



Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgas emissies uit stallen voor rosé vleeskalveren

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

J. Mosquera, H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, L. Workel, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink

Rapport 1376



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor rosé vleeskalveren

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

J. Mosquera, H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, L. Workel, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink

Wageningen Livestock 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).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, oktober 2022

Rapport 1376

Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, L. Workel, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink, 2022; *Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor rosé vleeskalveren; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020, 2022*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1376.

Samenvatting NL Dit rapport beschrijft de resultaten van metingen van de emissies van methaan, ammoniak en lachgas die op 2 bedrijven voor rosé vleeskalveren zijn uitgevoerd in de periode van oktober 2018 t/m oktober 2020. De metingen zijn continue uitgevoerd (met behulp van een bedrijfsmonitoring systeem met sensoren voor ammoniak, methaan en kooldioxide). Daarnaast zijn elke twee maanden referentiemetingen volgens de huidige meetprotocollen uitgevoerd. Doel van de metingen was de emissies van methaan, ammoniak en lachgas uit traditionele huisvestingssystemen voor rosé vleeskalveren vast te stellen. Het betrof één stal met jong rosé- en één stal voor oud rosé kalveren. Door het leeftijdsverschil van de kalveren was het niet mogelijk om inzicht te krijgen in de spreiding tussen bedrijven. Voor jong rosé was voor de protocollaire metingen de gemiddelde emissie \pm standaarddeviatie tussen metingen (SD) in de opfokfase $65,3 \pm 35,4$ g CH₄ per dag per dier, $7,6 \pm 1,9$ g NH₃ per dag per dier en $0,31 \pm 0,13$ g N₂O per dag per dier, en in de afmestfase $141,3 \pm 60,3$ g CH₄ per dag per dier, $6,9 \pm 1,9$ g NH₃ per dag per dier en $0,23 \pm 0,14$ g N₂O per dag per dier. Voor de continue metingen was in de opfokfase voor jong rosé de gemiddelde emissie $70,2 \pm 38,7$ g CH₄ per dag per dier en $8,0 \pm 2,5$ g NH₃ per dag per dier. Voor de afmestfase was de gemiddelde emissie $143,5 \pm 65,8$ g CH₄ per dag per dier en $7,5 \pm 2,7$ g NH₃ per dag per dier. Voor oud rosé was voor de protocollaire metingen de gemiddelde emissie \pm standaarddeviatie tussen metingen (SD) in de opfokfase $114,0 \pm 51,6$ g CH₄ per dag per dier, $7,3 \pm 3,6$ g NH₃ per dag per dier en $0,23 \pm 0,08$ g N₂O per dag per dier, en in de afmestfase $275,5 \pm 129,1$ g CH₄ per dag per dier, $11,5 \pm 4,4$ g NH₃ per dag per dier en $0,81 \pm 0,57$ g N₂O per dag per dier. Voor de continue metingen was bij de opfokfase de gemiddelde emissie $114,1 \pm 60,7$ g CH₄ per dag per dier en $6,5 \pm 3,8$ g NH₃ per dag per dier. Voor de afmestfase was de gemiddelde emissie $304,5 \pm 107,6$ g CH₄ per dag per dier en $13,9 \pm 6,0$ g NH₃ per dag per dier. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de protocollaire metingen.

Summary UK This report describes the results of ammonia, methane and nitrous oxide emission measurements on 2 farms for red meat veal calves between October 2018 and October 2020. The measurements were performed continuously using a measurement system equipped with sensors for ammonia, methane and carbon dioxide. Besides, reference measurements (ammonia, methane, nitrous oxide) according to current measurement protocols were performed every 2 months. Goal of the measurements was to determine the average emissions of methane (CH₄), ammonia (NH₃) and nitrous oxide (N₂O) from red meat veal calves. No significant differences were found between the emissions determined by means of continuous measurements and based on the reference measurements. Due to the limited number of farms that were measured (n=2, of which 1 for young red meat veal calves and 1 for old red meat veal calves), it was not possible to determine the variation between farms. For young red meat veal calves was the average emission \pm standard deviation between measurements (SD; for the protocol measurements) 65.3 ± 35.4 g CH₄ per day per animal, 7.6 ± 1.9 g NH₃ per day per animal and 0.31 ± 0.13 g N₂O per day per animal during the rearing period, and 141.3 ± 60.3 g CH₄ per day per animal, 6.9 ± 1.9 g NH₃ per day per animal and 0.23 ± 0.14 g N₂O per day per animal for the fattening period. For the continuous measurements was for the rearing period the average emission 70.2 ± 38.7 g CH₄ per day per animal and 8.0 ± 2.5 g NH₃ per day per animal. For the fattening period was the average emission 143.5 ± 65.8 g CH₄ per day per animal and 7.5 ± 2.7 g NH₃ per day per animal. For old red meat veal calves was for the protocol measurements the average emission \pm standard deviation between measurements (SD) 114.0 ± 51.6 g CH₄ per day per animal, 7.3 ± 3.6 g NH₃ per day per animal and 0.23 ± 0.08 g N₂O per day per animal for the rearing period, and 275.5 ± 129.1 g CH₄ per day per animal, 11.5 ± 4.4 g NH₃ per day per animal and 0.81 ± 0.57 g N₂O per day per animal for the fattening period. For the continuous measurements was for the rearing period the average emission 114.1 ± 60.7 g CH₄ per day per animal and 6.5 ± 3.8 g NH₃ per day per animal. For the fattening period was the average emission 304.5 ± 107.6 g CH₄ per day per animal and 13.9 ± 6.0 g NH₃ per day per animal. No significant differences were found between the emissions determined by means of continuous measurements and those based on protocol measurements.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/572109> 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, 2021

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 1376

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Materiaal en methode	9
2.1	Stal en bedrijfssituatie	9
2.1.1	Meetlocatie 1 (VKR1)	9
2.1.2	Meetlocatie 2 (VKR2)	10
2.2	Metingen	12
2.2.1	Meetstrategie	12
2.2.2	Meetapparatuur	13
2.2.3	Management en diergegevens	16
2.3	Verwerking gegevens	17
2.3.1	Emissieberekening	17
2.3.2	Statistische analyse	18
3.1	Productieresultaten	19
3.2	Meetomstandigheden	21
3.3	Meetresultaten	22
3.3.1	Ventilatie-debiet	22
3.3.2	NH ₃ -emissies	23
3.3.3	CH ₄ -emissies	26
3.3.4	N ₂ O-emissies	28
4	Conclusies	30
	Literatuur	31
Bijlage 1	Resultaten per locatie	33
	Bedrijf 1 (VKR1)	33
	Bedrijf 2 (VKR2)	43
Bijlage 2	Meetapparatuur	54

Samenvatting

De methaanemissie uit de veehouderij draagt in belangrijke mate bij aan de Nederlandse broeikasgasemissie. In de klimaatakkoord uit 2019 is daarom een reductiedoelstelling voor 2030 opgenomen. Voor de veehouderij betekent dit een reductie van 1,2-2,7 Mton CO₂-equivalenten waarvan tenminste 1 Mton CO₂-equivalenten door minder methaanuitstoot. Representatieve metingen van methaanemissie op stalniveau hebben tot dusver nauwelijks plaatsgevonden. Toetsing van de berekende methaanemissie uit de veehouderij is daarom niet mogelijk. In het kader van het onderzoeksprogramma Klimaatenvolop 2018 (KE2018) zijn daarom eind 2018 twee projecten opgestart met als belangrijkste doelen:

- de methaanemissie uit melkvee-, geitenstallen, varkens- en vleeskalverenstallen vast te stellen,
- de variatie in methaanemissie binnen en tussen bedrijven vast te stellen,
- de mate van samenhang tussen gemeten methaanemissie en aanwezige bedrijfsfactoren vast te stellen,
- demonstratie van directe stalmonitoring van emissies van methaan en ammoniak, en van de wijze waarop dit kan bijdragen aan het terugdringen van met name de methaanemissie via bedrijfsspecifieke maatregelen.

Om deze doelen te kunnen realiseren is gekozen voor een jaarrond meetaanpak gebaseerd op continue monitoring van de emissie van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) op stalniveau die wordt vergeleken met protocollaire referentiemetingen. Dit rapport beschrijft de resultaten van de continue en protocollaire metingen die in de periode oktober 2018 – oktober 2020 zijn uitgevoerd op 2 bedrijven voor rosé vleeskalveren. De emissies van NH₃, CH₄ en N₂O, zijn gemeten volgens de richtlijnen van de huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018).

Er zijn twee bedrijven gemeten, één voor jong rosé- en één voor oud rosékalveren). Het was daardoor niet mogelijk om inzicht te krijgen in de spreiding tussen bedrijven en samenhang met bedrijfsfactoren, wat oorspronkelijk ook doelen van het onderzoek waren. De emissies zijn gedurende een aantal ronden per bedrijf gemeten, met de volgende (gemiddelde) lengten van de ronden en de gewichten van de dieren:

- Jong rosé (VKR1):
 - Opfok: ronde met een lengte van 98 dagen; diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde,
 - Afmest: ronde met een lengte van 117 dagen; diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde.
- Oud rosé (VKR2):
 - Opfok: ronde met een lengte van 93 dagen; diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde,
 - Afmest: ronde met een lengte van 198 dagen; diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde.

De gemiddelde emissie +/- standaarddeviatie bedroeg voor de referentiemetingen:

	Jong rosé (VKR1)		Oud rosé (VKR2)	
	Opfok	Afmest	Opfok	Afmest
CH ₄ -emissie (g/dag/dier)	65,3 ± 35,4	141,3 ± 60,3	114,0 ± 51,6	275,5 ± 129,1
NH ₃ -emissie (g/dag/dier)	7,6 ± 1,9	6,9 ± 1,9	7,3 ± 3,6	11,5 ± 4,4
N ₂ O-emissie (g/dag/dier)	0,31 ± 0,13	0,23 ± 0,14	0,23 ± 0,08	0,81 ± 0,57

De gemiddelde emissie +/- standaarddeviatie bedroeg voor de continue metingen:

	Jong rosé (VKR1)		Oud rosé (VKR2)	
	Opfok	Afmest	Opfok	Afmest
CH ₄ -emissie (g/dag/dier)	70,2 ± 38,7	143,5 ± 65,8	114,1 ± 60,7	304,5 ± 107,6
NH ₃ -emissie (g/dag/dier)	8,0 ± 2,5	7,5 ± 2,7	6,5 ± 3,8	13,9 ± 6,0
N ₂ O-emissie (g/dag/dier)	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten

Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.

Op basis van de (beperkt) beschikbare gegevens die in de literatuur te vinden zijn, en de resultaten uit onderhavig onderzoek, zijn de NH₃-emissies op dagbasis voor wit/blankvlees en rosé (zowel jong als oud) vergelijkbaar. De gemeten gemiddelde dagwaarden liggen binnen de range van eerdere gepubliceerde Nederlandse cijfers (7,6-15,5 g/dag per dier). Voor CH₄ en N₂O zijn geen gegevens in de literatuur gevonden om de resultaten uit dit onderzoek te kunnen vergelijken.

1 Inleiding

Het aandeel van de landbouw in de nationale broeikasgasemissie bedroeg in 2020 volgens de IPCC richtlijnen 16% (Emissieregistratie, 2022). De methaanemissie droeg daar in belangrijke mate, namelijk voor ruim de helft (54%), aan bij. De totale methaanemissie in Nederland was in 2020 733,4 kton waarvan 475,6 kton (65%) afkomstig was uit de veehouderij (bron: www.emissieregistratie.nl). 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 kunnen behalen is er door de deelnemende partijen in het klimaatakkoord een reductieopgave voor verschillende sectoren, waaronder landbouw en landgebruik, vastgelegd. Dit is voor landbouw en landgebruik 3,5 Mton CO₂-equivalenten (CO₂-eq.) bovenop bestaande beleid en bedraagt voor de veehouderij 1,2-2,7 Mton CO₂-eq. waarvan tenminste 1 Mton CO₂-eq. aan reductie van de methaanemissie. Dat komt overeen met een afname van 40 kton methaan oftewel een reductie van 8% ten opzichte de uitstoot van de veehouderij in 2020.

Volgens de landbouwtelling waren er in 2021 in Nederland 1620 bedrijven met vleeskalveren. Op deze bedrijven waren dat jaar (gecorrigeerd voor leegstand) 1.071.280 dieren aanwezig waarvan 66% rosé-kalveren (CBS, 2022). De vleeskalversector valt uiteen in twee marktsegmenten, de blankvleesproductie en de rosévleesproductie. Deze segmenten verschillen in voeding, afmestduur en levend eindgewicht. Voor blankvlees is dat gemiddeld respectievelijk 25 weken (175 dagen) en 225 kg en bij rosé-vlees is dat 30 weken (210 dagen) en 300 kg voor jongrosé en 40 weken (280 dagen) en 360 kg voor oud-rosé (Berkhout et al., 2021). In de afmestperiode voor rosékalveren zijn twee fasen te onderscheiden: de opstartfase en de afmestfase. Beide fasen worden apart gehuisvest, soms ook op verschillende bedrijven.

Naast deze verschillen kenmerkt de sector zich door grote variatie in huisvesting. Huisvesting vindt plaats in gescheiden afdelingen met aan weersijden van een smalle voergang een aantal hokken, of in een grote stal met daarin verschillende voergangen en hokken (meestal voor jongere dieren), of een brede centrale voergang met aan beide kanten hokken (meestal voor oudere dieren). Ventilatie is meestal mechanisch. Ook vloeruitvoeringen verschillen. Traditioneel worden houten roosters toegepast maar ook betonnen roosters worden als standaard vloeruitvoering gezien. In Groenestein et al (2017) worden voor de witvlees en rosé referentie huisvesting beschreven. De hier beschreven variatie in de kalverhouderij is niet statisch maar hangt af van de marktsituatie. Kalverhouders kunnen vrij eenvoudig schakelen tussen witvlees- en rosévlees-productie of tussen jong- en oud rosé.

Rosékalveren krijgen eerder en meer ruwvoer waardoor de ontwikkeling van de pens sneller op gang komt. De gerapporteerde emissiefactor voor methaan uit pens- en darmfermentatie is daardoor voor rosé-kalveren dan ook ruim drie keer zo hoog als voor witvleeskalveren (Van Bruggen et al., 2020). Deze emissiefactor voor methaan voor vleeskalveren wordt momenteel volgens de richtlijnen van de IPCC op een landspecifieke manier (Tier 2) gemodelleerd en gerapporteerd in de zogenaamde National Inventory Reports (NIR) (Ruyssenaars et al., 2021). Het gebruikte model en de achterliggende methodiek zijn beschreven in Van Bruggen et al. (2020) en Lagerwerf et al. (2019). Het gaat daarbij om zowel de enterische methaanemissie van de dieren als de methaanemissie uit de mest. In de praktijk zal er echter sprake zijn van variatie in methaanemissies uit stallen en mestopslagen als gevolg van een groot aantal bedrijfsfactoren die verbonden zijn aan de uitvoering van de stal en de mestopslag, voer- en mestmanagement en omgevingsfactoren (Groenestein et al., 2016). De omvang 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. Representatieve metingen van methaanemissie op stalniveau voor vleeskalveren hebben in Nederland tot dusver niet plaatsgevonden. Toetsing van de berekende methaanemissie uit de veehouderij is daarom niet mogelijk.

Wat betreft de ammoniakemissie zijn representatieve metingen op stalniveau voor vleeskalveren beperkt beschikbaar. Voor wit-/blankvlees zijn die gerapporteerd door Hol en Groenestein (1997), Ogink en Lens (2001), Beurskens en Hol (2004), Mosquera et al. (2017a) en Monteny en van Hoof (2020). Voor rosé kalveren is dat gedaan door Beurskens et al. (2004). In de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) wordt geen onderscheid gemaakt tussen deze varianten van de vleeskalverhouderij. In bijlage 1 van deze regeling worden in categorie A4 13 reductiesystemen beschreven waarvan er 11 een chemische, biologische of gecombineerd luchtwassysteem bevatten. De andere twee zijn gebaseerd op een emissie reducerende vloer. De emissiefactor van de overige systemen (A4.100) is 3,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Deze categorie omvat de referentie systemen zonder emissiearme maatregel.

Wanneer methaan- en ammoniakemissie uit stallen tevens direct inzichtelijk zou zijn voor veehouders kan dat een belangrijke stimulans zijn om de bedrijfsvoering te optimaliseren en/of methaan-reducerende maatregelen in te voeren. N₂O is op dit moment marginaal wat emissie betreft, maar het is een sterk broeikasgas (ca 300 maal zo sterk als CO₂ en ca. 10 maal zo sterk als CH₄). Om afwenteling te voorkomen wordt het ook meegenomen. Stalmonitoring biedt op termijn de mogelijkheid om afspraken te maken over de uitstoot van methaan- en ammoniakemissies en deze te borgen.

In het kader van het onderzoeksprogramma de Klimaatvelop 2018 zijn daarom eind 2018 twee projecten opgestart met als belangrijkste doelen:

1. de methaanemissie uit melkvee- en geitenstallen (KE2018-1) en uit varkens- en vleeskalverenstallen (KE2018-2) vast te stellen
2. de variatie in methaanemissie binnen en tussen bedrijven vast te stellen
3. de mate van samenhang tussen gemeten methaanemissie en aanwezige bedrijfsfactoren vast te stellen
4. demonstratie van directe stalmonitoring van emissies van methaan en ammoniak, en van de wijze waarop dit kan bijdragen aan het terugdringen van met name de methaanemissie via bedrijfsspecifieke maatregelen.

Om deze doelen te kunnen realiseren is gekozen voor een jaarrond meetaanpak gebaseerd op continue monitoring van de emissie van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) op stalniveau die wordt vergeleken met protocollaire referentiemetingen. Een jaarrond aanpak is noodzakelijk omdat sommige invloedfactoren zoals voeding of klimaat seizoensgebonden zijn. Deze continue metingen zijn met een frequentie van minimaal één keer per twee maanden gecontroleerd door middel van erkende referentiemetingen (metingen uitgevoerd volgens de huidige meetprotocollen). Afwijkingen in de sensoren zijn op basis van deze referentiemetingen bijgesteld (veldkalibratie).

Door het beperkt aantal bedrijven die in dit onderzoek gemeten zijn (n=2, waarvan 1 voor jong rosé en 1 voor oud rosé), en het huisvesten van de dieren in twee verschillende afdelingen (opfok en afmest), is het niet mogelijk om verschillen binnen en tussen bedrijven statistisch te toetsen. Aanvullend zijn in 2021 in het kader van het Nationaal Kennisprogramma Stikstof (NKS) metingen aan twee bedrijven voor rosékalveren en aan vier bedrijven voor blankvleeskalveren opgestart om de emissies van NH₃, CH₄, N₂O, geur en fijnstof vast te stellen. De verwachting is dat deze metingen in de tweede helft van 2023 gerapporteerd zullen worden. Gekeken zal worden of, op basis van de metingen van de Klimaatvelop en de NKS samen, een emissiefactor kan worden vastgesteld.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van zowel de referentiemetingen als de continue metingen die op 2 bedrijven voor rosékalveren zijn uitgevoerd als onderdeel van de Klimaatvelop. In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving gegeven van de gekozen meetlocaties, meetstrategie en berekeningsmethodiek. In Hoofdstuk 3 worden de belangrijkste resultaten uit dit onderzoek weergegeven en besproken en in hoofdstuk 4 worden op basis daarvan enkele conclusies getrokken.

2 Materiaal en methode

2.1 Stal en bedrijfssituatie

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de metingen die op twee gesloten bedrijven voor rosé vleeskalveren door Wageningen Livestock Research (WLR) zijn uitgevoerd. De houderij voor rosé vleeskalveren verloopt in twee fasen: een opfokfase en een afmestfase. Gesloten bedrijven kenmerken zich hierin dat beide fasen op het zelfde bedrijf plaatsvinden en er tussentijds geen dieren worden aan- of afgevoerd. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van beide bedrijven weergegeven. In Bijlage 1 worden de verschillende locaties verder toegelicht, inclusief de belangrijkste resultaten per locatie.

In de periode van oktober 2018 t/m oktober 2020 zijn de emissies van ammoniak (NH_3) en methaan (CH_4) continue gemeten. Deze metingen maakten onderdeel uit van een groter project waarin naast deze vleeskalverbetrieben in dezelfde periode ook metingen zijn uitgevoerd op 18 melkveebedrijven, 2 geitenbedrijven, 2 biggenstallen, 2 vleesvarkensstallen en 1 stal voor dragende zeugen¹. Naast de continue metingen zijn elke twee maanden referentiemetingen uitgevoerd om de emissies van ammoniak (NH_3), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) volgens de richtlijnen van de huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018) vast te stellen.

2.1.1 Meetlocatie 1 (VKR1)

De emissiemetingen op de eerste locatie zijn uitgevoerd op een gesloten bedrijf voor rosé vleeskalveren. Op dit bedrijf wordt een korte afmestperiode toegepast (jongrosé vleeskalveren). De dieren worden met een gewicht van rond 54 kg in een afdeling geplaatst (opfokstal), waar de dieren in gemiddelde 98 dagen tot een gewicht van 166 kg groeien (gemiddelden op basis van informatie uit zeven productieronden op dit bedrijf). De kalveren krijgen in deze periode gemiddeld 25 kg kunstmelk per dier. Deze waarden zijn iets hoger dan het landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021). Dan worden de dieren verplaatst naar een andere stal (afmeststal), waar ze in gemiddelde 117 dagen van 166 kg tot een eindgewicht van 348 kg groeien (gemiddelden op basis van informatie uit zes productieronden op dit bedrijf). Deze waarden zijn ook iets hoger dan het landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021).

