zijn. Daarnaast wordt de CO₂-bijdrage uit de mestput geschat als percentage van de dierproductie. Aan de hand van het CO₂ concentratieverschil tussen stal en achtergrond wordt vervolgens het debiet berekend. Tabel 4.1 laat zien wat de maximale fout kan zijn die gemaakt wordt in de emissieschatting gebruik makend van het CO₂ productiemodel. Uit Tabel 4.1 is af te leiden dat de onzekerheid in emissies het meest gevoelig is voor een onderschatting van het CO₂ concentratieverschil, een verkeerde inschatting van het NH₃ concentratieverschil of een mestbijdrage die in werkelijkheid groter is dan aangenomen. Dit betekent dat een goede schatting van het concentratieverschil veel bijdraagt aan de nauwkeurigheid van de emissieschatting.

Tabel 4.1 De verwachte maximale fout van inputvariabelen en het effect daarvan op de emissieberekening via het CO₂ productiemodel.

	Verwachte minimale waarde		Standaard	Verwachte maximale waarde	
	Waarde absoluut (% daling)	Effect op emissie [% stijging/daling]		Waarde absoluut	Waarde absoluut (% stijging)
CO ₂ concentratieverschil	200 ppm (-20%)	+25%	250 ppm	300 ppm (+20%)	-17%
Mestbijdrage	-	-	10%	30% (+200%)	+18%
Gewicht	600 kg (-12%)	-4%	670 kg	750 kg (+12%)	+4%
Dagen drachtig	50 dgn (-69%)	-4%	160 dgn	-	-
Melkgift	29 kg/dag (-3%)	-2%	30 kg/dag	31 kg/dag (+3%)	+2%

4.1.2 Aannames in het CIGR CO₂-productiemodel

Het gewicht van de melkkoeien en het gemiddeld aantal dagen in dracht is niet van elk bedrijf bekend. Wanneer deze gegevens niet beschikbaar waren, is er gewerkt met standaardwaarden voor gewicht (670 kg/melkkoe) en aantal dagen in dracht (160 dagen). De melkproductie is wel van elk bedrijf bekend. De CO₂ productie van de mest wordt door het CIGR model geschat op 10% van de dierlijke CO₂ productie. Hiervoor geldt echter wel de aanname dat de mest elke 4 weken uit de stal wordt verwijderd (Pedersen et al., 2008). Dit is vaak niet het geval in de bemeten stallen in dit onderzoek. Wanneer de mestbijdrage gemiddeld groter is dan 10% van de dierproductie, resulteert dit in hogere emissies. Wanneer de mestbijdrage significant varieert door het jaar heen, heeft dit effect op de gevonden jaarpatronen in emissie. Het effect is lastig in te schatten aangezien de CO₂ productie van de mest zowel volume- als temperatuurafhankelijk is.

Tabel 4.1 laat zien dat van de parameters (gewicht, dagen drachtig, melkgift), een fout in het geschatte gewicht het grootste effect op de emissie heeft. Binnen een gewichtsrage van 600 tot 750 kg, kan de emissie 5% hoger of lager uitvallen dan bij een gewicht van 670 kg. Het gehanteerde gemiddelde gewicht van melkgevende dieren is gebaseerd op Zom & Kasper (2019). Gewichtsvariaties binnen een bedrijf zullen niet leiden tot een systematische over- of onderschatting van de CO₂ productie. Naast gewicht is de emissie afhankelijk voor een fout in de inschatting van de melkproductie. Het effect van deze fout is klein aangezien de melkproductie nauwkeurig geschat kan worden.

Het gemiddeld aantal dagen in dracht is gebaseerd op Ogink et. al. (2013) en staat op 160 dagen voor melkgevende dieren. Wanneer er echter gerekend wordt met een draagtijd van 282 dagen, een tussenkalftijd van 410 dagen en een droogstandperiode van 8 weken, is het gemiddeld aantal dagen in dracht 62 dagen. Het vervangen van de standaardwaarde van 160 dagen door 62 dagen resulteert in een ≈4% lagere emissie voor zowel CH₄ als NH₃.

Het effect van de mestbijdrage is onzeker aangezien er weinig bekend is over hoe de CO₂-productie van de mest in verhouding staat tot de CO₂-productie van de dieren. Dit wordt nader onderzocht in een project waar het CO₂-productiemodel gevalideerd wordt. Wel is bekend dat de CO₂-productie uit de mest afhankelijk is van het volume mest dat in de stal is opgeslagen.

In het jaarpatroon van de methaanemissie is ook zichtbaar dat de methaanemissies hoger zijn gedurende de winter. Mogelijk is dan de CO₂ productie van de mest (op een deel van de bedrijven) groter dan de 10% waarmee nu gerekend wordt. In dat geval is de NH₃- en CH₄ emissie in stallen met mestopslag in de mestkelder onderschat wanneer er een groot volume aan mest in de kelder aanwezig is.

4.2 Betrouwbaarheid resultaten

Zoals in de vorige paragraaf geschetst is, kent de emissiemeting veel aspecten die bijdragen aan de onzekerheid van de metingen.

4.2.1 Verschil tussen punt- en continumetingen

Een van de doelen van het project was het demonstreren van directe, continue bedrijfsmonitoring van ammoniak- en methaanemissies. Vanuit paragraaf 3.5 en Figuur 3.2, Figuur 3.3, Figuur 3.4 en Tabel 3.3 blijkt dat de ammoniak- en methaanemissie onderschat wordt door de continue metingen. Dat effect is groter voor ammoniak dan voor methaan en groter voor meetopstelling 2 dan voor meetopstelling 1.

Het verschil in emissie tussen puntmetingen en continue metingen is het gevolg van een verschil in gemeten concentraties zoals weergegeven in Tabel 4.2. Voor meetopstelling 1 wordt het verschil tussen puntmetingen en continue metingen voornamelijk veroorzaakt door een verschil in het CO₂ concentratieverschil. De continue metingen meten een 10ppm hogere stalconcentratie en een 11 ppm lagere achtergrondconcentratie waardoor het CO₂ concentratieverschil bij de continue metingen 7% groter is. Dit grotere concentratieverschil resulteert in een lager debiet (via het CO₂ productiemodel) en daarmee in een lagere emissie dan bij de puntmetingen.

Voor meetopstelling 2 is het verschil in emissie tussen puntmetingen en continue metingen groter dan bij meetopstelling 1. Tabel 4.2 laat zien dat er voor meetopstelling 2 naast een verschil in CO₂ concentratie, ook een verschil in NH₃ concentratie aanwezig is. Dit telt dubbel door. Een groter CO₂ concentratieverschil voor de continue metingen resulteert in een lager debiet en dit in combinatie met een lager NH₃ concentratieverschil resulteert in een lagere NH₃ emissie dan op basis van de puntmetingen.

Aan het verschil in emissie tussen puntmetingen en continue metingen liggen meerdere factoren ten grondslag. Zo kan er een verschil ontstaan tussen beide type metingen op dagen dat weidegang plaatsvond. Zoals in de Materiaal en Methoden is toegelicht (zie hoofdstuk 2.3.2), kunnen

continumetingen gecorrigeerd worden voor weidegang, maar puntmetingen niet. Zodra de koeien naar de weide gaan, daalt de CO₂ en CH₄ concentratie in de stal. De NH₃ concentratie daalt pas na een aantal uur. Dit heeft twee tegengestelde gevolgen voor de berekende emissie. Enerzijds dat het daggemiddelde CO₂ concentratieverschil bij de puntmetingen lager is dan bij de continue metingen. Hierdoor wordt het berekende ventilatiedebiet en daarmee de emissie hoger. Anderzijds zijn de NH₃- en CH₄-stalconcentraties bij de puntmetingen gemiddeld lager dan op basis van de continumetingen waardoor een lagere emissie wordt berekend. Deze twee effecten heffen elkaar grotendeels op, maar dragen bij aan een grotere onzekerheid. Doordat de NH₃ concentratie in de stal tijdens weidegang trager afneemt dan CO₂ en CH₄, is het compenserende effect voor de NH₃ emissie minder groot.

