



---

# Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

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

Rapport 1377



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

J. Mosquera, H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, 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, september 2022

---

Rapport 1377

---

Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink, 2021; *Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020, 2022*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1377.

**Samenvatting NL** In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van de emissies van methaan, ammoniak en lachgas die in twee afdelingen met vleesvarkens, twee afdelingen met biggen, en één afdeling met dragende zeugen zijn uitgevoerd in de periode oktober 2018 – oktober 2020. De metingen zijn continu uitgevoerd (met behulp van een bedrijfsmonitoringssysteem met sensoren voor ammoniak, methaan en kooldioxide). Daarnaast zijn elke twee maanden referentiemetingen uitgevoerd. Doel van de metingen was de methaanemissie uit traditionele huisvestingsystemen voor varkens vast te stellen en zicht te krijgen op de variatie binnen en tussen bedrijven. Naast methaan zijn ook de emissies van ammoniak en lachgas gemeten. Op basis van referentiemetingen en een leegstand van 9% was de gemiddelde emissie  $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen ( $n=1$ ) voor biggen gehuisvest in een volledig roostervloerstal  $1,3 \pm 1,0$  kg CH<sub>4</sub> per jaar per dierplaats,  $0,40 \pm 0,20$  kg NH<sub>3</sub> per jaar per dierplaats en  $33 \pm 20$  g N<sub>2</sub>O per jaar per dierplaats. Voor biggen in een gedeeltelijk roostervloerstal ( $n=1$ ) waren de emissies  $6,4 \pm 1,5$  kg CH<sub>4</sub> per jaar per dierplaats,  $0,62 \pm 0,11$  kg NH<sub>3</sub> per jaar per dierplaats en  $34 \pm 14$  g N<sub>2</sub>O per jaar per dierplaats. Voor dragende zeugen in groepshuisvesting ( $n=1$ ) waren de emissies ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen, en gecorrigeerd voor een leegstand van 3%)  $18,5 \pm 8,2$  kg CH<sub>4</sub> per jaar per dierplaats,  $3,4 \pm 1,1$  kg NH<sub>3</sub> per jaar per dierplaats en  $50 \pm 40$  g N<sub>2</sub>O per jaar per dierplaats. Voor vleesvarkens in een gedeeltelijk roostervloerstal ( $n=2$ ) zijn de emissies ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven, en gecorrigeerd voor een leegstand van 3%)  $16,4 \pm 5,0$  kg CH<sub>4</sub> per jaar per dierplaats,  $2,0 \pm 0,3$  kg NH<sub>3</sub> per jaar per dierplaats en  $41 \pm 14$  g N<sub>2</sub>O per jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.

**Summary UK** This report summarizes the results of emission measurements that were carried out on two houses with finishing pigs, two houses with piglets, and one house with gestation sows in the period October 2018 – October 2020. The measurements were performed continuously using a measurement system equipped with sensors for ammonia, methane and carbon dioxide. Besides, reference measurements were performed every 2 months. Goal of the measurements was to determine the average methane emission (CH<sub>4</sub>) from pigs and the variation within and between farms and to explore the effect of different farm characteristics on the emission. Beside methane emissions also emissions of ammonia (NH<sub>3</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) have been measured. Based on reference measurements and a level of unoccupancy of the compartment of 9%, the average emission  $\pm$  standard deviation between measurements ( $n=1$ ) for piglets housed in a fully slatted floor was estimated to be  $1.3 \pm 1.0$  kg CH<sub>4</sub> per year per animal place,  $0.40 \pm 0.20$  kg NH<sub>3</sub> per year per animal place and  $33 \pm 20$  g N<sub>2</sub>O per year per animal place. For piglets in a compartment with partly slatted floor ( $n=1$ ), the emissions were  $6.4 \pm 1.5$  kg CH<sub>4</sub> per year per animal place,  $0.62 \pm 0.11$  kg NH<sub>3</sub> per year per animal place and  $34 \pm 14$  g N<sub>2</sub>O per year per animal place. For gestation sows in group housing ( $n=1$ ), the emissions ( $\pm$  standard deviation between measurements and corrected by a level of unoccupancy of 3%) were  $18.5 \pm 8.2$  kg CH<sub>4</sub> per year per animal place,  $3.4 \pm 1.1$  kg NH<sub>3</sub> per year per animal place and  $50 \pm 40$  g N<sub>2</sub>O per year per animal location. For fattening pigs in a partly slatted floor ( $n=2$ ), the emissions ( $\pm$  standard deviation between farms and corrected by a level of unoccupancy of 3%) were  $16.4 \pm 5.0$  kg CH<sub>4</sub> per year per animal place,  $2.0 \pm 0.3$  kg NH<sub>3</sub> per year per animal place and  $41 \pm 14$  g N<sub>2</sub>O per year per animal place. No significant differences were found between the emissions determined by means of continuous measurements and based on the reference measurements.

---

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/572110> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 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 1377

---

---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b>	<b>9</b>
	2.1 Stal en bedrijfssituatie	9
	2.1.1 Biggen	10
	2.1.2 Dragende zeugen	10
	2.1.3 Vleesvarkens	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	16
	2.3.1 Emissieberekening	16
	2.3.2 Statistische analyse	17
<b>3</b>	<b>Resultaten en discussie</b>	<b>18</b>
	3.1 Biggen	18
	3.2 Dragende zeugen	23
	3.3 Vleesvarkens	28
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>34</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>35</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Resultaten per locatie</b>	<b>36</b>
	<b>Biggen: Bedrijf 1 (BG1)</b>	36
	<b>Biggen: Bedrijf 2 (BG2)</b>	43
	<b>Dragende zeugen: Bedrijf 1 (DZ1)</b>	50
	<b>Vleesvarkens: Bedrijf 1 (VV1)</b>	57
	<b>Vleesvarkens: Bedrijf 2 (VV2)</b>	64
<b>Bijlage 2</b>	<b>Meetapparatuur</b>	<b>71</b>

---



# 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 CO<sub>2</sub>-equivalenten waarvan tenminste 1 Mton CO<sub>2</sub>-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 de klimaatvelop 2018 (KE2018) zijn daarom eind 2018 twee projecten opgestart met als belangrijkste doelen:

- de methaanemissie uit melkvee- en geitenstallen (KE2018-1) en uit varkens- en vleeskalverenstallen (KE2018-2) 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 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

Om deze doelen te kunnen realiseren is gekozen voor een jaarrond meetaanpak gebaseerd op continue monitoring van de emissies van methaan (CH<sub>4</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>) op stalniveau die wordt vergeleken met referentiemetingen. Dit rapport beschrijft de resultaten van de metingen die in de periode oktober 2018 – oktober 2020 zijn uitgevoerd op 2 varkenslocaties. Op beide locaties zijn metingen gedaan aan 1 afdeling voor biggen en 1 afdeling voor vleesvarkens. Op één van deze bedrijven zijn ook metingen uitgevoerd in een afdeling met dragende zeugen. In dit rapport zijn de emissies van NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O gemeten volgens de richtlijnen van de huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018). Door het beperkt aantal bedrijven die gemeten is, was niet mogelijk om inzicht te krijgen in de spreiding tussen bedrijven en samenhang met bedrijfsfactoren, wat oorspronkelijk ook doelen van het onderzoek waren.

Op basis van de continue metingen zijn de gemiddelde waarden van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O (+/- standaarddeviatie tussen metingen voor biggen en dragende zeugen, +/- standaarddeviatie tussen bedrijven voor vleesvarkens; emissies gecorrigeerd voor leegstand: 9% voor biggen, 3% voor dragende zeugen en vleesvarkens) voor de verschillende diercategorieën:

Diercategorie	Biggen	Biggen	Dragende zeugen	Vleesvarkens
Systeem	Volledig roostervloer met water- en mestkanaal	Gedeeltelijk roostervloer	Groepshuisvesting	Gedeeltelijk roostervloer
Aantal bedrijven	1	1	1	2
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	6,9 ± 4,0	7,5 ± 4,7	54 ± 29	31 ± 4
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	1,5 ± 0,9	6,8 ± 2,6	16,3 ± 5,9	15,3 ± 3,1
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	0,41 ± 0,19	0,60 ± 0,17	3,3 ± 1,0	2,0 ± 0,2
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dierplaats)	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

Op basis van de referentiemetingen zijn de gemiddelde waarden van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O (+/- standaarddeviatie tussen metingen voor biggen den dragende zeugen, +/- standaarddeviatie tussen bedrijven voor vleesvarkens; emissies gecorrigeerd voor leegstand: 9% voor biggen, 3% voor dragende zeugen en vleesvarkens) voor de verschillende diercategorieën:

Diercategorie	Biggen	Biggen	Dragende zeugen	Vleesvarkens
Systeem	Volledig roostervloer met water- en mestkanaal	Gedeeltelijk roostervloer	Groepshuisvesting	Gedeeltelijk roostervloer
Aantal bedrijven	1	1	1	2
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	6,5 ± 4,8	7,1 ± 4,6	59 ± 26	33 ± 2
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	1,3 ± 1,0	6,4 ± 1,5	18,5 ± 8,2	16,4 ± 5,0
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	0,40 ± 0,20	0,62 ± 0,11	3,4 ± 1,1	2,0 ± 0,3
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dierplaats)	33 ± 20	34 ± 14	50 ± 40	41 ± 14

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

---

# 1 Inleiding

De methaanemissie uit de veehouderij draagt in belangrijke mate bij aan de Nederlandse broeikasgasemissie. 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](http://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 CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>-eq.) bovenop bestaand beleid en bedraagt voor de veehouderij 1,2-2,7 Mton CO<sub>2</sub>-eq. waarvan tenminste 1 Mton CO<sub>2</sub>-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.

De methaanemissie voor varkens wordt momenteel volgens richtlijnen van het IPCC bepaald door middel van standaard (Tier 1) emissiefactoren (enterische methaanemissie) of op een landspecifieke manier (Tier 2) gemodelleerd (methaanemissie uit mest) en gerapporteerd in de zogenaamde National Inventory Reports (NIR) (Ruysenaars et al., 2020). Het gebruikte model en de achterliggende methodiek zijn beschreven in Van Bruggen et al. (2020) en Lagerwerf et al. (2019). In de praktijk zal er sprake zijn van variatie in methaanemissies uit stallen en mestopslagen als gevolg van een groot aantal bedrijfsfactoren die verbonden zijn aan uitvoer van stal en mestopslag, voer- en mestmanagement en omgevingsfactoren (Groenestein et al., 2016). De 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.

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. Dergelijke bedrijfsmonitoring biedt op termijn ook de mogelijkheid om afspraken te maken over de uitstoot van methaan- en ammoniakemissies en deze te borgen.

In het kader van de klimaatenvelop 2018 (KE2018) 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 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

Om deze doelen te kunnen realiseren is gekozen voor een jaarrond meetaanpak gebaseerd op een nieuw systeem voor continue monitoring van de emissie van methaan (CH<sub>4</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>) op stalniveau. Een jaarrond aanpak is noodzakelijk omdat invloedfactoren (voeding, 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, is het niet mogelijk om verschillen binnen en tussen bedrijven statistisch te toetsen. Aanvullend zijn in 2022 in het kader van het Nationaal Kennisprogramma Stikstof (NKS) metingen aan drie mechanisch geventileerde stallen

---

voor dragende zeugen opgestart om de emissies van NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O te bepalen. De verwachting is dat deze metingen aan het einde van 2023 gerapporteerd zullen worden. Daarnaast worden sinds 2020 binnen het klimaatvelop-programma en als onderdeel van het project om het KDV-systeem als emissie-reducerend techniek te testen, emissiemetingen aan verschillende stallen voor biggen en vleesvarkens met een traditionele inrichting uitgevoerd. Gekeken zal worden of, op basis van al deze metingen, een emissiefactor kan worden vastgesteld.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van zowel de referentiemetingen als de continue metingen die op 2 varkenslocaties zijn uitgevoerd (in totaal 2 afdelingen voor biggen, 1 afdeling voor dragende zeugen, en 2 afdelingen voor vleesvarkens). In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving gegeven van de gekozen meetlocaties, meetstrategie en berekeningsmethodiek (inclusief statistische analyse). 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 in 2 biggenstallen, 1 stal voor dragende zeugen, en 2 stallen voor vleesvarkens door Wageningen Livestock Research (WLR) zijn uitgevoerd. Deze metingen maakten onderdeel uit van een project waarin naast deze varkenstallen in dezelfde periode ook metingen zijn uitgevoerd op 18 melkveebedrijven, 2 vleeskalverbedrijven en 2 geitenstallen. De resultaten van de metingen op melkvee-, vleeskalveren- en geitenbedrijven worden elders gerapporteerd. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van de gemeten stallocaties weergegeven. In Bijlage 1 worden de locaties verder toegelicht, inclusief de belangrijkste resultaten per locatie.

In de periode van oktober 2018 t/m oktober 2020 zijn de emissies van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en methaan ( $\text{CH}_4$ ) continue gemeten. Naast de continue metingen zijn elke twee maanden referentiemetingen uitgevoerd om de emissies van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), methaan ( $\text{CH}_4$ ) en lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) volgens de richtlijnen van de huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018) vast te stellen. De verdeling van al deze bedrijven over het land is weergegeven in Figuur 2.1. De varkensbedrijven worden vertegenwoordigd door de roze stippen op de kaart.



**Figuur 2.1** Overzicht meetlocaties melkvee-, geiten-, kalveren- en varkensbedrijven (Bron: Google Maps).

---

### 2.1.1 Biggen

De metingen vonden plaats in twee biggenafdelingen, één per bedrijf. De afdelingen werden mechanisch geventileerd. De lucht kwam via inlaatpunten aan de onder- en bovenkant van de deur bij de voergang (BG1) of via de centrale gang door de roostervloer (BG2) de afdeling binnen, en werd door middel van een ventilator (die onderdruk in de afdelingen creëert) afgevoerd. De dieren hebben een groeitraject van 6-25 kg (over een productieronde van gemiddeld 6-7 weken) bij BG1, en van 7-27 kg (over een productieronde van gemiddeld 6-7 weken) bij BG2, en kregen onbeperkt water en voer. Het leefoppervlak was 0,4 m<sup>2</sup> per dier bij BG1, en 0,32 m<sup>2</sup> per dier bij BG2. De dieren werden in groepen in hokken gehouden. De hokken hadden bij BG1 een volledig roostervloer voorzien voor een deel (27%) uit metalen roosters (waterkanaal) en de rest (73%) kunststof roosters (mestkanaal). Bij BG2 hadden de hokken een gedeeltelijk roostervloer (54% roostervloer (waarvan twee derde van gietijzer, en een derde van composiet), 46% dichte vloer). Onder de rooster bevond zich een mestkelder (60 cm diep bij BG1, 150 cm diep bij BG2), die gelegegd werd wanneer deze vol zat of wanneer de mest direct kon worden afgevoerd.

### 2.1.2 Dragende zeugen

De metingen vonden plaats op een varkensbedrijf in een afdeling van een varkensstal voor dragende zeugen in groepshuisvesting. De afdeling werd mechanisch geventileerd. De lucht kwam via inlaatpunten (kopgevels) met balanskleppen boven de roosters de afdeling binnen, en werd door middel van een ventilator (die onderdruk in de afdelingen creëert) afgevoerd. De dieren kregen onbeperkt water (drinknippels) en twee keer per dag droogvoer (7:00 en 9:30). De dieren werden in groepen in twee grote hokken in de afdeling gehouden, en hadden een leefoppervlak van 2,14 m<sup>2</sup> per dier. De hokken hadden een gedeeltelijk roostervloer (48% roostervloer; 52% dichte betonvloer) voorzien van betonnen roosters. Onder de rooster bevond zich een mestkelder (1,10 m diep), die twee keer per jaar werd schoongemaakt.

### 2.1.3 Vleesvarkens

De metingen vonden plaats in twee vleesvarkensafdelingen, één per bedrijf. De afdelingen werden mechanisch geventileerd. De lucht kwam via de deur (via voergang; VV1) of via het plafond (VV2) de afdeling binnen, en werd door middel van ventilatoren (die onderdruk in de afdelingen creëren) afgevoerd. De dieren hebben een groeitraject van 25-120 kg (over een productieronde van gemiddeld 16 weken) bij VV1, en van 25-130 kg (over een productieronde van gemiddeld 16 weken) bij VV2, en kregen onbeperkt water. Voer werd bij VV1 in brijbakken (droogvoer met drinknippel) één keer per dag verstrekt. Bij VV2 kregen de dieren drie keer per dag (brij)voer. Het leefoppervlak was 1,0 m<sup>2</sup> per dier bij VV1, en 0,8 m<sup>2</sup> per dier bij VV2. De dieren werden in groepen in hokken gehouden. De hokken hadden bij beide locaties een gedeeltelijk roostervloer (VV1: 53% betonnen roostervloer, 47% bolle (dichte) vloer; VV2: 60% betonnen roostervloer, 40% dichte vloer). Bij VV1 was de afdeling volledig onderkelderd (mestkelder: 1,25 m diep), bij VV2 was de mestkelder (1,5 m diep) alleen onder de roosters. Bij VV1 werd na elke ronde de afdeling gereinigd en de mestkelder schoongemaakt, maar niet leeggemaakt. Bij VV2 werd na elke ronde de mest uit de stal afgevoerd en de mestkelder schoongemaakt.