Op het bedrijf waren meerdere stallen voor zowel de opfok- als de afmestfase aanwezig. In de stal die in dit project werd bemeet is zowel een gedeelte voor de opfokfase als een gedeelte voor afmestfase aanwezig (zie figuur VKR1.1 in Bijlage 1). De afmetingen van de stal waren 31,5 m x 20,0 m (l x b). Het gedeelte voor de opfok bestond uit drie identieke afdelingen voor in totaal 156 dieren. Deze afdelingen waren met elkaar verbonden door een centrale gang langs de zijmuur van de stal, zonder deuren. Elke afdeling bestond uit een korte voergang met aan weerszijden vijf hokken voor kalveren in groepshuisvesting. De afmetingen van dit gedeelte waren 21,6 m x 20 m (l x b). Deze 30 hokken (10 per afdeling) boden plek aan gemiddeld 5 dieren per hok. De dieren hadden 1,8 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. Onder elke afdeling bevond zich een ondiepe mestkelder (0,3 m diep). De hokken waren uitgevoerd met een traditioneel houten roostervloer. Lucht kwam via luchtinlaten van elk 2,0 x 1,0 m per afdeling binnen, en werd afgevoerd met drie identieke ventilatoren (één per afdeling) met een diameter van 50 cm die in de buurt van de nok waren aangebracht. De ventilatie werd automatisch gereguleerd op basis van de staltemperatuur. De grootte van de luchtinlaat werd handmatig gereguleerd door de openingen aan te passen. De dieren kregen twee keer per dag kunstmelk, één keer per dag ruwvoer en hadden onbeperkt toegang tot water via drinkbakjes.

¹ Resultaten van metingen in andere diercategorieën zijn elders gerapporteerd.

Het afmest-gedeelte van de stal bestond uit één grote afdeling met ruimte voor 82 dieren. Deze afdeling lag aan dezelfde centrale gang als het opfokgedeelte maar beide ruimten waren van elkaar gescheiden door een deur. Aan beide zijden van een korte voergang bevonden zich 5 hokken voor gemiddeld 8 kalveren in groepshuisvesting. De afmetingen van de afdeling waren 9,9 m x 20,0 m (l x b). De dieren hadden net als de dieren in de opfok 1,8 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. Onder de stal bevond zich een diepe mestkelder (1,2 m diep). De hokken waren uitgevoerd met een traditioneel houten roostervloer. Lucht kwam via een luchtinlaat van 2,0 m x 1,2 m de stal binnen en werd afgevoerd met een ventilator met een diameter van 63 cm die bij de nok was geplaatst. In de afdeling was een tweede ventilator geplaatst die niet in werking was en waarvan de koker was dichtgemaakt. Ook werd de ventilatie automatisch gereguleerd op basis van de staltemperatuur en kon de ingaande lucht handmatig worden gereguleerd. De dieren kregen twee keer per dag ruwvoer en hadden onbeperkt toegang tot water via drinkbakjes.

2.1.2 Meetlocatie 2 (VKR2)

De emissiemetingen op de tweede locatie zijn ook uitgevoerd op een gesloten bedrijf voor rosé vleeskalveren. Ook op dit bedrijf bestaat een productieronde uit twee onderdelen, namelijk de opfokfase en de afmestfase, maar de dieren werden hier op een hogere leeftijd en groter gewicht afgeleverd (oud-rosé vleeskalveren). De dieren werden met een gewicht van rond 53 kg in een afdeling geplaatst (opfokstal) waar de dieren in gemiddelde 93 dagen tot een gewicht van 136 kg groeiden (gemiddelden op basis van informatie uit negen productieronden op dit bedrijf). De kalveren krijgen in deze periode gemiddeld 24 kg kunstmelk per dier. Deze waarden zijn iets hoger dan het landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021). Daarna werden de dieren verplaatst naar een andere stal (afmeststal) waar ze in gemiddelde 198 dagen van 136 kg tot een eindgewicht van 410 kg groeiden (gemiddelden op basis van informatie uit vijf productieronden van dit bedrijf). Deze waarden zijn ook iets hoger dan de landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021).

Op het bedrijf waren meerdere stallen voor de opfok- en voor de afmestfase aanwezig. De opfokstal die bemeten is bestond uit één open ruimte met daarin 50 hokken gegroepeerd aan weerszijde van vijf voergangen (zie figuur VKR2.1 en VKR2.2 in Bijlage 1). In totaal konden 274 kalveren in groepshuisvesting worden gehuisvest. De afmetingen van de stal bedroegen 37,5 m x 18,6 m (l x b). De dieren hadden 1,5 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. Onder de hele stal bevond zich een mestkelder van 1,25 m diep. De hokken waren uitgevoerd met een houten roostervloer met een rubberen toplaag (EasyFix). Mest werd één keer per jaar (meestal in het voorjaar) uit de stal verwijderd. Lucht kwam via deuren met een rolluik aan de oostzijde de stal binnen en werd afgevoerd met vijf ventilatoren met een diameter van 50 cm die in de buurt van de nok waren aangebracht. De dieren krijgen twee keer per dag melk (om 7:00 en 16:00 uur), één keer per dag ruwvoer (om 11:00) dat twee keer per dag weer opnieuw werd aangeschoven en hadden onbeperkt toegang tot drinkwater.

De afmeststal bestond uit één ruimte voor 286 dieren die in 26 hokken aan weerszijde van een centrale voergang in groepen van 11 dieren gehuisvest werden (zie figuur VKR2.1 en VKR2.3 in Bijlage 1). De afmetingen van de stal bedroegen 55,0 m x 14,5 m (l x b). De dieren hadden 1,8 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. Onder de stal bevond zich een mestkelder van 2,25 m diep. De hokken waren uitgevoerd met een houten roostervloer met rubberen toplaag (EasyFix). Mest werd één maal per jaar, meestal in het voorjaar uit de stal verwijderd. Lucht kwam de stal binnen via ruiten/kleppen hoog in beide zijmuren en werd afgevoerd met vier ventilatoren met een diameter van 82 cm die in buurt van de nok waren geplaatst. De dieren krijgen één keer per dag ruwvoer (gemengd rantsoen) dat twee keer per dag weer opnieuw aangeschoven werd en hadden onbeperkt toegang tot water via drinkbakjes.

Tabel 1 Selectie van kenmerken van de bemeten locaties.

Kenmerken	VKR1		VKR2	
Productieronde	Opfok	Afmest	Opfok	Afmest
Lengte (in dagen)	99	118	93	198
Gewichtstraject	55-166 kg	166-350 kg	53-136	136-407
Huisvestingssysteem	A4.100; Groep	A4.100; Groep	A4.100; Groep	A4.100; Groep
Beschrijving	Stal met 3 afdelingen	Stal met 1 afdeling	Stal met open ruimte	Stal met centrale voergang
Afmetingen stal/afdeling (lengte [m] x breedte [m])	Per afdeling: 20,0 x 7,2	20,0 x 9,9	37,5 x 18,6	55,0 x 14,5
Goot- en nokhoogte [m]	2,5; 6,0	2,5; 6,0	2,25; 6,7	3,5; 7,6
Oriëntatie van de stal	ZW-NO	ZW-NO	ZW-NO	ZW-NO
Totaal aantal hokken	30	10	50	26
Aantal dierplaatsen	156	82	274	286
Leefoppervlak (m² per dier)	1,8	1,8	1,5	1,8
Beschrijving leefoppervlak	100% roostervloer	100% roostervloer	100% roostervloer	100% roostervloer
Materiaal leefoppervlak (beton, kunststof,...)	Hout	Hout	Hout met rubberen toplaag (EasyFix)	Hout met rubberen toplaag (EasyFix)
Mestkelder (diepte in m)	0,3	1,20	1,25	2,25
Mestverwijdering en frequentie	Indien nodig	Indien nodig	1 keer per jaar, meestal in het voorjaar	1 keer per jaar, meestal in het voorjaar
Luchtinlaat (beschrijving)	Per afdeling, luchtinlaat van 2 x 1,0m	Luchtinlaat van 2 x 1,20m	Deuren met rolluik aan oostzijde van de stal	Onderdrukstal; inlaat via ruiten/kleppen hoog in zijmuur
Ventilatie (beschrijving)	MV	MV	MV	MV
Aantal ventilatoren en diameter	3; Ø:50 cm	1; Ø:63 cm	5; Ø:50 cm	4; Ø:82 cm
Voersysteem en voertijden	2x daags melk en 1x daags ruwvoer	Ruwvoer 2x daags	Melk: 7.00 en 16.00 uur Ruwvoer: rond 11.00 uur gemengd met minishovel naar binnen gebracht. 2 x wordt dit weer opnieuw aangeschoven	1x daags met voermengwagen gemengd rantsoen, vervolgens 2x aanschuiven met minishovel
Drinkwatersysteem en drinktijden	Drinkbakjes, onbepikt	drinkbakjes, onbepikt	Drinkbakjes, Onbepikt	Drinkbakjes, onbepikt
Lichtregime	Daglicht en kunstlicht	Daglicht en kunstlicht	Daglicht en kunstlicht	Daglicht en kunstlicht

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

De emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O (voor zowel de continue- als voor de referentiemetingen) zijn bepaald door het verschil in concentratie tussen de stallucht en de binnenkomende lucht (buitenlucht) te vermenigvuldigen met het ventilatiedebiet (zie hoofdstuk 2.3). Deze methode vereist nauwkeurige metingen van zowel het ventilatiedebiet (zie hoofdstuk 2.2.2.3) als van de concentraties (zie hoofdstuk 2.2.2.1 en hoofdstuk 2.2.2.2) van het te meten gas (NH_3 , CH_4 , N_2O) in zowel de lucht die de afdeling verlaat (stallucht) als de binnenkomende lucht (buitenlucht). De stalluchtconcentratie is bij de ventilatiekokers in de afdelingen (Figuur 2.1) gemeten, de buitenluchtconcentraties op de plek waar de lucht de afdeling binnenkomt en dient als achtergrondconcentratie voor meerdere afdelingen. Het ventilatiedebiet werd bij een aantal van de ventilatoren met een gekalibreerde meetwaaier gemeten (Figuur 2.1), het signaal van de meetwaaiers werd continu gelogd om zo een continue meting van het ventilatiedebiet in de afdelingen te krijgen.

Ten behoeve van de concentratiemeting in de stal is op alle meetlocaties bij één of meerdere ventilatoren (afhankelijk van het aantal ventilatoren die in de afdeling beschikbaar waren) een monsternameleiding (polyethyleen (PE) of Teflon) geplaatst. Deze leiding is voorzien van een kritische opening (voorzien van een stoffilter) om een constant en gecontroleerd monsternameflow (tussen 500-1000 ml/min afhankelijk van het aantal meetpunten) te maken. De monsternameleiding werd aangesloten aan een buis, waarin de meetapparatuur voor de continue concentratiemetingen werd geplaatst (meetbuis). Op de meetbuis zijn een aantal tappunten aangebracht om bij de referentiemetingen dezelfde lucht te bemonsteren als bij de continue metingen. De stallucht werd met behulp van een pomp via de monsternameleiding en de meetbuis aangezogen. Met de gebruikte pomp en de kritische openingen wordt altijd een overflow gegarandeerd die voldoende is om ook de referentiemetingen uit te kunnen voeren.

De NH_3 - en CH_4 -concentraties in de buitenlucht zijn niet continue gemeten, maar alleen tijdens de referentiemetingen (6 keer 24 uur gedurende het jaar). Aangezien de buitenluchtconcentraties nodig zijn voor de bepaling van de emissies op dagbasis (zie hoofdstuk 2.3), is de volgende procedure (gebaseerd op de concentraties die gemeten zijn tijdens de zes referentiemetingen) toegepast om op dagbasis een waarde voor de buitenluchtconcentraties van NH_3 en CH_4 te bepalen op continue basis:

1. Een meetperiode wordt gedefinieerd als de periode tussen 2 referentiemetingen. Aan het begin van een meetperiode is een referentiemeting voor de buitenluchtconcentraties uitgevoerd, aan het einde van de meetperiode is ook een referentiemeting voor de buitenluchtconcentraties uitgevoerd.
2. Voor alle meetdagen in de meetperiode tussen die twee referentiemetingen wordt de buitenluchtconcentratie gelijk gesteld aan de gemiddelde waarde van die twee referentiemetingen.

Volgens de richtlijnen van het huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018) moeten bij vleeskalveren de referentiemetingen niet alleen over het jaar maar ook evenredig over de productiestadia verdeeld worden. De reden hiervoor is dat verondersteld wordt dat vleeskalveren behoren tot de diercategorieën met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon als gevolg van groei tijdens een productieronde. Bij deze diercategorieën dienen de metingen daarom niet alleen in opeenvolgende tweemaandelijks periodes te worden uitgevoerd maar geldt ook de voorwaarde dat binnen elke bedrijfslocatie de metingen zodanig verdeeld zijn dat de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de productieperiode valt. Tenslotte dienen de metingen in het tweede deel van de productieperiode gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld.



Figuur 2.1 Meetopstelling voor mechanisch geventileerde stallen.

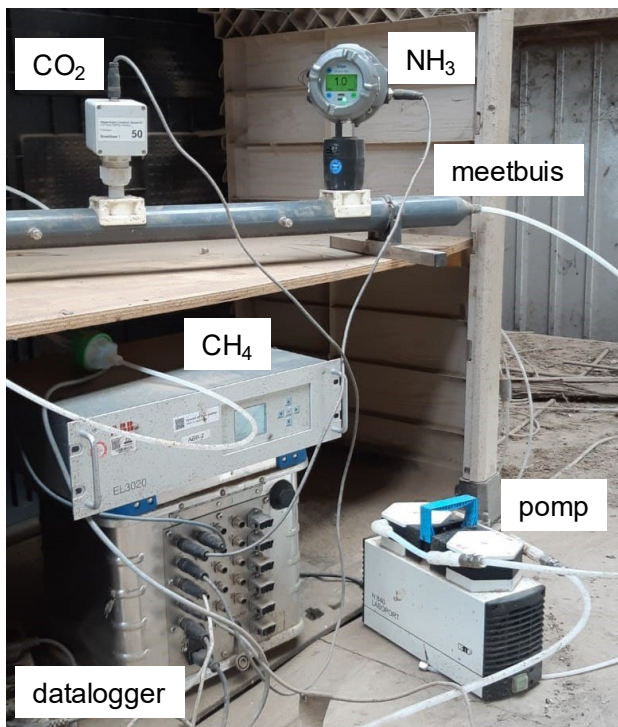
2.2.2 Meetapparatuur

2.2.2.1 Meetapparatuur voor continue metingen (concentraties)

Voor de continue metingen zijn door WLR de volgende instrumenten gebruikt (Figuur 2.2):

- NH_3 : Dräger Polytron® 8000 (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Duitsland). Deze elektrochemische sensoren zijn via openingen in de meetbuis geplaatst, zodat in de stroom van de gemengde stallucht in de meetbuis de lucht passief bemonsterd kan worden.
- CO_2 : Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252 (Vaisala GmbH, Duitsland). Deze NDIR (Non-Dispersive Infrared) sensoren zijn via openingen in de meetbuis geplaatst, zodat in de stroom van de gemengde stallucht in de meetbuis de lucht passief kan worden bemonsterd.
- CH_4 : ABB-Uras26 (ABB, Duitsland). Deze NDIR monitoren zijn via een PE-slang op één 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 CH_4 -concentratie te bepalen.

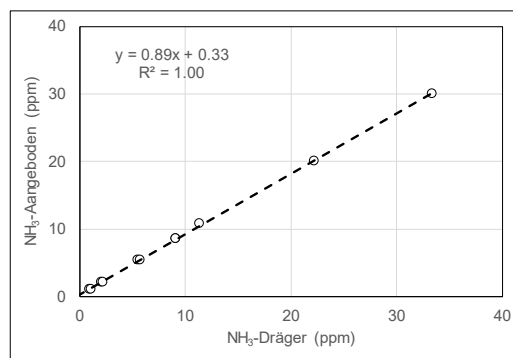
De gemeten concentraties in de stal werden elke 5 minuten in een datalogstelsel (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.



Figuur 2.2 Meetopstelling WLR voor continue metingen.

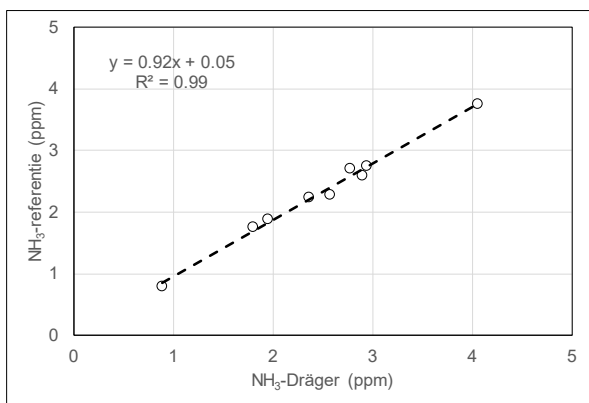
In Bijlage 2 worden deze instrumenten en het bijbehorende meetprincipe kort nader beschreven. Alle instrumenten zijn op twee verschillende manieren gecontroleerd:

- In het laboratorium is een labkalibratie uitgevoerd (zie Figuur 2.3). De instrumenten zijn in het lab tegen standaard kalibratiegassen (gouden standaard) gekalibreerd. 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) werd per instrument een lineaire regressieanalyse ($y = a * x + b$) uitgevoerd om de parameters a en b te bepalen.



Figuur 2.3 Links: Meetopstelling voor de kalibratie van NH₃ Dräger-sensoren in het Air Quality Laboratorium (AQL) van Wageningen Livestock Research (WLR). Rechts: regressielijn voor één van de NH₃ Dräger-sensoren.

- In de praktijk is een veldkalibratie uitgevoerd. De instrumenten zijn in de praktijk tegen referentieapparatuur (zie hoofdstuk 2.2.2.2) gekalibreerd. Zoals in hoofdstuk 2.2.1 is aangegeven zijn op de meetbuis (waar de apparatuur voor continue metingen zijn aangesloten) een aantal tappunten aangebracht om tijdens de referentiemetingen dezelfde lucht te bemonsteren als bij de continue metingen. Op basis van het gemeten signaal van de meetinstrumenten, gecorrigeerd voor de labkalibratie en omgezet naar een concentratiewaarde, en de gemeten concentraties door de referentieapparatuur tijdens de referentiemetingen, is een lineaire regressieanalyse ($y = a * x + b$; Figuur 2.4) uitgevoerd om de parameters a en b te bepalen. Deze regressielijn wordt dan gebruikt om de concentraties bij de continue metingen te corrigeren (kalibreren).



Figuur 2.4 Regressielijn (veldkalibratie) van één van de NH₃ Dräger-sensoren in de praktijk.

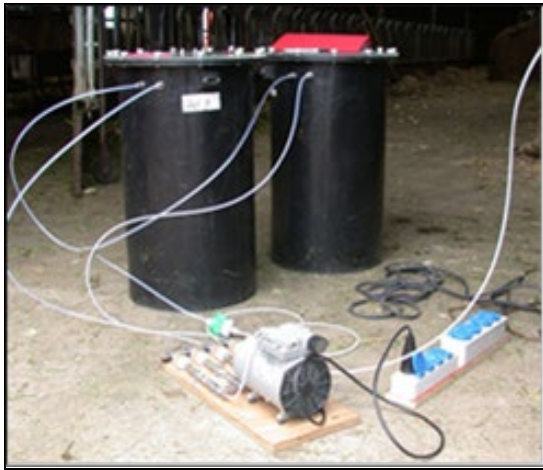
2.2.2.2 Meetapparatuur voor referentiemetingen (concentraties)

Minimaal zesmaal, verdeeld over een jaar zijn door WLR op alle meetlocaties in zowel de stallucht als in de binnenkomende (buiten)lucht concentratiemetingen met een minimum duur van 24 uur volgens referentiemethoden uitgevoerd. Deze referentiemetingen zijn voor elk meetpunt in duplo uitgevoerd. De volgende referentiemethoden zijn gebruikt:

- NH₃: nat-chemische methode (Figuur 2.5) volgens Mosquera e.a. (2019), met spectrofotometrische bepaling in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR).
- CO₂, CH₄ en N₂O: longmethode (Figuur 2.6) volgens Mosquera e.a. (2020) met analyse van de monsterlucht met gaschromatografie in het laboratorium van WLR.



Figuur 2.5 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 2.6 Meetopstelling WLR voor broeikasgas-referentiemetingen (via longmethode). Gesloten vaten met 40 liter Nalophan monsternameszakken voor luchtmonstering, 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.

2.2.2.3 Meetapparatuur voor ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet in de bemeten stallen werd bepaald door een aantal van de ventilatoren te voorzien van gekalibreerde meetwaaiers. De toegepaste meetwaaiers zijn in de windtunnels van Vostermans Ventilation BV te Venlo gekalibreerd. Deze meetwaaiers hadden dezelfde diameter als de stalventilatoren, en zijn (luchtdicht) aan de ventilatiekoker (onder de ventilatiekokers) bevestigd. Het signaal uit de meetwaaiers werd elke 5 minuten in een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen. Op basis van het opgeslagen signaal en de kalibratielijns voor de verschillende meetwaaiers is het ventilatiedebiet bepaald. De kalibratieresultaten van de verschillende meetwaaiers worden in Bijlage B weergegeven.