De afwijking in NH₃-concentratie van meetopstelling 2 ten opzichte van de puntmetingen zoals weergegeven in Tabel 4.2 is waarschijnlijk het gevolg van het meten van stal- en achtergrondmetingen met dezelfde analyzer via een meetpuntschakelaar. Van NH₃ is bekend dat dit gas plakt in de meetleidingen en meetcel met als gevolg dat bij een snelle wisseling tussen het stal- en achtergrondmeetpunt, de stalmetingen kunnen leiden tot een hogere achtergrondmeting en vice versa. Verschillen in de plaatsing van de meetpunten in de achtergrond tussen punt- en continue metingen kunnen ook tot verschillende resultaten leiden, evenals het type sensor en de methode van veldkalibratie. Op basis van de huidige metingen is het niet goed mogelijk om het effect van al deze factoren precies te duiden.

Tabel 4.2 Stal- en achtergrondconcentraties van (CO₂, NH₃ en CH₄) zoals gemeten met de puntmetingen en de continumetingen uitgesplitst in Meetopstelling 1 en Meetopstelling 2. Rechts het concentratieverschil tussen stal en achtergrond en het verschil tussen puntmetingen en continue metingen.

Meet-opstelling	Gas	Stal [ppm]		Achtergrond [ppm]		Concentratieverschil [ppm]		
		Punt	Continu	Punt	Continu	Punt	Continu	Vershil [ppm] (%)
1	CO ₂	760	770	488	477	272	293	21 (7%)
1	NH ₃	2,31	2,36	0,19	0,19	2,12	2,17	0,05 (2%)
1	CH ₄	36,5	36,8	4,0	4,0	32,5	32,8	0,3 (1%)
2	CO ₂	738	730	507	463	231	267	36 (14%)
2	NH ₃	2,28	2,17	0,34	0,53	1,94	1,64	-0,3 (-17%)
2	CH ₄	35	33,3	6,2	5,3	28,8	28	-0,8 (-3%)

Bij het op waarde schatten van de nauwkeurigheid van puntmetingen en continue metingen is het van belang naar het gebruiksdoel te kijken. Voor het ondersteunen van bedrijfsmanagement heeft continue meten de voorkeur omdat de frequentie van de emissiemetingen beter aansluit bij de beschikbare managementgegevens. Het meten met sensoren die een lagere nauwkeurigheid dan de referentiemethode hebben is dan acceptabel, omdat de focus dan niet ligt op het absolute niveau van de emissies. De dag-emissies zoals bepaald met de sensoren in deze studie zijn redelijk tot goed gecorreleerd met de puntmetingen (gebaseerd op referentiemethodes) voor zowel NH₃ als CH₄ (correlaties variërend tussen 0,74-0,86) en geschikt voor het ondersteunen van bedrijfsmanagement.

Voor het vaststellen van absolute emissieniveaus ten behoeve van een specifieke bedrijfsemisatie voor bijvoorbeeld controle-doeleinden ligt dat echter anders. Hier is een zorgvuldig kalibratieschema vereist om systematische meetfouten te vermijden. Beide meetopstellingen voldoen dan ook nog niet volledig aan de criteria die zijn gesteld in het ontwikkel- en validatieprotocol voor sensoren (Vonk et al., 2021).

4.2.2 Eenheid van uitdrukken

Paragraaf 3.11 maakt duidelijk dat bedrijfskenmerken zoals het aandeel jongvee, invloed kunnen hebben op de uiteindelijke emissieniveaus. Wanneer bedrijven met elkaar vergeleken moeten worden, is de emissie per heat production unit (HPU) het meest zuiver, omdat hierin het metabolismeniveau van de verschillende diergroepen (melkkoeien, droge koeien en jongvee) wordt geschat. Wanneer het gaat om de impact op het milieu of klimaat is de totale emissie (in kg) van het bedrijf van belang. Voor het vergelijken van efficiëntie van productie kan een emissie uitgedrukt worden per kg melk of hectare.

4.3 Verkregen inzichten

4.3.1 Emissiepatroon NH₃

Het gelijktijdig meten van NH₃- en CH₄ emissies op meerdere melkveebedrijven heeft ertoe geleid dat lange termijn patronen zichtbaar zijn geworden. Een voorbeeld hiervan is de relatie tussen de ammoniakemissie en temperatuur. Op individueel bedrijfsniveau is deze relatie zwak, maar wanneer de 18 bemeten bedrijven gecombineerd worden, is de NH₃ emissie gecorreleerd aan de buitentemperatuur ($r=0,83$). Deze relatie is op basis van het emissieproces zoals beschreven door Monteny et al. (1998) goed te verklaren. De buitentemperatuur kan ook een indicator zijn voor de verschillen in NH₃ emissie tussen jaren. In jaren met een gemiddeld hogere temperatuur, is dan ook de NH₃ emissie hoger.

Op basis van het jaarpatroon kan ook geconcludeerd worden dat maatregelen om de NH₃ emissie te verlagen het meest effectief zijn in de zomermaanden. Een voorbeeld van een effectieve maatregel kan zijn om de vloer te besproeien in de zomer (Dooren, 2021), omdat er dan vaak ook voldoende mestopslagcapaciteit is.

4.3.2 Verschillen tussen jaren

Vanuit de huidige meetgegevens blijkt dat de emissies in 2020 voor zowel ammoniak als methaan respectievelijk 15% en 2% hoger zijn dan in 2019. De buitentemperatuur als indicator voor de ammoniakemissie was in 2020 13% hoger. De CH₄-CO₂ verhouding is in 2020 4% hoger dan in 2019. Madsen et.al. (2010) heeft al eerder aangetoond dat de CH₄-CO₂ verhouding een goede maat is voor de CH₄ productie van een dier. Het verschil in emissie tussen 2019 en 2020 is te klein om oorzaken te kunnen achterhalen. Het is aannemelijk dat kleine rantsoenverschillen (bijvoorbeeld als gevolg van weersomstandigheden) leiden tot verschillen in emissie tussen jaren. De spreiding tussen dagen is echter groter en meer relevant om het emissieproces te begrijpen.

4.3.3 Samenhang tussen emissie en bedrijfsfactoren

Eén van de doelen van het project was het leggen van verbanden tussen de emissie van methaan en ammoniak en bedrijfsfactoren. Deze bedrijfsfactoren zijn afkomstig uit de Kringloopwijzer van de bedrijven over de jaren 2019 en 2020. Wel is er een aantal beperkingen aan de vergelijkingen die mogelijk waren tussen de emissiemetingen en bedrijfsgegevens.