**Tabel 1** Selectie van kenmerken van de bemeten meetlocaties. BG: biggen; DZ: dragende zeugen; VV: vleesvarkens.

Kenmerken	BG1	BG2	DZ1	VV1	VV2
Dierplaatsen	120	270	70	96	160
Leefoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	0,40	0,32	2,14	1,0	0,8
Beschrijving leefoppervlak	Volledig roostervloer (27% metalen roosters, 73% kunststof roosters)	Gedeeltelijk roostervloer (54% roosters, waarvan 66% van gietijzer en 34% van composiet)	Gedeeltelijk roostervloer (48% betonnen roosters, 52% dichte vloer).	Gedeeltelijk roostervloer (53% betonnen roosters, 47% bolle (dichte) vloer).	Gedeeltelijk roostervloer (60% betonnen roostervloer, 40% dichte vloer).
Mestmanagement	Mestkelder (met waterkanaal onder metalen rooster en mestkanaal onder kunststofrooster) ; 60 cm diep). Mestverwijdering bij volle mestkelder of wanneer de mest direct kan worden afgevoerd.	Mestkelder onder de roostervloer (1,50 m diep). Mestverwijdering bij volle mestkelder of wanneer de mest direct kan worden afgevoerd.	Mestkelder onder de roostervloer (schuine wanden, riool opvangput; 1,10 m diep). Mestkelder twee keer per jaar geleegd.	Volledig onderkelderd waarbij de kelders onder de dichte en roostervloer zijn verbonden door openingen onderin de kelder (Mestkelder: 1,25 m diep). Na elke ronde afdeling gereinigd	Mestkelder onder de roostervloer (1,5 m diep). Na elke ronde wordt de mest afgevoerd
Ventilatie	Mechanisch geventileerd. Luchtinlaat: via inlaatpunten aan de onder- en bovenkant van de deur bij de voergang. Luchtuitlaat: 1 ventilator met een diameter van 45 cm	Mechanisch geventileerd. Luchtinlaat: via de centrale gang door het roostervloer van de voergang Luchtuitlaat: 1 ventilator met een diameter van 56 cm	Mechanisch geventileerd. Luchtinlaat: via inlaatpunten (kopgevels) met balanskleppen boven de roosters. Luchtuitlaat: 1 ventilator met een diameter van 71 cm	Mechanisch geventileerd. Luchtinlaat: via inlaatpunt bij de deur. Luchtuitlaat: 2 ventilatoren met een diameter van 45 cm	Mechanisch geventileerd. Luchtinlaat: plafondventilatie Luchtuitlaat: 1 ventilator met een diameter van 71 cm
Voer	Onbeperkt, twee keer per dag ('s ochtends rond 8:30, 's middags rond 17:30) aangevuld	Onbeperkt (droogvoerbak)	Twee keer per dag droogvoer (7:00 en 9:30)	Een keer per dag droogvoer via droogvoerbak met drinknippel.	Brijvoer, drie keer per dag (6:00-13:00-20:00)
Water	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)
Lichtregime	Eerste drie dagen blijft het licht aan, daarna alleen daglicht.	11 uur licht, tussen 7:00-18:00. Nadat de lampen uitgaan gaat een nachtlampje aan.	Naast daglicht via de ramen, 8 uur per dag licht via lampen.	Alleen daglicht	Daglicht, en daarnaast 8 uur licht (tussen 6:00-14:00) via lampen.

---

## 2.2 Metingen

### 2.2.1 Meetstrategie

De emissies van NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O (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<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) in zowel de lucht die de afdeling verlaat (stallucht) als de binnenkomende lucht (buitenlucht). De stalluchtconcentratie is bij de ventilatiekokers in de afdelingen (Figuur 2.2) gemeten, de buitenluchtconcentraties op de plek waar de lucht de afdeling binnenkomt (dit is altijd buiten de afdeling, en kan zowel buiten de stal (als combinatie van verschillende afdelingen) of in de gang van de stal, afhankelijk van hoe de lucht de verschillende afdelingen in de stal binnenkomt). Het ventilatiedebiet werd bij een aantal van de ventilatoren met een gekalibreerde meetwaaier gemeen (Figuur 2.2), 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 zijn) 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, waar 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 kritische openingen werd altijd een overflow gegarandeerd die voldoende is om de referentiemetingen uit te kunnen voeren.

De NH<sub>3</sub>- en CH<sub>4</sub>-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 referentiemetingen) toegepast om op dagbasis een waarde voor de buitenluchtconcentraties van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> 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 varkens de referentiemetingen niet alleen over het jaar maar ook evenredig over de productiestadia verdeeld worden. De reden hiervoor is dat verondersteld wordt dat varkens 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 2.2** Meetopstelling voor mechanisch geventileerde stallen

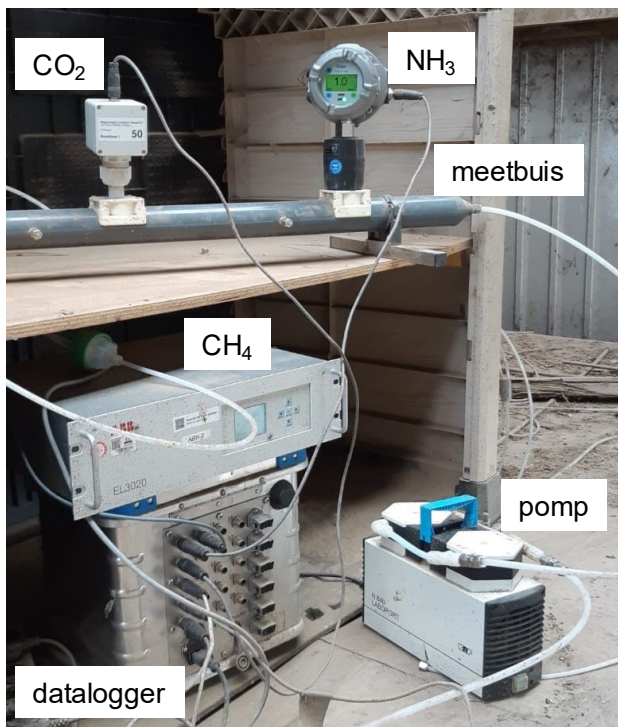
## 2.2.2 Meetapparatuur

### 2.2.2.1 Meetapparatuur voor continue metingen (concentraties)

Voor de continue metingen zijn door WLR de volgende instrumenten gebruikt (Figuur 2.3):

- NH<sub>3</sub>: Dräger Polytron® 8000 (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Duitsland). Deze elektrochemische sensoren zijn via openingen in de meetbuis geplaatst, zodat in de stroom van het gemengde stallucht in de meetbuis de lucht passief bemonsterd kan worden.
- CO<sub>2</sub>: Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252 (Vaisala GmbH, Duitsland). Deze NDIR (Non-Dispersive Infrared) sensoren zijn via openingen in de meetbuis geplaatst, zodat ze in de stroom van de gemengde stallucht in de meetbuis de lucht passief kan worden bemonsterd.
- CH<sub>4</sub>: ABB-Uras26 (ABB, Duitsland). Deze NDIR monitoren zijn via een PE-slang bij 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<sub>4</sub>-concentratie te bepalen.

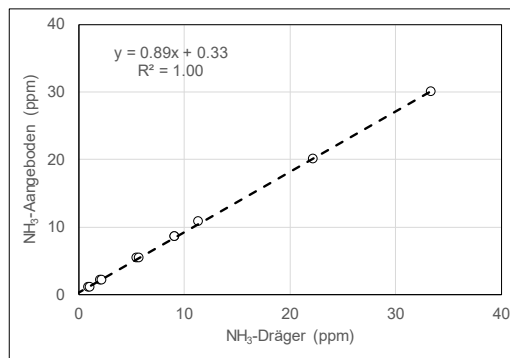
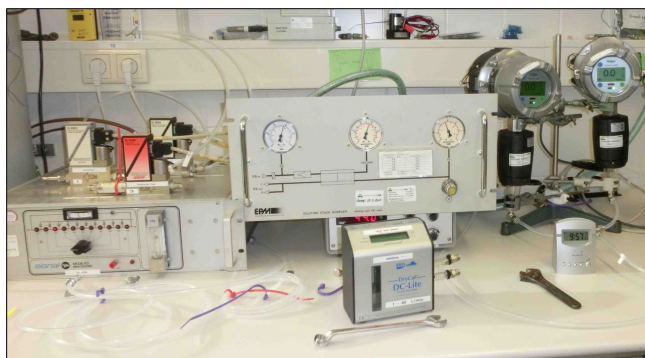
De gemeten concentraties (inclusief het signaal uit de meetwaaiers) in de stal werden elke 5 minuten in een datalogstelsel (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.



**Figuur 2.3** Meetopstelling WLR voor continue metingen.

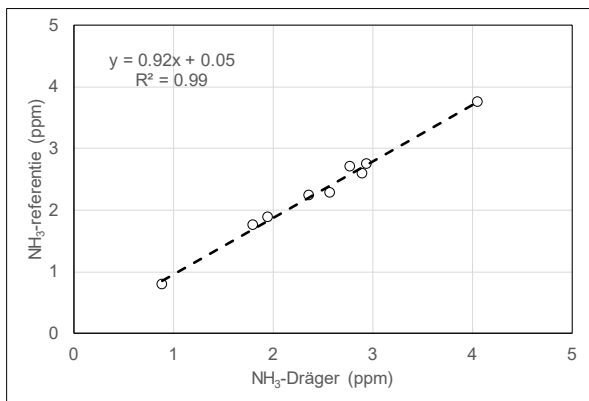
In Bijlage 2 worden deze instrumenten en het bijbehorende meetprincipe kort beschreven. Alle instrumenten zijn op twee verschillende manieren gecontroleerd:

- In het laboratorium is een labkalibratie uitgevoerd (Figuur 2.4). 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 2.4** Links: Meetopstelling voor de kalibratie van NH<sub>3</sub> Dräger-sensoren in het Air Quality Laboratorium (AQL) van Wageningen Livestock Research (WLR). Rechts: regressielijn voor één van de NH<sub>3</sub> 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 bij 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 bij de referentieapparatuur, is een lineaire regressieanalyse ( $y = a * x + b$ ; Figuur 2.5) 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 2.5** Regressielijn (veldkalibratie) van een van de NH<sub>3</sub> 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:

- NH<sub>3</sub>: nat-chemische methode (Figuur 2.6) volgens Mosquera e.a. (2019), met spectrofotometrische bepaling in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR).
- CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O: longmethode (Figuur 2.7) volgens Mosquera e.a. (2020) met analyse van de monsterlucht met gaschromatografie in het laboratorium van WLR.



**Figuur 2.6** Meetopstelling WLR voor NH<sub>3</sub>-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).



**Figuur 2.7** Meetopstelling WLR voor broeikasgas-referentiemetingen (via longmethode).

Gesloten vaten met 40 liter Nalophan monsternamezakken voor luchtmonstering, monsternameleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (binnendiameter: 8 mm; lengte: 80 mm), ondergebracht in een roestvrijstaal container voor bescherming; flow: ~ 20 ml/min).

Lucht wordt met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS) uit het vat gezogen, waardoor de lucht in de zakken wordt aangezogen.

### 2.2.2.3 Meetapparatuur voor ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet in de bemeten stallen werd bepaald door het signaal van de al aanwezige meetwaaiers elke 5 minuten in een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS) op te slaan. Op basis van het opgeslagen signaal en de kalibratielijnen voor de verschillende meetwaaiers is het ventilatiedebiet bepaald. De kalibratielijnen van de verschillende meetwaaiers worden in Bijlage B weergegeven.

### 2.2.2.4 Meetapparatuur voor binnen- en buitenklimaat

- Klimaatgegevens (temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%)) in de stallucht (1 meetpunt midden in de stal) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Vaisala HMP60; Vaisala GmbH, Duitsland).
- De klimaatgegevens buiten de stal (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting) werden uit de dichtstbijzijnde KNMI-weerstation opgehaald.

De gemeten 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 elke twee weken op alle meetlocaties (afdelingen) de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal aanwezige dieren.
- Gemiddelde gewicht van de dieren in de afdeling.
- Leeftijd van de dieren (dagen in de productieronde).
- Voer: voergift, ruweiwit- en energiewaarde

## 2.3 Verwerking gegevens

### 2.3.1 Emissieberekening

De emissies van NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O ( $E_{ij}$ ; in kg/jaar per dierplaats) werden per meetdag ( $i=1, 2, \dots, n$ ), en bedrijf ( $j=1, 2$ ) bepaald op basis van het ventilatiedebiet ( $V_{ij}$ ; in m<sup>3</sup>/uur) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht ( $C_{i,j}^{stal}$ ; in mg/m<sup>3</sup>) en in de ingaande lucht ( $C_{i,j}^{buiten}$ ; in mg/m<sup>3</sup>) van NH<sub>3</sub> (of CH<sub>4</sub>, of N<sub>2</sub>O) volgens:

$$E_{i,j} = V_{i,j} * (C_{i,j}^{stal} - C_{i,j}^{buiten}) * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uur}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{1}{\text{dierplaatsen}} * \text{leegstand}$$

De leegstand voor de verschillende varkenscategorieën wordt in Tabel 2 weergegeven.

**Tabel 2** Leegstandsfactor voor varkens (Groenestein en Aarnink, 2008)

Diercategorie	Leegstand
Biggen	0,91
Dragende zeugen	0,97
Vleesvarkens	0,97

Vervolgens werd per bedrijf de emissie ( $E_j$ ; in kg/jaar per dierplaats) bepaald als de gemiddelde waarde van de emissies per meetdag.

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

---

### 2.3.2 Statistische analyse

Door het beperkt aantal bedrijven die gemeten zijn, 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 Biggen

In de periode van december 2018 – oktober 2020 zijn in twee biggenafdelingen (op twee verschillende varkensbedrijven) continue metingen uitgevoerd om de emissies van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> te bepalen. Daarnaast zijn per locatie een aantal referentiemetingen uitgevoerd volgens de richtlijnen van huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018). Voor biggen betekent dit onder andere dat de metingen niet alleen over het jaar maar ook over de productiestadium evenredig verdeeld moeten worden (de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de groeiperiode; in het tweede deel moeten de metingen ook tussen seizoenen worden verdeeld). In Tabel 3 en Figuur 3.1 worden de gemiddelde meetomstandigheden voor zowel de continue als de referentiemetingen voor beide locaties/afdelingen samengevat. In Bijlage 1 wordt voor beide afdelingen de data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen weergegeven.

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 12/12/2018 – 03/11/2020 bij bedrijf 1 (BG1) en in de periode 24/06/2019 – 03/11/2020 bij bedrijf 2 (BG2) zijn uitgevoerd. In deze perioden zijn er twaalf referentiemetingen bij BG1 en tien referentiemetingen bij BG2 uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur 3.1 (boven)) en de productieronden (Figuur 3.1 (onder)). De gemiddelde dag in het jaar was 174 bij BG1, en 214 bij BG2. Over alle referentiemetingen was de gemiddelde dag in de productieronde 22 bij BG1 en 25 voor BG2.

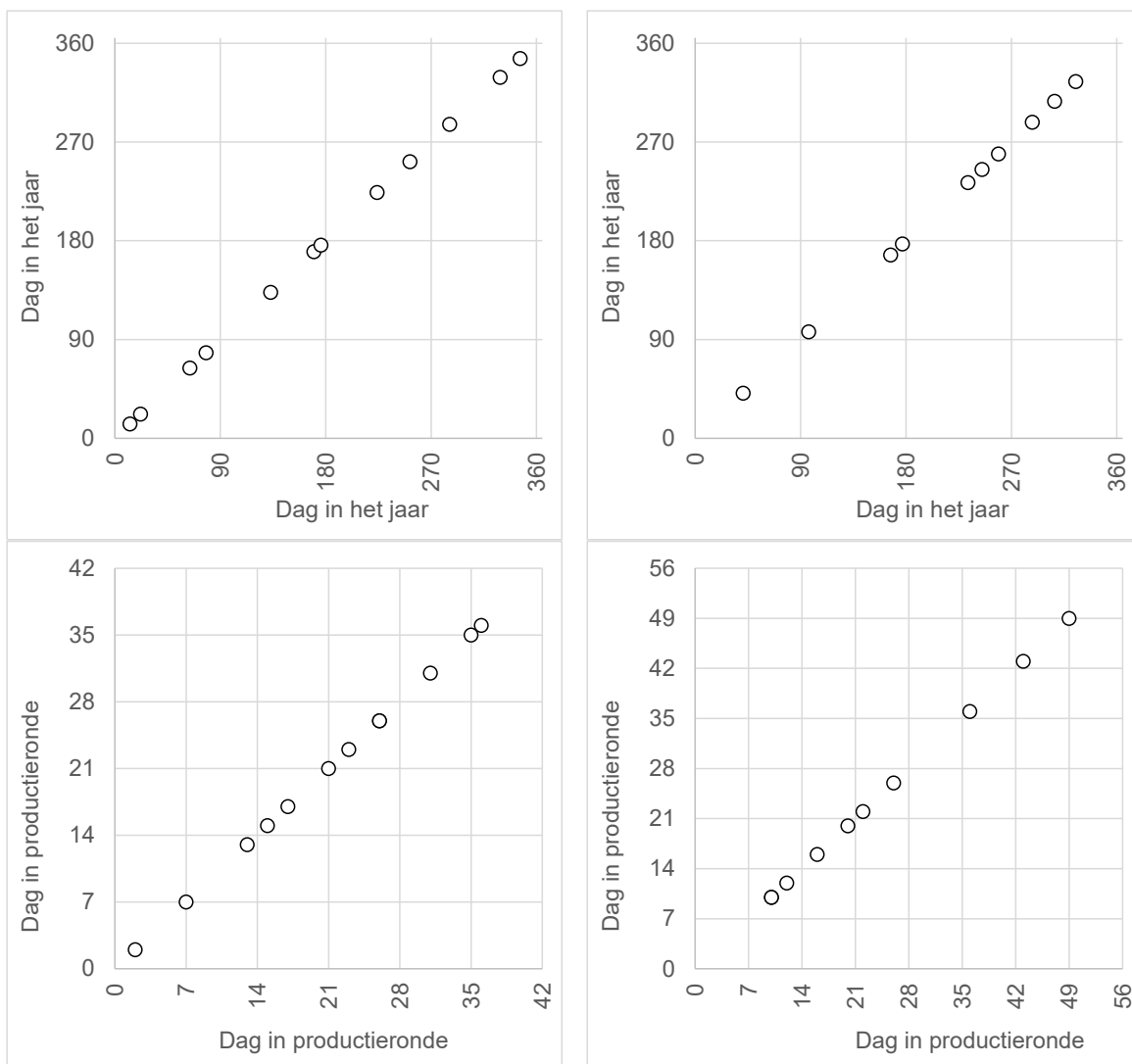
Tijdens de referentiemetingen waren bij BG1 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 10,9 °C; Tabel 3), de relatieve luchtvochtigheid (RV: 81%), en de windsnelheid (WS: 3,4 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (De Bilt; T: 10,6 °C; RV: 80%; WS: 3,4 m/s). Voor de continue metingen was bij BG1 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 11,6 °C) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 77%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,5 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelde.

Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur bij BG2 (T: 13,6 °C; Tabel 3) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%) lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,7 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Volkel T: 10,6 °C; RV: 80%; WS: 3,6 m/s). Voor de continue metingen was bij BG2 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,9 °C) iets hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,8 m/s) iets hoger dan de langdurige 10-jaargemiddelde.