2.2.2.4 Meetapparatuur voor binnen- en buitenklimaat

In alle stallen en afdelingen is op ten minste 1 meetpunt continue de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stallucht gemeten. Gegevens van het buitenklimaat zijn afkomstig van het KNMI.

- Voor binnenklimaat werd gebruik gemaakt van temperatuur- en vochtsensoren (Vaisala HMP60; Vaisala GmbH, Duitsland).
- Uurwaarden van de klimaatgegevens buiten de stal (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting) werden uit de dichtstbijzijnde KNMI-weerstation opgehaald. (<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>)

De gemeten binnenklimaatgegevens werden elke 5 minuten in een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.

2.2.3 Management en diergegevens

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

- Aantal aanwezige dieren per leeftijdscategorie (elke twee weken).
- Aantal geplaatste en afgeleverde dieren (per ronde). Op basis hiervan kan de uitval worden berekend.
- Gemiddelde start- en eindgewicht (per ronde). Op basis hiervan is een lineaire groei gedurende de ronde verondersteld.
- Leeftijd van de dieren (dagen in de productieronde).
- Gemiddelde voergebruik (per ronde)
- Voerconversie (per ronde, op basis van gemiddelde voergebruik en gemiddelde groei)

2.3 Verwerking gegevens

2.3.1 Emissieberekening

De emissies van NH₃, CH₄ en N₂O (E_{ijk} ; in g/dag per dier) werden per meetdag ($i=1, 2, \dots, n$), productiestadium ($j=1$ (opfok), 2 (afmest)) en bedrijf ($k=1, 2$) bepaald op basis van het ventilatiedebiet (V_{ijk} ; in m³/uur) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht ($C_{stalijk}$; in mg/m³) en in de ingaande lucht ($C_{buitenijk}$; in mg/m³) van NH₃ (of CH₄, of N₂O) volgens:

$$E_{ijk} = V_{ijk} * (C_{stalijk} - C_{buitenijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^3 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} * \frac{1}{\text{dier}}$$

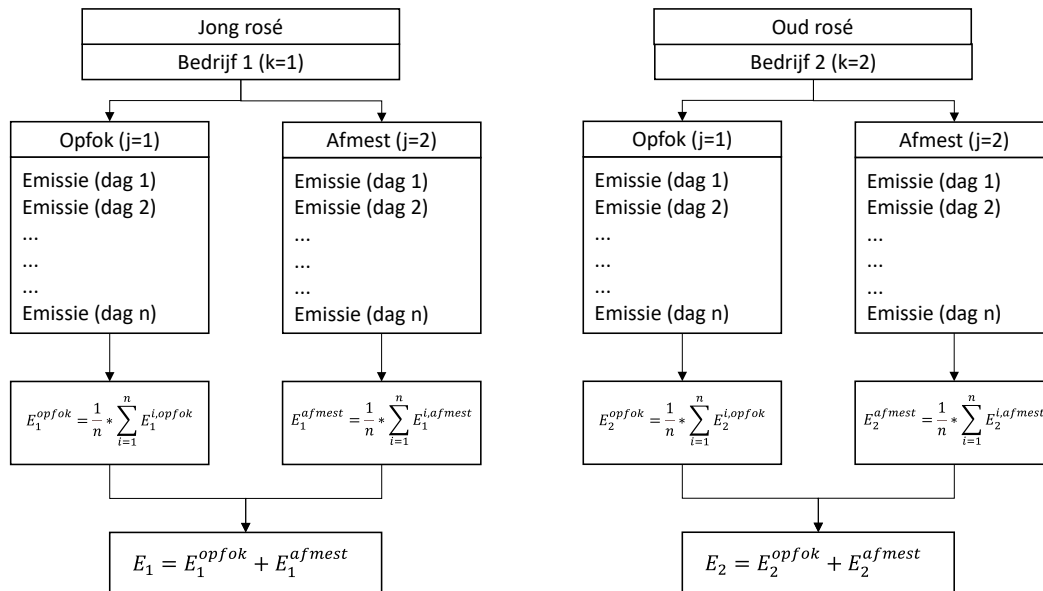
Vervolgens werd per bedrijf de emissie per productiestadium (E_{jk} ; in kg/jaar per ronde) bepaald als de gemiddelde waarde van de emissies per meetdag.

$$E_{jk} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n E_{i,j,k}$$

Daarna werd per bedrijf de emissie (E_k) per afgeleverd dier bepaald door de emissie per productiestadium op te tellen.

$$E_k = \sum_{j=1}^2 E_{j,k}$$

Aangezien de lengte van de afmestperiode verschillend was tussen beide bedrijven (bedrijf 1: korte afmestperiode (jong rosé); bedrijf 2: lange afmestperiode (oud rosé)) zijn de resultaten van beide bedrijven niet opgeteld om een totale (gemiddelde) emissie voor rosé-vleeskalveren te bepalen, maar afzonderlijk gebruikt om de emissies voor jong rosé ($n=1$, namelijk bedrijf 1) en oud rosé ($n=1$, bedrijf 2) te bepalen. In Figuur 2.7 wordt dit schematisch weergegeven.



Figuur 2.7 Schematische weergave van de gebruikte berekeningsmethodiek.

2.3.2 Statistische analyse

Door het beperkt aantal bedrijven die gemeten zijn ($n=2$, waarvan 1 voor jong rosé en 1 voor oud rosé), en het huisvesten van de dieren in twee verschillende afdelingen (opfok en afmest), zijn verschillen binnen en tussen bedrijven niet statistisch te toetsen. De huidige cijfers zullen in toekomstig onderzoek meegenomen worden om deze vraag (variatie binnen en tussen bedrijven, en de mate van samenhang tussen gemeten emissies en aanwezige bedrijfsfactoren) te kunnen beantwoorden.

3 Resultaten en discussie

3.1 Productieresultaten

In Figuur 3.1, Tabel 2 en Tabel 3 worden de gemiddelde productieresultaten voor de twee gemeten bedrijven over de gehele meetperiode weergegeven (zie Bijlage 1 voor een uitgebreidere beschrijving). Beide bedrijven waren gesloten bedrijven voor rosékalveren, d.w.z. dat zowel de opfok als de afmest van de dieren op het bedrijf gebeurde. Een belangrijke verschil tussen beide bedrijven was dat VKR1 gericht was op het afleveren van jongrosé-kalveren, terwijl VKR2 oudrosé-kalveren afleverde. Dit is duidelijk te zien aan de lengte van de afmestperiode (bijna 12 weken langer bij VKR2 t.o.v. VKR1; Figuur 3.1 boven), waardoor aan het einde van de afmestperiode de dieren zwaarder waren bij VKR2 t.o.v. VKR1 (Figuur 3.1 rechtsonder).

De lengte van de opfokperiode was bij beide bedrijven vergelijkbaar (gemiddeld 5 dagen langer bij VKR1 t.o.v. VKR2), maar beduidend langer dan de waarde (72 dagen) die in Blanken *et al.* (2021) wordt aangegeven. De dieren waren aan het begin van de afmestperiode ook zwaarder dan de landelijke gemiddelden (Blanken *et al.*, 2021). Daarnaast waren de dieren bij VKR1 ook zwaarder aan het begin van de afmestperiode dan bij VKR2. De lengte van de afmestperiode was bij VKR1 4 weken korter dan, en bij VKR2 vergelijkbaar (1 week korter) met de landelijke gemiddelden (Blanken *et al.*, 2021). De lengte van de gehele productieronde (opfok + afmest) was bij VKR1 vergelijkbaar met en bij VKR2 2 weken langer dan de gemiddelde waarden voor respectievelijk jongrosé en oud-rosé in Blanken *et al.* (2021). Over de gehele productieronde is de lengte van een productieronde voor beide bedrijven representatief voor jongrosé- (VKR1) en oud-rosékalveren (VKR2), maar verschilt het doorschuifmoment (van opfok naar afmest) met de waarden in de KWIN (Blanken *et al.*, 2021).

De kunstmelkconsumptie was voor beide bedrijven iets hoger dan de waarden in Blanken *et al.* (2021). Voor beide bedrijven bestond het rantsoen uit een mengsel van ruwvoer en krachtvoer, met verschillende proporties afhankelijk van leeftijd van de dieren (Tabel 3). Het aandeel ruwvoer en krachtvoer in het rantsoen was vergelijkbaar met de landelijke gemiddelden.

Tabel 2 Productieresultaten voor de bemeten meetlocaties, en landelijk gemiddelde waarden.

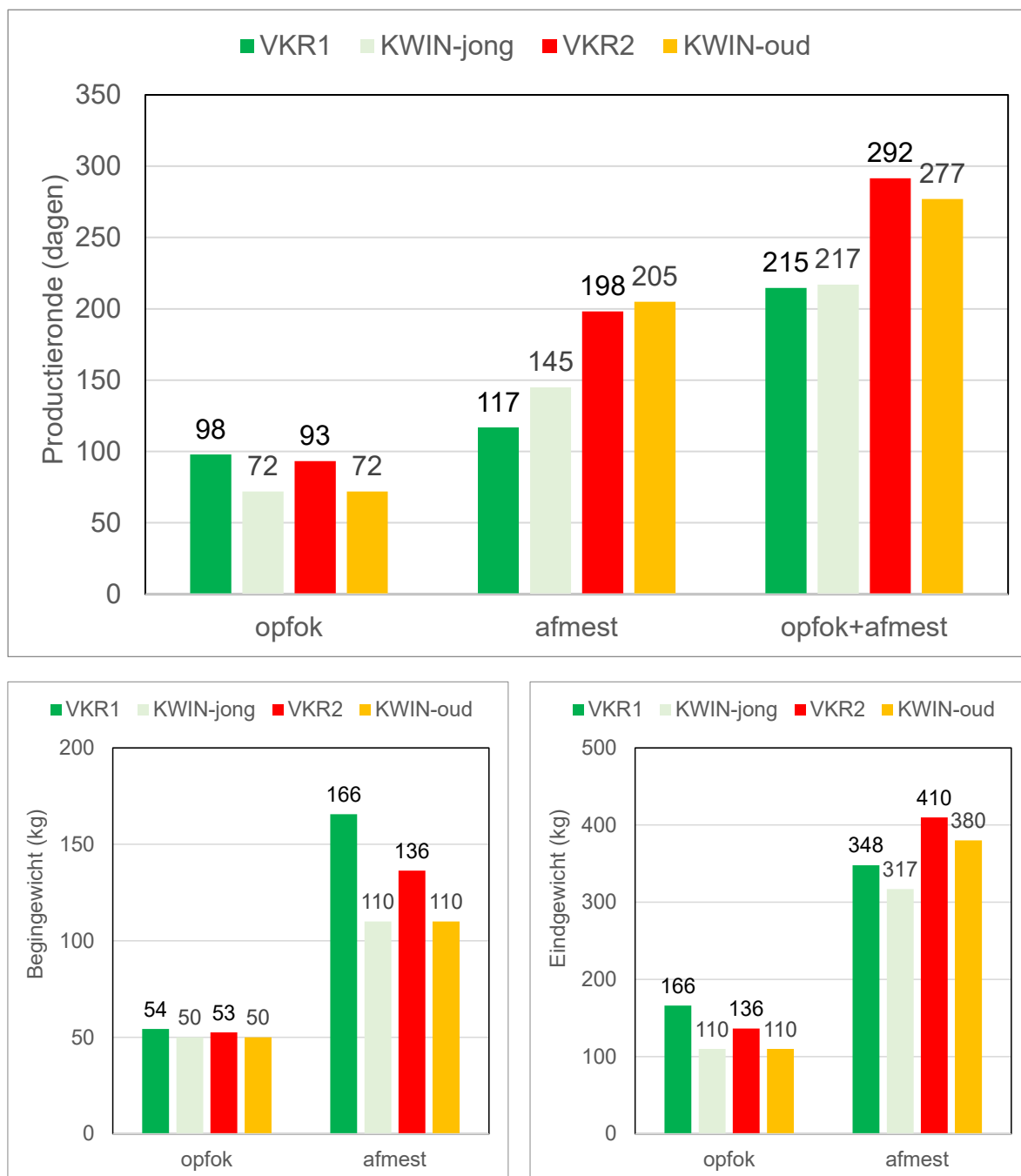
Kenmerken		Bedrijfs-gemiddelde	Landelijk gemiddelde (Blanken <i>et al.</i> , 2021)
VKR1 (jongrosé)	Opfok	Aantal ronden	7
		Lengte productieronde	98
		Gemiddeld gewicht (begin ronde)	54
		Gemiddeld gewicht (eind ronde)	166
		Melkconsumptie [kg/dier]	25
	Afmest	Aantal ronden	6
		Lengte productieronde	117
		Gemiddeld gewicht (begin ronde)	166
		Gemiddeld gewicht (eind ronde)	348
		Melkconsumptie [kg/dier]	---
VKR2 (oudrosé)	Opfok	Aantal ronden	9
		Lengte productieronde	93
		Gemiddeld gewicht (begin ronde)	53
		Gemiddeld gewicht (eind ronde)	137
		Melkconsumptie [kg/dier]	24
	Afmest	Aantal ronden	5
		Lengte productieronde	198
		Gemiddeld gewicht (begin ronde)	136
		Gemiddeld gewicht (eind ronde)	410
		Melkconsumptie [kg/dier]	---

Tabel 3a Aandeel ruwvoer en krachtvoer (op ds-basis) in het rantsoen van de kalveren (op basis van de leeftijd van de dieren (VKR1)).

VKR1	<12 weken	12-18 weken	18-25 weken	>=25 weken
Ruwvoer (%)	33	33	27	25
Krachtvoer en bijproducten (%)	67	67	73	75

Tabel 3b Aandeel ruwvoer en krachtvoer (op ds-basis) in het rantsoen van de kalveren (op basis van de leeftijd van de dieren (VKR2)).

VKR2	0-4 weken	5-7 weken	8-9 weken	10-30 weken	31-41 weken
Ruwvoer (%)	0	10	17	36	30
Krachtvoer en bijproducten	100	90	83	64	70



Figuur 3.1 Gemiddelde productieparameters (lengte productieronde, begin- en eindgewicht bij productieronde) over het gehele meetperiode (februari 2019 – oktober 2020) voor de geselecteerde bedrijven (VKR1: jong rosé; VKR2: oud rosé) bij dit onderzoek. Boven: Lengte productieronde; Linksonder: Begingewicht bij productieronde; Rechtsonder: eindgewicht bij productieronde. In de figuur worden ook de landelijk gemiddelde waarden voor jong- (KWIN-jong) en oud-rosékalveren (KWIN-oud) weergegeven (KWIN: Blanken et al., 2021).

3.2 Meetomstandigheden

In Tabel 4 en Figuur 3.2 worden de gemiddelde meetomstandigheden voor zowel de continue als de referentiemetingen voor beide locaties samengevat. In Bijlage 1 worden voor beide bedrijven de data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, de gemiddelde klimaat- en managementgegevens en de resultaten van de referentiemetingen weergegeven.

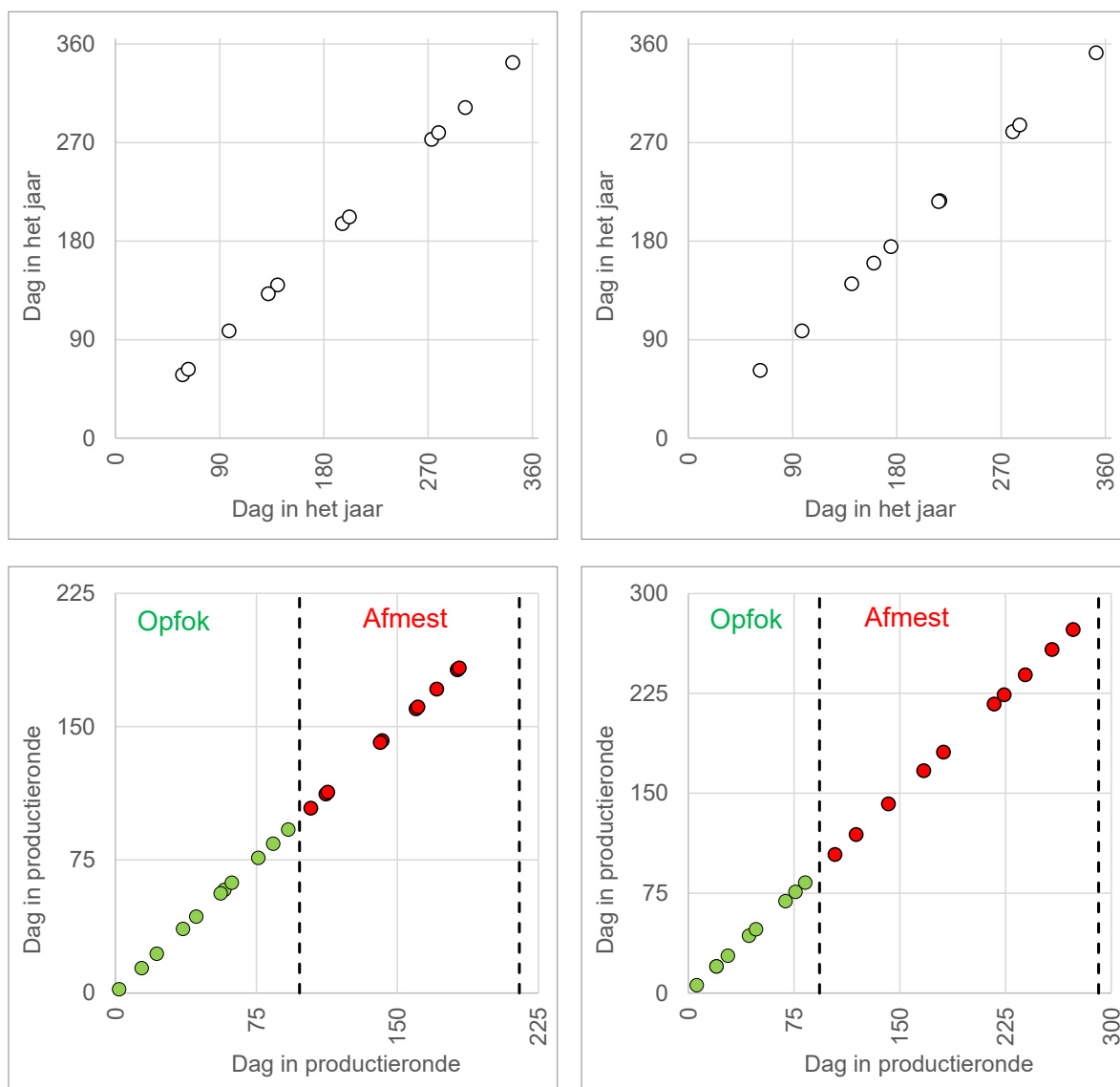
De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 25/02/2019 – 03/11/2020 bij bedrijf 1 (VKR1) en in de periode 19/03/2019 – 26/10/2020 bij bedrijf 2 (VKR2) zijn uitgevoerd. In deze perioden zijn er elf referentiemetingen bij VKR1 en tien referentiemetingen bij VKR2 uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur 3.2 (boven)) en de productieronden (Figuur 3.2 (onder)). De referentiemetingen zijn evenredig over de seizoenen verdeeld, met een gemiddelde dag in het jaar van 190 bij VKR1, en van 199 bij VKR2. Bij VKR1 was de gemiddelde dag in de productieronde 50 voor de opfokperiode (met een gemiddelde lengte van 98 dagen), 52 voor de afmestperiode (met een gemiddelde lengte van 117 dagen), en 100 voor de totale productieronde (opfok + afmest, met een gemiddelde lengte van 215 dagen). Bij VKR2 was de gemiddelde dag in de productieronde 44 voor de opfokperiode (met een gemiddelde lengte van 93 dagen), 99 voor de afmestperiode (met een gemiddelde lengte van 198 dagen), en 122 voor de totale productieronde (opfok + afmest, met een gemiddelde lengte van 291 dagen).

Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur bij VKR1 (T: 10,5 °C; Tabel 4) iets lager dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 78%) vergelijkbaar met, en de windsnelheid (WS: 4,0 m/s) iets hoger dan het langdurige 10-jaargemiddelde (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Eindhoven T: 10,9 °C; RV: 79%; WS: 3,7 m/s). Voor de continue metingen was bij VKR1 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,8 °C) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 74%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,8 m/s) vergelijkbaar met het langdurige 10-jaargemiddelde. Voor zowel de opfok- als voor de afmeststal bleef de CO₂-concentratie in de stal onder de 3000 ppm.

Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur bij VKR2 (T: 13,5 °C; Tabel 4) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 76%) lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,1 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Hupsel T: 10,2 °C; RV: 81%; WS: 3,3 m/s). Voor de continue metingen was bij VKR2 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,6 °C) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 78%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,2 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelde. Voor zowel de opfok- als voor de afmeststal was de CO₂-concentratie in de stal onder de 3000 ppm.

Tabel 4 Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal klimaatparameters voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten opfok- en afmeststallen. VKR1: bedrijf 1; VKR2: bedrijf 2.