- De gegevens uit KringloopWijzer zijn berekende waarden op jaarbasis terwijl de continue metingen ook de variatie door het jaar heen in kaart brengen. Op basis van de gegevens uit de KringloopWijzer is het daarom alleen mogelijk om verschillen tussen jaren en tussen bedrijven te verklaren, terwijl er behoefte is om ook de variatie binnen een jaar te kunnen verklaren aan de hand van bedrijfs-/managementgegevens.
- De metingen hebben plaatsgevonden in één stal op het bedrijf terwijl de KringloopWijzer op bedrijfsniveau rekent. Voor bedrijven waar alle dieren in de meetstal worden gehuisvest is dit geen probleem, maar een scheve vergelijking wordt gemaakt wanneer de dieren verdeeld zijn over meerdere stallen.

Bovenstaande beperkingen onderstrepen het belang van het verzamelen van managementgegevens op dagbasis en het verder specificeren van de KringloopWijzer of het uitbreiden van de metingen voor een goede vergelijking tussen beide benaderingen.

4.3.3.1 Emissie en bedrijfstypen

De invloed van vloer, ras, bedrijfsvoering of deelname aan het project Koeien en Kansen op de emissie van ammoniak en methaan kon niet worden vastgesteld. Alleen de continue gemeten ammoniakemissie bij de bedrijven met een dichte vloer bleek significant lager te zijn dan die op bedrijven met een roostervloer. Naast het effect van de vloer, kan ook de meetopstelling hierin een rol hebben. Het significante verschil is immers niet aangetoond op basis van de puntmetingen. Van de 5 bedrijven met een dichte vloer, zijn er 4 bemeten met meetopstelling 2. Het verschil tussen punt- en continuumetingen is voor meetopstelling 2 significant groter dan voor meetopstelling 1. Dit kan betekenen dat het effect wat wordt toegeschreven aan de vloer, ook het resultaat kan zijn van een verschil in meetopstelling. Deze bewering kan niet statistisch getoetst worden, omdat er met meetopstelling 2 maar één roostervloer bemeten is.

4.4 Continue metingen in de praktijk

Op basis van deze studie wordt een aantal aanbevelingen gedaan voor het verder introduceren van continue emissiemetingen in de praktijk. Daarin is het doel om zo eenvoudig mogelijk betrouwbare schattingen te kunnen doen van de NH₃ en CH₄ emissie.

4.4.1 Ammoniak

Het belang van juiste meting van de concentratieverschillen tussen stal en achtergrond is eerder in dit hoofdstuk toegelicht. Temperatuur bepaalt deels het patroon van de NH₃ emissie. Gelijktijdige meting van de stal- en/of buitentemperatuur kan het waargenomen emissiepatroon helpen verklaren en behulpzaam zijn bij het herkennen van storingen of afwijkingen. De gemeten temperatuur kan verder behulpzaam zijn bij het inzetten van reductiemaatregelen. Maatregelen zoals het bevochtigen van de vloer of frequent schuiven zijn naar verwachting het meest effectief bij hoge temperaturen.

4.4.2 Methaan

Uit de resultaten blijkt dat de CH₄-CO₂ concentratieverhouding in de stal een goede maat kan zijn voor de CH₄ emissie. Zowel variatie tussen dagen alsook variatie tussen bedrijven kan hiermee ondervangen worden. Om de CH₄-CO₂ verhouding in de stal te bepalen, hoeft enkel de CO₂ en CH₄ concentratie in de stal gemeten te worden. Dit betekent dat er geen achtergrond gemeten hoeft te worden en er geen afhankelijkheid van het CO₂-productiemodel is. Een voorwaarde is wel dat de CO₂ en CH₄ sensoren voldoende accuraat zijn en dat de achtergrondconcentratie constant is.

Een emissieschatting op basis van de CH₄-CO₂ verhouding kan ook mogelijkheden bieden voor het meten van zeer open stallen aangezien het nu vaak lastig is om een betrouwbaar CO₂ concentratieverschil te meten.

Fluctuaties in achtergrondconcentraties zijn bij deze methode wel een risico. Binnen andere projecten is een stijging in achtergrondconcentraties tot 1000 ppm CO₂ waargenomen in een windstille nacht. Dit beïnvloedt de CH₄-CO₂ verhouding en resulteert in een fout in de schattingen. Er kan uitgezocht worden of hier een correctie op kan worden toegepast.

Met de CH₄-CO₂ verhouding kan naar verwachting alleen de emissie op dagbasis worden bepaald en niet op uurbasis aangezien de CO₂ en CH₄ concentraties in de stal afhankelijk zijn van de dieractiviteit (Ngwabie et al. 2011).

Naast de mogelijkheid om de CH₄-CO₂ verhouding in te zetten als indicator voor de emissie, is de CH₄-CO₂ verhouding ook een indicator voor de kwaliteit van de metingen. Uit deze en eerdere studies is bekend dat een CH₄-CO₂ verhouding (op koolstofbasis) van $0,032 \pm 0,004$ realistisch is. Wanneer de verhouding blijvend boven of onder deze bandbreedte is, kan dit erop duiden dat een CO₂ of CH₄ sensor vervangen of opnieuw gekalibreerd moet worden.

Het bepalen van de CH₄ emissie op basis van de CH₄-CO₂ verhouding brengt een onzekerheid met zich mee. Figuur 3.12 laat immers zien dat er wel enige spreiding rondom het model aanwezig is. Frequentie puntmetingen kunnen hierin inzicht geven.

4.4.3 Emissiemeting en de KringloopWijzer

De ranking van bedrijven op basis van de metingen komt anders uit, dan wanneer er wordt gerankt op basis van de resultaten van de KringloopWijzer. Hierin speelt een tweetal factoren een rol. Enerzijds maakt de KringloopWijzer een schatting van de emissies op bedrijfsniveau, terwijl de metingen op stalniveau hebben plaatsgevonden. Anderzijds zijn de metingen bedrijfsspecifiek terwijl de KringloopWijzer gebruik maakt van vaste emissiefactoren. Met name voor de CH₄ emissie valt op dat de spreiding tussen bedrijven op basis van de metingen aanzienlijk groter is dan voorspeld op basis van de KringloopWijzer. Dit geeft aan dat de CH₄ module in de KringloopWijzer verder verfijnd kan worden om de spreiding tussen bedrijven beter weer te kunnen geven.

4.4.4 Evaluatie van terugkoppeling van continue gemeten ammoniak- en methaanemissie door CLM

Eén van de projectdoelen was om ervaring op te doen met eigenstandige bedrijfsmonitoring en het demonstreren van de mogelijkheden hiervan. Door continue emissiemetingen kunnen management- of reductiemaatregelen gevolgd en bemeten worden op de praktijkbedrijven. Om veehouders te motiveren maatregelen te nemen om de emissie op hun eigen bedrijf te verminderen, is het inzichtelijk maken van de resultaten van maatregelen belangrijk. 'Live monitoring' kan zo inzicht geven in de hoogte en het verloop van de emissie. Daarnaast is dit inzicht een belangrijke voorwaarde voor melkveehouders om te kunnen sturen op reductie met managementmaatregelen. Live monitoring is mogelijk bij meetopstelling 2 en toegepast op 5 bedrijven. Het vindt plaats door een directe terugkoppeling van de gemeten concentraties en de daaruit berekende emissies op het scherm van de meetapparatuur. Om de live monitoring te evalueren zijn alle 5 deelnemende bedrijven (door CLM en MMA begeleid) telefonisch benaderd. De resultaten van de evaluatie beschrijven we in dit hoofdstuk.