Gemiddeld over alle metingen (zowel voor continue- als voor referentiemetingen en voor beide bedrijven) lag de CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal onder de 3000 ppm, hoewel in een aantal gevallen de daggemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie hoger was dan 3000 ppm (Tabel 3).

**Tabel 3** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal klimaatparameters. BG1: biggenafdeling bedrijf 1; BG2: biggenafdeling bedrijf 2.

Kenmerken	BG1		BG2	
	Continue	Referentie	Continue	Referentie
T-binnen (°C)	27,1 (10,2 : 31,7)	27,6 (26,2 : 30,4)	26,6 (14,8 : 32,2)	27,4 (25,1 : 29,0)
RV-binnen (%)	53 (37 : 93)	54 (43 : 61)	53 (36 : 89)	51 (42 : 56)
T-buiten (°C)	11,6 (-2,5 : 29,0)	10,9 (-1,4 : 23,6)	12,9 (-0,7 : 29,9)	13,6 (4,0 : 19,7)
RV-buiten (%)	77 (38 : 99)	81 (54 : 93)	75 (39 : 99)	75 (58 : 91)
Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,5 (0,8 : 9,6)	3,4 (2,3 : 6,2)	3,8 (0,8 : 11,7)	3,7 (1,6 : 9,4)
CO <sub>2</sub> stal (ppm)	2154 (513 : 4403)	2263 (544 : 3632)	2104 (515 : 4306)	2109 (1394 : 2857)



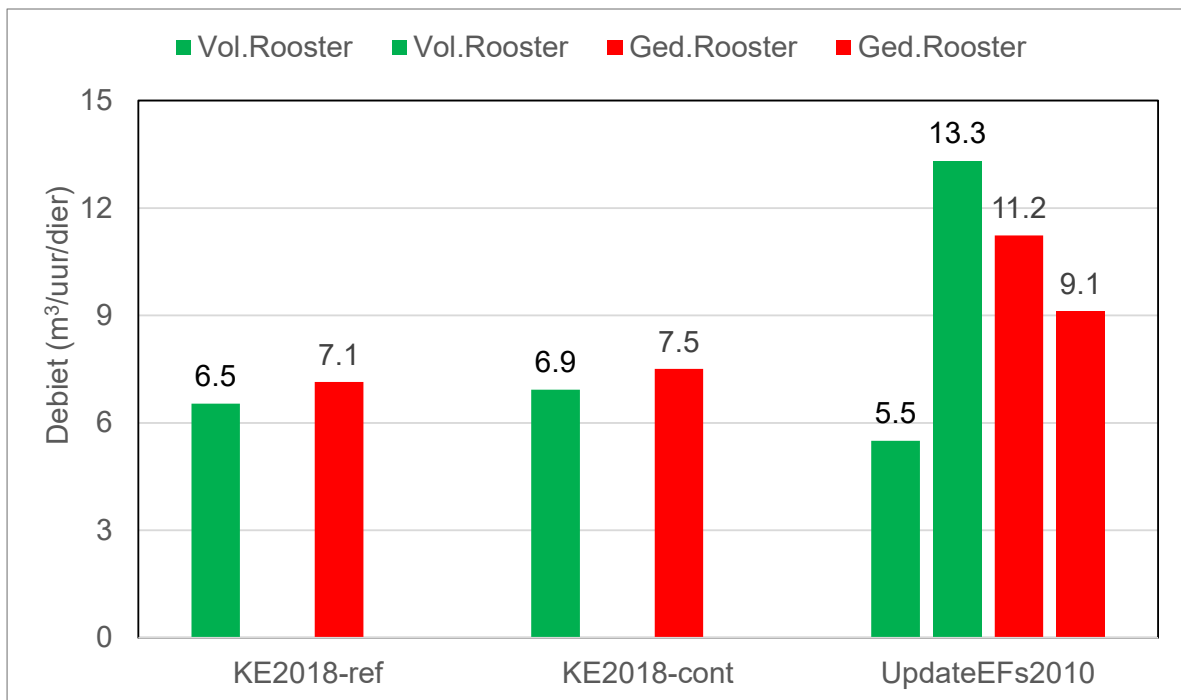
**Figuur 3.1** Links: bedrijf 1 (BG1); Rechts: bedrijf 2 (BG2); Boven: Verdeling van de metingen over de seizoenen; Onder: verdeling van de metingen over de productieronde.

In Tabel 4 en Figuur 3.2 worden de gemiddelde waarden voor het ventilatiedebiet voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de continue en de referentiemetingen, en tussen de bedrijven. Het ventilatiedebiet was voor zowel BG1 (volledige roostervloer) als BG2 (gedeeltelijke roostervloer) lager dan de waarden die gerapporteerd zijn in Winkel et al. (2011) bij metingen aan twee bedrijven met volledige (gemiddeld 9,1 m<sup>3</sup>/uur/dier) en twee bedrijven met gedeeltelijke roostervloer (gemiddeld 10,3 m<sup>3</sup>/uur/dier).

**Tabel 4** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten stallen. BG1: bedrijf 1; BG2: bedrijf 2. Deze emissies zijn door leegstand gecorrigeerde emissies. Voor biggen wordt een leegstandsfactor van 0,91 (9% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008).

Kenmerken	BG1		BG2	
	Continue	Referentie	Continue	Referentie
Aantal meetdagen	669	12	458	10
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	6,9 (1,6 : 21,8)	6,5 (2,3 : 19,3)	7,5 (1,9 : 25,4)	7,1 (3,5 : 18,0)
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dpl)	0,41 (0,06 : 1,16)	0,40 (0,11 : 0,69)	0,60 (0,23 : 1,15)	0,62 (0,46 : 0,79)
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dpl)	1,5 (0,2 : 5,3)	1,3 (0,3 : 3,8)	6,8 (0,8 : 13,6)	6,4 (4,6 : 8,5)
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dpl)	---	33,1 (0,5 : 66,8)	---	34,2 (10,9 : 51,3)



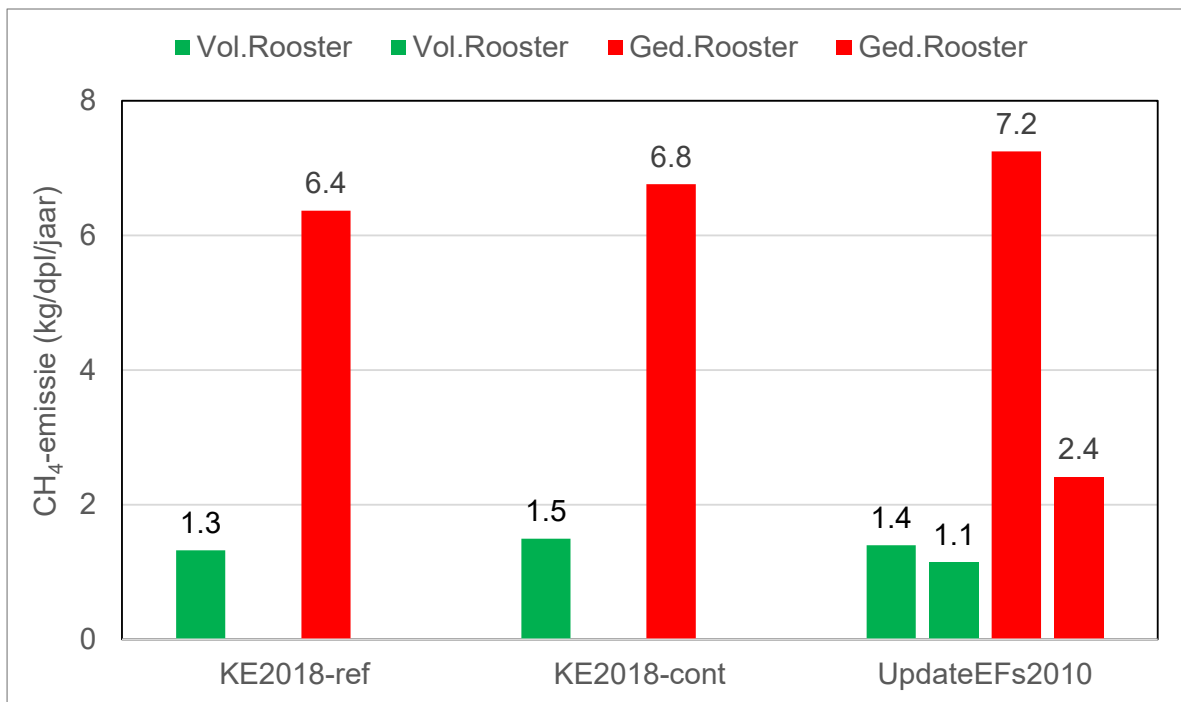


**Figuur 3.2** Ventilatie-debiet ( $m^3/uur/dier$ ) voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Winkel et al., 2011) zijn gemeten. BG1 had een volledige roostervloer (Vol. Rooster). BG2 had een gedeeltelijke roostervloer (Ged. Rooster).

In Figuur 3.3 en Tabel 4 worden de gemiddelde  $CH_4$ -emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor BG1 een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $1,5 \pm 0,9$  kg/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is volgens Groenestein en Aarnink (2008) een leegstandsfactor van 0,91 (9% leegstand) toegepast. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie  $1,3 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen. De gemiddelde methaanemissie bij BG1 is vergelijkbaar met de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Winkel et al. (2011) bij metingen aan twee biggenstallen met volledige roostervloer met water- en mestkanalen ( $1,3 \pm 0,2$  kg/jaar per dierplaats).

Op basis van de continue metingen werd voor BG2 een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; emissies gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $6,8 \pm 2,6$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie  $6,4 \pm 1,5$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen. De methaanemissie bij BG2 was hoger dan de emissie bij BG1, wat waarschijnlijk te maken heeft met het verschil in putinhoud per afdeling tussen beide bedrijven ( $28 m^3$  bij BG1,  $145 m^3$  bij BG2). Het is in ieder geval duidelijk dat de bijdrage van de mest op de methaanemissie bij biggen niet altijd verwaarloosbaar is. In IPCC (2006) wordt voor varkens een endogene methaanemissie van  $1,5$  kg/jaar per dier voorgesteld. De verwachting is dat de endogene methaanemissie bij biggen lager zal zijn dan bij een gemiddeld varken zoals bij de IPCC wordt gedaan.

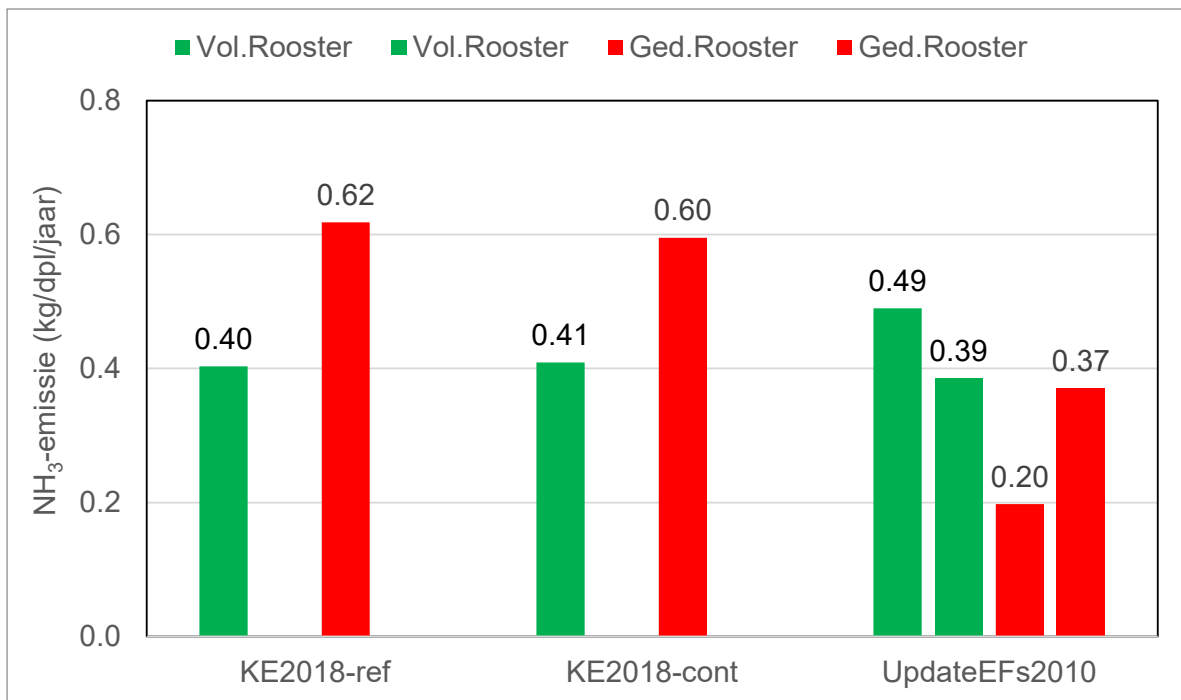




**Figuur 3.3** *CH<sub>4</sub>-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Winkel et al., 2011) zijn gemeten. BG1 had een volledige roostervloer (Vol. Rooster). BG2 had een gedeeltelijke roostervloer (Ged. Rooster).*

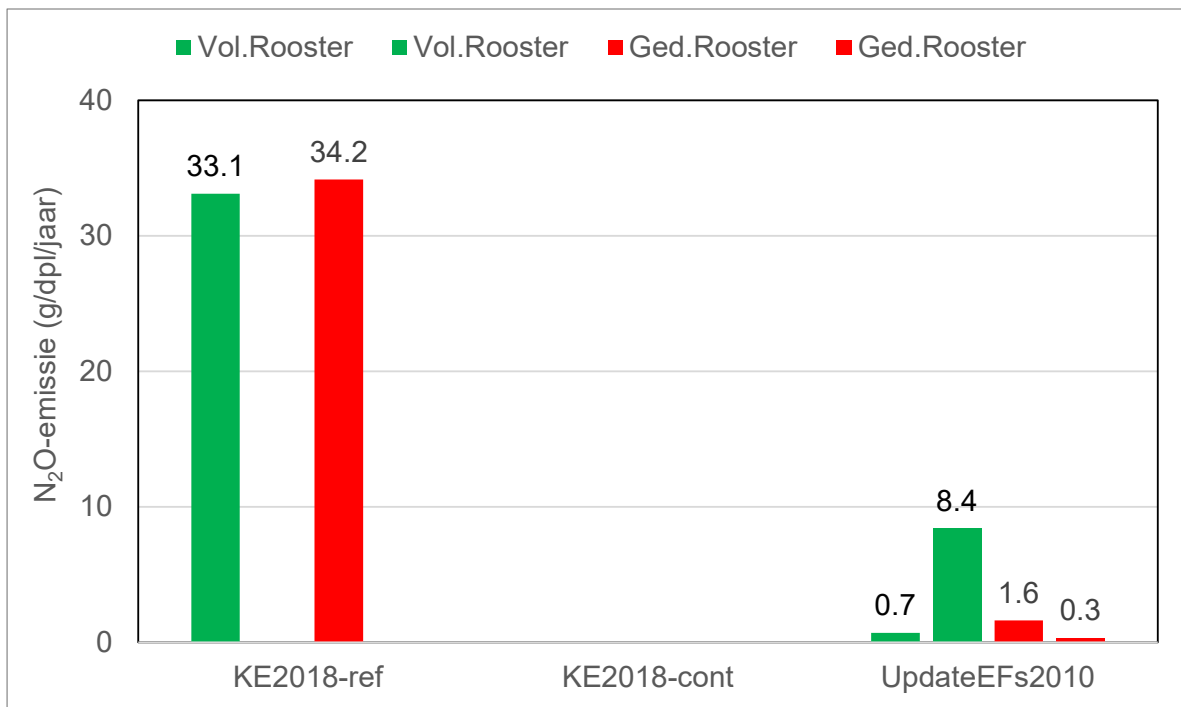
In Figuur 3.4 en Tabel 4 worden de gemiddelde NH<sub>3</sub>-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor BG1 een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $0,41 \pm 0,19$  kg/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is een leegstandsfactor van 0,91 (9% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie  $0,40 \pm 0,20$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen. De gemiddelde ammoniakemissie bij BG1 is vergelijkbaar met de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Winkel et al. (2011) bij metingen aan twee biggenstallen met volledige roostervloer met water- en mestkanalen ( $0,44 \pm 0,07$  kg/jaar per dierplaats). Deze emissies zijn beduidend hoger dan de Rav-emissiefactor ( $0,20$  kg/jaar per dierplaats) voor dit systeem.

Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor BG2 een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; emissies gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $0,60 \pm 0,17$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie  $0,62 \pm 0,11$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen. De gemiddelde ammoniakemissie bij BG2 is vergelijkbaar met de huidige Rav-emissiefactor voor overige huisvestingsystemen ( $0,69$  kg/jaar per dierplaats).



**Figuur 3.4** *NH<sub>3</sub>-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Winkel et al., 2011) zijn gemeten. BG1 had een volledige roostervloer (Vol. Rooster). BG2 had een gedeeltelijke roostervloer (Ged. Rooster).*

In Figuur 3.5 en Tabel 4 worden de gemiddelde N<sub>2</sub>O-emissies voor de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Voor lachgas zijn geen continue metingen uitgevoerd. Op basis van de referentiemetingen werd voor BG1 een gemiddelde lachgasemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $33 \pm 20$  g/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde lachgasemissie voor BG2  $34 \pm 14$  g/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is een leegstandsfactor van 0,91 (9% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). De gemiddelde lachgasemissie bij beide bedrijven is hoger dan de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Winkel et al. (2011) bij metingen aan twee biggenstallen met volledige roostervloer met water- en mestkanalen ( $5 \pm 5$  g/jaar per dierplaats; variatie tussen 1-8 g/jaar per dierplaats). Het is onduidelijk wat de reden is van dit grote verschil tussen beide onderzoeken.