Kenmerken	Opfok		Afmest	
	Continue	Referentie	Continue	Referentie
VKR1	T-binnen (oC)	18,3 (5,6 : 30,0)	16,5 (10,0 : 21,3)	19,1 (7,1 : 30,8)
	RV-binnen (%)	73 (42 : 102)	75 (54 : 100)	76 (46 : 102)
	T-buiten (oC)	12,8 (-1,0 : 30,9)	10,5 (5,2 : 16,3)	12,8 (-1,0 : 30,9)
	RV-buiten (%)	73,7 (34,2 : 98,0)	77,7 (57,3 : 86,4)	73,7 (34,2 : 98,0)
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,8 (0,4 : 11,3)	4,0 (2,0 : 5,7)	3,8 (0,4 : 11,3)
	CO ₂ stal (ppm)	1165 (564 : 1589)	1124 (621 : 1416)	1064 (499 : 1742)
VKR2	T-binnen (oC)	20,4 (6,6 : 31,5)	21,2 (16,3 : 28,6)	20,3 (9,6 : 31,1)
	RV-binnen (%)	70 (45 : 98)	69 (57 : 78)	81 (44 : 100)
	T-buiten (oC)	12,6 (-1,7 : 30,4)	13,5 (5,2 : 27,4)	12,5 (-1,7 : 30,4)
	RV-buiten (%)	77,8 (37,8 : 98,8)	76,0 (50,5 : 89,3)	77,0 (37,8 : 98,8)
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,2 (0,7 : 9,6)	3,1 (1,8 : 4,1)	3,2 (0,7 : 9,6)
	CO ₂ stal (ppm)	1536 (567 : 2563)	1654 (1135 : 2067)	1570 (647 : 2496)



Figuur 3.2 Links: bedrijf 1 (VKR1); Rechts: bedrijf 2 (VKR2); Boven: Verdeling van de metingen over de seizoenen; Onder: verdeling van de metingen over de productieronde. De verticale stippellijnen geven de laatste dag van de opfok- en afmestronden aan.

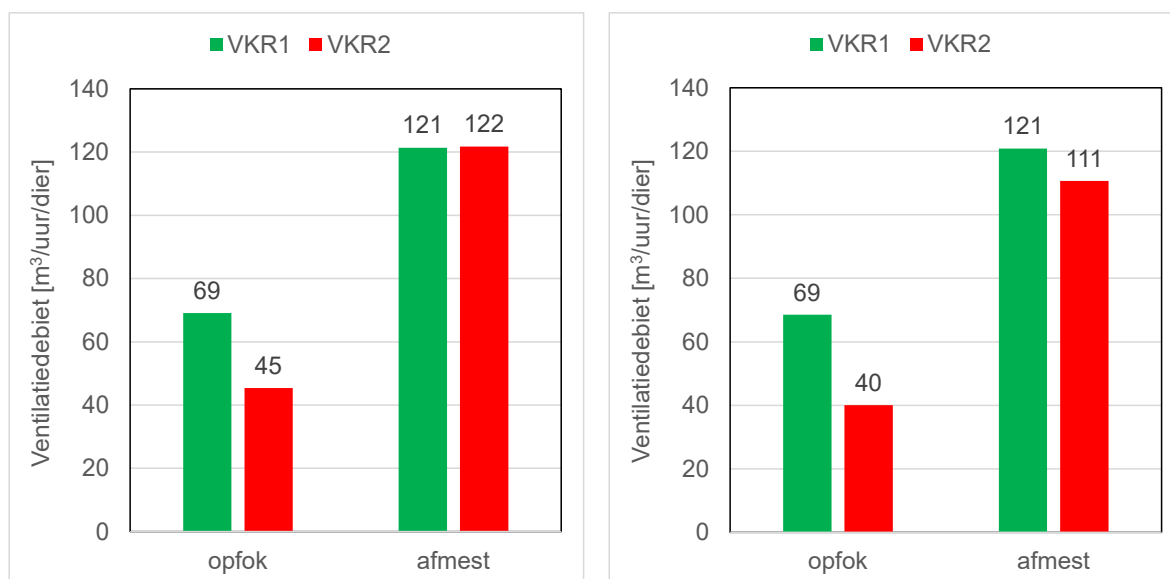
3.3 Meetresultaten

3.3.1 Ventilatie-debiet

In Tabel 5 en Figuur 3.3 worden de gemiddelde waarden voor het ventilatiedebiet van zowel de continue als de referentiemetingen voor alle gemeten stallen of afdelingen weergegeven. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen het ventilatiedebiet van de continue en de referentiemetingen. De twee bedrijven verschillen van elkaar tijdens de opfokperiode. Het verschil in debiet tijdens de continue metingen was 24 m³/uur/dier met een variatiecoëfficiënt (VC) van 29%. Tijdens de afmestperiode (ongeveer 12 weken langer en met zwaardere dieren bij VKR2 t.o.v. VKR1) was het ventilatiedebiet voor beide bedrijven juist vergelijkbaar (VC=0%).

Tabel 5 Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van het ventilatiedebiet en de emissies van CH₄, NH₃ en N₂O voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten stallen. VKR1: bedrijf 1; VKR2: bedrijf 2. n.g.: niet gemeten, N₂O is op deze locaties niet continue gemeten.

	Kenmerken	Opfok		Afmest	
		Continue	Referentie	Continue	Referentie
VKR1	Aantal meetdagen	555	11	600	11
	Ventilatiedebiet (m ³ /uur/dier)	69 (8 : 139)	69 (44 : 101)	121 (9 : 219)	121 (96 : 161)
	NH ₃ -emissie (g/dag per dier)	8,1 (1,0 : 13,8)	7,6 (4,4 : 10,3)	7,6 (0,6 : 16,1)	6,9 (4,4 : 9,8)
	CH ₄ -emissie (g/dag per dier)	70,0 (4,3 : 226,7)	65,3 (14,3 : 129,6)	144,6 (7,8 : 374,6)	141,3 (65,3 : 218,2)
	N ₂ O-emissie (g/dag per dier)	n.g.	0,31 (0,15 : 0,50)	n.g.	0,23 (0,04 : 0,48)
VKR2	Aantal meetdagen	521	9	557	10
	Ventilatiedebiet (m ³ /uur/dier)	45 (7 : 116)	40 (18 : 61)	122 (14 : 287)	111 (23 : 272)
	NH ₃ -emissie (g/dag per dier)	6,7 (1,0 : 18,4)	7,26 (2,52 : 12,66)	14,0 (2,1 : 30,3)	11,5 (3,7 : 20,1)
	CH ₄ -emissie (g/dag per dier)	118,2 (30,8 : 324,0)	114,0 (57,3 : 192,9)	305,2 (63,3 : 584,9)	275,5 (110,2 : 542,9)
	N ₂ O-emissie (g/dag per dier)	n.g.	0,23 (0,13 : 0,38)	n.g.	0,81 (0,23 : 1,70)



Figuur 3.3 Ventilatie-debiet (m³/uur/dier) voor alle gemeten stallen. Links: referentiemetingen; Rechts: continue metingen. VKR1: bedrijf 1; VKR2: bedrijf 2.

3.3.2 NH₃-emissies

In Figuur 3.4 en Tabel 5 worden de gemiddelde NH₃-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor alle gemeten stallen weergegeven. De emissies zijn niet uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar (zoals gebruikelijk is voor emissieonderzoek met als doel het bepalen van een emissiefactor voor een bepaald huisvestingssysteem) maar gram per afgeleverd dier per dag. Aangezien de dieren tijdens een volledige productieronde in twee verschillende afdelingen (een voor de opfokfase en een voor de afmestfase) worden gehouden, waarbij zowel de lengte van beide groeifasen (opfok en afmest) als het aantal dieren per afdeling niet gelijk hoeft te zijn, is het concept dierplaats over de hele ronde lastig te definiëren. Daarnaast maakt het uitdrukken van emissies per dier makkelijker om op basis van literatuurgegevens de emissies van blank- en rosé-vleeskalveren te vergelijken.

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor VKR1 (jongrosé) een gemiddelde ammoniakemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $8,1 \pm 2,5$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,8 \pm 0,2$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 98 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde), en van $7,6 \pm 2,6$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $0,9 \pm 0,3$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 117 dagen en een gemiddelde diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de

ammoniakemissie over de volledige productieronde (opfok+afmest) 1,7 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 215 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 348 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie $7,6 \pm 1,9$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,7 \pm 0,2$ kg/ronde per dier), en van $6,9 \pm 1,9$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $0,8 \pm 0,2$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 1,6 kg/ronde. Per afgeleverd dier (over de volledige productieronde) zijn deze emissies iets lager dan de emissies (geschat op basis van emissies op jaarbasis) die door Beurskens et al. (2004) zijn gerapporteerd: 2,4 kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 224 dagen (70 dagen in opfok, 154 dagen in afmest) en een gemiddelde diergewicht van 350 kg aan het einde van de ronde; zie Tabel 6). De berekende ammoniakemissie op jaarbasis (2,7 kg/dier/jaar voor de continue metingen; 2,5 kg/dier/jaar voor de referentiemetingen) is lager dan de huidige Rav-emissiefactor voor traditionele systemen (A4.100: 3,5 kg/dier/jaar). Deze berekende waarden zijn gebaseerd op de gemeten gemiddelde emissies (in g/dag/dier), de landelijke gemiddelden voor de lengte van een ronde (een opfokronde van 72 dagen en een afmestronde van 145 dagen, zoals vermeld in Blanken et al. (2021)), en een leegstandspercentage van 4% (zoals vermeld in Groenestein en Aarnink (2008)).

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor VKR2 (oud rosé) een gemiddelde ammoniakemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $6,7 \pm 3,7$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,6 \pm 0,3$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 93 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde), en van $14,0 \pm 5,9$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $2,8 \pm 1,2$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 198 dagen en een gemiddelde diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 3,4 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 292 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 410 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie $7,3 \pm 3,6$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,7 \pm 0,3$ kg/ronde per dier), en van $11,5 \pm 4,4$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $2,3 \pm 0,9$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 3,0 kg/ronde. De berekende ammoniakemissie op jaarbasis (4,2 kg/dier/jaar voor de continue metingen; 3,6 kg/dier/jaar voor de referentiemetingen) is iets hoger dan de huidige Rav-emissiefactor voor traditionele systemen (A4.100: 3,5 kg/dier/jaar). Deze berekende waarden zijn gebaseerd op de gemeten gemiddelde emissies (in g/dag/dier), de landelijke gemiddelden voor de lengte van een ronde (een opfokronde van 72 dagen en een afmestronde van 205 dagen, zoals vermeld in Blanken et al. (2021)), en een leegstandspercentage van 4% (zoals vermeld in Groenestein en Aarnink (2008)).

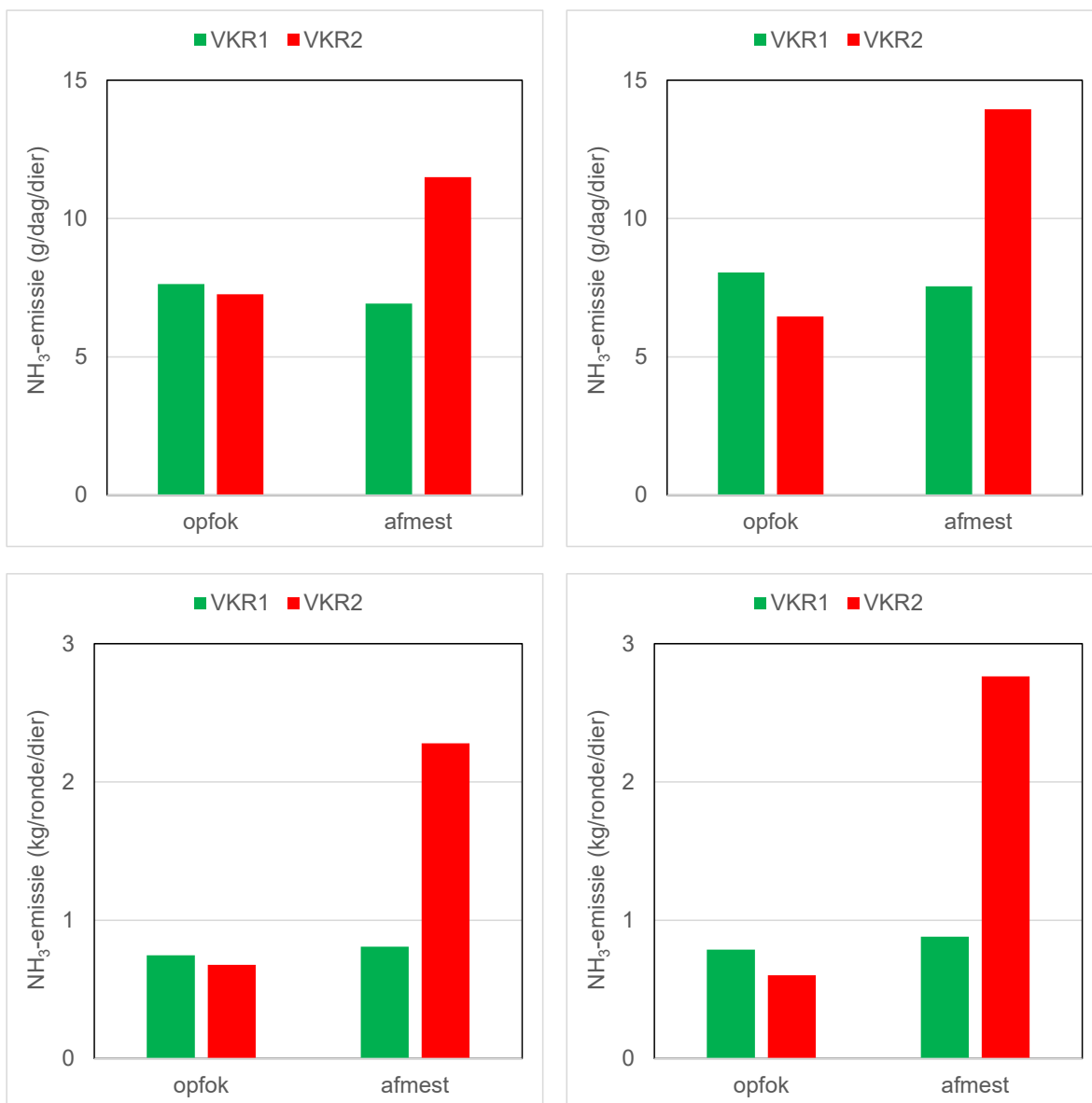
Ondanks de hogere waarden voor het ventilatiedebiet bij de opfokperiode bij VKR1 t.o.v. VKR2 (en vergelijkbare lengte in dagen), waren tijdens de opfokperiode de NH_3 -emissies op beide bedrijven vergelijkbaar. Tijdens de afmestperiode (12 weken langer bij VKR2) waren de NH_3 -emissies hoger bij VKR2 dan bij VKR1. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen. Op basis van de (beperkt) beschikbare gegevens die in de literatuur te vinden zijn, en de resultaten uit dit onderzoek, zijn de emissies op dagbasis (Tabel 7) voor wit/blankvlees en rosé (zowel jong als oud) vergelijkbaar (gemiddeld 11,3 g/dag per dier).

Tabel 6 *Vergelijking huidig onderzoek en literatuurgegevens voor rosé vleeskalveren.*

	Productieronde	Huidig onderzoek	Huidig onderzoek	Beurskens et al, (2004)
Diercategorie	---	Jong rosé	Oud rosé	Jong rosé
Dierplaatsen	Opfok	156	274	84
	Afmest	82	286	128
Dagen in productieronde	Opfok	98	93	70
	Afmest	117	198	154
Eindgewicht (na afloop ronde)	Opfok	166	137	Onbekend
	Afmest	348	410	350
Oppervlakte (m ² /dier)	Opfok	1,8	1,5	1,5
	Afmest	1,8	1,8	1,5
Debiet (m ³ /uur/dier)	Opfok	69	45	49
	Afmest	121	122	352
NH ₃ emissie (g/dag/dier)	Opfok	8,1	6,7	5,8
	Afmest	7,6	14,0	12,8
NH ₃ emissie (kg/ronde/dier)	Opfok	0,8	0,6	0,4
	Afmest	0,9	2,8	2,0

Tabel 7 *Vergelijking huidig onderzoek en literatuurgegevens voor rosé- en wit/blankvleeskalveren. Gegevens worden voor een volledige productieronde (rosé: opfok + afmest) weergegeven.*

	Referentie	Dagen	Eindgewicht (kg)	Oppervlakte (m ² /dier)	Debiet (m ³ /uur/dier)	NH ₃ -emissie (g/dag/dier)
<i>Oud rosé</i>	Huidig onderzoek	291	410	1,8	97	11,7
<i>Jong rosé</i>	Huidig onderzoek	215	348	1,8	97	7,8
	Beurskens et al. (2004)	224	350	1,5	257	10,6
<i>Wit/blankvlees</i>	Monteny en Hoof (2020)	190	242	2,1	---	15,5
	Mosquera et al. (2017a)	185	232	1,8	78,9	14,4
	Mosquera et al. (2017a)	204	239	1,8	78,1	15,0
	Beurskens en Hol (2004)	180	240	1,8	98	12,8
	Beurskens en Hol (2004)	179	235	1,8	59	7,7
	Ogink en Lens (2001)	---	200	---	---	9,6
	Hol en Groenestein (1997)	190	247	1,5	---	7,6



Figuur 3.4 NH₃-emissie voor alle gemeten stallen. Links: referentiemetingen; Rechts: continue metingen. VKR1: bedrijf 1; VKR2: bedrijf 2.

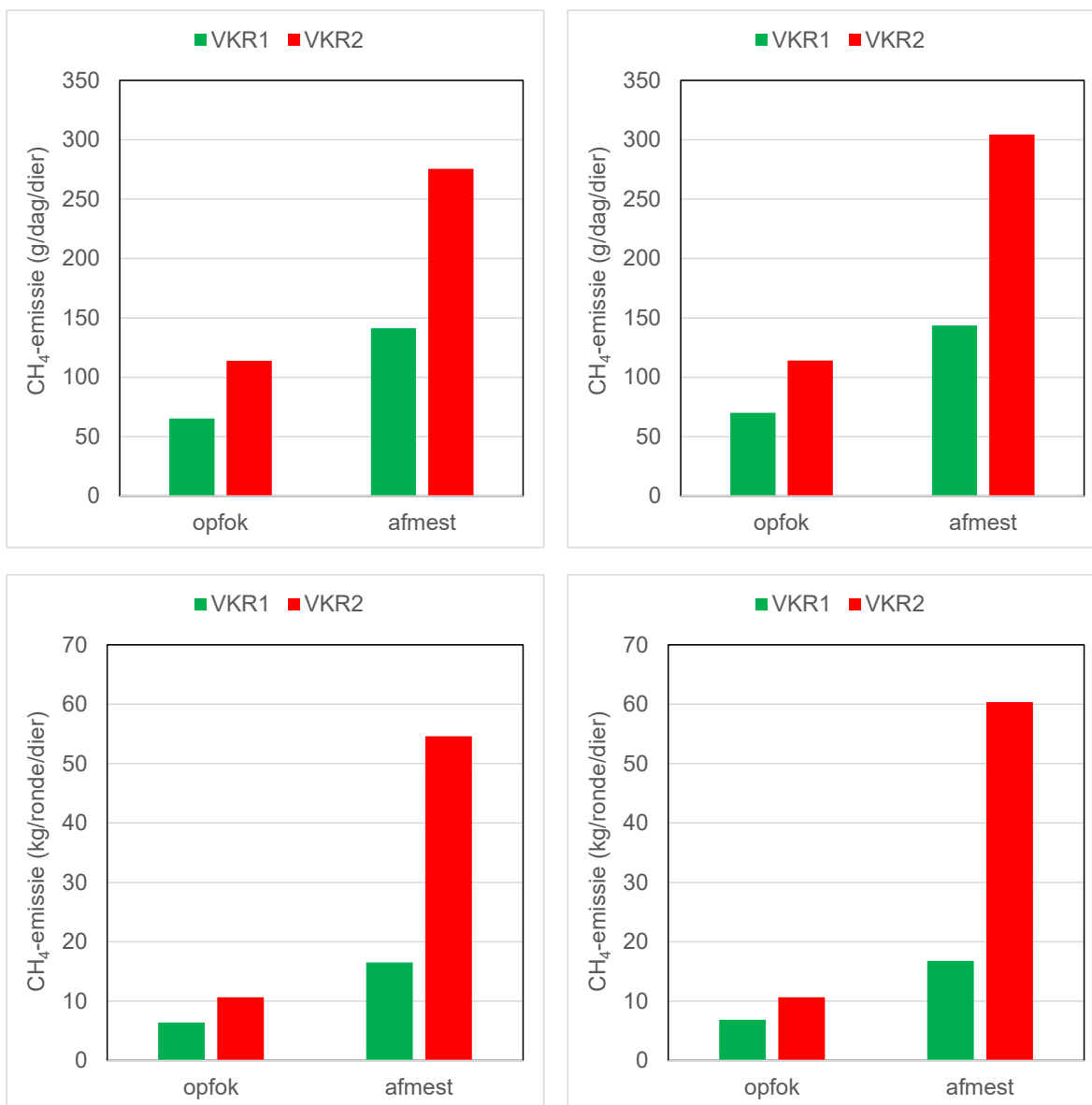
3.3.3 CH₄-emissies

In Figuur 3.5 en Tabel 5 worden de gemiddelde CH₄-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor alle gemeten stallen weergegeven. Zoals voor ammoniak is voor methaan gekozen om de emissies niet per dierplaats maar per afgeleverd dier te rapporteren. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor VKR1 een gemiddelde methaanemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $70,0 \pm 38,4$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $6,8 \pm 3,8$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 98 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde), en van $144,6 \pm 65,1$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $16,9 \pm 7,6$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 117 dagen en een gemiddelde diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) $23,6$ kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 215 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 348 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie $65,3 \pm 35,4$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $6,4 \pm 3,5$ kg/ronde per dier), en van $141,3 \pm 60,3$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $16,5 \pm 7,0$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) $22,9$ kg/ronde. De berekende methaanemissie op jaarbasis ($41,8$ kg/dier/jaar voor de continue metingen; $40,7$ kg/dier/jaar voor de

referentiemetingen) is vergelijkbaar met de emissies die door Nederland (Ruyssenaars et al., 2021) gerapporteerd zijn op basis van Tier 2 gemodelleerde waarden (41,3 kg/jaar per dier, waarvan 33,4 kg/jaar per dier enterisch). De berekende waarden in ons onderzoek zijn gebaseerd op de gemeten gemiddelde emissies (in g/dag/dier), de landelijke gemiddelden voor de lengte van een ronde (een opfokronde van 72 dagen en een afmestronde van 145 dagen, zoals vermeld in Blanken et al. (2021)), en een leegstandspercentage van 4% (zoals vermeld in Groenestein en Aarnink (2008)).