In een tweetal voorgaande studies is de interesse van veehouders in een meetsysteem gepeild door middel van enquêtes en interviews. Daarin kwam onder andere de praktische werkbaarheid van het instrument aan bod. Deze studies zijn als input gebruikt voor het ontwerp van de meetsystemen. In de enquêtes gaf meer dan de helft (55%) van de boeren aan het zeer belangrijk te vinden dat in principe geen extern advies te hoeft worden ingehuurd bij het gebruik van een ammoniak meetinstrument. Voor hen is het dus van belang dat zij de gegevens zelf kunnen bekijken.

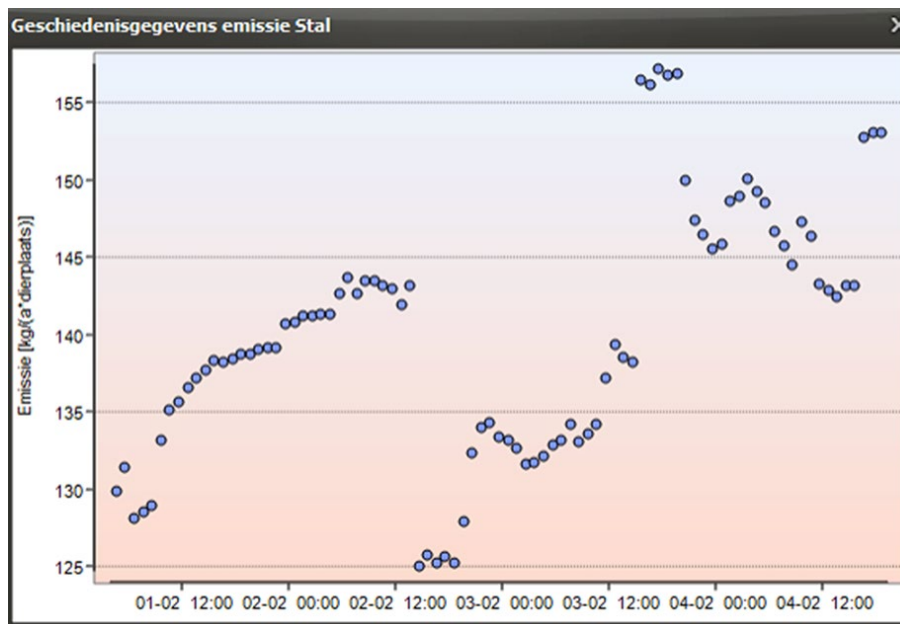
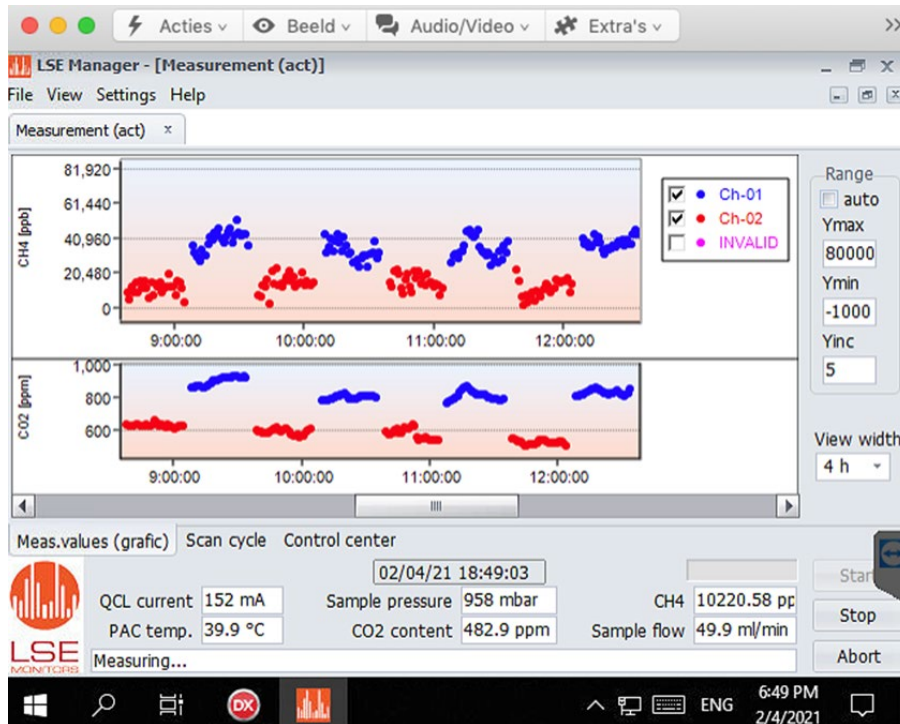
De meeste veehouders zien waarde in live monitoring van ammoniak en methaan. Veehouders vinden het prettig om de verschillen per dag en over langere periodes terug te zien. Daarnaast is het voor sommigen een goede aanvulling op hun proefstalconcept, met de live monitoring kunnen zij laten zien wat het effect van de proefstal is.

Wel zien zij meerwaarde in live monitoring als managementtool, wanneer zij in de toekomst meer mogelijkheden hebben om met de cijfers te kunnen sturen. In het oorspronkelijke projectplan was sprake van het gezamenlijk zoeken naar maatregelen, maar dit doel is door de klankbordgroep later bijgesteld. Hierdoor was in de pilot nog niet duidelijk waar zij op zouden kunnen sturen binnen hun eigen bedrijfsvoering.

Veehouders vinden het lastig om in de huidige vorm hun eigen prestaties terug te zien. Een soort KPI systeem, zoals bij de Lely melkrobot, zou de live monitoring waardevoller maken. Daarbij kan een relatie met de productie gelegd worden, bijvoorbeeld om te zien hoe het eiwitgehalte zich relateert aan de

emissie. Daarnaast is er interesse in de mogelijkheid om de eigen emissies te kunnen vergelijken met collega's. Deze wensen komen overeen met wensen die eerder zijn geïnventariseerd bij ontwikkeling van de apparatuur.

De cijfers op het scherm waren lastig te interpreteren voor de boeren, aangezien er veel informatie op een klein scherm staat. Extra kennis is nodig om de gegevens te begrijpen. Daarnaast worden de cijfers nog gecorrigeerd bij data-analyse. Terwijl op het scherm de data nog niet is gecorrigeerd op een aantal onderdelen, zoals validatie en aan gepaste dierenaantallen. Een deelnemer geeft aan op een klein scherm niet te gaan terugzoeken naar data.



Figuur 4.6 Twee voorbeelden van de verschillende schermen die te zien zijn op de monitoren van de analyzers. Boven het verloop van CO₂- en CH₄-concentraties binnen en buiten en onder verloop van de methaanemissie over de afgelopen periode

De meeste deelnemende veehouders gaven aan vooral in het begin vaak naar de monitor te hebben gekeken. Later werd dit minder en keken de meesten maandelijks. Voor sommigen is het kleine scherm of de plaatsing van de apparatuur een drempel. Een leesbril is niet altijd bij de hand en op je knieën bij het scherm kijken is niet prettig. Het liefst bekijken de melkveehouders de resultaten op hun pc of mobiel, op deze manier kunnen zij er rustig voor gaan zitten om de cijfers te bekijken. Om het systeem in de praktijk toepasbaar te maken is het dus van belang een slag te maken in de terugkoppeling van de data in een app of managementprogramma.

De deelnemers hechten veel waarde aan de persoonlijke aandacht in het project. De individuele gesprekken (met CLM/Monteny Milieu Advies) waarbij de resultaten van het eigen bedrijf werden besproken, werden erg gewaardeerd. Daarnaast waren een aantal deelnemers blij met de vergoeding die zij hadden gekregen, zij hadden immers ook kennis en tijd ingebracht.