**Figuur 3.5** *N<sub>2</sub>O-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref). Er zijn voor lachgas geen continue metingen (KE2018-cont) uitgevoerd. In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Winkel et al., 2011) zijn gemeten. BG1 had een volledige roostervloer (Vol. Rooster). BG2 had een gedeeltelijke roostervloer (Ged. Rooster).*

## 3.2 Dragende zeugen

In de periode van juni 2019 – oktober 2020 is in één afdeling voor dragende zeugen in groepshuisvesting continue metingen uitgevoerd om de emissies van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> te bepalen. Daarnaast zijn een aantal referentiemetingen uitgevoerd volgens de richtlijnen van huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018). Voor dragende zeugen betekent dit onder andere dat de metingen over het jaar evenredig verdeeld moeten worden. In Tabel 5 en Figuur 3.6 worden de gemiddelde meetomstandigheden voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdeling samengevat. In Bijlage 1 wordt de data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen weergegeven.

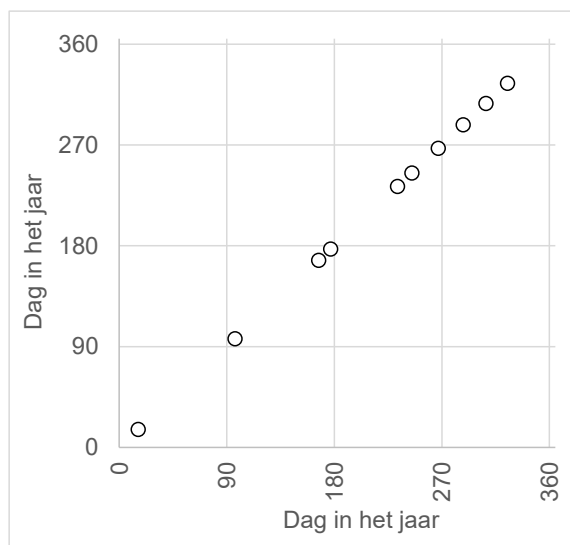
De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 24/06/2019 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er tien uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur 3.6). De gemiddelde dag in het jaar was 199.

Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur bij de gemeten afdeling (T: 13,8 °C; Tabel 5) hoger dan, en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 77%) en windsnelheid (WS: 3,4 m/s) lager dan de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Volkel T: 10,6 °C; RV: 80%; WS: 3,6 m/s). Voor de continue metingen was de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,9 °C) iets hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,7 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelde.

Gemiddeld over alle metingen (zowel voor continue- als voor referentiemetingen en voor beide bedrijven) lag de CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal onder de 3000 ppm (Tabel 5), en in minder dan 1% van de metingen was de daggemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie hoger dan 3000 ppm.

**Tabel 5** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal klimaatparameters bij de gemeten afdeling voor dragende zeugen.

Kenmerken	Continue	Referentie
T-binnen (°C)	22,9 (20,7 : 31,2)	22,9 (21,5 : 25,1)
RV-binnen (%)	56 (35 : 75)	58 (43 : 66)
T-buiten (°C)	12,9 (-0,7 : 29,9)	13,8 (4,0 : 19,7)
RV-buiten (%)	75 (39 : 99)	77 (58 : 91)
Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,7 (0,8 : 11,7)	3,4 (1,6 : 6,3)
CO <sub>2</sub> stal (ppm)	1520 (767 : 3051)	1405 (875 : 2695)

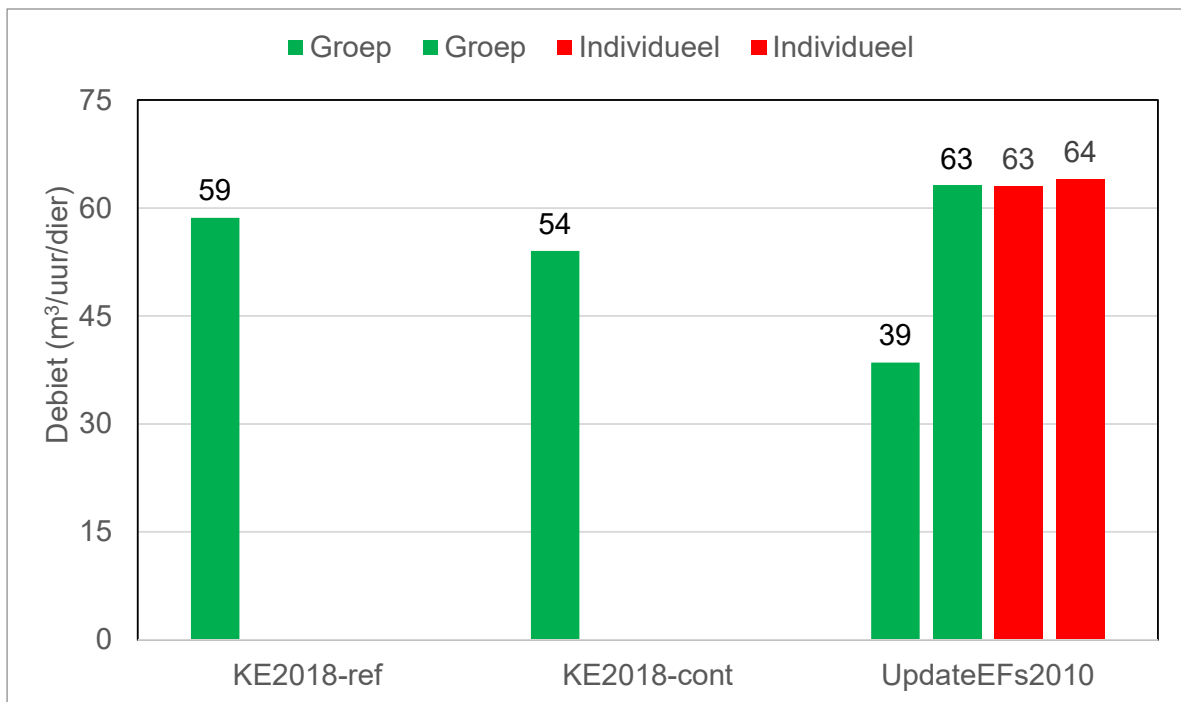


**Figuur 3.6** Verdeling van de metingen over de seizoenen bij de gemeten afdeling voor dragende zeugen

In Tabel 6 en Figuur 3.7 worden de gemiddelde waarden voor het ventilatiedebiet voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdeling weergegeven. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de continue en de referentiemetingen. Het ventilatiedebiet was iets hoger dan de waarden die gerapporteerd zijn in Mosquera et al. (2011b) bij metingen aan twee afdelingen met dragende zeugen in groepshuisvesting (gemiddeld 51 m<sup>3</sup>/uur/dier) en iets lager dan de waarden gerapporteerd in Mosquera et al. (2011b) bij metingen aan twee afdelingen met dragende zeugen in individuele huisvesting (gemiddeld 63 m<sup>3</sup>/uur/dier).

**Tabel 6** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten afdeling voor dragende zeugen in groepshuisvesting. Deze emissies zijn door leegstand gecorrigeerde emissies. Voor dragende zeugen wordt een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008).

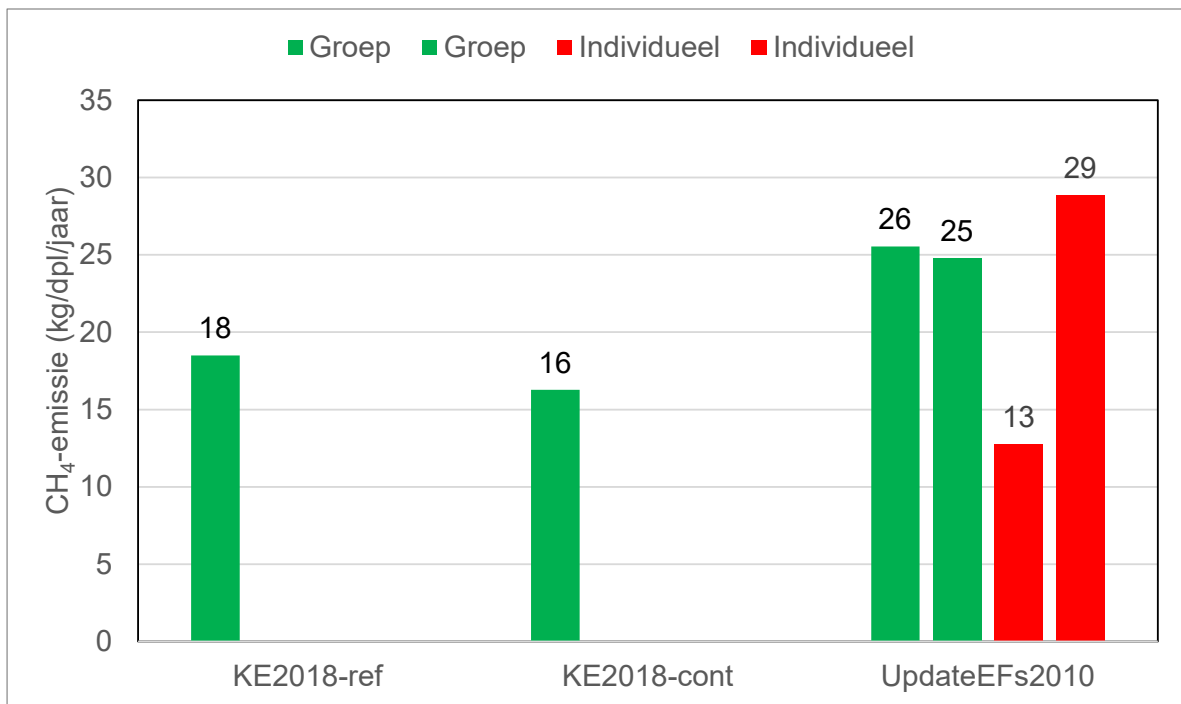
Kenmerken	Continue	Referentie
Aantal meetdagen	499	10
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	54,0 (9,2 : 118,1)	58,6 (11,9 : 96,5)
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dpl)	3,3 (1,2 : 7,0)	3,4 (1,5 : 5,6)
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dpl)	16,3 (2,8 : 35,3)	18,5 (7,6 : 35,0)
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dpl)	---	49,9 (9,4 : 143,1)



**Figuur 3.7** Ventilatie-debiet ( $m^3/uur/dier$ ) voor de gemeten afdeling in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011b) zijn gemeten bij afdelingen in groepshuisvesting (Groep) en in individuele huisvesting (Individueel).

In Figuur 3.8 en Tabel 6 worden de gemiddelde  $CH_4$ -emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdeling weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $16,3 \pm 5,9$  kg/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie  $18,5 \pm 8,2$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.

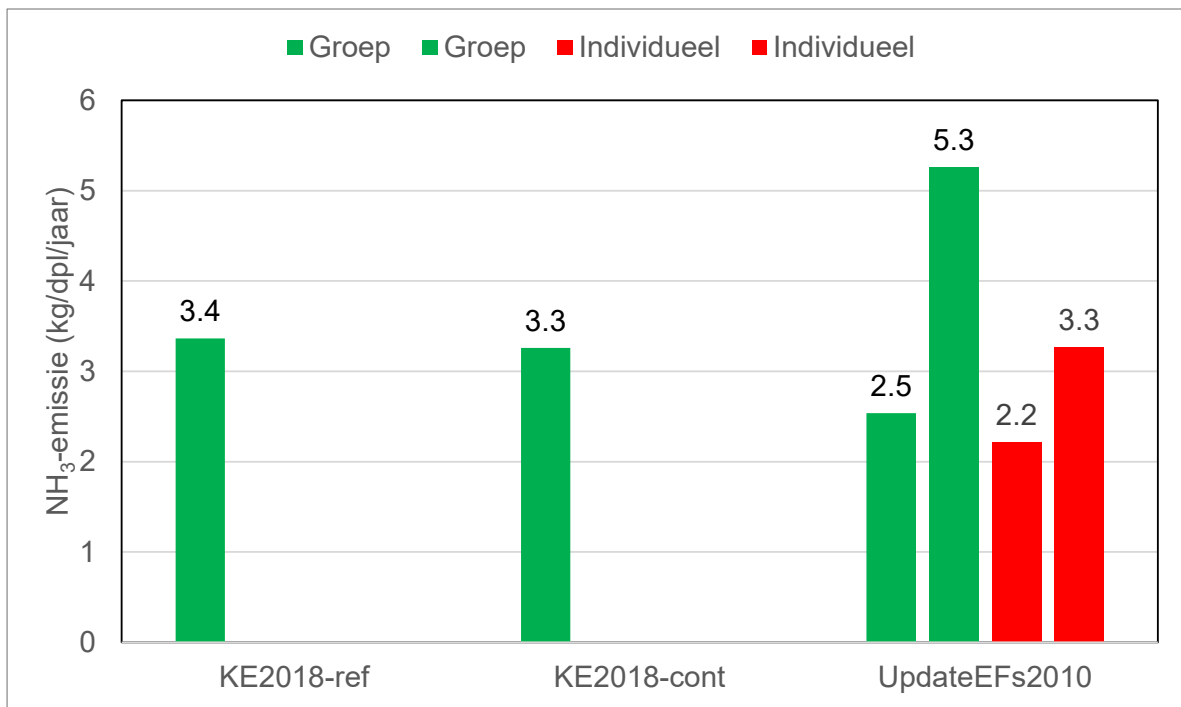
De gemiddelde methaanemissie is iets lager dan de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Mosquera et al. (2011b) bij metingen aan twee afdelingen voor dragende zeugen in groepshuisvesting ( $25,2 \pm 0,5$  kg/jaar per dierplaats) en bij metingen aan twee afdelingen voor dragende zeugen in individuele huisvesting ( $20,8 \pm 11,4$  kg/jaar per dierplaats).



**Figuur 3.8** *CH<sub>4</sub>-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011) zijn gemeten bij afdelingen in groepshuisvesting (Groep) en in individuele huisvesting (Individueel).*

In Figuur 3.9 en Tabel 6 worden de gemiddelde NH<sub>3</sub>-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdeling weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $3,3 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie  $3,4 \pm 1,1$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.

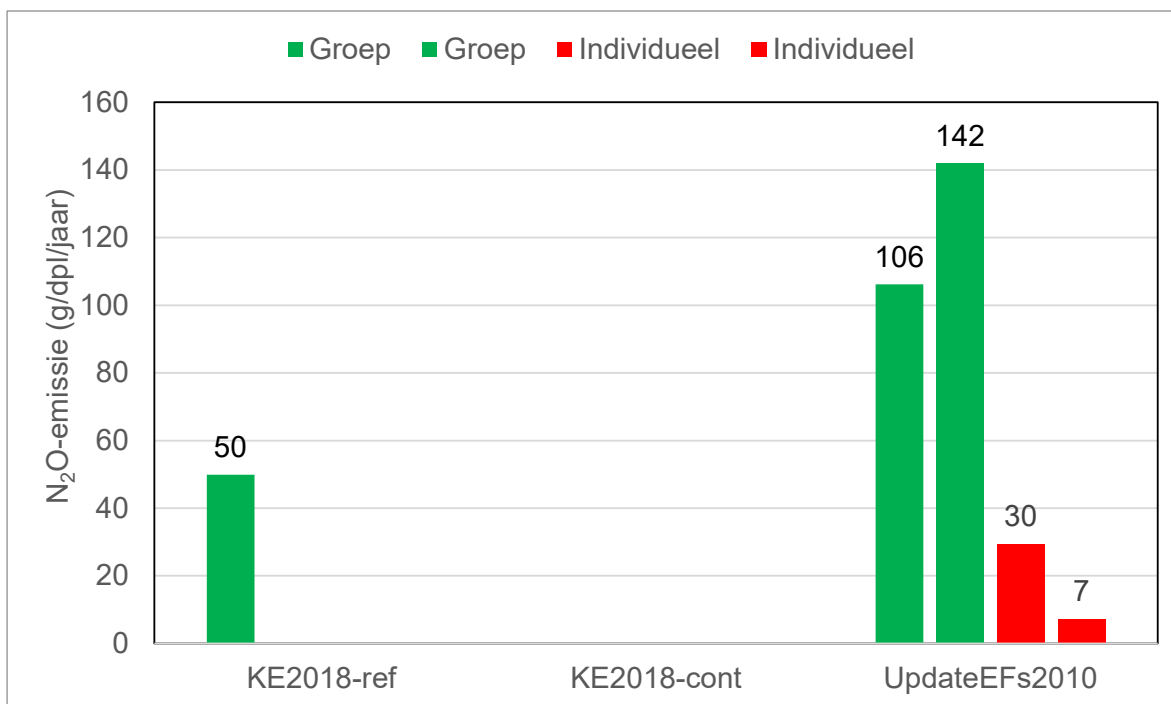
De gemiddelde ammoniakemissie is lager dan de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Mosquera et al. (2011b) bij metingen aan twee afdelingen voor dragende zeugen in groepshuisvesting ( $3,9 \pm 1,9$  kg/jaar per dierplaats). De emissies in dit onderzoek zijn iets hoger dan het huidige Rav-emissiefactor voor dragende zeugen in groepshuisvesting met voerligboxen of zeugenvoerstations, zonder strobed, met schuine putwanden in het mestkanaal en roosters anders dan metalen driekant (D1.3.9.2; 2,5 kg/jaar per dierplaats).



**Figuur 3.9** *NH<sub>3</sub>-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011) zijn gemeten bij afdelingen in groepshuisvesting (Groep) en in individuele huisvesting (Individueel).*

In Figuur 3.10 en Tabel 6 worden de gemiddelde N<sub>2</sub>O-emissies voor de referentiemetingen voor de gemeten afdeling weergegeven. Voor lachgas zijn geen continue metingen uitgevoerd. Op basis van de referentiemetingen werd een gemiddelde lachgasemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $50 \pm 40$  g/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008).

De gemiddelde lachgasemissie is beduidend lager dan de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Mosquera et al. (2011b) bij metingen aan twee afdelingen met dragende zeugen in groepshuisvesting ( $124 \pm 25$  g/jaar per dierplaats; variatie tussen 106-142 g/jaar per dierplaats) en bij metingen aan twee afdelingen voor dragende zeugen in individuele huisvesting ( $18 \pm 16$  g/jaar per dierplaats; variatie tussen 7-30 g/jaar per dierplaats).