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor VKR2 een gemiddelde methaanemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $118,2 \pm 58,7$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $11,0 \pm 5,5$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 93 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde), en van $305,2 \pm 107,1$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $60,5 \pm 21,2$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 198 dagen en een gemiddelde diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) 71,0 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 292 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 410 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie $114,0 \pm 51,6$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $10,6 \pm 4,8$ kg/ronde per dier), en van $275,5 \pm 129,1$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $54,6 \pm 25,6$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) 65,3 kg/ronde. De berekende methaanemissie op jaarbasis (89,3 kg/dier/jaar voor de continue metingen; 81,8 kg/dier/jaar voor de referentiemetingen) is hoger dan de emissies die door Nederland (Ruyssenaars et al., 2021) gerapporteerd zijn op basis van Tier 2 gemodelleerde waarden (41,3 kg/jaar per dier, waarvan 33,4 kg/jaar per dier enterisch). De berekende waarden in ons onderzoek zijn gebaseerd op de gemeten gemiddelde emissies (in g/dag/dier), de landelijke gemiddelden voor de lengte van een ronde (een opfokronde van 72 dagen en een afmestronde van 205 dagen, zoals vermeld in Blanken et al. (2021)), en een leegstandspercentage van 4% (zoals vermeld in Groenestein en Aarnink (2008)).

Ondanks de hogere waarden voor het ventilatiedebiet bij de opfokperiode bij VKR1 t.o.v. VKR2 (en vergelijkbare lengte in dagen), waren tijdens de opfokperiode de CH₄-emissies bij VKR1 lager dan bij VKR2. Tijdens de afmestperiode (12 weken langer bij VKR2) waren de CH₄-emissies hoger bij VKR2 dan bij VKR1. Er zijn geen grote verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.



Figuur 3.5 CH₄-emissie voor alle gemeten stallen. Links: referentiemetingen; Rechts: continue metingen. VKR1: bedrijf 1; VKR2: bedrijf 2.

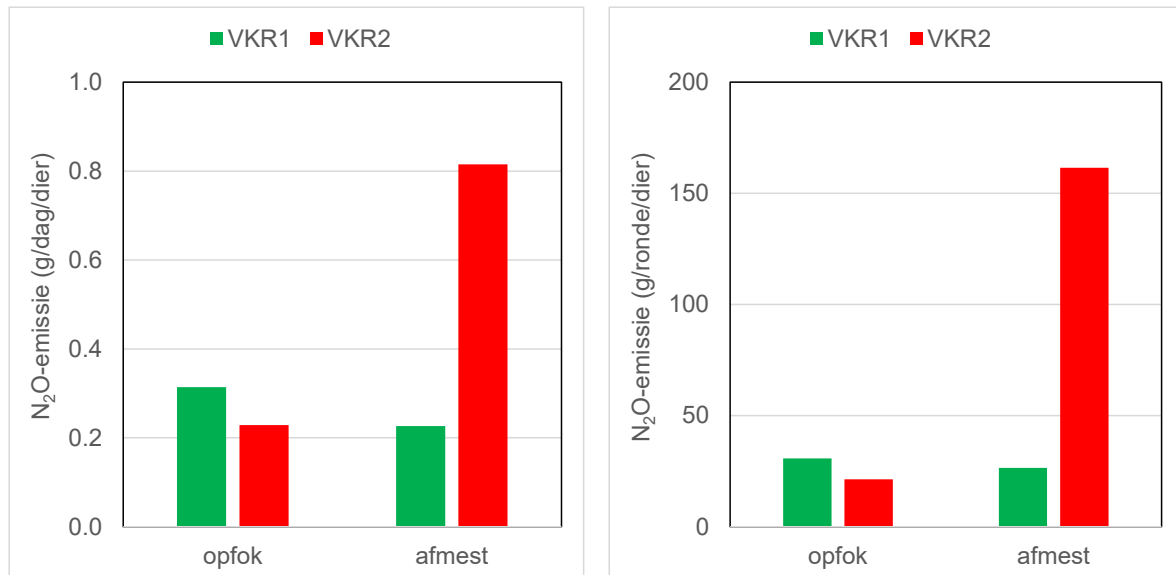
3.3.4 N₂O-emissies

In Figuur 3.6 en Tabel 5 worden de gemiddelde N₂O-emissies voor de referentiemetingen (er zijn geen continue N₂O-metingen uitgevoerd) voor alle gemeten stallen weergegeven. Vergelijkbaar met methaan en ammoniak is er bij lachgas voor gekozen om de emissies per afgeleverd dier in plaats dan per dierplaats uit te drukken. Op basis van de referentiemetingen was bij VKR1 de gemiddelde lachgasemissie $0,31 \pm 0,13$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $30,7 \pm 12,6$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 98 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde), en van $0,23 \pm 0,14$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $26,5 \pm 16,7$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 117 dagen en een gemiddelde diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale lachgasemissie (opfok+afmest) 57,2 g/ronde. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij deze afdelingen voor vleeskalveren uitgevoerd.

Op basis van de referentiemetingen was bij VKR2 de gemiddelde lachgasemissie $0,23 \pm 0,08$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $21,3 \pm 7,1$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 93 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde), en van $0,81 \pm 0,57$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $161,5 \pm 112,9$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 198 dagen en een gemiddelde diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde). Per

afgeleverd dier was de totale lachgasemissie (opfok+afmest) 182,9 g/ronde. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij deze afdelingen voor vleeskalveren uitgevoerd.

Ondanks de hogere waarden voor het ventilatiedebiet bij de opfokperiode bij VKR1 t.o.v. VKR2 (en vergelijkbare lengte in dagen), waren tijdens de opfokperiode de N₂O-emissies op beide bedrijven vergelijkbaar. Tijdens de afmestperiode (12 weken langer bij VKR2) waren de N₂O-emissies hoger bij VKR2 dan bij VKR1. Er zijn geen grote verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen. Er zijn geen literatuurgegevens gevonden van N₂O-emissies bij vleeskalveren om met de metingen in dit onderzoek te kunnen vergelijken.



Figuur 3.6 N₂O-emissie voor alle gemeten stallen tijdens de referentiemetingen. VKR1: bedrijf 1; VKR2: bedrijf 2.

4 Conclusies

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van praktijkmetingen die op twee gesloten bedrijven voor roséleeskalveren in de periode oktober 2018 – oktober 2020 zijn uitgevoerd. Hieronder worden de belangrijkste conclusies op basis van de voorgestelde doelen weergegeven:

De methaanemissie uit vleeskalverenstallen vast te stellen

- De gemiddelde emissie +/- standaarddeviatie tussen metingen bedroeg voor de referentiemetingen:

	Jong rosé (VKR1)		Oud rosé (VKR2)	
	Opfok	Afmest	Opfok	Afmest
CH ₄ -emissie (g/dag/dier)	65,3 ± 35,4	141,3 ± 60,3	114,0 ± 51,6	275,5 ± 129,1
NH ₃ -emissie (g/dag/dier)	7,6 ± 1,9	6,9 ± 1,9	7,3 ± 3,6	11,5 ± 4,4
N ₂ O-emissie (g/dag/dier)	0,31 ± 0,13	0,23 ± 0,14	0,23 ± 0,08	0,81 ± 0,57

- De gemiddelde emissie +/- standaarddeviatie tussen metingen bedroeg voor de continue metingen:

	Jong rosé (VKR1)		Oud rosé (VKR2)	
	Opfok	Afmest	Opfok	Afmest
CH ₄ -emissie (g/dag/dier)	70,2 ± 38,7	143,5 ± 65,8	114,1 ± 60,7	304,5 ± 107,6
NH ₃ -emissie (g/dag/dier)	8,0 ± 2,5	7,5 ± 2,7	6,5 ± 3,8	13,9 ± 6,0
N ₂ O-emissie (g/dag/dier)	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten

- Deze emissies zijn gebaseerd op metingen die gedurende een aantal ronden per bedrijf zijn uitgevoerd, met de volgende (gemiddelde) eigenschappen:
 - Jong rosé (VKR1):
 - Opfok: ronde met een lengte van 98 dagen; diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde
 - Afmest: ronde met een lengte van 117 dagen; diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde
 - Oud rosé (VKR2):
 - Opfok: ronde met een lengte van 93 dagen; diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde
 - Afmest: ronde met een lengte van 198 dagen; diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde

Demonstratie van directe bedrijfsmonitoring van emissies van methaan en ammoniak en demonstratie van de wijze waarop dit kan bijdragen aan het terugdringen van de methaanemissie via bedrijfsspecifieke maatregelen

- Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.
- Bedrijfsmonitoring zou ingezet kunnen worden om het effect van emissiereductie maatregelen inzichtelijk te maken, mits de apparatuur voldoende gecontroleerd is (door middel van referentiemetingen). Waarborging blijft nog een aandachtspunt.

Literatuur

- Berkhout, P., H van der Meulen, P. Ramaekers, 2022. Staat van Landbouw en Voedsel; Editie 2021. Wageningen/Heerlen/Den Haag, Wageningen Economic Research en Centraal Bureau voor de Statistiek, Rapport 2022-013. 164 blz.; 72 fig.; 23 tab.; 220 ref.
- Beurskens, A.G.C. en J.M.G. Hol. 2004. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LXI. Stal voor vleeskalveren (witvlees productie). Agrotechnology & Food Innovations Rapport 220.
- Beurskens, A.G.C., M.J.M. Wagemans en J.M.G. Hol. 2004. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LXII. Stal voor vleeskalveren (rosé vlees productie). Agrotechnology & Food Innovations Rapport 313.
- Blanken, K., A. Evers, W. Ouweltjes, J. Verkaik, I. Vermeij en H. Wemmenhove. 2021. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2021-2022. Handboek 45, september 2021.
- CBS, 2022. Landbouwtelling. Geraadpleegd 29-3-2022
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?ts=1648566163589>
- Emissieregistratie. 2022. Broeikasgasemissies van 1990 t/m 2020, conform AR5-GWP's, vastgesteld in januari 2022. www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/international/broeikasgassen.aspx
- Groenestein, C.M. en A.J.A. Aarnink. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Animal Sciences Group Intern rapport 200808.
- 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.
- Groenestein, C.M., A.J.A. Aarnink, H. Ellen, S. Bokma, P. Bikker, 2017. PAS-referenties huisvesting landbouwhuisdieren; Wageningen Livestock Research, Vertrouwelijk Rapport 1083.
- Hol, J.W.G. en C.M. Groenestein. 1997. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXI: verschillende huisvestingssystemen voor vleeskalveren. DLO Rapport 97-1001.
- 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.
- Melse, R.W., J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink. 2016. Laboratory tests of Draeger Polytron 8000 with FL-6813260 sensor for NH₃ measurement. Wageningen Livestock Research Report 972.
- Monteny, G.J. en W. van Hoof. 2020. Emissiearme vleeskalverstallen, deelrapport fase 3. Case/control metingen aan emissiereducerende systemen voor wit-/blankvleeskalveren gedurende 2 afmestperiodes in 2018/2019 in Someren (Noord-Brabant).
- Mosquera, J., T. van Hattum, G.M. Nijeboer, J.M.G. Hol, H.J.C. van Dooren en S. Bokma. 2017a. Effect of floor type on the ammonia and odour emission from veal calves housing. Wageningen University & Research Rapport 980.
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, G.M. Nijeboer, J.M.G. Hol, R.W. Melse, en N.W.M. Ogink. 2017b. Onderzoek naar de nauwkeurigheid van een nieuw type sensor voor ammoniakconcentraties in stallucht. Wageningen Livestock Research Rapport 1042.
- 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 Rapport 1284.
- Ogink, N.W.M. en P.N. Lens. 2000. Geuremissies uit de veehouderij. Overzichtsrapportage van geurmetingen in de varkenshouderij, pluimveehouderij en rundveehouderij. IMAG Nota P 2000-11.
- 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.

-
- Ruyssenaars, 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. 2021. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2019. National Inventory Report 2021. RIVM Report-2021-0007.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 178. 224 p.
- 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)

Bijlage 1 Resultaten per locatie

Bedrijf 1 (VKR1)

De metingen zijn uitgevoerd op een gesloten bedrijf voor rosé vleeskalveren. Op dit bedrijf bestaat een productieronde uit twee onderdelen, namelijk het opfok en afmest van de dieren, waarbij een korte afmestperiode wordt toegepast (jong-rosé vleeskalveren). De dieren worden met een gewicht van rond 54 kg in een afdeling geplaatst (opfokstal), waar de dieren in gemiddelde 98 dagen tot een gewicht van 166 kg groeien (gemiddelden op basis van informatie uit zeven productieronden). De kalveren krijgen in deze periode gemiddeld 25 kg melk per dier. Deze waarden zijn iets hoger dan de landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021). Dan worden de dieren verplaatst naar een andere stal (afmeststal), waar ze in gemiddelde 117 dagen van 166 kg tot een eindgewicht van 348 kg groeien (gemiddelden op basis van informatie uit zes productieronden). Deze waarden zijn ook iets hoger dan de landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021).

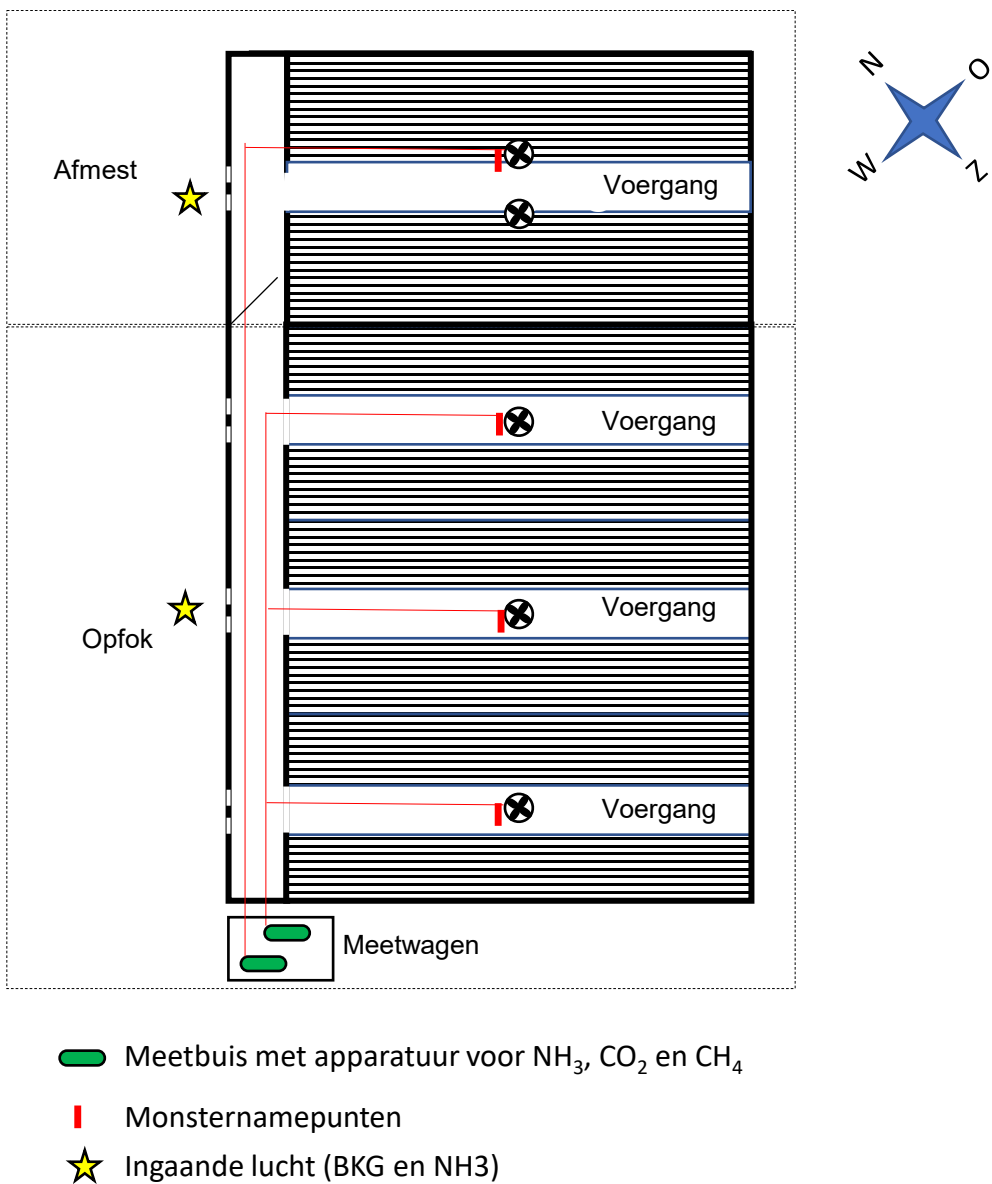
De opfokstal bestond uit één ruimte met drie identieke afdelingen voor in totaal 156 dieren in groepshuisvesting (afmetingen stal: 20 x 21,6 m; 30 hokken (10 per afdeling)). De dieren hadden 1,8 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. In de stal bevond zich een mestkelder (0,3 m diep) onder een traditioneel houten roostervloer. Lucht komt via luchtinlaten (van 2 x 1,0 m per afdeling) de stal binnen, en wordt afgevoerd door middel van drie ventilatoren (een per afdeling) met een diameter van 50 cm die in de nok zijn aangebracht. De ingaande lucht werd handmatig gereguleerd door de opening aan te passen. De ventilatie werd gereguleerd op basis van de staltemperatuur. De afdelingen stonden via de centrale gang direct in verbinding met elkaar. De dieren krijgen twee keer per dag melk, een keer per dag ruwvoer, en hebben onbeperkt toegang tot water via waterbakjes.

De afmeststal bestond uit een grote afdeling met ruimte voor 82 dieren in groepshuisvesting (afmetingen 20 x 9,9 m; 10 hokken). De dieren hadden 1,8 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. In de stal bevond zich een mestkelder (1,2 m diep) onder een traditioneel houten roostervloer. Lucht komt via luchtinlaten (van 2 x 1,2 m per afdeling) de stal binnen, en wordt afgevoerd door middel van een ventilator met een diameter van 63 cm die in de nok is geplaatst (in de afdeling zijn twee ventilatoren geplaatst, maar een van de ventilatoren was niet in werking en de koker werd dichtgemaakt). Ook hier kon de ingaande lucht worden gereguleerd door de opening aan te passen en de ventilatie werd gereguleerd door staltemperatuur. De dieren krijgen twee keer per dag ruwvoer, en hebben onbeperkt toegang tot water via drinkbakjes.

In Figuur VKR1.1 worden voor beide stallen de stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur weergegeven. In tabel VKR1.1a en Tabel VKR1.1b worden de belangrijkste productieresultaten voor respectievelijk de gemeten opfok- en afmeststallen samengevat. Het rantsoen bestaat uit een mengsel van ruwvoer en krachtvoer, met verschillende proporties afhankelijk van leeftijd van de dieren (tabel VKR1.c).

De metingen zijn op beide stallen uitgevoerd, om de volledige productieronde in kaart te brengen. De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 25/02/2019 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er voor zowel de opfok- als voor de afmeststal elf referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur VKR1.2 (boven)) en de productieronden (Figuur VKR1.2 (onder)). De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de referentiemetingen (T: 10,5 °C; Tabel VKR1.2) was iets lager dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 78%) vergelijkbaar met, en de windsnelheid (WS: 4,0 m/s) iets hoger dan de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Eindhoven T: 10,9 °C; RV: 79%; WS: 3,7 m/s). Voor de continue metingen was de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,8 °C; Tabel VKR1.2) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 74%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,8 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelde. In Figuur VKR1.3 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten temperatuur en -luchtvochtigheid binnen de stallen (opfok en afmest); temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten de stallen geregistreerd bij het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. In Tabel VKR1.3 en

Tabel VKR1.4 worden de data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen voor respectievelijk de opfok- en afmeststal weergegeven.



Figuur VKR1.1 Stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur.

Tabel VKR1.1a Productieresultaten opfokstal voor de gemeten productieronden (meetlocatie VKR1), en landelijk gemiddelden (Blanken et al., 2021).

Opfokstal	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3	Ronde 4	Ronde 5	Ronde 6	Ronde 7	Landelijk gemiddelde
Begindatum	23-1-2019	19-5-2019	17-9-2019	8-1-2020	20-4-2020	5-8-2020	29-10-2020	---
Einddatum	14-5-2019	10-9-2019	21-12-2019	27-3-2020	27-7-2020	23-10-2020	15-2-2021	---
Aantal dieren aan het begin van de ronde	156	156	156	156	156	156	156	---
Aantal dieren afgeleverd	156	156	156	156	156	156	156	---
Lengte productieronde	111	114	95	79	98	79	109	72
Gemiddeld gewicht (begin ronde)	54	53	53	56	54	55	55	50
Gemiddeld gewicht (afloop ronde)	170	168	160	170	165	165	165	110

Tabel VKR1.1b Productieresultaten afmeststal voor de gemeten productieronden (meetlocatie VKR1), en landelijk gemiddelden (Blanken et al., 2021).