De deelnemers hadden gehoopt meer concrete handvaten van maatregelen te krijgen tijdens het project terwijl de nadruk nu lag op de nulmeting. De deelnemers zijn neutraal over hoe de pilot was uitgedacht ten opzichte van hun verwachtingen. Sommigen waren in het begin enthousiast en waren in het laatste jaar teleurgesteld dat er vrijwel geen aandacht meer voor maatregelen was. Alle deelnemers hadden graag verder gewild met metingen op hun bedrijf.

Samenvattend: Uit de evaluatie blijkt dat de veehouders meerwaarde zien in monitoring van ammoniak en methaan, vooral als dit hen handvatten biedt in het nemen van maatregelen. Een soort KPI systeem waarbij benchmarken met andere melkveehouders mogelijk is, zouden zij graag gebruiken. Het huidige systeem kon dit hen nog niet bieden, daarom was de individuele begeleiding van CLM en MMA voor hen belangrijk. Zij waarderen de individuele terugkoppeling van hun bedrijfsresultaten, zodat zij inzicht kregen in wat er op hun bedrijf gebeurt en dit konden relateren aan gebeurtenissen op hun bedrijf, zoals mest mixen of dikke fractie strooien.

5 Conclusies

Het doel van deze studie was om een stalmonitoringsysteem op te zetten voor een continue en directe monitoring van stalemissies van ammoniak en methaan. Gedurende twee jaar is continu gemeten met stalsensoren én zijn er ter controle elke twee maanden puntmetingen uitgevoerd conform de referentiemethode. De continue metingen zijn bovendien gekoppeld op deze puntmetingen. Uit de vergelijking tussen puntmetingen (conform de referentiemethode) en de continue metingen blijkt dat de continue metingen met meetopstelling 1 resulteren in 7% lagere ammoniakemissies. Meetopstelling 2 heeft tot respectievelijk 28% en 14% lagere ammoniak- en methaanemissies gemeten. Meetopstelling 2 had hiermee een grotere afwijking van de puntmetingen dan meetopstelling 1.

Continue sensoren zijn geschikt om emissiepatronen en afhankelijkheden te volgen, maar hebben doorontwikkeling nodig om ook absolute emissieniveaus betrouwbaar vast te kunnen stellen. Veldkalibratie ter controle en bijstelling van het meetniveau blijft daarom nodig. De onzekerheid rondom absolute emissieniveaus is sterk afhankelijk van het ventilatiedebiet. Het ventilatiedebiet wordt berekend uit de CO₂ concentraties. Hoe kleiner de concentratieverschillen tussen stal en achtergrond, hoe groter het ventilatiedebiet. Om kleine verschillen betrouwbaar te kunnen bepalen moeten hoge eisen gesteld worden aan de kwaliteit van de CO₂ sensoren.

De gemiddelde ammoniakemissie op basis van de 18 bemeten melkveebedrijven was $13,8 \pm 3,2$ en $12,0 \pm 2,9$ kg/dpl/jr op basis van respectievelijk de punt- en continumetingen. De spreiding tussen bedrijven in ammoniakemissie was 23% op basis van de puntmetingen en 24% op basis van de continue metingen. De spreiding binnen bedrijven (tussen dagen) was groter dan tussen bedrijven met respectievelijk 30% en 36% op basis van de punt- en continumetingen.

De gemeten methaanemissie is gemiddeld 193 ± 56 en 184 ± 50 kg/dpl/jr op basis van respectievelijk de punt- en continumetingen. In tegenstelling tot de ammoniakemissie, is de spreiding in methaanemissie binnen bedrijven kleiner dan tussen bedrijven. De spreiding tussen bedrijven is 30% op basis van zowel de punt- en continumetingen en de spreiding binnen bedrijven is 19% en 28% voor respectievelijk punt- en continumetingen.

De temperatuur en daarmee samenhangende factoren zijn significant gecorreleerd met het jaarpatroon van de NH₃-emissie. De grootste reductie van NH₃-emissie is te behalen in de zomer. Met het stalmanagement zou hierop kunnen worden geanticipeerd.

De CH₄-CO₂ concentratieverhouding biedt mogelijkheden voor een eenvoudiger stalmonitoringsysteem voor CH₄ emissie waarbij een schatting van de CH₄ emissie kan worden gemaakt op basis van de CH₄-CO₂ concentratieverhouding in de stallucht.

Literatuur

- Burgos, S. A., Embertson, N. M., Zhao, Y., Mitloehner, F. M., DePeters, E. J., & Fadel, J. G. (2010). Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: Relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. *Journal of Dairy Science*, 93, 2377-2386.
- Emissieregistratie, 2022a. Nationale Broeikasgasemissies volgens IPCC. Loket emissieregistratie. RIVM, Bilthoven. <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/international/broeikasgassen.aspx> (geraadpleegd mei 2022)
- CBS, 2022, Statline.
- CIGR, 2002. 4th report from working group on climatization of animal houses. In: Pedersen, S., Sällvik, K. (Eds.), Research Centre Bygholm. DIAS, Horsens, Denmark. 45 pp. www.agrsci.dk/jbt/spe/CIGRreport.
- Dooren, H. J. C. van (2021). Spoelen kent fors reducerend effect op ammoniakemissie. Wageningen University and Research, Wageningen. <https://www.wur.nl/nl/nieuws/spoelen-kent-fors-reducerend-effect-op-ammoniakemissie-1.htm> (geraadpleegd juni 2022)
- Groenestein, C.M., J. Mosquera en R.W. Melse, (2016) Methaanemissie uit mest. Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF). Wageningen Livestock Research, rapport 961.
- Lagerwerf, L.A., A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2019). Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – update 2019. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment. WOt-technical report 148. 215 p.
- Mendes, L. B., Edouard, N., Ogink, N. W. M., van Dooren, H. J. C., Tinôco, I. d. F. F., & Mosquera, J. (2015). Spatial variability of mixing ratios of ammonia and tracer gases in a naturally ventilated dairy cow barn. *Biosystems Engineering*, 129, 360-369. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.11.011>
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink (2010) Fijnstofemissie uit stallen: melkvee Rapport 296 – herziene versie, Wageningen Livestock Research. Rapport 296
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012a) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 598
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012b) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 610
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012c) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 612
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012d) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 614
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012e) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 615

- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012f) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 616
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012g) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 617
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink (2012h) Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van cassettes in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen Livestock Research. Rapport 653
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, en G.C.C. Kupers. (2019). Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems. Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research Rapport 1187.
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, en G.C.C. Kupers. (2020). Determination of carbon dioxide concentrations in air from livestock housing systems : reference method using the lung method as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research, Report 1284.
- 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. Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-februari 2020, Wageningen Livestock Research, Rapport 1286
- Madsen, J., Bjerg, B. S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R., & Lund, P. (2010). Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livestock Science*, 129(1), 223-227. doi:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.001>
- 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), 193-201. doi: 10.13031/2013.17151
- Ngwabie, N.M., K.-H. Jeppsson, G. Gustafsson, S. Nimmermark (2011). Effects of animal activity and air temperature on methane and ammonia emissions from a naturally ventilated building for dairy cows. *Atmospheric Environment*, 45(37), 6760-6768. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.027>.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M. J. W., & Aarnink, A. J. A. (2008). Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature review. *Agricultural Engineering International*, X(BC 08 008). Retrieved from <https://edepot.wur.nl/22415>
- 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. CIGR, https://www.cigr.org/sites/default/files/documets/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf
- 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.
- Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Hol, J.M.G., (2017). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, WLR Rapport 1032
- Ruysenaars, P.G., P.W.H.G. Coenen, J.D. Rienstra, P.J. Zijlema, E.J.M.M. Arets, K. Baas, R. Dröge, G. Geilenkirchen, M. 't Hoen, E. Honig, B. van Huet, E.P. van Huis, W.W.R. Koch, R.M. te Molder, J.A. Montfoort, T van der Zee, M.C. van Zanten, (2020) Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2019. National Inventory Report 2021. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Report-2021-0007.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, G.L. Velthof, J. Vonk en T. van der Zee (2021). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2019. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOT-technical report 203. 238 p.; 26 tab.; 8 figs.; 72 ref.; 32 bijl.
- VERA, (2018), Vera-Testprotocol for Livestock Housing and Management Systems, Version 3:2018-09. Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production. (https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf)