**Figuur 3.10** *N<sub>2</sub>O-emissie voor de gemeten afdeling in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref). Er zijn voor lachgas geen continue metingen (KE2018-cont) uitgevoerd. In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011) zijn gemeten bij afdelingen in groepshuisvesting (Groep) en in individuele huisvesting (Individueel).*

### 3.3 Vleesvarkens

In de periode van december 2018 – oktober 2020 zijn in twee vleesvarkensafdelingen (op twee verschillende varkensbedrijven) continue metingen uitgevoerd om de emissies van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> te bepalen. Daarnaast zijn per locatie een aantal referentiemetingen uitgevoerd volgens de richtlijnen van huidige meetprotocollen (Ogink et al., 2017; VERA, 2018). Voor vleesvarkens betekent dit onder andere dat de metingen niet alleen over het jaar maar ook over de productiestadium evenredig verdeeld moeten worden (de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de groeiperiode; in het tweede deel moeten de metingen ook tussen seizoenen worden verdeeld). In Tabel 7 en Figuur 3.11 worden de gemiddelde meetomstandigheden voor zowel de continue als de referentiemetingen voor beide locaties/afdelingen samengevat. In Bijlage 1 wordt voor beide afdelingen de data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen weergegeven.

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 12/12/2018 – 03/11/2020 bij bedrijf 1 (VV1) en in de periode 01/07/2019 – 03/11/2020 bij bedrijf 2 (VV2) zijn uitgevoerd. In deze perioden zijn elf referentiemetingen bij VV1 en negen referentiemetingen bij VV2 uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur 3.11 (boven)) en de productieronden (Figuur 3.11 (onder)). De gemiddelde dag in het jaar was 176 bij VV1, en 199 bij VV2. Over alle referentiemetingen was de gemiddelde dag in de productieronde 57 bij VV1 en 60 voor VV2.

Tijdens de referentiemetingen waren bij VV1 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 10,8 °C; Tabel 7), de relatieve luchtvochtigheid (RV: 81%), en de windsnelheid (WS: 3,3 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (De Bilt; T: 10,6 °C; RV: 80%; WS: 3,4 m/s). Voor de continue metingen was bij VV1 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 11,7 °C) hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 77%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,5 m/s) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelde.

Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur bij VV2 (T: 13,8 °C; Tabel 7) hoger dan, en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%) en windsnelheid (WS: 3,1 m/s) lager dan de

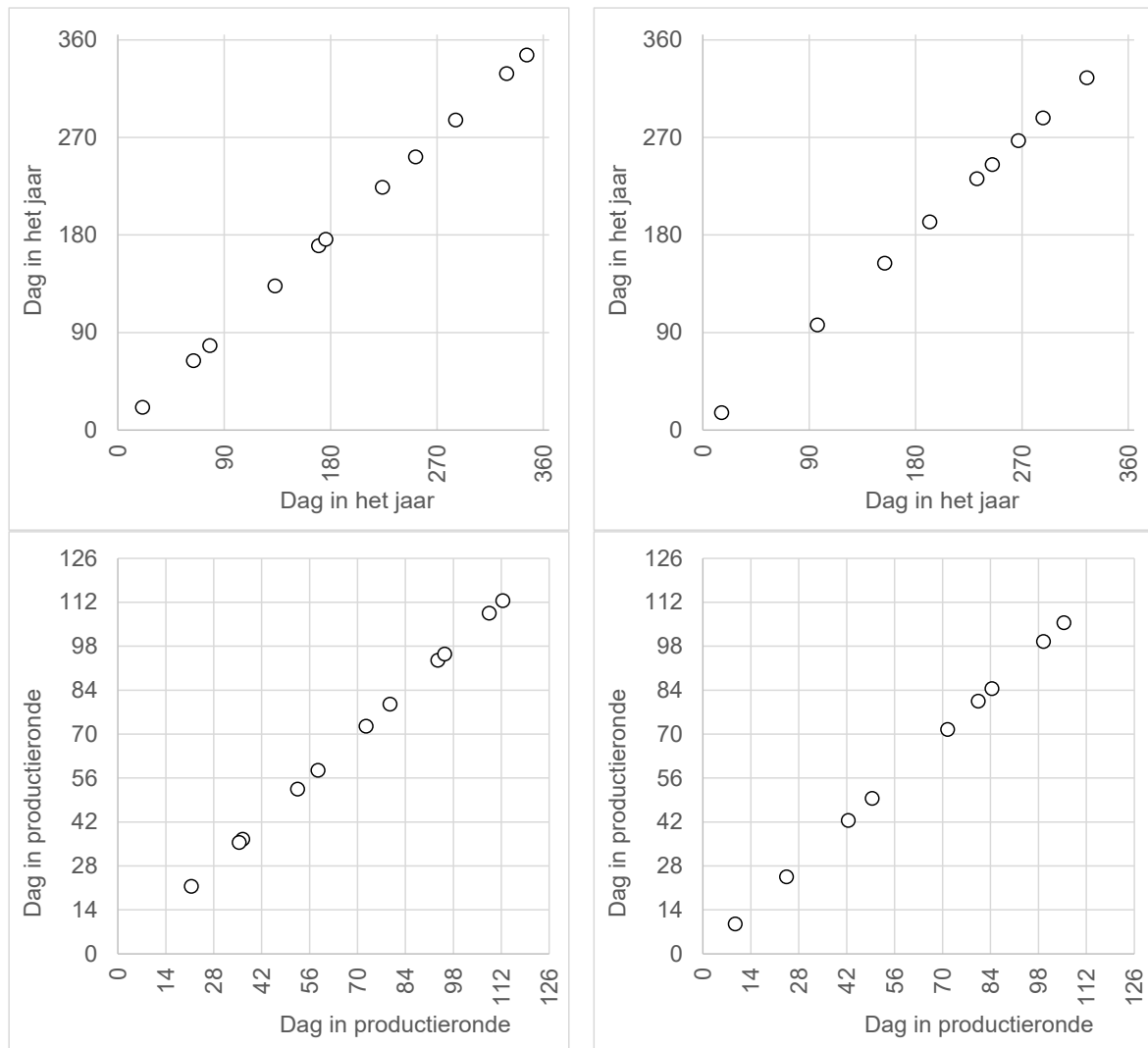


langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Volkel T: 10,6 °C; RV: 80%; WS: 3,6 m/s). Voor de continue metingen was bij VV2 de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,8 °C) iets hoger dan, de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%) iets lager dan, en de windsnelheid (WS: 3,8 m/s) iets hoger dan de langdurige 10-jaargemiddelde.

Gemiddeld over alle metingen (zowel voor continue- als voor referentiemetingen en voor beide bedrijven) lag de CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal onder de 3000 ppm, hoewel in een aantal gevallen de daggemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie hoger was dan 3000 ppm (Tabel 7).

**Tabel 7** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal klimaatparameters. VV1: bedrijf 1; VV2: bedrijf 2.

Kenmerken	VV1		VV2	
	Continue	Referentie	Continue	Referentie
T-binnen (°C)	25,0 (10,9 : 31,9)	25,2 (22,6 : 30,2)	23,2 (9,6 : 29,9)	23,3 (20,1 : 26,2)
RV-binnen (%)	48 (29 : 99)	49 (41 : 57)	62 (39 : 89)	61 (44 : 72)
T-buiten (°C)	11,7 (-2,5 : 29,0)	10,8 (-1,9 : 23,6)	12,8 (-0,7 : 29,9)	13,8 (4,0 : 19,8)
RV-buiten (%)	77 (38 : 99)	81 (54 : 93)	75 (39 : 99)	75 (54 : 91)
Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	3,5 (0,8 : 9,6)	3,3 (2,3 : 6,2)	3,8 (0,8 : 11,7)	3,1 (1,6 : 4,5)
CO <sub>2</sub> stal (ppm)	1872 (605 : 3428)	1901 (1135 : 2888)	1965 (598 : 4451)	1980 (1395 : 3525)

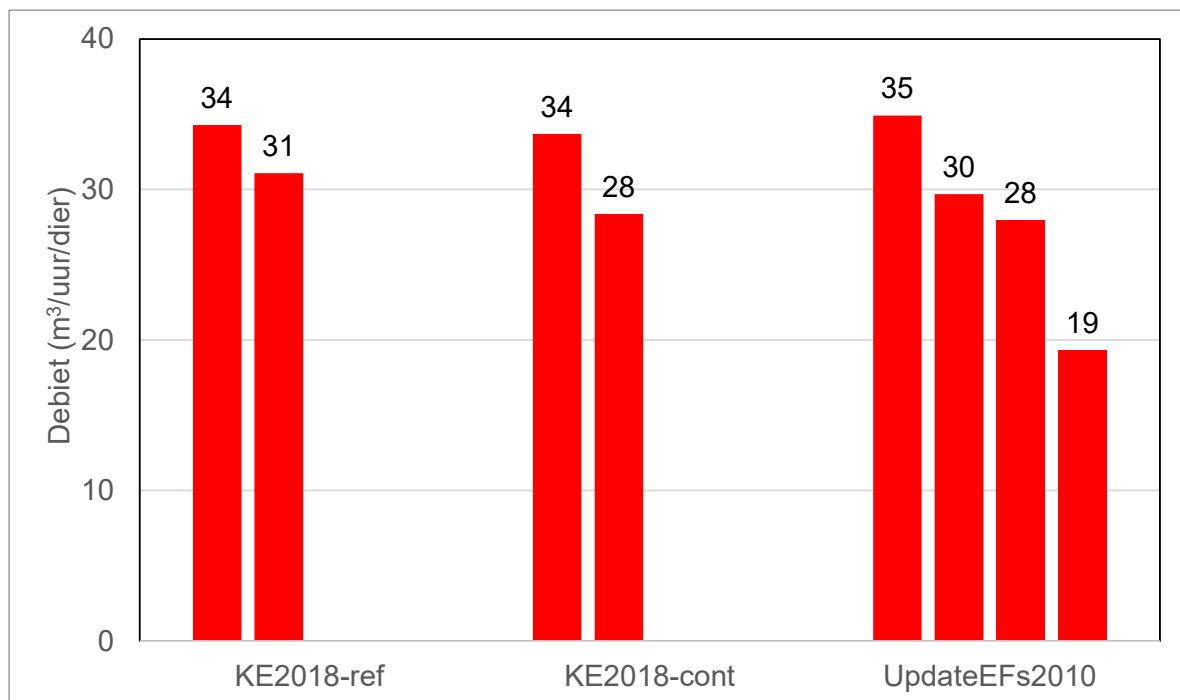


**Figuur 3.11** Links: bedrijf 1 (VV1); Rechts: bedrijf 2 (VV2); Boven: Verdeling van de metingen over de seizoenen; Onder: verdeling van de metingen over de productieronde.

In Tabel 8 en Figuur 3.12 worden de gemiddelde waarden voor het ventilatiedebiet voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de continue en de referentiemetingen, en tussen de bedrijven. Het ventilatiedebiet was voor zowel VV1 als VV2 vergelijkbaar met de waarden die gerapporteerd zijn in Mosquera et al. (2011a) bij metingen aan vier bedrijven met gedeeltelijke roostervloer (gemiddeld 27,9 m<sup>3</sup>/uur/dier).

**Tabel 8** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O voor zowel continue- als referentiemetingen bij de gemeten stallen. VV1: bedrijf 1; VV2: bedrijf 2. Deze emissies zijn door leegstand gecorrigeerde emissies. Voor vleesvarkens wordt een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008).

Kenmerken	VV1		VV2	
	Continue	Referentie	Continue	Referentie
Aantal meetdagen	603	11	491	9
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	33,7 (6,7 : 116,5)	34,3 (9,6 : 71,9)	28,4 (3,9 : 60,9)	31,1 (9,5 : 55,7)
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dpl)	2,06 (0,55 : 4,43)	2,24 (0,70 : 4,21)	1,85 (0,13 : 6,87)	1,85 (0,32 : 2,88)
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dpl)	13,1 (3,3 : 25,2)	12,9 (4,2 : 20,4)	17,5 (4,2 : 53,6)	20,0 (10,3 : 28,9)
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dpl)	---	50,6 (6,1 : 119,2)	---	31,1 (8,2 : 73,2)



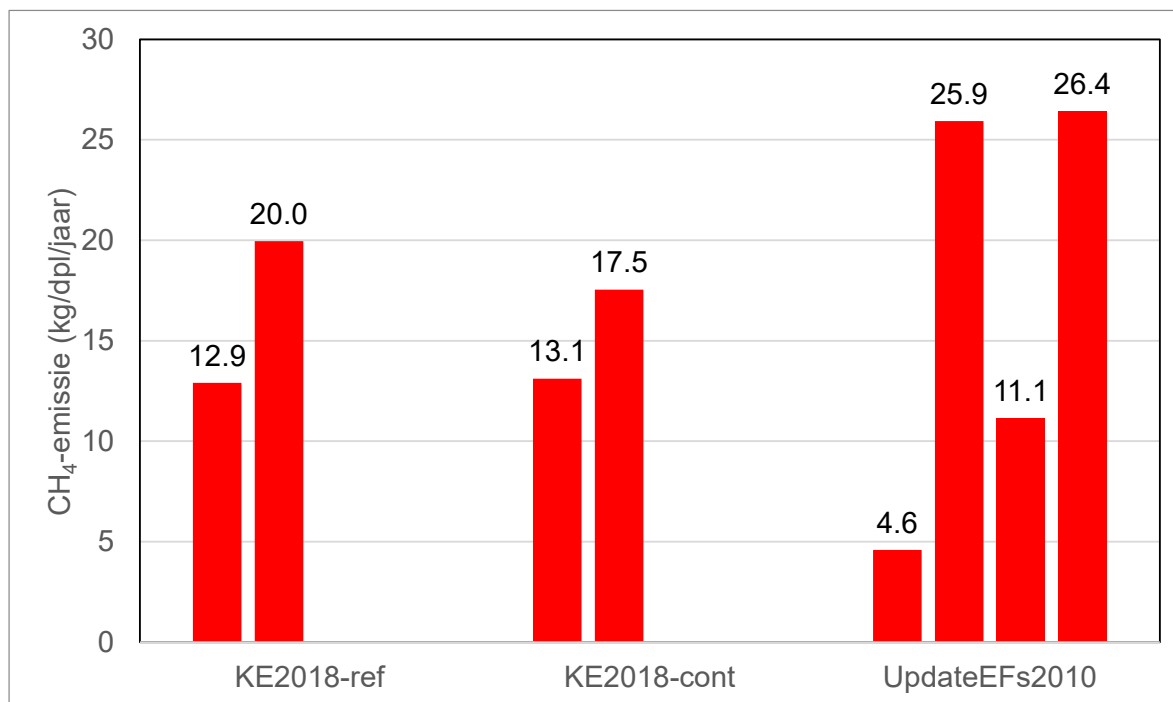
**Figuur 3.12** Ventilatie-debiet (m<sup>3</sup>/uur/dier) voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011a) zijn gemeten.

In Figuur 3.13 en Tabel 8 worden de gemiddelde CH<sub>4</sub>-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor VV1 een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van 13,1  $\pm$  4,3 kg/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is volgens Groenestein en Aarnink (2008) een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie 12,9  $\pm$  14,8 kg/jaar per dierplaats. 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 continue metingen werd voor VV2 een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; emissies gecorrigeerd voor leegstand) berekend van 17,5  $\pm$  7,9 kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde methaanemissie 20,0  $\pm$

6,0 kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.

De gemiddelde methaanemissie bij VV1 is iets lager en bij VV2 vergelijkbaar met de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Mosquera et al. (2011a) bij metingen aan vier vleesvarkensafdelingen met gedeeltelijke roostervloer ( $17,0 \pm 10,9$  kg/jaar per dierplaats).

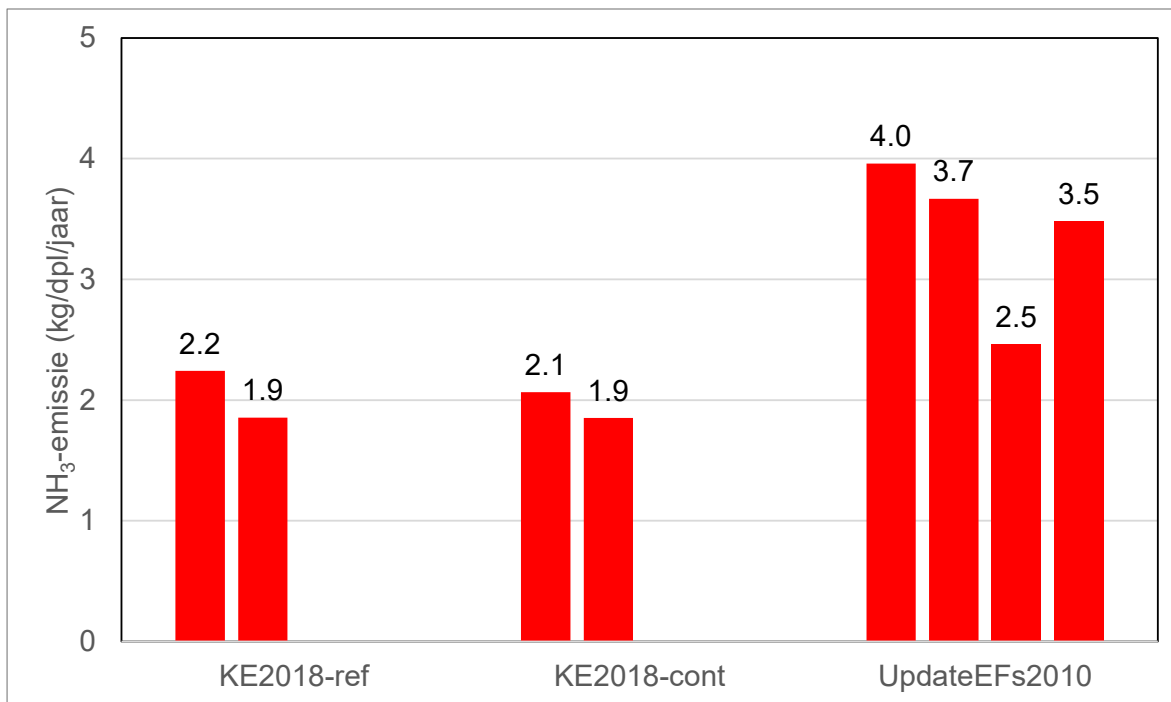


**Figuur 3.13** CH<sub>4</sub>-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011a) zijn gemeten.

In Figuur 3.14 en Tabel 8 worden de gemiddelde NH<sub>3</sub>-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd voor VV1 een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $2,1 \pm 0,9$  kg/jaar per dierplaats. Bij de bepaling van deze emissies is een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie  $2,2 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. 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 continue metingen werd voor VV2 een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; emissies gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $1,9 \pm 1,1$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de gemiddelde ammoniakemissie  $1,9 \pm 0,9$  kg/jaar per dierplaats. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de emissies die bepaald zijn door middel van continue metingen, en op basis van de referentiemetingen.