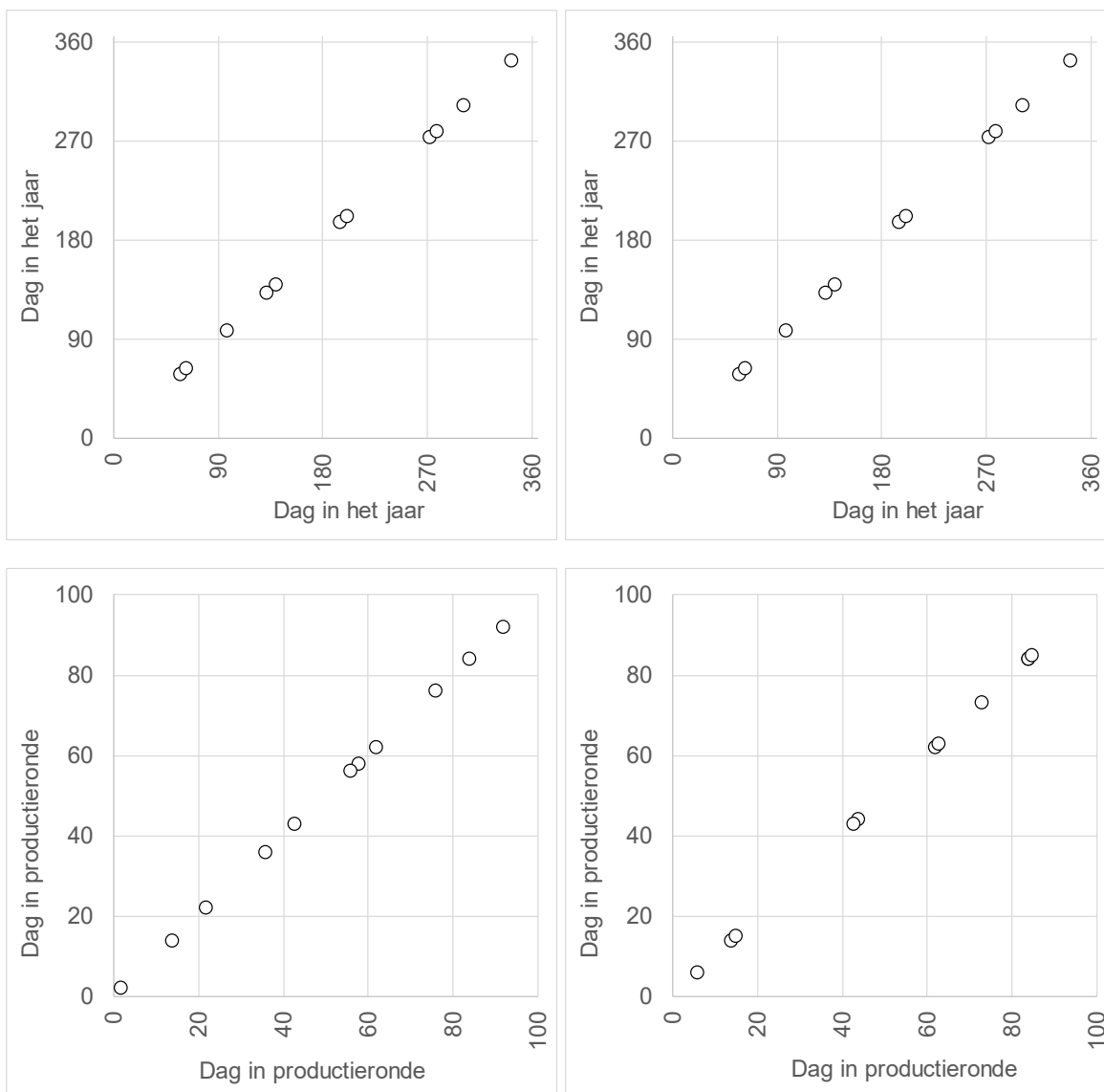
Afmeststal	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3	Ronde 4	Ronde 5	Ronde 6	Landelijk gemiddelde (jong rosé)
Begindatum	Onbekend	15-5-2019	17-9-2019	22-12-2019	27-4-2020	4-8-2020	---
Einddatum	Onbekend	14-9-2019	20-12-2019	20-4-2020	30-7-2020	5-1-2021	---
Aantal dieren aan het begin van de ronde	Onbekend	75	80	80	80	80	---
Aantal dieren afgeleverd	Onbekend	75	80	80	80	80	---
Lengte productieronde	Onbekend	122	94	120	94	154	145
Gemiddeld gewicht (begin ronde)	Onbekend	170	168	160	165	165	110
Gemiddeld gewicht (afloop ronde)	Onbekend	350	345	350	350	345	317

Tabel VKR1.1c Aandeel ruwvoer en krachtvoer (op ds-basis) in het rantsoen van de kalveren (meetlocatie VKR1) op basis van de leeftijd van de dieren

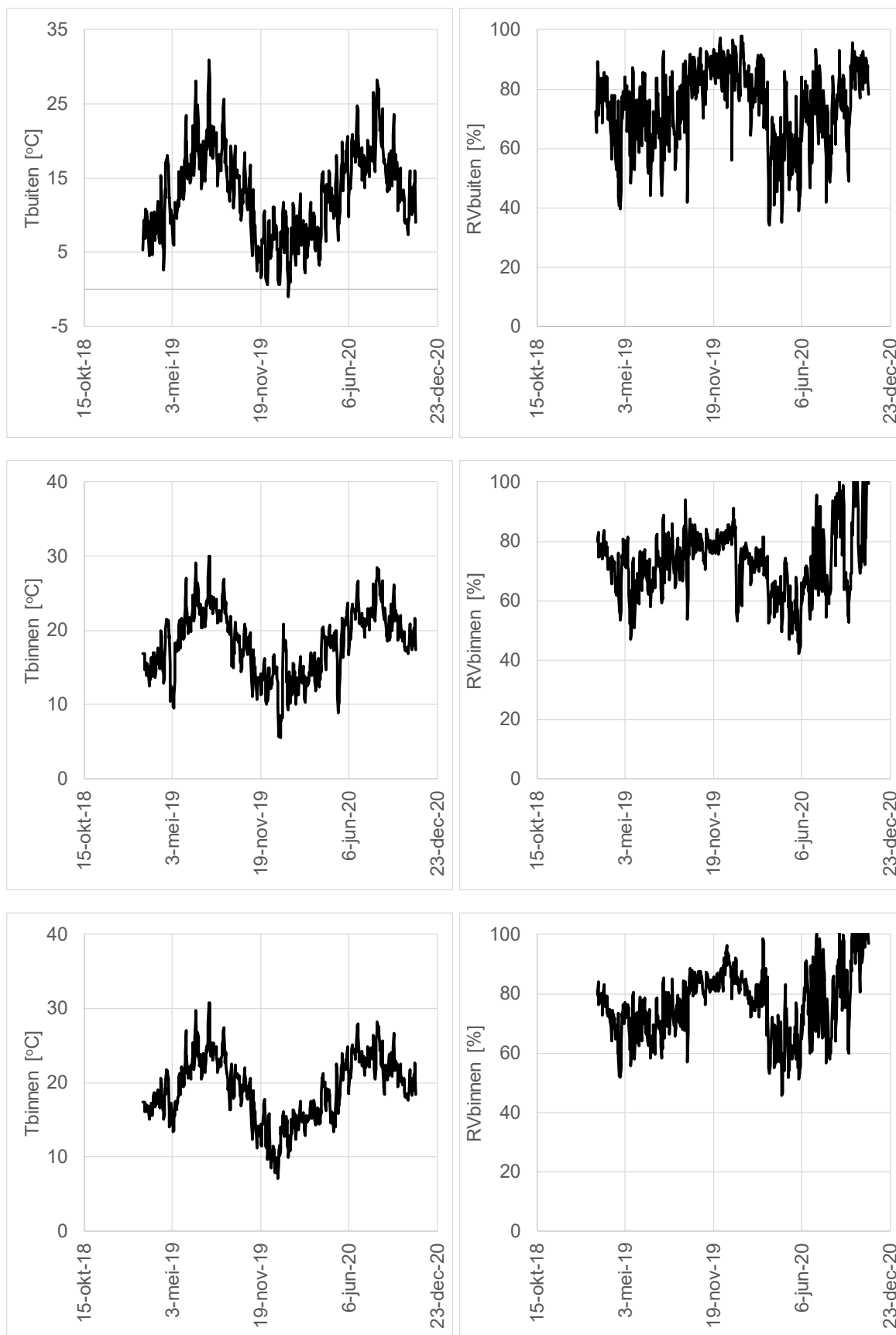
Productieperiode	<12 weken	12-18 weken	18-25 weken	>=25 weken
Ruwvoer (%)	33	33	27	25
Krachtvoer en bijproducten (%)	67	67	73	75

Tabel VKR1.2 Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten opfok- en afmeststallen (meetlocatie VKR1).

	Kenmerk	Opfok		Afmest	
		Continue	Referentie	Continue	Referentie
Klimaat	T-binnen (°C)	18,3 (5,6 : 30,0)	16,5 (10,0 : 21,3)	19,1 (7,1 : 30,8)	18,1 (12,1 : 23,1)
	RV-binnen (%)	73 (42 : 102)	75 (54 : 100)	76 (46 : 102)	77 (61 : 95)
	T-buiten (°C)	12,8 (-1,0 : 30,9)	10,5 (5,2 : 16,3)	12,8 (-1,0 : 30,9)	10,5 (5,2 : 16,3)
	RV-buiten (%)	73,7 (34,2 : 98,0)	77,7 (57,3 : 86,4)	73,7 (34,2 : 98,0)	77,7 (57,3 : 86,4)
	Windrichting	191 (24 : 323)	214 (76 : 304)	191 (24 : 323)	214 (76 : 304)
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,8 (0,4 : 11,3)	4,0 (2,0 : 5,7)	3,8 (0,4 : 11,3)	4,0 (2,0 : 5,7)
Resultaten	Aantal meetdagen	555	11	587	11
	Ventilatie-debiet (m³/uur/dier)	69 (8 : 139)	69 (44 : 101)	124 (9 : 219)	121 (96 : 161)
	CO ₂ stal (ppm)	1165 (564 : 1589)	1124 (621 : 1416)	1064 (499 : 1742)	1078 (767 : 1297)
	CO ₂ buiten (ppm)	507 (423 : 631)	476 (454 : 506)	487 (400 : 616)	476 (454 : 506)
	Aantal meetdagen	618	11	617	11
	NH ₃ stal (ppm)	7,2 (3,0 : 12,6)	6,7 (3,1 : 9,6)	3,8 (1,7 : 8,8)	3,4 (2,2 : 5,1)
	NH ₃ ingaand (ppm)	---	0,08 (0,03 : 0,11)	---	0,08 (0,03 : 0,11)
	NH ₃ -emissie (g/dag per dier)	8,1 (1,0 : 13,8)	7,6 (4,4 : 10,3)	7,6 (0,6 : 16,1)	6,9 (4,4 : 9,8)
	Aantal meetdagen	618	11	616	11
	CH ₄ stal (ppm)	64 (18 : 122)	60 (19 : 99)	80 (25 : 189)	74 (41 : 122)
	CH ₄ ingaand (ppm)	---	2,7 (2,0 : 4)	---	2,7 (2,0 : 4)
	CH ₄ -emissie (g/dag per dier)	70,0 (4,3 : 226,7)	65,3 (14,3 : 129,6)	144,6 (7,8 : 374,6)	141,3 (65,3 : 218,2)
	Aantal meetdagen	---	11	---	11
	N ₂ O stal (ppm)	---	0,49 (0,36 : 0,65)	---	0,42 (0,30 : 0,58)
	N ₂ O ingaand (ppm)	---	0,38 (0,29 : 0,52)	---	0,38 (0,29 : 0,52)
	N ₂ O-emissie (g/dag per dier)	---	0,31 (0,15 : 0,50)	---	0,23 (0,04 : 0,48)



Figuur VKR1.2 Links: opfokstal; Rechts: afmeststal; Boven: Verdeling van de metingen over de seizoenen; Onder: verdeling van de metingen over de productieronde.



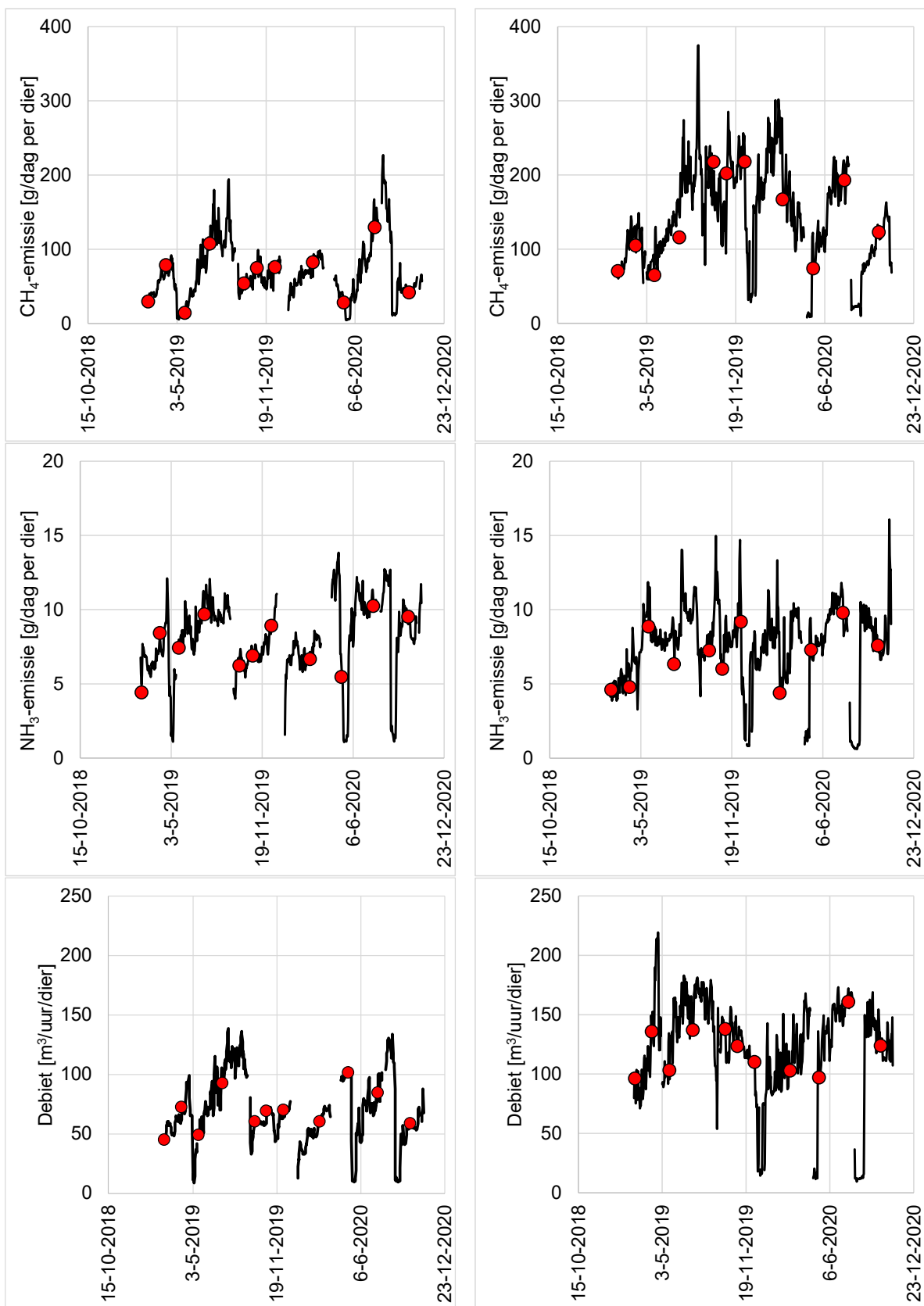
Figuur VKR1.3 Links: temperatuur; Rechts: relatieve luchtvochtigheid; Boven: Buiten; Midden: binnen opfokstal; Onder: Binnen afmeststal.

In Figuur VKR1.4 worden per dag de methaan- en ammoniakemissies en het ventilatiedebiet voor zowel de opfok- als de afmeststal weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van 69 ± 27 m³/uur per dier voor de opfokstal, en van 121 ± 41 m³/uur per dier voor de afmeststal. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet 69 ± 17 m³/uur per dier voor de opfokstal, en van 121 ± 20 m³/uur per dier voor de afmeststal.

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $8,1 \pm 2,5$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,8 \pm 0,2$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 98 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde), en van $7,6 \pm 2,6$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $0,9 \pm 0,3$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 117 dagen en een gemiddelde diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 1,7 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 215 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 348 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie $7,6 \pm 1,9$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,7 \pm 0,2$ kg/ronde per dier), en van $6,9 \pm 1,9$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $0,8 \pm 0,2$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 1,6 kg/ronde.

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $70,0 \pm 38,4$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $6,8 \pm 3,8$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 98 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde), en van $144,6 \pm 65,1$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $16,9 \pm 7,6$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 117 dagen en een gemiddelde diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) 23,6 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 215 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 348 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie $65,3 \pm 35,4$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $6,4 \pm 3,5$ kg/ronde per dier), en van $141,3 \pm 60,3$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $16,5 \pm 7,0$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) 22,9 kg/ronde.

Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde lachgasemissie $0,31 \pm 0,13$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $30,7 \pm 12,6$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 98 dagen en een gemiddelde diergewicht van 54 kg aan het begin van de ronde en van 166 kg na afloop van de ronde), en van $0,23 \pm 0,14$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $26,5 \pm 16,7$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 117 dagen en een gemiddelde diergewicht van 166 kg aan het begin van de ronde en van 348 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale lachgasemissie (opfok+afmest) 57,2 g/ronde. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij deze afdelingen voor vleeskalveren uitgevoerd.



Figuur VKR1.4 Links: opfokstal; Rechts: afmeststal; Boven: CH₄-emissie (g/dag per dier); Midden: NH₃-emissie (g/dag per dier); Onder: Ventilatie-debiet (m³/uur per dier). De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven.

Tabel VKR1.3

Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, gemiddelde klimaat- en managementgegevens, en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies) tijdens de referentiemetingen voor de opfokstal.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Datum		27-2-2019	8-4-2019	20-5-2019	15-7-2019	30-9-2019	29-10-2019	9-12-2019	3-3-2020	11-5-2020	20-7-2020	5-10-2020
Dag in het jaar		58	98	140	196	273	302	343	63	132	202	279
Klimaat	T-binnen (°C)	16,9	18,4	18,3	20,6	19,1	12,6	13,0	12,8	10,0	21,3	19,1
	RV-binnen (%)	0,0	72,6	73,5	76,2	82,1	72,6	78,5	73,9	54,4	63,5	100,5
	T-buiten (°C)	8,4	11,6	12,7	15,0	15,2	5,7	5,3	5,2	7,7	16,3	12,6
	RV-buiten (%)	76,8	72,5	86,4	76,8	84,0	81,7	82,4	84,0	57,3	66,2	86,3
	Windrichting	212,8	129,9	301,5	289,2	230,5	76,0	234,0	211,0	164,5	303,9	196,0
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,0	3,5	4,2	2,0	5,0	2,8	5,6	4,0	4,9	3,1	5,7
Management	Dierplaatsen	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156
	Aanwezige dieren	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156
	Bezettingsgraad	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Dag in productieronde	36	76	2	58	14	43	84	56	22	92	62
	Gewicht [kg]	91	132	54	111	68	100	146	135	78	157	140
Resultaten	CO ₂ stal (ppm)	1181	1411	929	1245	944	1149	1416	1360	621	1098	1015
	CO ₂ ingaand (ppm)	506	486	470	477	506	482	456	462	471	469	454
	Debiet (m ³ /dier/uur)	44	71	48	92	59	69	69	59	101	84	58
	NH ₃ stal (ppm)	5,9	7,0	9,0	6,2	6,2	5,8	7,4	6,5	3,1	7,2	9,6
	NH ₃ ingaand (ppm)	0,07	0,11	0,09	0,06	0,07	0,08	0,08	0,11	0,07	0,03	0,07
	NH ₃ emissie (g/dag per dier)	4,4	8,4	7,4	9,7	6,2	6,9	8,9	6,7	5,5	10,3	9,5
	CH ₄ stal (ppm)	44,2	70,7	20,3	74,9	59,3	69,3	69,1	86,4	19,2	99,1	47,5
	CH ₄ ingaand (ppm)	2,6	2,7	2,0	2,2	3,1	3,7	2,4	2,8	2,4	2,9	2,9
	CH ₄ emissie (g/dag per dier)	29,8	78,6	14,3	107,8	54,1	74,8	76,1	82,4	28,4	129,6	41,9
	N ₂ O stal (ppm)	0,42	0,36	0,60	0,43	0,65	0,36	0,59	0,48	0,40	0,64	0,42
	N ₂ O ingaand (ppm)	0,31	0,29	0,37	0,33	0,47	0,30	0,49	0,41	0,37	0,52	0,29
	N ₂ O emissie (g/dag per dier)	0,22	0,20	0,50	0,41	0,50	0,20	0,32	0,20	0,15	0,42	0,35