-
- Rijksoverheid, (2022), Ontwerp Beleidsprogramma Klimaat, 2022-06.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/06/02/ontwerp-beleidsprogramma-klimaat>
- Snoek, D. J. W. (2016). Refining a model-based assessment strategy to estimate the ammonia emission from floors in dairy cow houses. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/387486>
- Vonk, J., D. van Dinther, J. Mosquera en N.W.M. Ogink, 2021. Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH3 en CH4 uit veehouderijen. Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies. Wageningen Livestock Research, Rapport 1285.
- Zee, van der T., A. Bannink, C. van Bruggen, K. Groenestein, J. Huijsmans, J. van der Kolk, L. Lagerwerf, H. Luesink, G. Velthof and J. Vonk, 2021. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands Calculations for CH4, NH3, N2O, NOx, NMVOC, PM10, PM2.5 and CO2 using the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – Update 2021. DOI 10.21945/RIVM-2021-0008, Bilthoven.
- Zom, R. L. G., & Kasper, G. J. (2019). N- en P-excretie melkvee: achtergronden en bronnen voor de berekening. (Wageningen Livestock Research rapport; No. 1191). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/499413>

Bijlage 1 Meetapparatuur

B.2.1. Continue metingen meetopstelling 1

Het instrument dat tijdens dit onderzoek door WLR is gebruikt om de NH_3 -concentraties in stallen continue te monitoren (Figuur B2.1) is gebaseerd op de diffusie van lucht door een membraan in de vloeibare elektrolytoplossing van een elektrochemische sensor (Dräger Polytron 8000 met de FL-6813260 sensor). In deze elektrolytoplossing is een aantal elektroden geplaatst. In de elektrolytoplossing vindt een chemische omzetting plaats. De omvang van deze omzetting is een maatstaf voor de hoeveelheid aanwezig NH_3 in het luchtmonster. De prestatiekenmerken van dit instrument in het lab en onder praktijkomstandigheden zijn door respectievelijk Melse e.a. (2016) en Mosquera e.a. (2017) beschreven.



Figuur B2.1 Dräger Polytron 8000 met de FL-6813260 sensor voor NH_3 -concentratiemetingen.

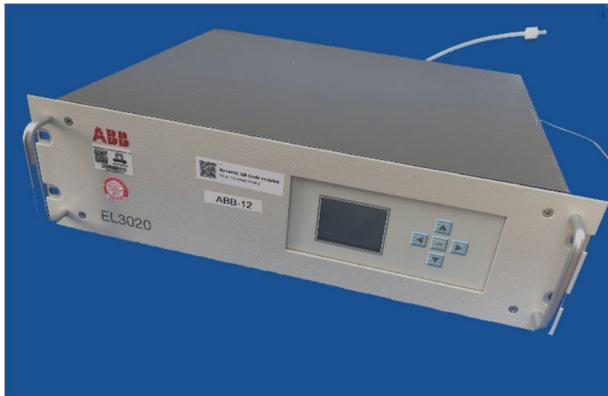
Voor het meten van de CO_2 -concentraties in stallen is in dit onderzoek door WLR gebruik gemaakt van een passieve *Non-dispersive infrared* (NDIR)-sensor (Figuur B2.2; Vaisala CARBOCAP® met GMP252 sensor; <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/GMP252-User-Guide-in-English-M211897EN.pdf>). Het meetprincipe van dit instrument is gebaseerd op de absorptie van infrarood licht door gasmoleculen. Het instrument vergelijkt twee verschillende signalen: 1) door het luchtmonster bloot te stellen aan infrarood licht met een golflengte die door CO_2 wordt geabsorbeerd, en 2) door een golflengte te gebruiken die niet door CO_2 wordt geabsorbeerd. De verhouding tussen deze twee signalen wordt dan gebruikt om de CO_2 -concentratie in het luchtmonster te bepalen.



Figuur B2.2 Vaisala CARBOCAP® met GMP252 sensor voor CO_2 -concentratiemetingen.

Voor het meten van de CH_4 -concentraties in stallen wordt in dit onderzoek door WLR gebruik gemaakt van een NDIR-monitor (Figuur B2.3; ABB EasyLine EL3000 met Uras26 sensor;

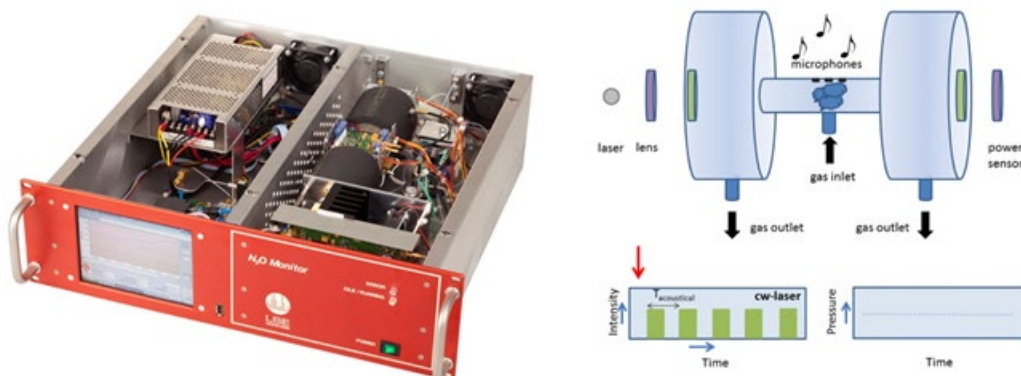
<https://library.e.abb.com/public/359441019c18638cc1257b0c00546b88/10-24-410-09-EN.pdf>). Zoals hierboven aangegeven maakt NDIR gebruik van de eigenschap van gasmoleculen om infrarood licht te absorberen. Ook hier worden twee signalen met elkaar vergeleken (een door het luchtmonster bloot te stellen aan infrarood licht in een golflengte die door CH₄ wordt geabsorbeerd, en een tweede door hetzelfde infrarood licht door een referentie cel (gevuld met een gas die het infrarood licht niet absorbeert zoals N₂) te laten passeren) om de CH₄-concentratie in het luchtmonster te bepalen.



Figuur B2.3 ABB EasyLine EL3000 met Uras26 sensor voor CH₄-concentratie metingen.