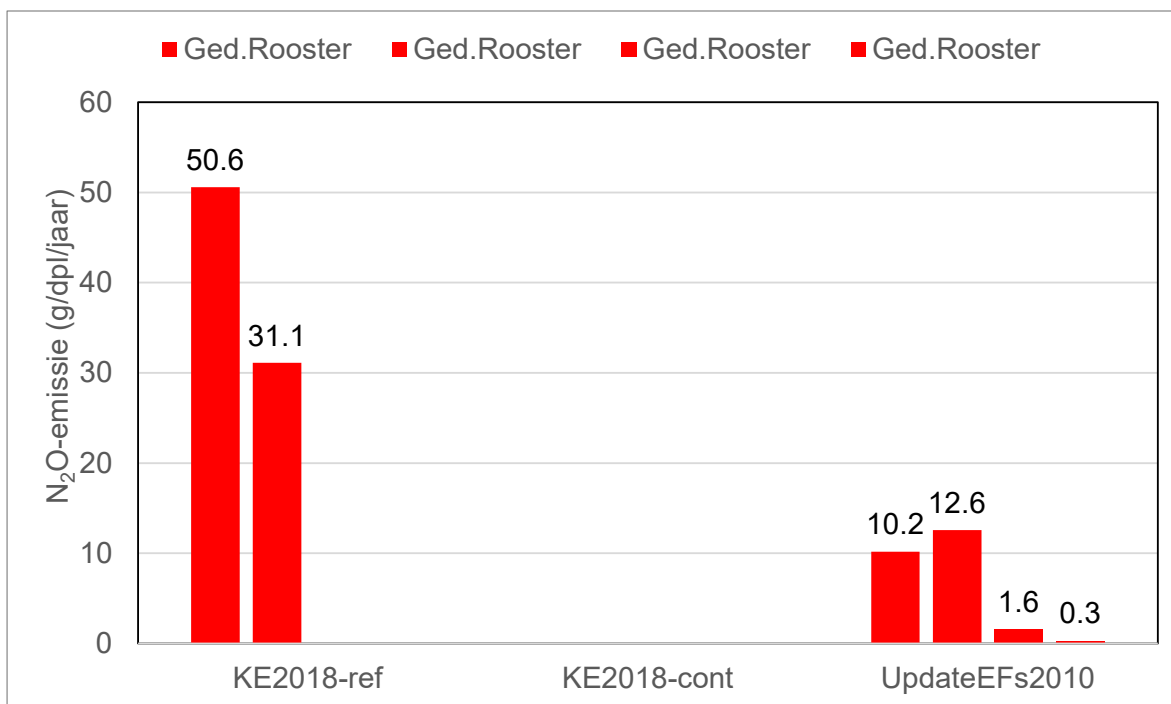
De gemiddelde ammoniakemissie bij zowel VV1 als VV2 is beduidend lager dan de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Mosquera et al. (2011a) bij metingen aan vier vleesvarkensstallen met gedeeltelijke roostervloer ( $3,4 \pm 0,7$  kg/jaar per dierplaats). De emissies bij VV1 en VV2 zijn lager dan de huidige Rav-emissiefactor ( $3,0$  kg/jaar per dierplaats).



**Figuur 3.14** NH<sub>3</sub>-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref) en de continue metingen (KE2018-cont). In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011a) zijn gemeten.

In Figuur 3.15 en Tabel 8 worden de gemiddelde N<sub>2</sub>O-emissies voor de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Voor lachgas zijn geen continue metingen uitgevoerd. Op basis van de referentiemetingen werd voor VV1 een gemiddelde lachgasemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $51 \pm 33$  g/jaar per dierplaats, en van  $31 \pm 21$  g/jaar per dierplaats voor VV2. Bij de bepaling van deze emissies is volgens Groenestein en Aarnink (2008) een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast.

De gemiddelde lachgasemissie bij VV1 en VV2 is beduidend hoger dan de gemiddelde emissie (gecorrigeerd door leegstand; gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven) in het onderzoek van Mosquera et al. (2011a) bij metingen aan vier vleesvarkensstallen met gedeeltelijke roostervloer ( $6 \pm 6$  g/jaar per dierplaats; variatie tussen 0-13 g/jaar per dierplaats).



**Figuur 3.15** *N<sub>2</sub>O-emissie voor de gemeten afdelingen in dit onderzoek tijdens de referentiemetingen (KE2018-ref). Er zijn voor lachgas geen continue metingen (KE2018-cont) uitgevoerd. In de figuur worden ook de waarden weergegeven die in het onderzoeksprogramma "Update emissiefactoren stof" (Mosquera et al., 2011a) zijn gemeten.*

## 4 Conclusies

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van praktijkmetingen die in twee afdelingen met vleesvarkens, één afdeling met dragende zeugen, en twee afdelingen met biggen, en in de periode oktober 2018 – oktober 2020 zijn uitgevoerd. Hieronder worden de belangrijkste conclusies op basis van de voorgestelde doelen weergegeven:

### De methaanemissie uit varkensstallen vast te stellen

- Op basis van de continue metingen zijn de gemiddelde waarden van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O (+/- standaarddeviatie tussen metingen voor biggen en dragende zeugen, +/- standaarddeviatie tussen bedrijven voor vleesvarkens; emissies gecorrigeerd voor leegstand: 9% voor biggen, 3% voor dragende zeugen en vleesvarkens):

Diercategorie	Biggen	Biggen	Dragende zeugen	Vleesvarkens
Systeem	Volledig roostervloer met water- en mestkanaal	Gedeeltelijk roostervloer	Groepshuisvesting	Gedeeltelijk roostervloer
Aantal bedrijven	1	1	1	2
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	6,9 ± 4,0	7,5 ± 4,7	54 ± 29	31 ± 4
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	1,5 ± 0,9	6,8 ± 2,6	16,3 ± 5,9	15,3 ± 3,1
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	0,41 ± 0,19	0,60 ± 0,17	3,3 ± 1,0	2,0 ± 0,2
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dierplaats)	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

- Op basis van de referentiemetingen zijn de gemiddelde waarden van het ventilatiedebiet en de emissies van CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O (+/- standaarddeviatie tussen metingen voor biggen en dragende zeugen, +/- standaarddeviatie tussen bedrijven voor vleesvarkens; emissies gecorrigeerd voor leegstand: 9% voor biggen, 3% voor dragende zeugen en vleesvarkens):

Diercategorie	Biggen	Biggen	Dragende zeugen	Vleesvarkens
Systeem	Volledig roostervloer met water- en mestkanaal	Gedeeltelijk roostervloer	Groepshuisvesting	Gedeeltelijk roostervloer
Aantal bedrijven	1	1	1	2
Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur/dier)	6,5 ± 4,8	7,1 ± 4,6	59 ± 26	33 ± 2
CH <sub>4</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	1,3 ± 1,0	6,4 ± 1,5	18,5 ± 8,2	16,4 ± 5,0
NH <sub>3</sub> -emissie (kg/jaar per dierplaats)	0,40 ± 0,20	0,62 ± 0,11	3,4 ± 1,1	2,0 ± 0,3
N <sub>2</sub> O-emissie (g/jaar per dierplaats)	33 ± 20	34 ± 14	50 ± 40	41 ± 14

### 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 gemiddelde bedrijfsemisies 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

- Groenestein, C.M. en A. J. A. Aarnink. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808, Animal Science Group van Wageningen UR.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera en R.W. Melse. 2016. Methaanemissie uit mest. Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF). Wageningen Livestock Research Rapport 961.
- Lagerwerf, L.A., A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk. 2019. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and CO<sub>2</sub> 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.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2011a. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Wageningen UR Livestock Research Rapport 292 – herziene versie.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2011b. Fijnstofemissie uit stallen: dragende zeugen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 294 – herziene versie.
- 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., Mosquera, J., Hol, J.M.G., (2017). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, WLR Rapport 1032.
- Ruysenaars, P.G., P.W.H.G. Coenen, J.D. Rienstra, P.J. Zijlema, E.J.M.M. Arets, K. Baas, R. Dröge, G. Geilenkirchen, M. 't Hoen, E. Honig, B. van Huet, E.P. van Huis, W.W.R. Koch, L.A. Lagerwerf, R.M. te Molder, J.A. Montfoort, J. Vonk, M.C. van Zanten, (2020) Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2018. National Inventory Report 2020. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Report-2020-0031.
- 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](https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf)).
- Winkel, A., J. Mosquera, J.M.G. Hol, T.G. van Hattum, E. Lovink, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2011. Fijnstofemissie uit stallen: biggen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 293 – herziene versie.

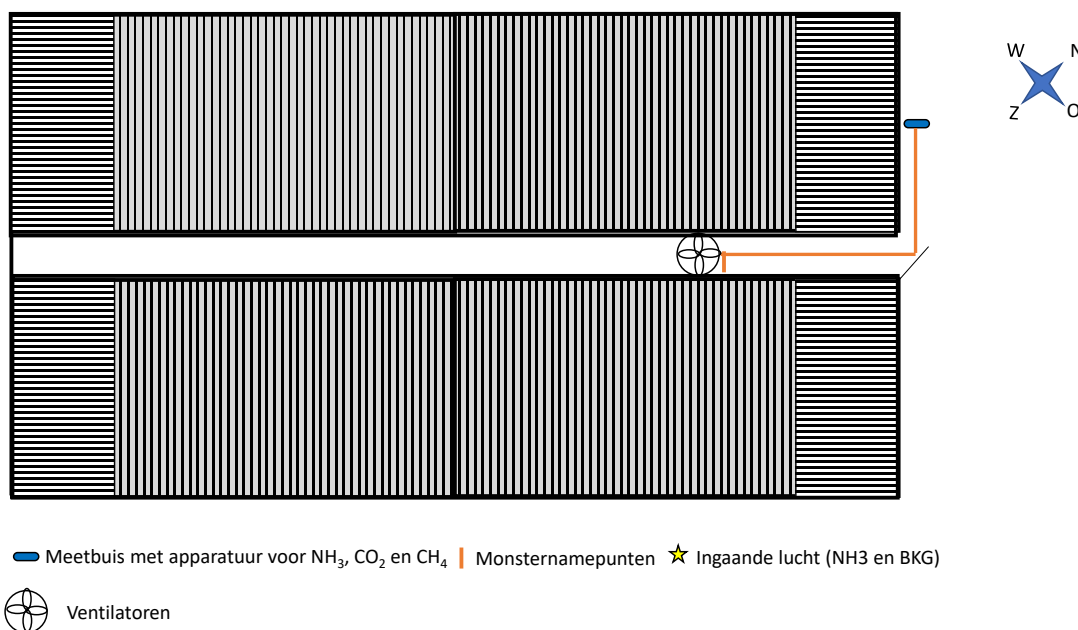
# Bijlage 1 Resultaten per locatie

## **Biggen: Bedrijf 1 (BG1)**

De metingen vonden plaats in een afdeling van een varkensstal voor biggen met plaats voor 120 dieren. De dieren werden in groepen in vier verschillende hokken in de afdeling gehouden (Figuur BG1.1), met een voergang in het midden van de afdeling en twee hokken aan beide zijden van de voergang. De hokken hadden een volledig roostervloer voorzien voor een deel (27%) uit metalen roosters en de rest (73%) kunststof roosters. De dieren hadden een leefoppervlak van 0,4 m<sup>2</sup> per dier ter beschikking. Onder de roostervloer bevond zich een mestkelder (60 cm diep). De mestkelder wordt geleegd wanneer deze vol zit (na schoonmaken kan schoonmaakwater in de put achterblijven) of wanneer de mest direct kan worden afgevoerd (waterkanaal onder de kunststofrooster, mestkanaal onder de metalen roosters; bij het schoonmaken wordt het mestkanaal altijd geleegd en het water kanaal alleen als het niveau wat hoger is).

De afdeling werd mechanisch geventileerd met behulp van het Natuflow systeem van Fancom. Dit houdt in dat bij minimum ventilatie de ventilator uitgeschakeld wordt en de hoeveelheid lucht geregeld wordt op basis van natuurlijk trek door de meet/smoorunit. De lucht kwam via inlaatpunten aan de onder- en bovenkant van de deur bij de voergang de afdeling binnen. In de afdeling is een ventilator (diameter: 45 cm) geplaatst die onderdruk in de afdeling creëert, waardoor alle stallucht via de ventilatiekoker de stal verlaat.

De dieren hebben een groeitraject (opleg-afleveren) van 6-25 kg over een productieronde van gemiddeld 6-7 weken. De dieren kregen onbeperkt water (via drinknippels en drinkbakjes) en voer (dit werd tweemaal per dag, rond 8:30 's ochtends en 17:30 's middags aangevuld): de eerste drie dagen speenkorrel/prestarter en melk, vanaf 3 dagen tot ongeveer 10-12 dagen speenkorrel, daarna (tot ongeveer een diergewicht van 20 kg) biggenkorrel, en vanaf dat moment tot afleveren gaan de biggen op startkorrel. Het lichtregime bestond uit alleen daglicht, behalve de eerste drie dagen in de ronde waar de lampen continue aan stonden. In Tabel BG1.1 zijn de belangrijkste kenmerken van deze afdeling op een rij gezet.



**Figuur BG1.1** Stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur. De ingaande lucht werd bij de vleesvarkensafdeling buiten gemeten en is hier niet weergegeven.



**Tabel BG1.1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte biggenafdeling.

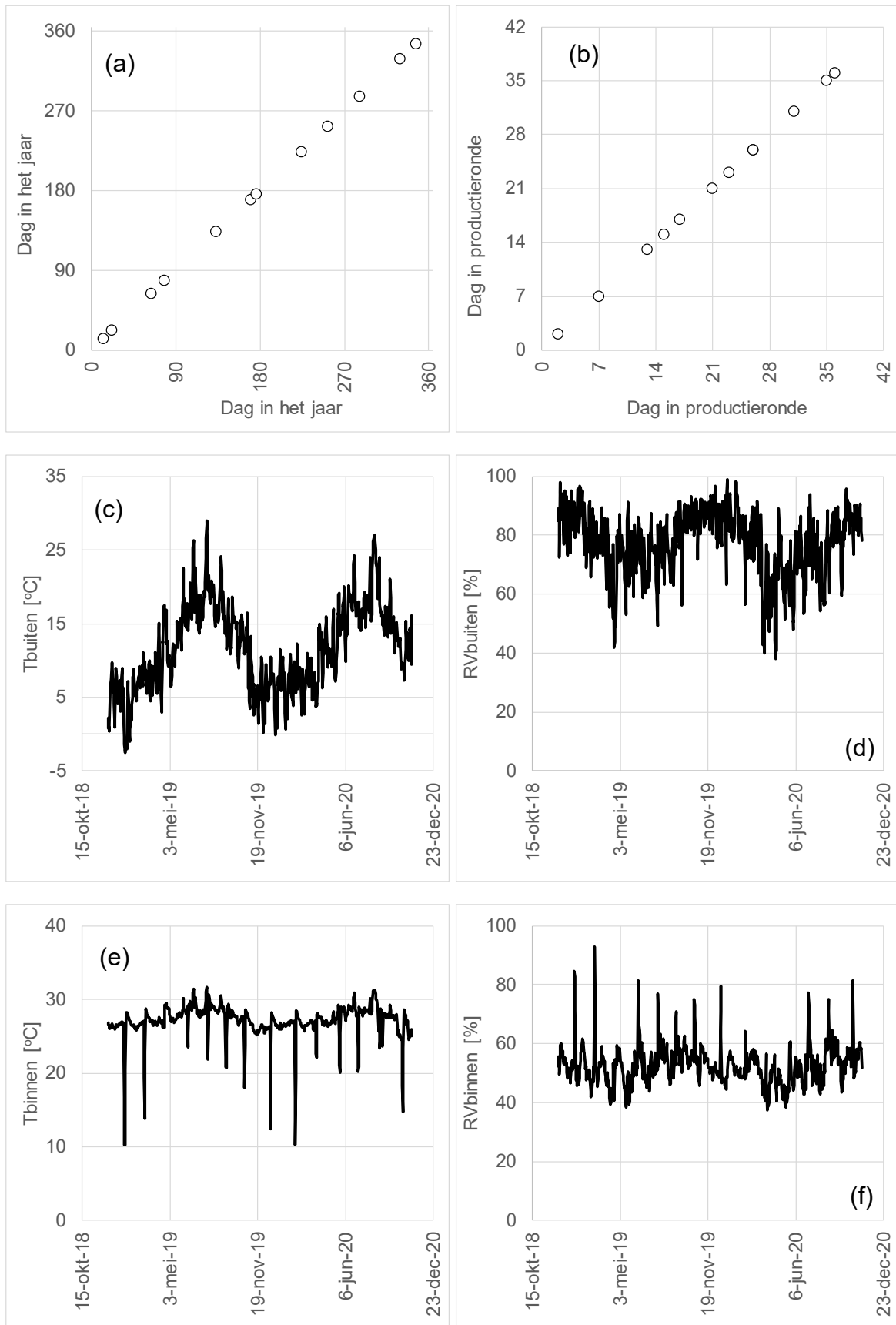
Kenmerken	Waarde
Dierplaatsen	120
Oriëntatie van de stal	Zuidwest-noordoost
Afmetingen afdeling	
Lengte [m] x Breedte [m]	5,80 x 9,60
Goot- en nokhoogte [m]	Goothoogte: 2,5 m Nokhoogte: 4,35 m
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	4 hokken; 4,8 x 2,4
Leefoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	0,4
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Volledig roostervloer; 1,30 m metalen roosters, 3,50 m kunststof roosters
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Onder de roostervloer; 60 cm diep 33,4 m <sup>3</sup> putinhoud
Mestverwijdering en frequentie	Wanneer deze vol zit of wanneer de mest direct kan worden afgevoerd; afvoer mest via rioleringssysteem
Ventilatie	
Luchtinlaat	Voergangventilatie, inlaat via deur (onder- en bovenkant)
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 45 cm
Voersysteem en voertijden	Onbeperkt, twee keer per dag aangevuld ('s ochtends rond 8:30, 's middags rond 17:30)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels en drinkbakjes)
Lichtregime	Eerste drie dagen blijft het licht aan, daarna alleen daglicht
Schoonmaakregime	Na elke ronde

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 12/10/2018 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn twaalf referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen en binnen een productieronde (respectievelijk Figuur BG1.2a en Figuur BG1.2.b). Tijdens de referentiemetingen waren de gemiddelde buitentemperatuur (T: 10,9 °C; Tabel BG1.2) en relatieve luchtvochtigheid (RV: 81%; Tabel BG1.2) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (De Bilt; T: 10,6 °C; RV: 80%). Voor de continue metingen was de gemiddelde buitentemperatuur iets hoger en de relatieve luchtvochtigheid iets lager dan de langdurige 10-jaargemiddelde. In Figuur BG1.2 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten binnentemperatuur en -luchtvochtigheid; buitentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten van het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. De data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen, worden in Tabel BG1.3 en Tabel BG1.4 samengevat.