Tabel VKR1.4

Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, gemiddelde klimaat- en managementgegevens, en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies) tijdens de referentiemetingen voor de afmeststal.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Datum	27-2-2019	8-4-2019	20-5-2019	15-7-2019	30-9-2019	29-10-2019	9-12-2019	3-3-2020	11-5-2020	20-7-2020	5-10-2020
Dag in het jaar	58	98	140	196	273	302	343	63	132	202	279
Klimaat	T-binnen (°C)	17,4	19,2	18,8	21,6	20,8	13,8	12,1	15,0	16,7	23,1
	RV-binnen (%)	0,0	71,6	79,9	71,6	84,5	79,0	82,5	77,1	60,9	67,9
	T-buiten (°C)	8,4	11,6	12,7	15,0	15,2	5,7	5,3	5,2	7,7	16,3
	RV-buiten (%)	76,8	72,5	86,4	76,8	84,0	81,7	82,4	84,0	57,3	66,2
	Windrichting	212,8	129,9	301,5	289,2	230,5	76,0	234,0	211,0	164,5	303,9
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,0	3,5	4,2	2,0	5,0	2,8	5,6	4,0	4,9	3,1
Management	Dierplaatsen	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	Aanwezige dieren	80	80	80	75	80	80	80	80	80	80
	Bezettingsgraad	98	98	98	91	98	98	98	98	98	98
	Dag in productieronde	44	84	6	62	14	43	84	73	15	85
	Gewicht [kg]	236	298	177	260	192	247	324	274	193	330
Resultaten	CO ₂ stal (ppm)	1190	1251	943	1009	1123	1067	1297	1035	1049	1123
	CO ₂ ingaand (ppm)	506	486	470	477	506	482	456	462	471	469
	Debiet (m ³ /dier/uur)	96	136	103	137	138	124	110	103	97	161
	NH ₃ stal (ppm)	2,8	2,2	5,1	2,8	3,1	2,9	4,8	2,5	4,4	3,6
	NH ₃ ingaand (ppm)	0,07	0,11	0,09	0,06	0,07	0,08	0,08	0,11	0,07	0,03
	NH ₃ emissie (g/dag per dier)	4,6	4,8	8,9	6,3	7,3	6,0	9,2	4,4	7,3	9,8
	CH ₄ stal (ppm)	47,6	50,5	40,9	54,9	101,1	102,8	121,5	101,5	49,2	78,0
	CH ₄ ingaand (ppm)	2,6	2,7	2,0	2,2	3,1	3,7	2,4	2,8	2,4	2,9
	CH ₄ emissie (g/dag per dier)	70,7	105,4	65,3	116,3	217,9	202,5	218,2	167,4	74,4	193,3
	N ₂ O stal (ppm)	0,42	0,30	0,43	0,37	0,51	0,31	0,55	0,44	0,41	0,58
	N ₂ O ingaand (ppm)	0,31	0,29	0,37	0,33	0,47	0,30	0,49	0,41	0,37	0,52
	N ₂ O emissie (g/dag per dier)	0,48	0,04	0,30	0,22	0,25	0,09	0,33	0,13	0,20	0,40

Bedrijf 2 (VKR2)

De metingen zijn uitgevoerd op een gesloten bedrijf voor roséveeskalveren. Op dit bedrijf bestaat een productieronde uit twee onderdelen, namelijk het opfok en afmest van de dieren (oud-roséveeskalveren). De dieren worden met een gewicht van rond 53 kg in een afdeling geplaatst (opfokstal), waar de dieren in gemiddelde 93 dagen tot een gewicht van 136 kg groeien (gemiddelden op basis van informatie uit negen productieronden). De kalveren krijgen in deze periode gemiddeld 24 kg melk per dier. Deze waarden zijn iets hoger dan de landelijk gemiddelde (Blanken *et al.*, 2021). Dan worden de dieren verplaatst naar een andere stal (afmeststal), waar ze in gemiddelde 198 dagen van 136 kg tot een eindgewicht van 410 kg groeien (gemiddelden op basis van informatie uit vijf productieronden). Deze waarden zijn ook iets hoger dan de landelijk gemiddelde.

De opfokstal bestond uit één ruimte met vijf identieke afdelingen voor in totaal 274 dieren in groepshuisvesting (afmetingen stal: 18,6 x 37,5 m; 50 hokken (10 per afdeling)). De dieren hadden 1,5 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. In de stal bevond zich een mestkelder (1,25 m diep) onder een houten roostervloer met rubberen toplaag (EasyFix). Mest wordt een keer per jaar (voornamelijk in het voorjaar) uit de stal verwijderd. Lucht komt via deuren met rolluik aan de oostzijde van de stal de stal binnen, en wordt afgevoerd door middel van vijf ventilatoren (een per afdeling) met een diameter van 50 cm die in de nok zijn aangebracht. De afdelingen stonden via de centrale gang direct in verbinding met elkaar. De dieren krijgen twee keer per dag melk (om 7:00 en 16:00 uur), een keer per dag ruwvoer (om 11:00; twee keer per dag wordt dit weer opnieuw aangeschoven) en hebben onbeperkt toegang tot water.

De afmeststal bestond uit één ruimte voor 286 dieren in groepshuisvesting (afmetingen 55 x 14,5 m; 26 hokken). De dieren hadden 1,8 m²/dier leefoppervlakte ter beschikking. In de stal bevond zich een mestkelder (2,25 m diep) onder een houten roostervloer met rubberen toplaag (EasyFix). Mest wordt voornamelijk in het voorjaar uit de stal verwijderd. Lucht komt de stal binnen via ruiten/kleppen hoog in beide zijmuren, en wordt afgevoerd door middel van vier ventilatoren met een diameter van 82 cm die in de nok zijn geplaatst. De dieren krijgen een keer per dag ruwvoer (gemengd rantsoen; twee keer per dag wordt dit weer opnieuw aangeschoven), en hebben onbeperkt toegang tot water via waterbakjes.

In Figuur VKR2.1 worden voor beide stallen de stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur weergegeven. In tabel VKR2.1a en Tabel VKR2.1b worden de belangrijkste productieresultaten voor respectievelijk de gemeten opfok- en afmeststallen samengevat. Het rantsoen bestaat uit een mengsel van ruwvoer en krachtvoer, met verschillende proporties afhankelijk van leeftijd van de dieren (tabel VKR2.c).

De metingen zijn op beide stallen uitgevoerd, om de volledige productieronde in kaart te brengen. De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 19/03/2019 – 26/10/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er voor de opfokstal negen en voor de afmeststal tien referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur VKR2.2 (boven)) en de productieronden (Figuur VKR2.2 (onder)). De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de referentiemetingen (T: 13,5 °C; Tabel VKR2.2) was hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 76%) lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,1 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Hupsel T: 10,2 °C; RV: 81%; WS: 3,3 m/s). Voor de continue metingen was de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,6 °C; Tabel VKR2.2) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 78%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,2 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelde. In Figuur VKR2.3 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten temperatuur en -luchtvochtigheid binnen de stallen (opfok en afmest); temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten de stallen geregistreerd bij het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. In Tabel VKR2.3 en Tabel VKR2.4 worden de data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen voor respectievelijk de opfok- en afmeststal weergegeven.



Figuur VKR2.3 Afmeststal.

Tabel VKR2.1a Productieresultaten opfokstal voor de gemeten productieronden (meetlocatie VKR2), en landelijk gemiddelden (Blanken et al., 2021).

Opfokstal	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3	Ronde 4	Ronde 5	Ronde 6	Ronde 6	Ronde 6	Ronde 7	Landelijk
Begindatum	4-7-2018	10-10-	16-1-2019	24-4-2019	31-7-2019	6-11-2019	12-2-2020	20-5-2020	26-8-2020	---
Einddatum	5-10-	11-1-2019	16-4-2019	26-7-2019	1-11-2019	6-2-2020	14-5-2020	25-8-2020	1-12-2020	---
Aantal dieren (begin ronde)	281	284	281	280	280	280	280	280	280	---
Aantal dieren afgeleverd	279	279	277	278	273	276	277	278	277	---
Lengte productieronde	93	93	90	93	93	92	92	97	97	72
Gemiddeld gewicht (begin ronde)	52	53	52	53	53	54,4	53	53	50	50
Gemiddeld gewicht (afloop ronde)	145	142	135	137	141	133	133	136	131	110

Tabel VKR2.1b Productieresultaten afmeststal voor de gemeten productieronden (meetlocatie VKR2), en landelijk gemiddelden (Blanken et al., 2021).

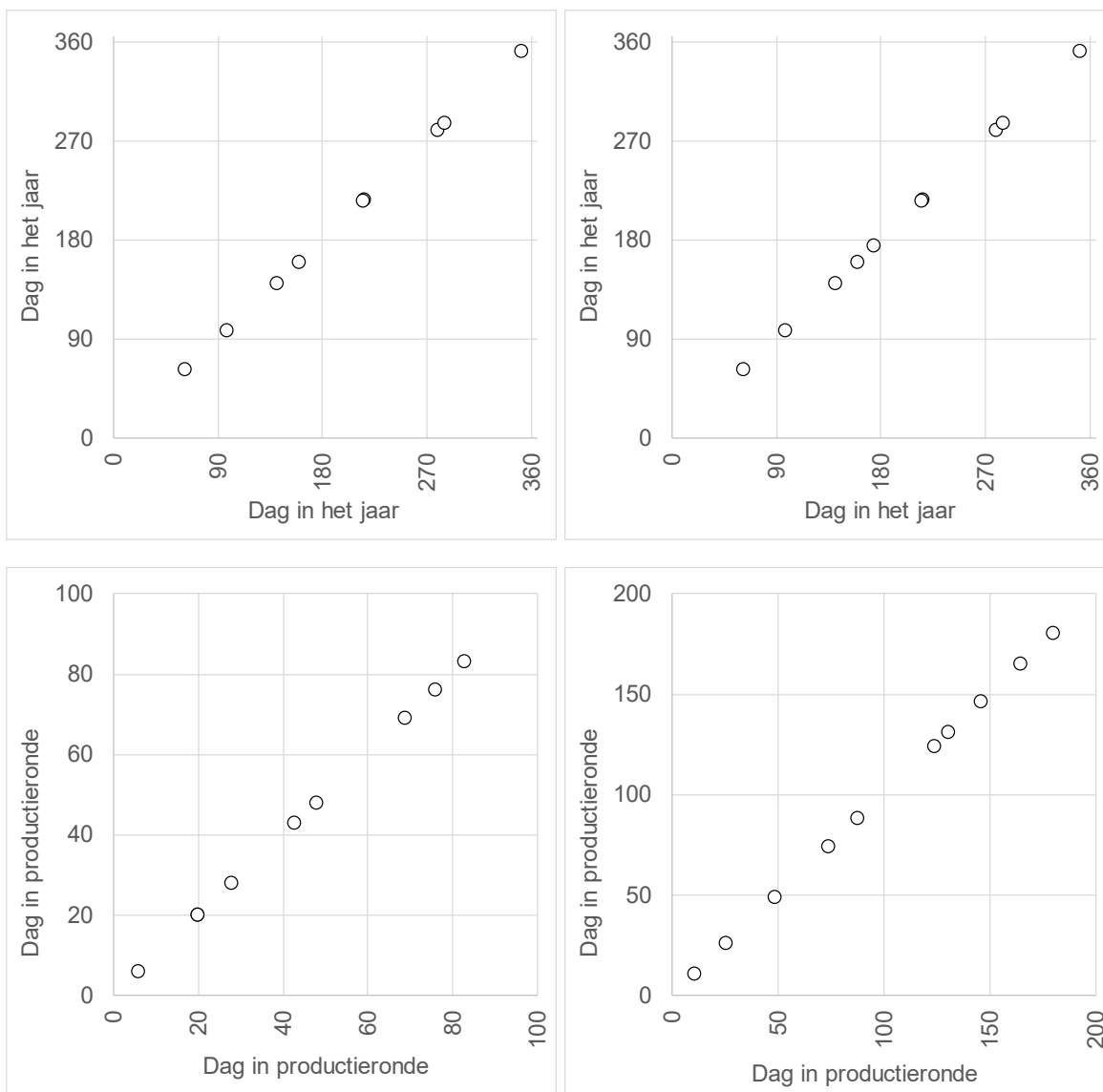
Afmeststal	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3	Ronde 4	Ronde 5	Landelijk gemiddelde (oud rosé)
Begindatum	15-6-2018	11-1-2019	26-7-2019	6-2-2020	25-8-2020	---
Einddatum	8-1-2019	23-7-2019	4-2-2020	24-8-2020	11-3-2021	---
Aantal dieren aan het begin van de ronde	271	279	278	280	280	---
Aantal dieren afgeleverd	268	277	271	275	271	---
Lengte productieronde	207	193	193	200	198	205
Gemiddeld gewicht (begin ronde)	133	142.5	137	133	136.2	110
Gemiddeld gewicht (afloop ronde)	395	417	386	431	421	380

Tabel VKR2.1c Aandeel ruwvoer en krachtvoer (op ds-basis) in het rantsoen van de kalveren (meetlocatie VKR2) op basis van de leeftijd van de dieren

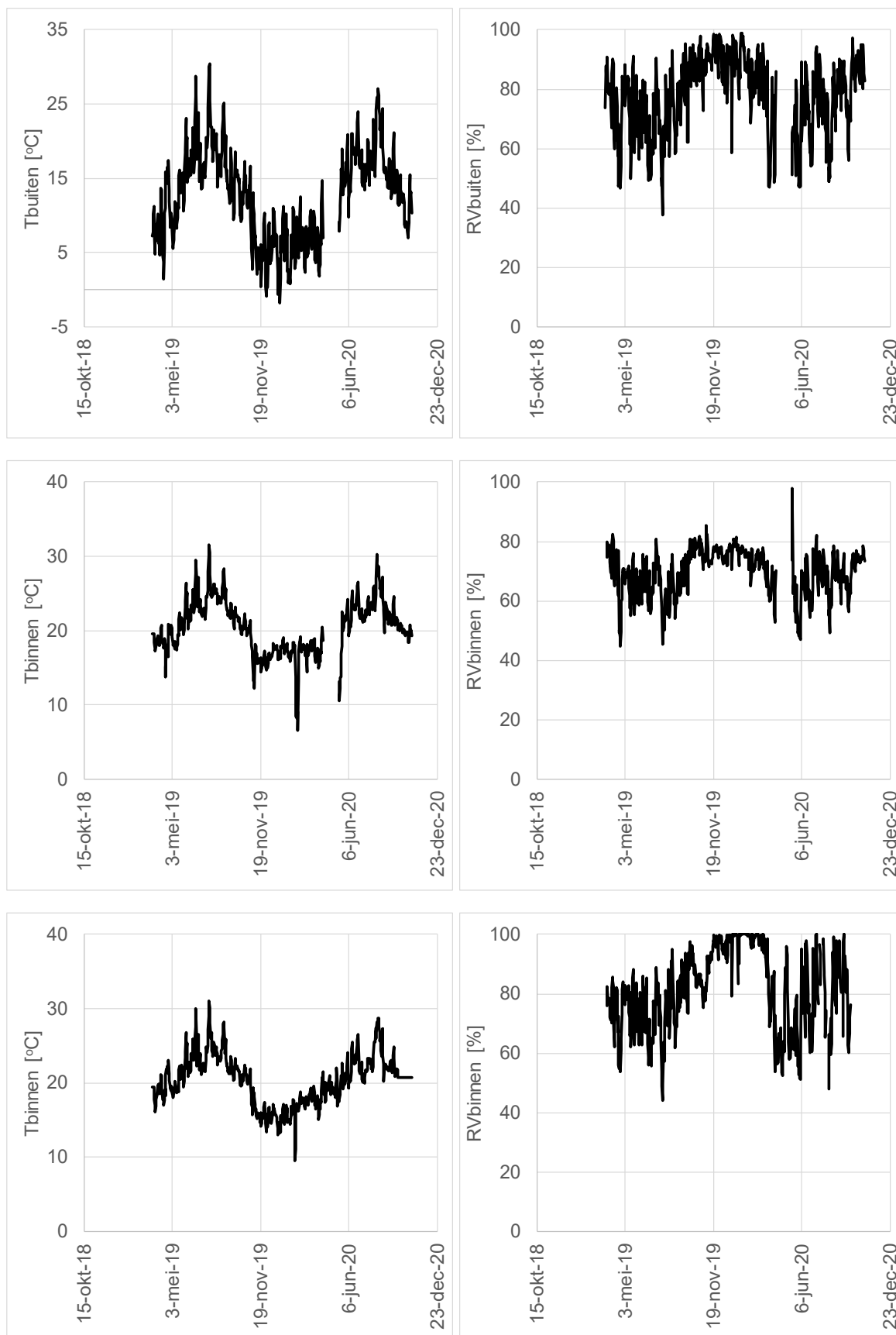
Productieperiode	0-4 weken	5-7 weken	8-9 weken	10-19 weken	20-30 weken	31-41 weken
Ruwvoer (%)	0	10	17	36	36	30
Krachtvoer en bijproducten (%)	100	90	83	64	64	70

Tabel VKR2.2 Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten opfok- en afmeststallen (meetlocatie VKR2).

	Kenmerk	Opfok		Afmest	
		Continue	Referentie	Continue	Referentie
Klimaat	T-binnen (°C)	20,4 (6,6 : 31,5)	21,2 (16,3 : 28,6)	20,3 (9,6 : 31,1)	21,6 (15,9 : 28,8)
	RV-binnen (%)	70 (45 : 98)	69 (57 : 78)	81 (44 : 100)	80 (57 : 98)
	T-buiten (°C)	12,6 (-1,7 : 30,4)	13,5 (5,2 : 27,4)	12,5 (-1,7 : 30,4)	13,5 (5,2 : 27,4)
	RV-buiten (%)	77,8 (37,8 : 98,8)	76,0 (50,5 : 89,3)	77,0 (37,8 : 98,8)	76,0 (50,5 : 89,3)
	Windrichting	188 (34 : 334)	184 (54 : 298)	187 (34 : 334)	184 (54 : 298)
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,2 (0,7 : 9,6)	3,1 (1,8 : 4,1)	3,2 (0,7 : 9,6)	3,1 (1,8 : 4,1)
Resultaten	Aantal meetdagen	521	9	557	10
	Ventilatie-debiet (m ³ /uur/dier)	45 (7 : 116)	40 (18 : 61)	122 (14 : 287)	111 (23 : 272)
	CO ₂ stal (ppm)	1536 (567 : 2563)	1654 (1135 : 2067)	1570 (647 : 2496)	1582 (996 : 2016)
	CO ₂ buiten (ppm)	551 (508 : 644)	485 (457 : 551)	465 (421 : 540)	482 (455 : 551)
	Aantal meetdagen	543	9	562	10
	NH ₃ stal (ppm)	8,9 (2,1 : 21,8)	10,7 (5,1 : 17,9)	7,6 (3,2 : 18,8)	7,4 (3,3 : 11,7)
	NH ₃ buiten (ppm)	---	0,11 (0,06 : 0,22)	---	0,11 (0,06 : 0,23)
	NH ₃ -emissie (g/dag per dier)	6,7 (1,0 : 18,4)	7,3 (2,5 : 12,7)	14,0 (2,1 : 30,3)	11,5 (3,7 : 20,1)
	Aantal meetdagen	552	9	562	10
	CH ₄ stal (ppm)	179 (44 : 469)	186 (101 : 257)	193 (66 : 445)	199 (64 : 321)
	CH ₄ buiten (ppm)	---	4,0 (2,4 : 6)	---	3,8 (1,9 : 6)
	CH ₄ -emissie (g/dag per dier)	118,2 (30,8 : 324,0)	114,0 (57,3 : 192,9)	305,2 (63,3 : 584,9)	275,5 (110,2 : 542,9)
	Aantal meetdagen	---	9	---	10
	N ₂ O stal (ppm)	---	0,51 (0,37 : 0,71)	---	0,54 (0,41 : 0,67)
	N ₂ O buiten (ppm)	---	0,36 (0,29 : 0,49)	---	0,36 (0,29 : 0,49)
	N ₂ O-emissie (g/dag per dier)	---	0,23 (0,13 : 0,38)	---	0,81 (0,23 : 1,70)



Figuur VKR2.2 Links: opfokstal; Rechts: afmeststal; Boven: Verdeling van de metingen over de seizoenen; Onder: verdeling van de metingen over de productieronde.