B.2.2. Continue metingen meetopstelling 2

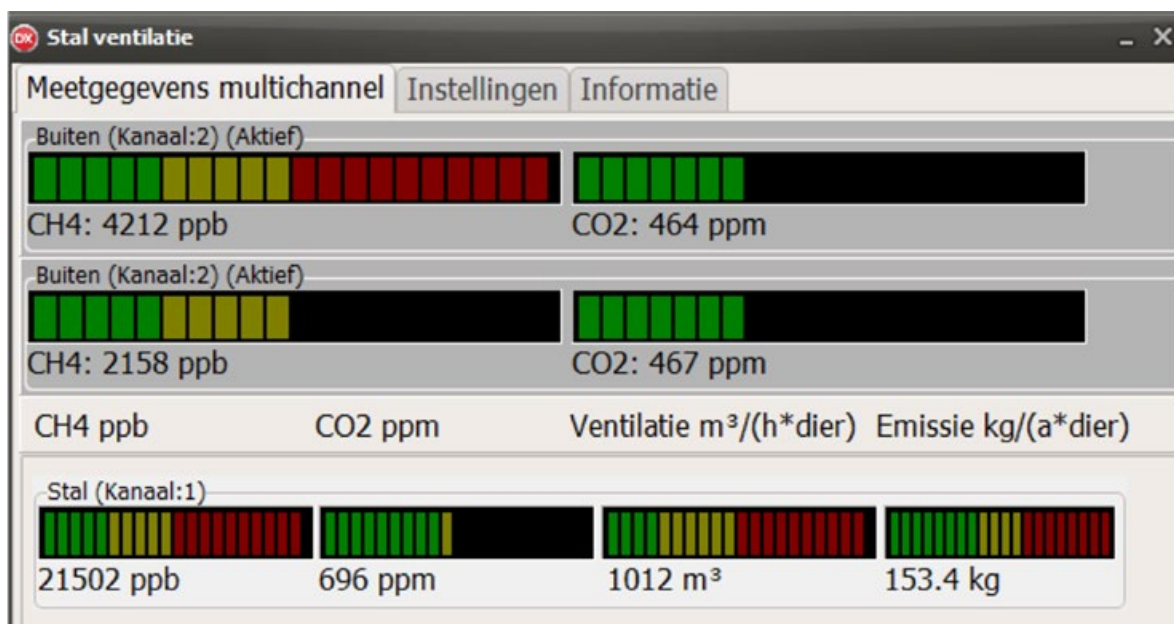
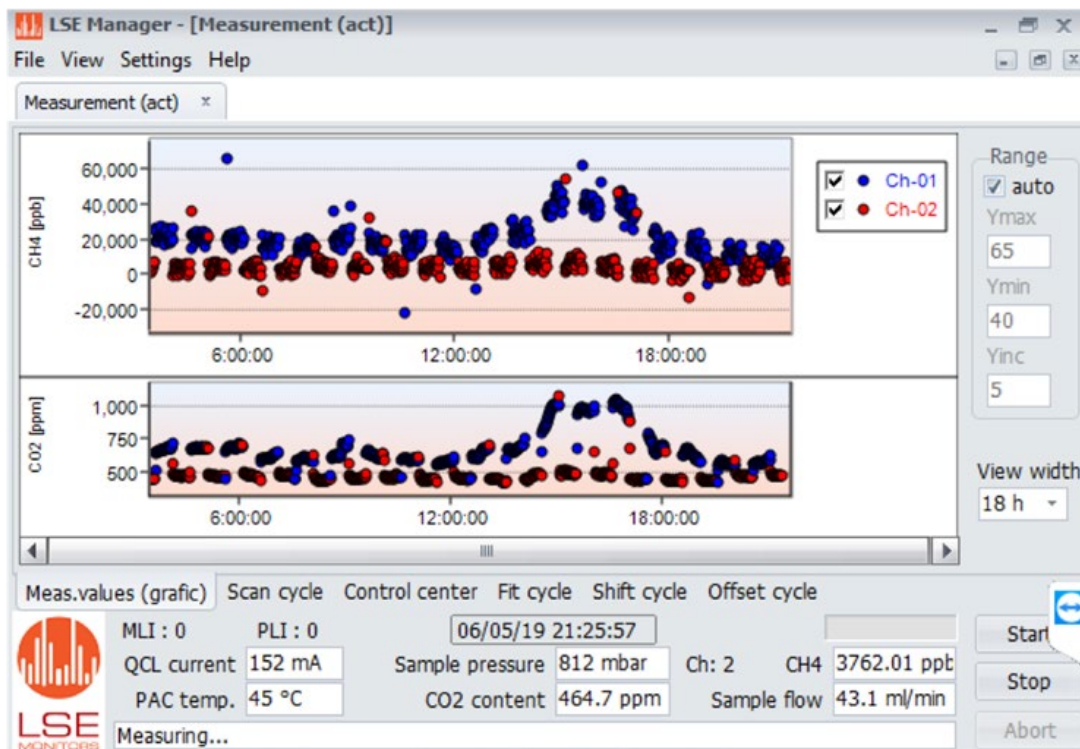
De analyzers die door CLM advies worden gebruikt, maken gebruik van fotoakoestiek met behulp van een telecomlaser voor het meten van ammoniak en methaan. Het laserlicht wordt omgezet in een geluidsgolf die wordt opgevangen door enkele microfoons. De golflengte van het laserlicht is specifiek voor het type gas dat daarbij gemeten wordt. Schematisch weergegeven ziet dit er als volgt uit:



Figuur B2.4 LSE analyzer voor voor NH₃, CO₂ en CH₄-concentratie metingen.

Voor het meten van de CO₂-concentraties wordt gebruik gemaakt van een infraroodsensor (NDIR) (Vaisala GMP 251, Vaisala GmbH, Duitsland) die in de analyzer is ingebouwd.

De analyzers zijn uitgerust met software die ervoor zorgt dat de gemeten concentraties direct worden omgerekend naar emissies. Dat gebeurt met behulp van CIGR-rekenregels voor de ventilatiedebiet in open stallen. Met het tonen van de concentraties is het voor de veehouder eenvoudig om een inschatting te maken waar hij staat op basis van herkenbare waarden. Tevens zijn daarmee fluctuaties in de emissies sneller terug te zien, aangezien er direct een correctie plaatsvindt voor de ventilatiedebiet. In onderstaande figuur zijn zowel de concentratiemetingen als de emissieberekeningen te zien.



Figuur B2.5 Schermvoorbeeld van LSE analyser voor concentraties en ventilatie

De gegevens kunnen op afstand worden ingezien met behulp van Teamviewer. Tevens kunnen op afstand de gegevens worden uitgelezen en gelogd.

B.2.3 NH₃-Referentiemetingen: Natchemisch met wasflessen en impingers

Deze methode wordt uitgebreid in Mosquera e.a. (2019) beschreven. Bij de nat-chemische methode wordt de lucht via een monsternamaleiding met een constante luchtstroom (tussen 0,5-1,0 l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota ,VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van $\sim 1,0$ l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH₃ wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (zie foto hieronder). Na de bemonsteringstijd wordt de

concentratie gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.



Figuur B2.6 Meetopstelling WLR voor NH_3 -referentiemetingen. Links: wasflessen. Midden: Droge gasstroommeter (DryCal® Defender 510-m, Bios Int. Corp, VS). Rechts: pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS), monsternameleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (diameter: 8 mm; lengte: 80 mm), gehuisvest in a roestvrijstaal container voor bescherming).