**Tabel BG1.2** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal management- en klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen.

	Kenmerk	Continue	Referentie
Management	Aantal dieren	132 (84 : 270*)	132 (127 : 160)
	Dag in de ronde	24 (1 : 57)	22 (3 : 37)
	Gewicht dieren	14,5 (5,0 : 26,5)	13,1 (7,9 : 18,9)
	Groei [kg/dag/dier]	0,37 (0,20 : 0,60)	0,33 (0,25 : 0,55)
	Voeropname [kg/dier/dag]	---	---
	Ruweiwit voer [%]	16,6 (15,5 : 17,5)	16,5 (15,5 : 17,5)
	Energiewaarde voer [MJ/kg]	1,15 (1,12 : 1,16)	1,15 (1,12 : 1,16)
Klimaat	T-binnen [°C]	27,1 (10,2 : 31,7)	27,6 (26,2 : 30,4)
	RV-binnen [%]	53 (37 : 93)	54 (43 : 61)
	T-buiten [°C]	11,6 (-2,5 : 29,0)	10,9 (-1,4 : 23,6)
	RV-buiten [%]	77 (38 : 99)	81 (54 : 93)
	Windrichting	192 (26 : 345)	157 (60 : 235)
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,5 (0,8 : 9,6)	3,4 (2,3 : 6,2)
Resultaten	Aantal meetdagen	659	12
	Ventilatie-debiet [m <sup>3</sup> /uur/dier]	6,9 (1,6 : 21,8)	6,5 (2,3 : 19,3)
	CO <sub>2</sub> stal [ppm]	2154 (513 : 4403)	2263 (544 : 3632)
	CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	470 (439 : 571)	476 (435 : 511)
	Aantal meetdagen	669	12
	NH <sub>3</sub> stal [ppm]	12,1 (2,3 : 28,4)	12,3 (3,7 : 22,0)
	NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	---	0,15 (0,03 : 0,44)
	NH <sub>3</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	0,41 (0,06 : 1,16)	0,40 (0,11 : 0,69)
	Aantal meetdagen	634	12
	CH <sub>4</sub> stal [ppm]	46 (13 : 149)	43 (12 : 109)
	CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	---	2,9 (2,2 : 4)
	CH <sub>4</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	1,5 (0,2 : 5,3)	1,3 (0,3 : 3,8)
	Aantal meetdagen	---	12
	N <sub>2</sub> O stal [ppm]	---	0,83 (0,41 : 1,63)
	N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	---	0,37 (0,29 : 0,47)
	N <sub>2</sub> O-emissie [g/jaar per dpl]	---	33,1 (0,5 : 66,8)

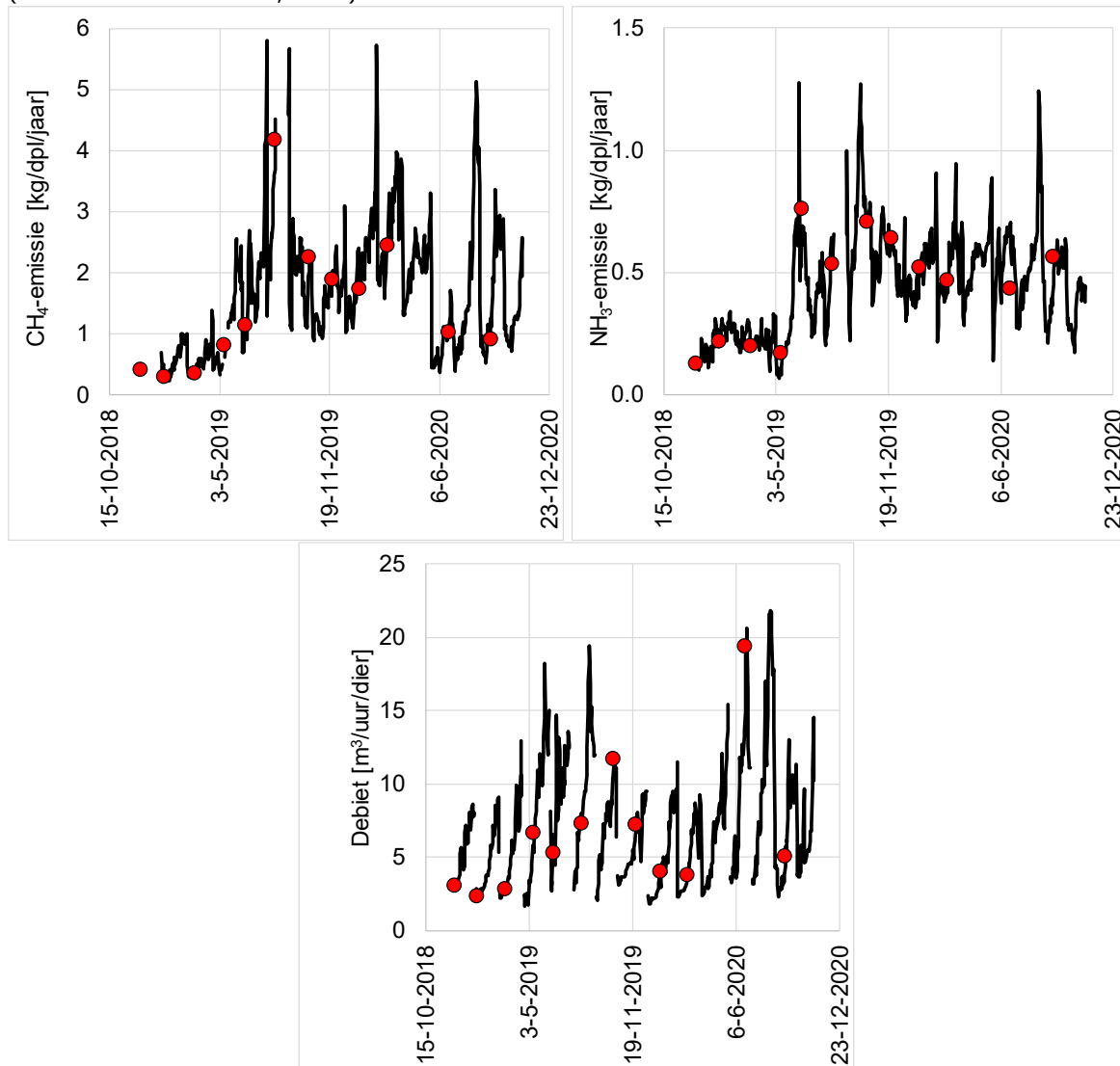
\*bij uitvaart van de dieraantallen bleek regelmatig dat in de meetafdeling tijdelijk (maximaal 1 week) een grotere groep aanwezig was dan normaal gesproken zou worden geplaatst. Dit had te maken met de logistiek en de noodzaak van het verplaatsen van dieren naar verschillende afdelingen. Hetzelfde geldt voor de ondergrens van het aantal dieren. Gedurende een korte tijd was een veel kleiner aantal dieren gehuisvest in de afdeling.



**Figuur BG1.2** a) Verdeling van de metingen over de seizoenen; b) Verdeling van de metingen over een productieronde; c) t/m f) Continue metingen van een aantal klimaatparameters.

In Figuur BG1.3 worden per dag het ventilatiedebiet en de ammoniak- en methaanemissies weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $6,9 \pm 4,0$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet  $6,5 \pm 4,8$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op

basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $0,41 \pm 0,19$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde ammoniakemissie  $0,40 \pm 0,20$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $1,5 \pm 0,9$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde methaanemissie (gecorrigeerd voor leegstand)  $1,3 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde lachgasemissie  $33 \pm 20$  g/jaar per dierplaats. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij de biggen uitgevoerd. Voor biggen wordt een leegstand van 9% verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



**Figuur BG1.3.** Linksboven: CH<sub>4</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Rechtsboven: NH<sub>3</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Onder: Ventilatie-debiet [m<sup>3</sup>/uur/dier]. De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven. De emissies in deze figuur zijn niet door leegstand gecorrigeerd.

**Tabel BG1.3** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Datum	12-12-2018	22-1-2019	19-3-2019	13-5-2019	19-6-2019	12-8-2019	13-10-2019	25-11-2019	13-1-2020	4-3-2020	24-6-2020	8-9-2020	
Dag in het jaar	346	22	78	133	170	224	286	329	13	64	176	252	
Klimaatgegevens	T-binnen [°C]	26,7	28,1	27,0	27,1	29,1	28,6	27,7	26,2	26,3	26,4	30,4	27,8
	RV-binnen [%]	54,1	47,5	55,2	43,2	60,0	57,4	57,1	51,4	55,5	57,2	42,7	61,1
	T-buiten [°C]	1,5	-1,4	6,7	10,0	17,9	15,3	15,6	8,3	9,1	6,5	23,6	17,2
	RV-buiten [%]	87,0	87,7	85,7	63,6	80,3	80,5	88,9	92,6	85,1	80,5	53,8	88,6
	Windrichting	71,0	127,5	207,7	59,6	212,4	227,2	151,9	150,8	194,2	150,8	94,6	235,0
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,4	3,5	2,3	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0	6,2	3,4	3,7	3,1
	Managementgegevens	Aantal dieren	128	128	130	135	130	128	129	128	160	129	127
Dag in de ronde		18	3	14	27	8	16	36	37	27	22	32	24
Gewicht dieren [kg]		12,2	7,9	10,8	13,4	9,1	11,1	16,7	17,1	14,2	12,7	18,9	13,9
Groei [kg/dag/dier]		0,40	0,25	0,30	0,25	0,25	0,30	0,40	0,30	0,30	0,30	0,55	0,35
Voeropname [kg/dier/dag]		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ruweiwit voer [%]		17,0	15,5	15,6	15,5	15,6	15,6	17,5	17,5	17,4	15,6	17,5	17,5
Energiewaarde voer [MJ/kg]		1,15	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,12	1,12	1,16	1,15	1,15	1,15

**Tabel BG1.4.** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 9% volgens Groenestein en Aarnink (2008)) tijdens de referentiemetingen.

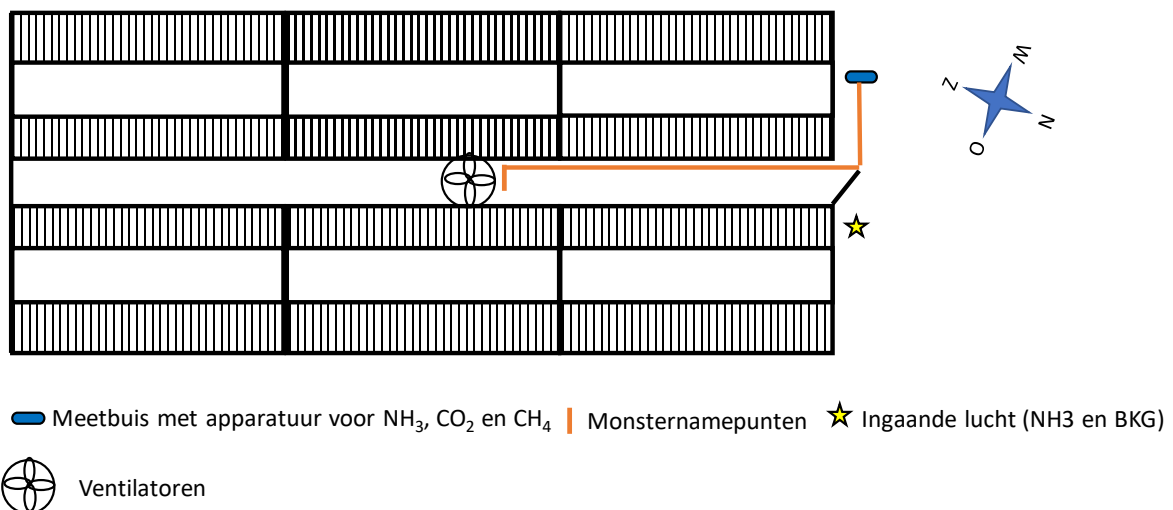
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11
Datum	12-12-2018	22-1-2019	19-3-2019	13-5-2019	19-6-2019	12-8-2019	13-10-2019	25-11-2019	13-1-2020	4-3-2020	24-6-2020	8-9-2020
Dag in het jaar	346	22	78	133	170	224	286	329	13	64	176	252
CO <sub>2</sub> stal [ppm]	3467	3085	3632	1780	1677	1801	2022	2535	2792	3145	544	681
CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	499	503	511	464	483	463	435	490	453	471	465	469
Debiet [m <sup>3</sup> /dier/uur]	3,1	2,3	2,8	6,7	5,3	7,3	11,7	7,2	4,0	3,7	19,3	5,1
NH <sub>3</sub> stal [ppm]	6,3	14,7	10,5	3,7	22,0	11,4	9,7	13,7	15,9	19,1	3,7	16,7
NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	0,16	0,16	0,08	0,10	0,10	0,16	0,44	0,13	0,10	0,03	0,20	0,12
NH <sub>3</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	0,11	0,20	0,18	0,15	0,69	0,48	0,64	0,58	0,47	0,42	0,39	0,51
CH <sub>4</sub> stal [ppm]	24,7	24,3	22,7	20,5	37,2	96,3	34,5	46,5	58,3	109,3	11,7	31,3
CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	2,8	3,2	3,0	2,2	2,4	2,8	3,1	3,6	2,3	3,2	3,0	2,9
CH <sub>4</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	0,4	0,3	0,3	0,7	1,0	3,8	2,1	1,7	1,6	2,2	0,9	0,8
N <sub>2</sub> O stal [ppm]	1,35	1,63	1,58	0,89	0,80	0,61	0,59	0,58	0,41	0,61	0,55	0,41
N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	0,35	0,35	0,43	0,29	0,40	0,31	0,31	0,31	0,34	0,42	0,47	0,40
N <sub>2</sub> O emissie [g/dpl/jaar]	47,47	45,16	51,50	66,79	32,45	32,63	50,53	29,00	5,79	10,79	24,64	0,52

## **Biggen: Bedrijf 2 (BG2)**

De metingen vonden plaats in een afdeling van een varkensstal voor biggen met plaats voor 270 dieren. De dieren werden in groepen in zes verschillende hokken in de afdeling gehouden (Figuur BG2.1), met een voergang in het midden van de afdeling en drie hokken aan beide zijden van de voergang. De hokken hadden een gedeeltelijk roostervloer (54% roostervloer (waarvan twee derde van gietijzer aan de achterwand, en een derde van composiet langs de voergang), 46% dichte vloer). De dieren hadden een leefoppervlak van 0,32 m<sup>2</sup> per dier ter beschikking. Indien noodzakelijk werd aan het einde van de voergang een ziekenboeg ingericht voor een enkele big die afgezonderd moest worden. Onder de roostervloer bevindt zich een mestkelder (1,5 m diep; 145 m<sup>3</sup> putinhoud). De mestkelder wordt geleegd wanneer deze vol zit of wanneer de mest direct kan worden afgevoerd.

De afdeling werd mechanisch geventileerd. De lucht kwam via de centrale gang door de roostervloer de afdeling binnen. In de afdeling is een ventilator (diameter: 56 cm) geplaatst die onderdruk in de afdeling creëert, waardoor de stallucht via de ventilatiekoker de stal verlaat.

De dieren hebben een groeitraject (opleg-afleveren) van 7-27 kg over een productieronde van gemiddeld 6-7 weken. De dieren kregen onbeperkt water (drinknippels) en voer (droogvoerbak). De dieren krijgen 11 uur licht (daglicht of via lampen; tussen 7:00 en 18:00). In Tabel BG2.1 zijn de belangrijkste kenmerken van deze afdeling op een rij gezet.