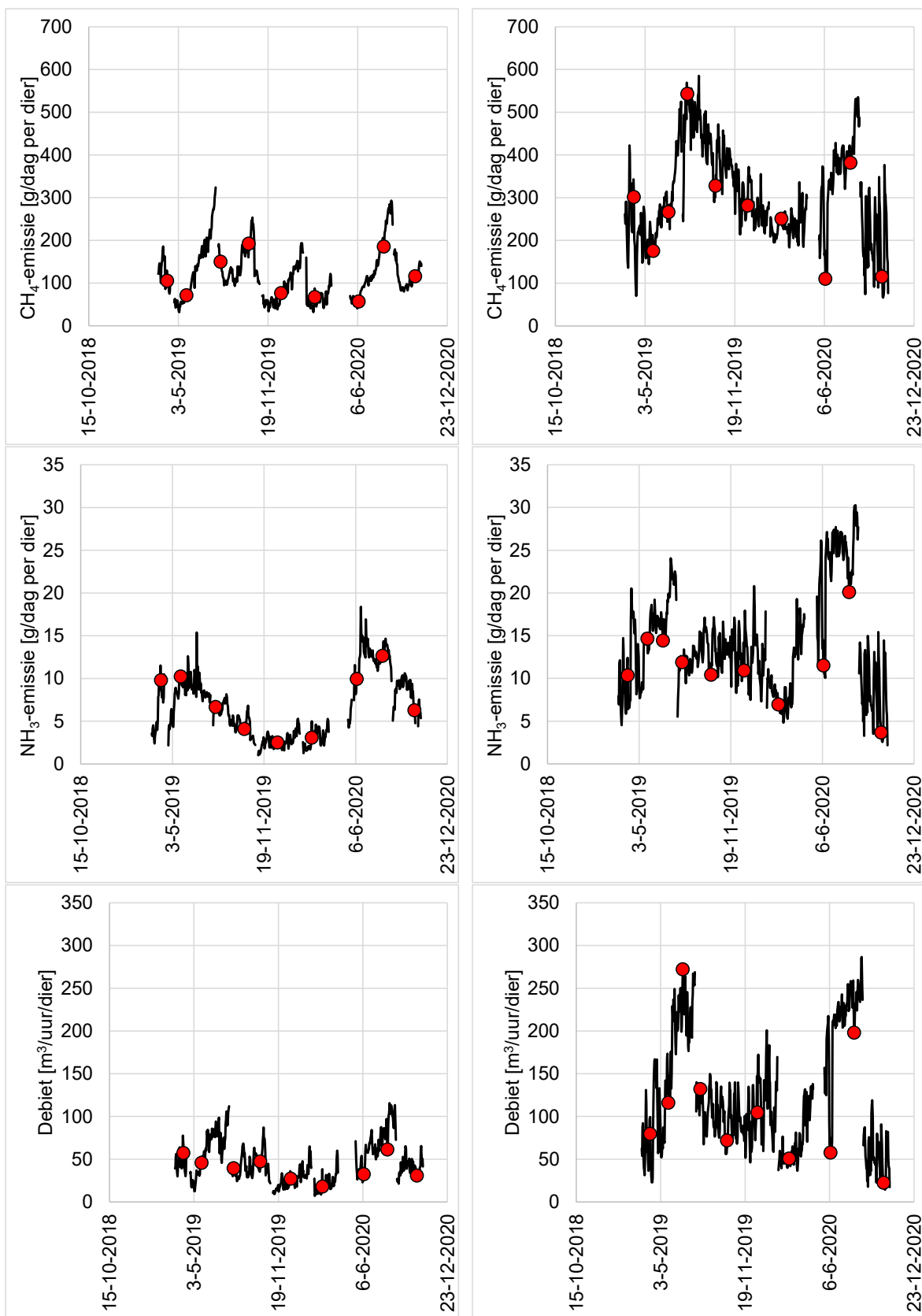
Figuur VKR2.3 Links: temperatuur; Rechts: relatieve luchtvochtigheid; Boven: Buiten; Midden: binnen opfokstal; Onder: Binnen afmeststal.

In Figuur VKR2.4 worden per dag de methaan- en ammoniakemissies en het ventilatiedebiet voor zowel de opfok- als de afmeststal weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van 45 ± 24 m³/uur per dier voor de opfokstal, en van 122 ± 68 m³/uur per dier voor de afmeststal. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet 40 ± 14 m³/uur per dier voor de opfokstal, en van 111 ± 72 m³/uur per dier voor de afmeststal.

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $6,7 \pm 3,7$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,6 \pm 0,3$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 93 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde), en van $14,0 \pm 5,9$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $2,8 \pm 1,2$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 198 dagen en een gemiddelde diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 3,4 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 292 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 410 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie $7,3 \pm 3,6$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $0,7 \pm 0,3$ kg/ronde per dier), en van $11,5 \pm 4,4$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $2,3 \pm 0,9$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale ammoniakemissie (opfok+afmest) 3,0 kg/ronde.

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $118,2 \pm 58,7$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $11,0 \pm 5,5$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 93 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde), en van $305,2 \pm 107,1$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $60,5 \pm 21,2$ kg/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 198 dagen en een gemiddelde diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) 71,0 kg/ronde (voor een ronde met een gemiddelde lengte van 292 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de (opfok)ronde en van 410 kg na afloop van de (afmest)ronde). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie $114,0 \pm 51,6$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $10,6 \pm 4,8$ kg/ronde per dier), en van $275,5 \pm 129,1$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $54,6 \pm 25,6$ kg/ronde per dier). Per afgeleverd dier was de totale methaanemissie (opfok+afmest) 65,3 kg/ronde.

Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde lachgasemissie $0,23 \pm 0,08$ g/dag per dier voor de opfokstal (oftewel $21,3 \pm 7,1$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 93 dagen en een gemiddelde diergewicht van 53 kg aan het begin van de ronde en van 137 kg na afloop van de ronde), en van $0,81 \pm 0,57$ g/dag per dier voor de afmeststal (oftewel $161,5 \pm 112,9$ g/ronde per dier, voor een ronde met een gemiddelde lengte van 198 dagen en een gemiddelde diergewicht van 137 kg aan het begin van de ronde en van 410 kg na afloop van de ronde). Per afgeleverd dier was de totale lachgasemissie (opfok+afmest) 182,9 g/ronde. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij deze afdelingen voor vleeskalveren uitgevoerd.



Figuur VKR2.4 Links: opfokstal; Rechts: afmeststal; Boven: CH₄-emissie (g/dag per dier); Midden: NH₃-emissie (g/dag per dier); Onder: Ventilatie-debiet (m³/uur per dier). De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven.

Tabel VKR2.3 Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, gemiddelde klimaat- en managementgegevens, en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies) tijdens de referentiemetingen voor de opfokstal. Door een storing zijn de referentiemetingen op 24-06-2019 niet uitgevoerd.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum	8-4-2019	21-5-2019	24-6-2019	5-8-2019	7-10-2019	18-12-2019	2-3-2020	8-6-2020	3-8-2020	12-10-2020
Dag in het jaar	98	141	175	217	280	352	62	160	216	286
Klimaat	T-binnen (°C)	19,8	20,2	28,6	26,3	20,0	17,7	16,3	20,6	19,6
	RV-binnen (%)	66,8	70,8	57,3	57,3	78,0	75,7	73,5	67,7	74,2
	T-buiten (°C)	11,1	13,2	27,4	20,7	11,4	8,1	5,2	13,5	9,1
	RV-buiten (%)	63,5	80,8	50,5	65,3	89,3	87,3	87,1	76,7	88,1
	Windrichting	53,8	298,3	140,6	200,2	170,2	164,2	208,1	198,2	232,2
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	4,0	4,1	3,5	2,8	3,3	3,2	3,2	3,2	2,0
Management	Dierplaatsen	274	274	274	274	274	274	274	274	274
	Aanwezige dieren	279	279	278	280	280	278	280	280	280
	Bezettingsgraad	102	102	101	102	102	101	102	102	102
	Dag in productieronde	83	28	62	6	69	43	20	20	76
	Gewicht [kg]	129	78	109	58	118	91	70	69	118
Resultaten	CO ₂ stal (ppm)	1749	1254	---	1135	1836	1987	2067	1348	1609
	CO ₂ buiten (ppm)	502	484	---	472	551	457	471	469	481
	Debiet (m ³ /dier/uur)	57	46	---	40	47	27	18	33	61
	NH ₃ stal (ppm)	10,1	13,2	---	10,2	5,1	5,4	10,0	17,9	12,2
	NH ₃ buiten (ppm)	0,10	0,22	---	0,14	0,09	0,06	0,14	0,11	0,09
	NH ₃ emissie (g/dag per dier)	9,8	10,2	---	6,7	4,1	2,5	3,1	10,0	12,7
	CH ₄ stal (ppm)	119,0	101,0	---	245,3	256,9	174,9	234,3	111,7	192,5
	CH ₄ buiten (ppm)	4,8	3,8	---	4,8	5,5	2,4	4,5	2,8	3,4
	CH ₄ emissie (g/dag per dier)	105,9	72,1	---	150,6	192,9	76,8	67,8	57,3	186,2
	N ₂ O stal (ppm)	0,38	0,47	---	0,44	0,37	0,47	0,71	0,70	0,58
	N ₂ O buiten (ppm)	0,29	0,35	---	0,32	0,31	0,31	0,36	0,43	0,49
	N ₂ O emissie (g/dag per dier)	0,22	0,24	---	0,21	0,13	0,20	0,29	0,38	0,25

Tabel VKR2.4 Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, gemiddelde klimaat- en managementgegevens, en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies) tijdens de referentiemetingen voor de afmeststal.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum	8-4-2019	21-5-2019	24-6-2019	5-8-2019	7-10-2019	18-12-2019	2-3-2020	8-6-2020	3-8-2020	12-10-2020
Dag in het jaar	98	141	175	217	280	352	62	160	216	286
Klimaat	T-binnen (°C)	20,2	20,6	28,8	25,3	20,4	15,9	17,7	20,4	25,6
	RV-binnen (%)	67,1	81,1	57,4	70,5	88,0	96,3	98,2	84,8	---
	T-buiten (°C)	11,1	13,2	27,4	20,7	11,4	8,1	5,2	13,5	15,6
	RV-buiten (%)	63,5	80,8	50,5	65,3	89,3	87,3	87,1	76,7	71,6
	Windrichting	53,8	298,3	140,6	200,2	170,2	164,2	208,1	198,2	232,2
	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	4,0	4,1	3,5	2,8	3,3	3,2	3,2	3,2	1,8
Management	Dierplaatsen	286	286	286	286	286	286	286	286	286
	Aanwezige dieren	278	278	277	278	276	273	280	277	275
	Bezettingsgraad	97	97	97	97	97	95	98	97	96
	Dag in productieronde	88	131	165	11	74	146	26	124	180
	Gewicht [kg]	265	327	375	150	232	325	170	317	401
Resultaten	CO ₂ stal (ppm)	1808	1568	996	1280	1851	1605	2016	1408	1331
	CO ₂ buiten (ppm)	502	484	455	472	551	457	471	469	481
	Debiet (m ³ /dier/uur)	80	116	272	132	72	105	51	58	198
	NH ₃ stal (ppm)	7,7	7,6	3,3	5,5	8,5	6,0	8,0	11,7	6,1
	NH ₃ buiten (ppm)	0,11	0,23	0,08	0,14	0,09	0,06	0,14	0,11	0,09
	NH ₃ emissie (g/dag per dier)	10,4	14,7	14,4	11,9	10,4	10,9	6,9	11,5	20,1
	CH ₄ stal (ppm)	238,7	97,4	64,3	263,4	287,0	166,3	307,1	120,6	124,9
	CH ₄ buiten (ppm)	4,8	3,8	1,9	4,8	5,5	2,4	4,5	2,8	3,4
	CH ₄ emissie (g/dag per dier)	301,9	175,5	266,6	542,9	328,1	281,8	251,0	110,2	381,9
	N ₂ O stal (ppm)	0,41	0,66	0,50	0,42	0,51	0,42	0,63	0,56	0,67
	N ₂ O buiten (ppm)	0,29	0,35	0,36	0,32	0,31	0,31	0,36	0,43	0,49
	N ₂ O emissie (g/dag per dier)	0,42	1,62	1,70	0,55	0,64	0,51	0,60	0,33	1,54

Bijlage 2 Meetapparatuur

B.2.1. Continue metingen (concentraties)

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. (2017b) beschreven.



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

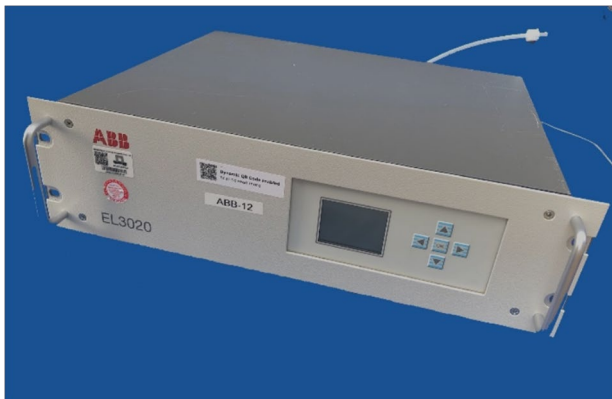
Voor het meten van de CO_2 -concentraties in stallen is in dit onderzoek door WLR gebruik gemaakt van een passieve *Non-dispersive infrared* (NDIR)-sensor (Figuur B2.2; Vaisala CARBOCAP® met GMP252 sensor; <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/GMP252-User-Guide-in-English-M211897EN.pdf>). 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 CH_4 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-concentratiemetingen.

B.2.2 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 monsternameleiding 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 ~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 NH₃ 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 NH₄⁺ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH₃-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.



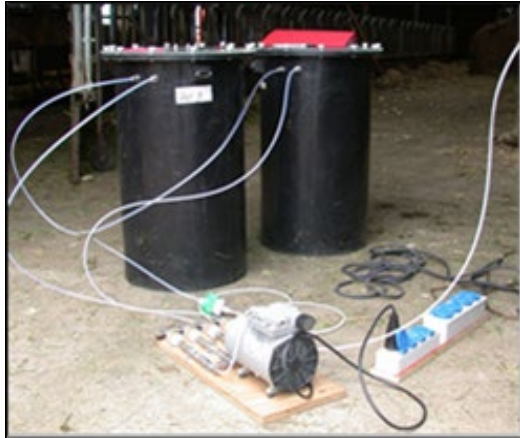
Figuur B2.4 Meetopstelling WLR voor NH₃-referentiemetingen. Links: wasflessen. Midden: Droge gasstroommeter (DryCal® Defender 510-m, Bios Int. Corp, VS). Rechts: pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS), monsternameleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (diameter: 8 mm; lengte: 80 mm), gehuisvest in a roestvrijstaal container voor bescherming).

B.2.3 Referentiemetingen voor CO₂, CH₄ en N₂O: 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 (CO₂, CH₄ en N₂O) 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, Thermo Trace 1300 GC; kolom: Haysep Q; detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: TCD) bepaald.



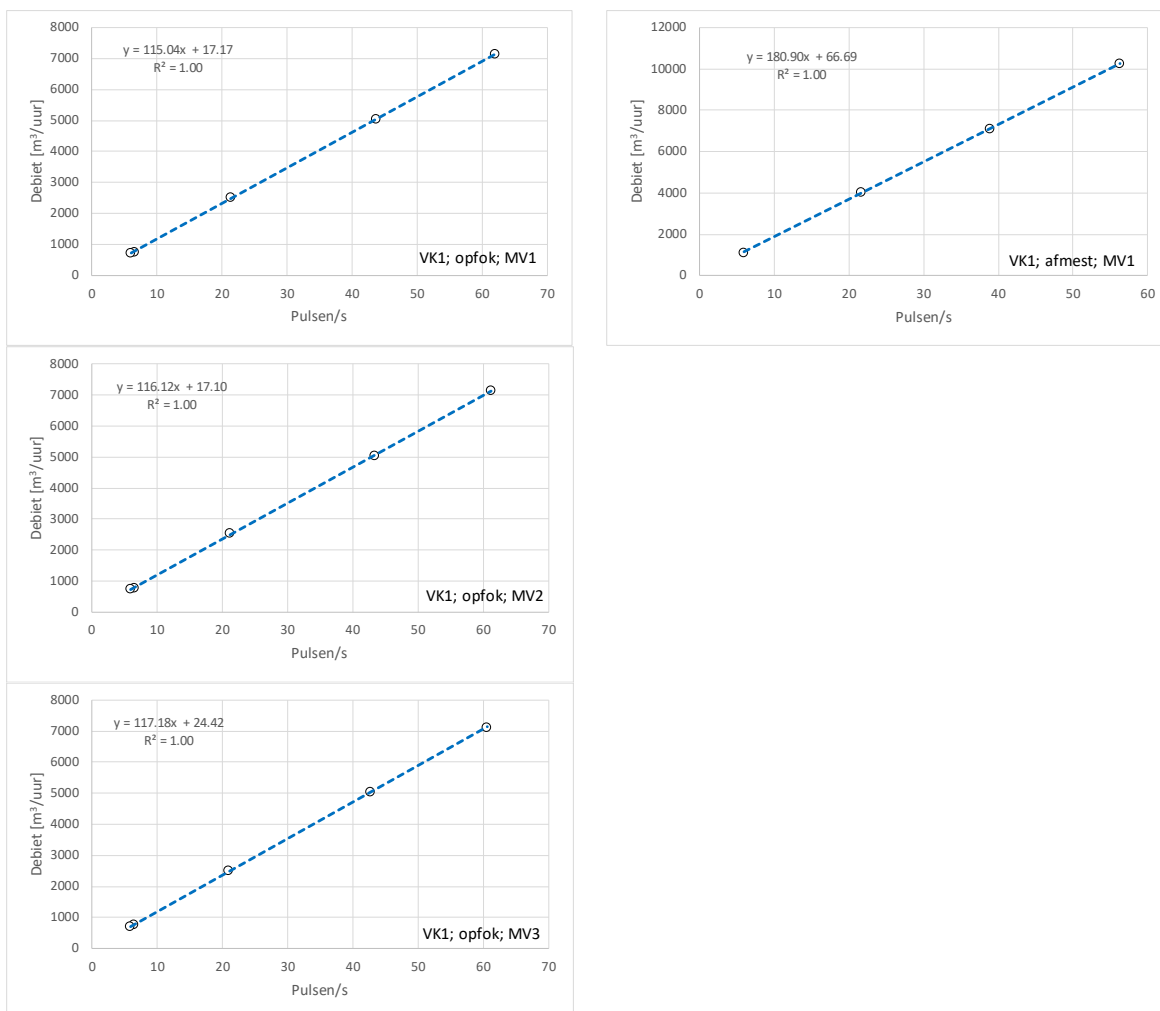
Figuur B2.5 Meetopstelling WLR voor broeikasgas-referentiemetingen (via longmethode). Gesloten vaten met 40 liter Nalophan monsternamenzakken voor luchtbemonstering, monsternameleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (binnendiameter: 8 mm; lengte: 80 mm), ondergebracht 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.

B.2.3 Kalibratie meetwaaiers

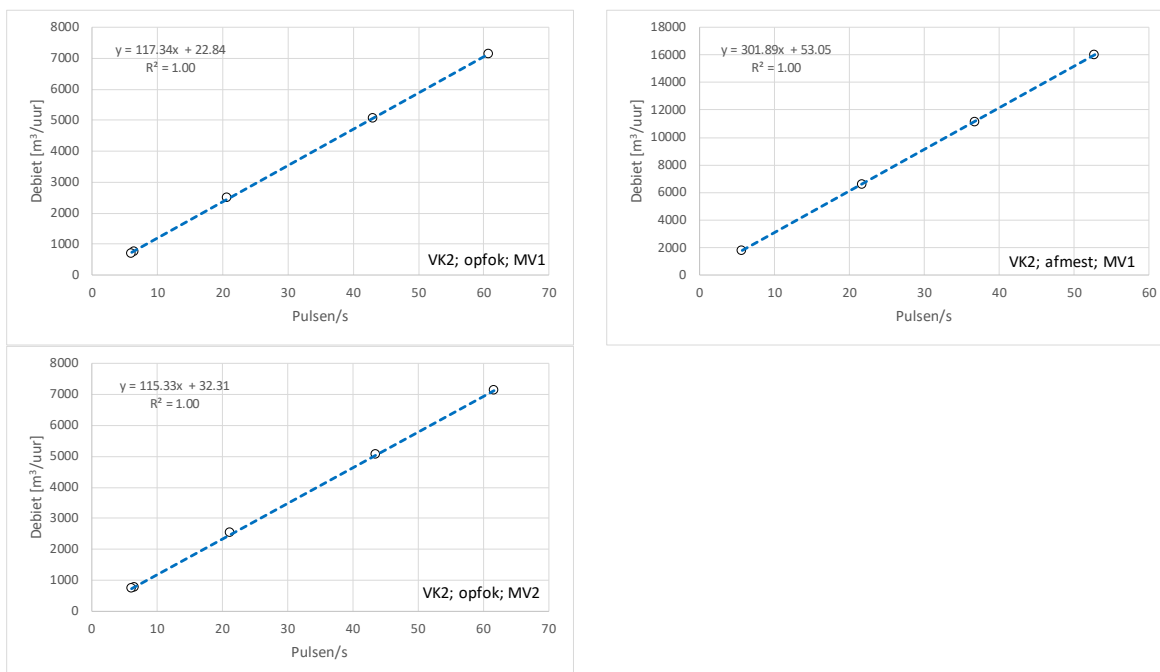
Op 30 november 2020 zijn een aantal meetwaaiers met verschillende maten door Vostermans Ventilation BV te Venlo gekalibreerd. In tabel B2.1 wordt een overzicht gegeven van het aantal ventilatoren dat in de verschillende stallen aanwezig waren, en van bij hoeveel van deze ventilatoren een meetwaaier is geplaatst. De gevonden kalibratielijnen worden in Figuur B2.6 en Figuur B2.7 voor respectievelijk bedrijf 1 en 2 weergegeven.

Tabel B2.1 Per bedrijf en stal, aantal aanwezige ventilatoren en geplaatste meetwaaiers

Bedrijf	Stal	Aantal aanwezige ventilatoren	Aantal geplaatste meetwaaiers
VKR1	Opfok	3	3
	Afmest	1	1
VKR2	Opfok	5	2
	Afmest	4	1



Figuur B2.6 Kalibratielijnen meetwaaiers bij bedrijf 1. Links: opfokstal, de meetwaaiers hadden een diameter van 50 cm. Rechts: afmeststal, de geplaatste meetwaaier had een diameter van 63 cm.



Figuur B2.7 Kalibratielijnen meetwaaiers bij bedrijf 2. Links: opfokstal, de meetwaaiers hadden een diameter van 50 cm. Rechts: afmeststal, de geplaatste meetwaaier had een diameter van 82 cm.

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.