B.2.4 Referentiemetingen voor CO_2 , CH_4 en N_2O : Longmethode

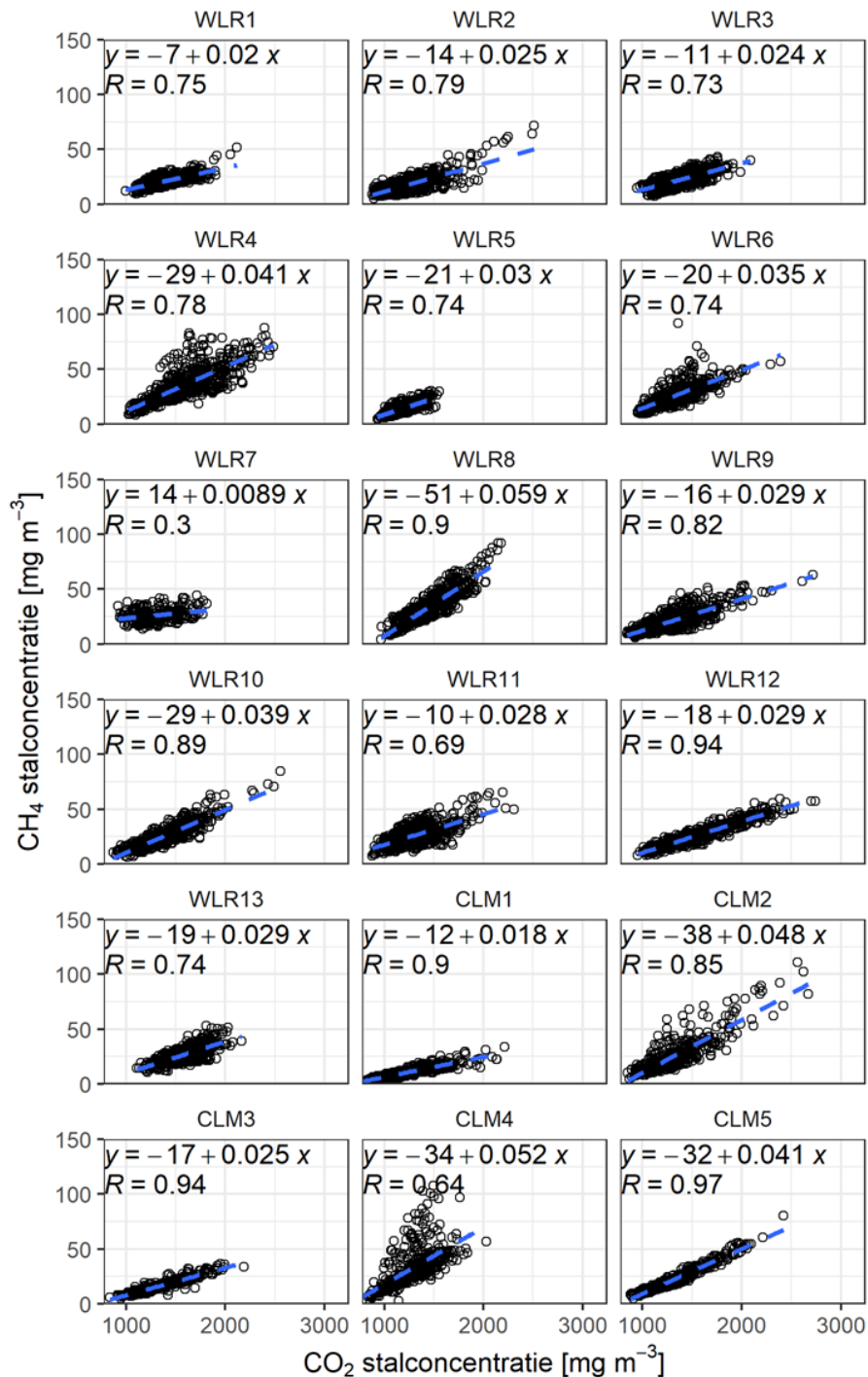
Deze methode wordt uitgebreid in Mosquera e.a. (2020) beschreven. Bij de toepassing van de longmethode wordt eerst een 40 liter Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon/PE-slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak.

Bij de bepaling van de concentratie broeikasgassen (CO_2 , CH_4 en N_2O) wordt de monsterzak gedurende 24 uur continu gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 l/min. Op deze wijze wordt een 24-uurs monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster wordt in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR) met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH_4 , CO_2), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : HWD) bepaald.



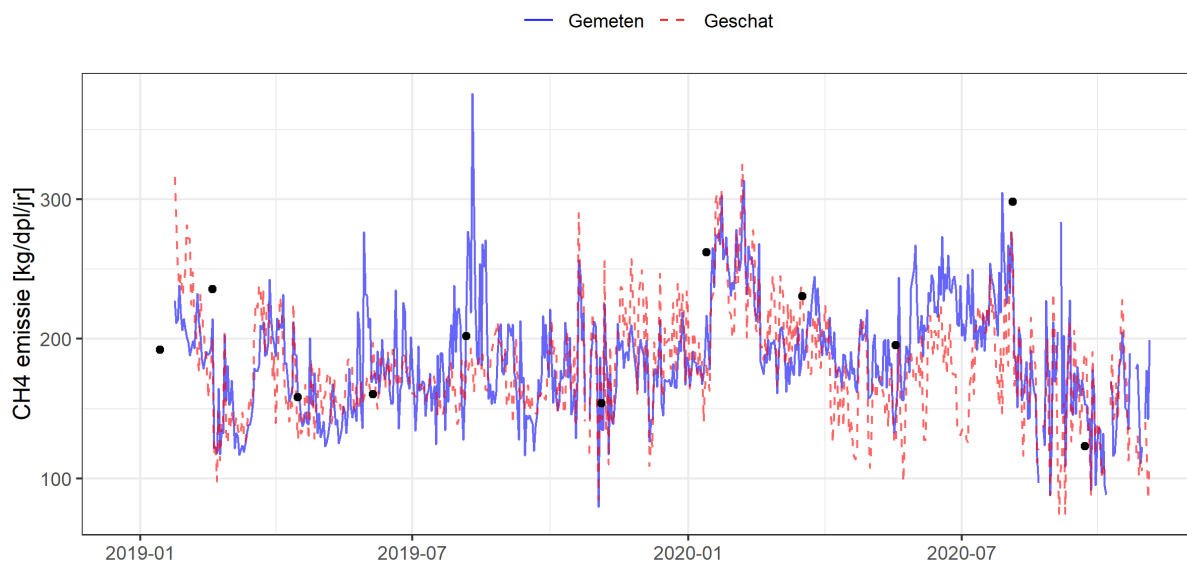
Figuur B2.6 Meetopstelling WLR voor broeikasgas-referentiemetingen (via longmethode). Gesloten vaten met 40 liter Nalophan monsternazakken voor lucht bemonstering, monsternameleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (binnendiameter: 8 mm; lengte: 80 mm), ondergebracht in een roestvrijstaal container voor bescherming; flow: ~ 20 ml/min). Lucht wordt met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS) uit het vat gezogen, waardoor de lucht in de zakken wordt aangezogen.

Bijlage 2 Correlatie CH₄- en CO₂ concentratie



Figuur B2.1 CO₂-concentratie tegen de CH₄ concentratie in mg/m³ met een regressievergelijking en de correlatiecoëfficiënt per bedrijf. De regressiecoëfficiënt geeft de CH₄-CO₂ productieverhouding weer.

Bijlage 3 Voorspelde en gemeten CH₄-emissie



Figuur B3.1 Gemeten (blauw) en geschatte (rood) CH₄ emissie voor WLR10. De geschatte CH₄ emissie is berekend op basis van de CH₄-CO₂ concentratieverhouding in de stallucht. De correlatie tussen de gemeten en voorspelde CH₄ emissie is 0,60.

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



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

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

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