**Figuur BG2.1** Stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur.

**Tabel BG2.1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte biggenafdeling.

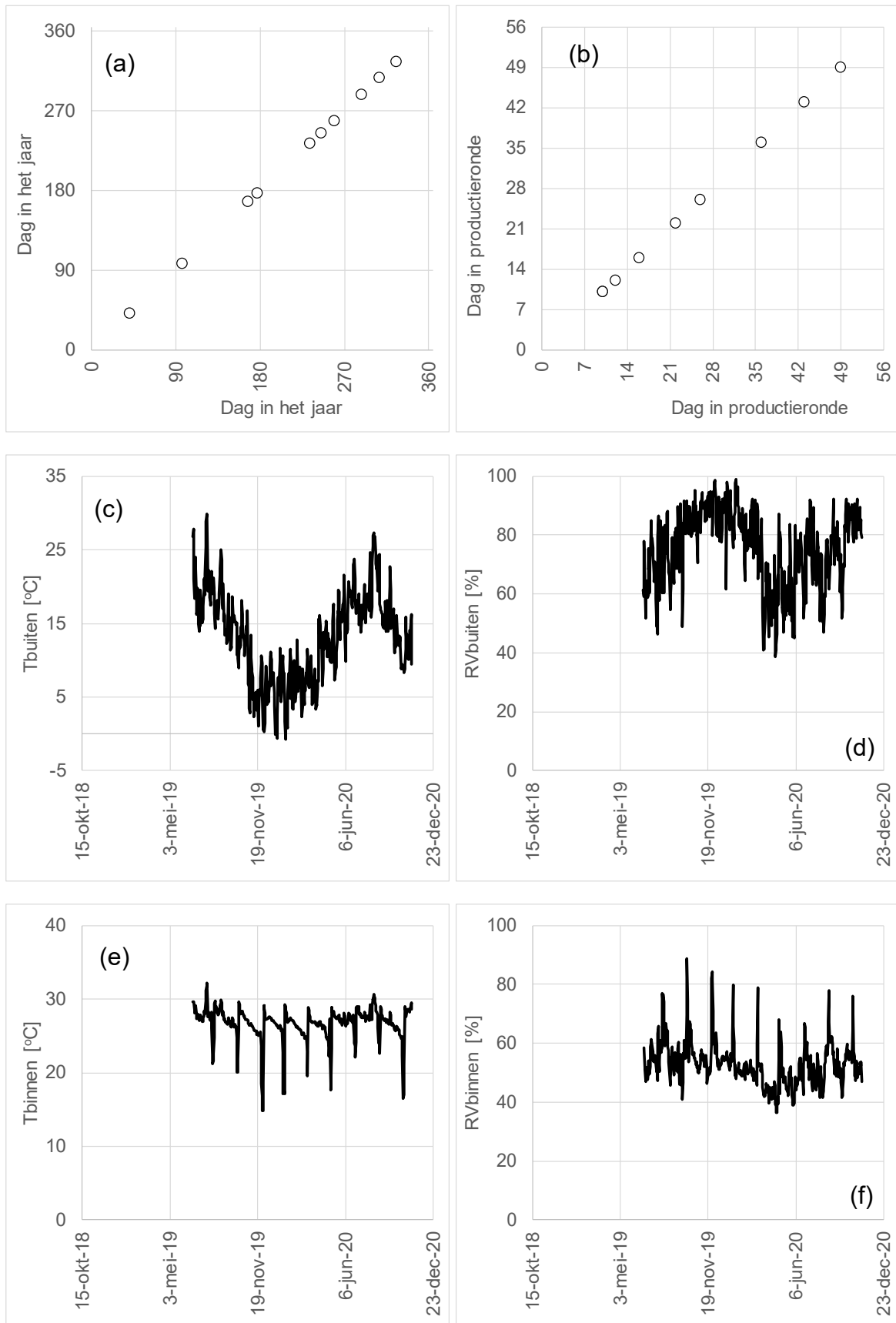
Kenmerken	Waarde
Dierplaatsen	270
Oriëntatie van de stal	Zuidoost-noordwest
Afmetingen afdeling	
Lengte [m] x Breedte [m]	15,5 x 6,5
Goot- en nokhoogte [m]	Goothoogte: 3,0 m Nokhoogte: 6,0 m
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	6 hokken; 5,2 x 2,8
Leefoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	0,3
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijk roostervloer (54% roosters, waarvan 66% van gietijzer en 34% van composiet)
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Onder de roostervloer; 1,50 m diep; 145 m <sup>3</sup> putinhoud
Mestverwijdering en frequentie	Bij volle mestkelder en/of mesttransport
Ventilatie	
Luchtinlaat	Via de centrale gang door het roostervloer
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 56 cm
Voersysteem en voertijden	Onbeperkt (droogvoerbak)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)
Lichtregime	11 uur licht, tussen 7:00-18:00. Nadat de lampen uitgaan gaat een nachtlampje aan, het is dan schemerig in de stal.
Schoonmaakregime	Na elke ronde (6-7 weken)

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 24/06/2019 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er tien referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen en binnen een productieronde (respectievelijk Figuur BG2.2a en Figuur BG2.2.b). Tijdens de referentiemetingen waren de gemiddelde buitentemperatuur (T: 13,6 °C; Tabel BG2.2) hoger en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%; Tabel BG2.2) lager dan de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Volkel; T: 10,5 °C; RV: 80%). Voor de continue metingen was de buitentemperatuur (T: 12,9 °C; Tabel BG2.2) hoger en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%; Tabel BG2.2) lager dan de langdurige 10-jaargemiddelde. In Figuur BG2.2 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten binnentemperatuur en -luchtvochtigheid; buitentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten van het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. De data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen, worden in Tabel BG2.3 en Tabel BG2.4 samengevat.



**Tabel BG2.2** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal management- en klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen.

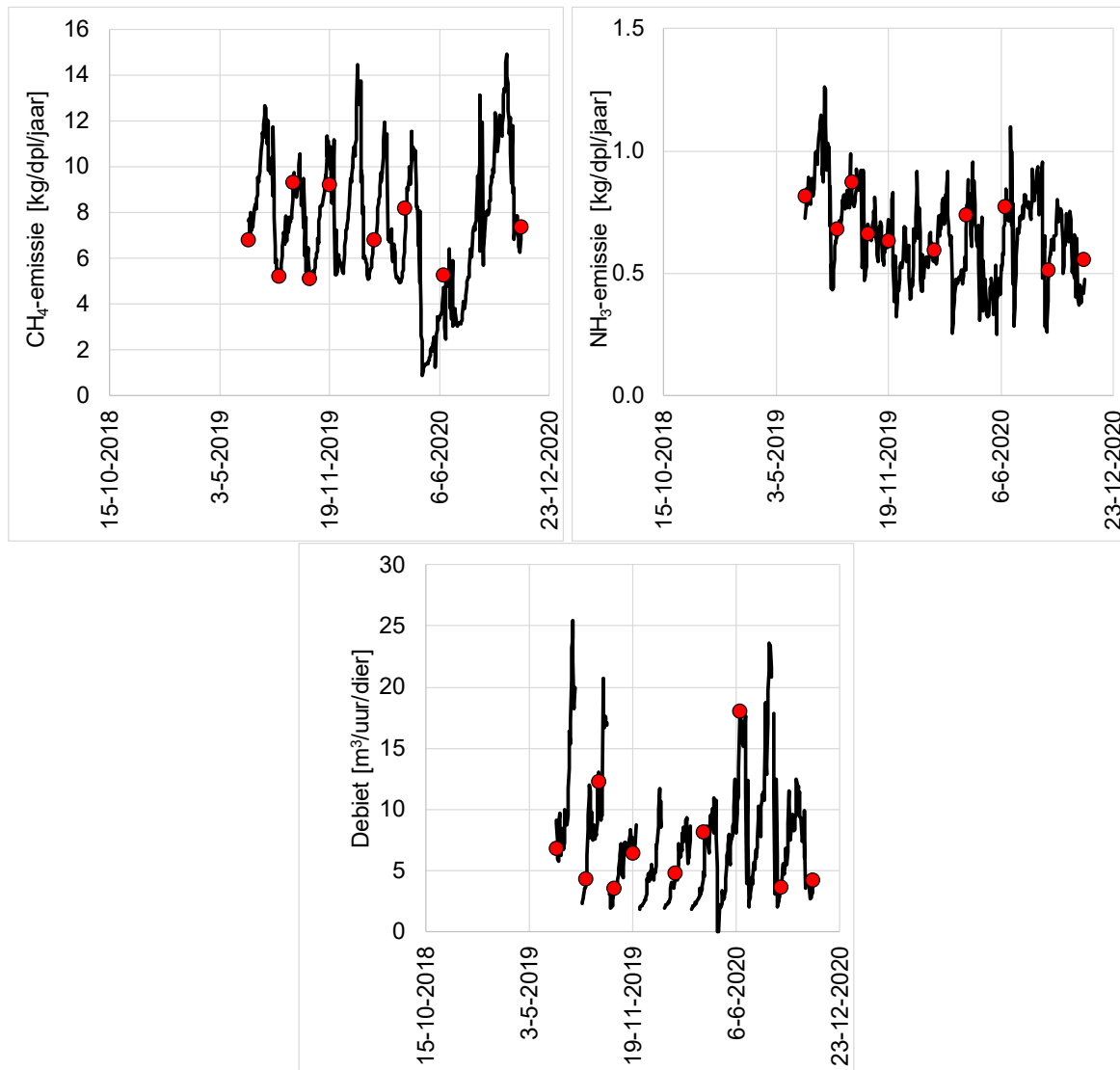
	Kenmerk	Continue	Referentie
Management	Aantal dieren	270 (180 : 288)	270 (240 : 280)
	Dag in ronde	25 (1 : 56)	25 (11 : 50)
	Gewicht dieren	15,6 (5,0 : 29,9)	15,5 (8,9 : 24,4)
	Groei [kg/dag/dier]	0,39 (0,25 : 0,55)	0,40 (0,35 : 0,50)
	Voeropname [kg/dier/dag]	0,51 (0,10 : 1,00)	0,56 (0,18 : 0,95)
	Ruweiwit voer [%]	16,6 (16,0 : 17,5)	16,6 (16,0 : 17,5)
	Energiewaarde voer [MJ/kg]	1,11 (1,10 : 1,20)	1,12 (1,10 : 1,20)
Klimaat	T-binnen [°C]	26,6 (14,8 : 32,2)	27,4 (25,1 : 29,0)
	RV-binnen [%]	53 (36 : 89)	51 (42 : 56)
	T-buiten [°C]	12,9 (-0,7 : 29,9)	13,6 (4,0 : 19,7)
	RV-buiten [%]	75 (39 : 99)	75 (58 : 91)
	Windrichting	192 (35 : 324)	195 (109 : 264)
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,8 (0,8 : 11,7)	3,7 (1,6 : 9,4)
Resultaten	Aantal meetdagen	458	10
	Ventilatie-debiet [m <sup>3</sup> /uur/dier]	7,5 (1,9 : 25,4)	7,1 (3,5 : 18,0)
	CO <sub>2</sub> stal [ppm]	2104 (515 : 4306)	2109 (1394 : 2857)
	CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	453 (400 : 556)	507 (455 : 578)
	Aantal meetdagen	498	10
	NH <sub>3</sub> stal [ppm]	18,4 (5,0 : 51,1)	19,4 (6,9 : 30,1)
	NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	---	0,19 (0,11 : 0,33)
	NH <sub>3</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	0,60 (0,23 : 1,15)	0,62 (0,46 : 0,79)
	Aantal meetdagen	498	9
	CH <sub>4</sub> stal [ppm]	229 (27 : 532)	208 (51 : 359)
	CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	---	4,1 (2,2 : 8)
	CH <sub>4</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	6,8 (0,8 : 13,6)	6,4 (4,6 : 8,5)
	Aantal meetdagen	---	9
	N <sub>2</sub> O stal [ppm]	---	0,91 (0,55 : 1,72)
	N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	---	0,48 (0,34 : 0,73)
	N <sub>2</sub> O-emissie [g/jaar per dpl]	---	34,2 (10,9 : 51,3)



**Figuur BG2.2** a) Verdeling van de metingen over de seizoenen; b) Verdeling van de metingen over een productieronde; c) t/m f) Continue metingen van een aantal klimaatparameters.

In Figuur BG2.3 worden per dag het ventilatiedebiet en de ammoniak- en methaanemissies weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $7,5 \pm 4,7$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet  $7,1 \pm 4,6$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op

basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $0,60 \pm 0,17$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde ammoniakemissie  $0,62 \pm 0,11$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $6,8 \pm 2,6$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde methaanemissie (gecorrigeerd voor leegstand)  $6,4 \pm 1,5$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde lachgasemissie  $34 \pm 14$  g/jaar per dierplaats. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij de biggen uitgevoerd. Voor biggen wordt een leegstand van 9% verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



**Figuur BG2.3.** Linksboven: CH<sub>4</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Rechtsboven: NH<sub>3</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Onder: Ventilatie-debiet [m<sup>3</sup>/uur/dier]. De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven. De emissies in deze figuur zijn niet door leegstand gecorrigeerd.

**Tabel BG2.3** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Datum	26-6-2019	21-8-2019	16-9-2019	15-10-2019	21-11-2019	10-2-2020	6-4-2020	15-6-2020	1-9-2020	2-11-2020	
Dag in het jaar	177	233	259	288	325	41	97	167	245	307	
Klimaatgegevens	T-binnen [°C]	29,0	28,0	26,7	28,0	25,1	26,7	26,8	27,8	27,1	29,0
	RV-binnen [%]	55,2	51,8	53,3	56,3	50,5	48,3	42,4	52,6	50,1	50,3
	T-buiten [°C]	19,7	16,9	13,5	14,0	4,0	6,9	14,3	19,2	15,1	12,8
	RV-buiten [%]	72,1	66,6	82,8	90,8	90,1	67,4	57,6	75,4	70,2	80,0
	Windrichting	210,6	177,0	263,8	197,1	109,0	249,6	153,5	164,1	216,4	213,0
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,4	1,8	2,0	3,9	3,6	9,4	3,4	1,7	1,6	6,5
	Managementgegevens	Aantal dieren	270	270	260	280	276	270	277	280	277
Dag in ronde		11	11	37	13	50	23	27	44	17	21
Gewicht dieren [kg]		11,0	8,9	19,6	10,0	24,4	14,6	15,2	22,4	11,9	11,8
Groei [kg/dag/dier]		0,40	0,41	0,41	0,35	0,45	0,40	0,35	0,50	0,35	0,35
Voeropname [kg/dier/dag]		0,50	0,18	0,80	0,20	0,90	0,20	0,50	0,90	0,50	0,95
Ruweiwit voer [%]		17,5	16,8	17,0	16,5	17,0	16,5	16,0	16,0	16,5	16,5
Energiewaarde voer [MJ/kg]		1,15	1,12	1,10	1,10	1,10	1,12	1,12	1,10	1,20	1,10

**Tabel BG2.4.** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 9% volgens Groenestein en Aarnink (2008)) tijdens de referentiemetingen. n.g.: niet gemeten.

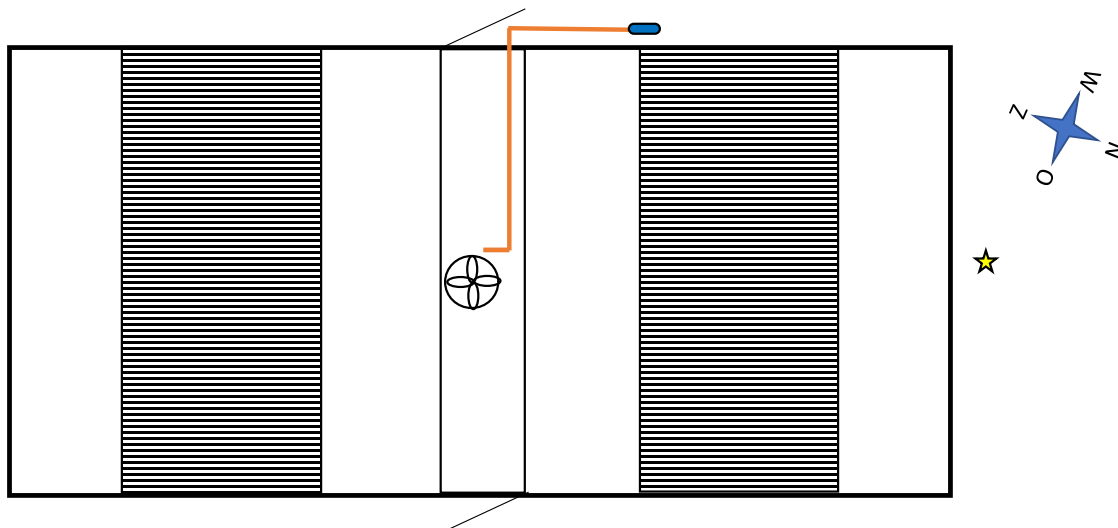
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum	26-6-2019	21-8-2019	16-9-2019	15-10-2019	21-11-2019	10-2-2020	6-4-2020	15-6-2020	1-9-2020	2-11-2020
Dag in het jaar	177	233	259	288	325	41	97	167	245	307
CO <sub>2</sub> stal [ppm]	1394	1936	1881	2038	2857	2764	1904	1523	n.g.	2683
CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	455	520	565	578	501	456	498	497	n.g.	494
Debiet [m <sup>3</sup> /dier/uur]	6,7	4,3	12,1	3,5	6,3	4,7	8,1	18,0	3,6	4,1
NH <sub>3</sub> stal [ppm]	19,7	25,8	12,2	30,1	16,1	20,7	14,5	6,9	22,7	25,2
NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	0,14	0,16	0,12	0,33	0,22	0,11	0,20	0,18	0,23	0,23
NH <sub>3</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	0,74	0,61	0,79	0,60	0,57	0,54	0,67	0,70	0,46	0,50
CH <sub>4</sub> stal [ppm]	176,3	213,0	139,7	252,5	251,1	252,5	172,3	51,5	n.g.	358,8
CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	2,2	3,4	3,2	8,3	4,3	2,7	3,7	2,8	n.g.	6,2
CH <sub>4</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	6,2	4,7	8,5	4,6	8,3	6,1	7,4	4,8	n.g.	6,7
N <sub>2</sub> O stal [ppm]	0,78	1,11	0,55	1,72	0,94	0,97	0,84	0,70	n.g.	0,55
N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	0,42	0,45	0,36	0,73	0,54	0,35	0,47	0,65	n.g.	0,34
N <sub>2</sub> O emissie [g/dpl/jaar]	35,31	41,07	31,55	51,25	37,60	41,99	44,73	13,08	n.g.	10,95

## **Dragende zeugen: Bedrijf 1 (DZ1)**

De metingen vonden plaats in een afdeling van een varkensstal voor dragende zeugen in groepshuisvesting met plaats voor 70 dieren. De dieren werden in groepen in twee hokken in de afdeling gehouden (Figuur DZ1.1), met een voergang in het midden van de afdeling en een hok aan beide zijden van de voergang. De hokken hadden een gedeeltelijk roostervloer (48% roostervloer; 52% dichte betonvloer) voorzien van betonnen roosters. De dieren hadden een leefoppervlak van 2,14 m<sup>2</sup> per dier ter beschikking. Onder de roostervloer bevindt zich een mestkelder (schuine wanden; 1,10 m diep; 80 m<sup>3</sup> putinhoud). De afdeling wordt twee keer per jaar schoongemaakt.

De afdeling werd mechanisch geventileerd. De lucht kwam via inlaatpunten (kopgevels) met balanskleppen boven de roosters de afdeling binnen. In de afdeling is een ventilator (diameter: 71 cm) geplaatst die onderdruk in de afdeling creëert, waardoor de stallucht via de ventilatiekoker de stal verlaat.

De dieren kregen onbeperkt water (drinknippels) en twee keer per dag droogvoer (7:00 en 9:30). Het lichtregime bestond, naast daglicht via de ramen, uit 8 uur per dag licht (via lampen). In Tabel DZ1.1 zijn de belangrijkste kenmerken van deze afdeling op een rij gezet.



— Meetbuis met apparatuur voor NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> | Monsternamepunten ★ Ingaande lucht (NH<sub>3</sub> en BKG)

⊕ Ventilatoren

**Figuur DZ1.1** Stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur.

**Tabel DZ1.1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte afdeling voor dragende zeugen.

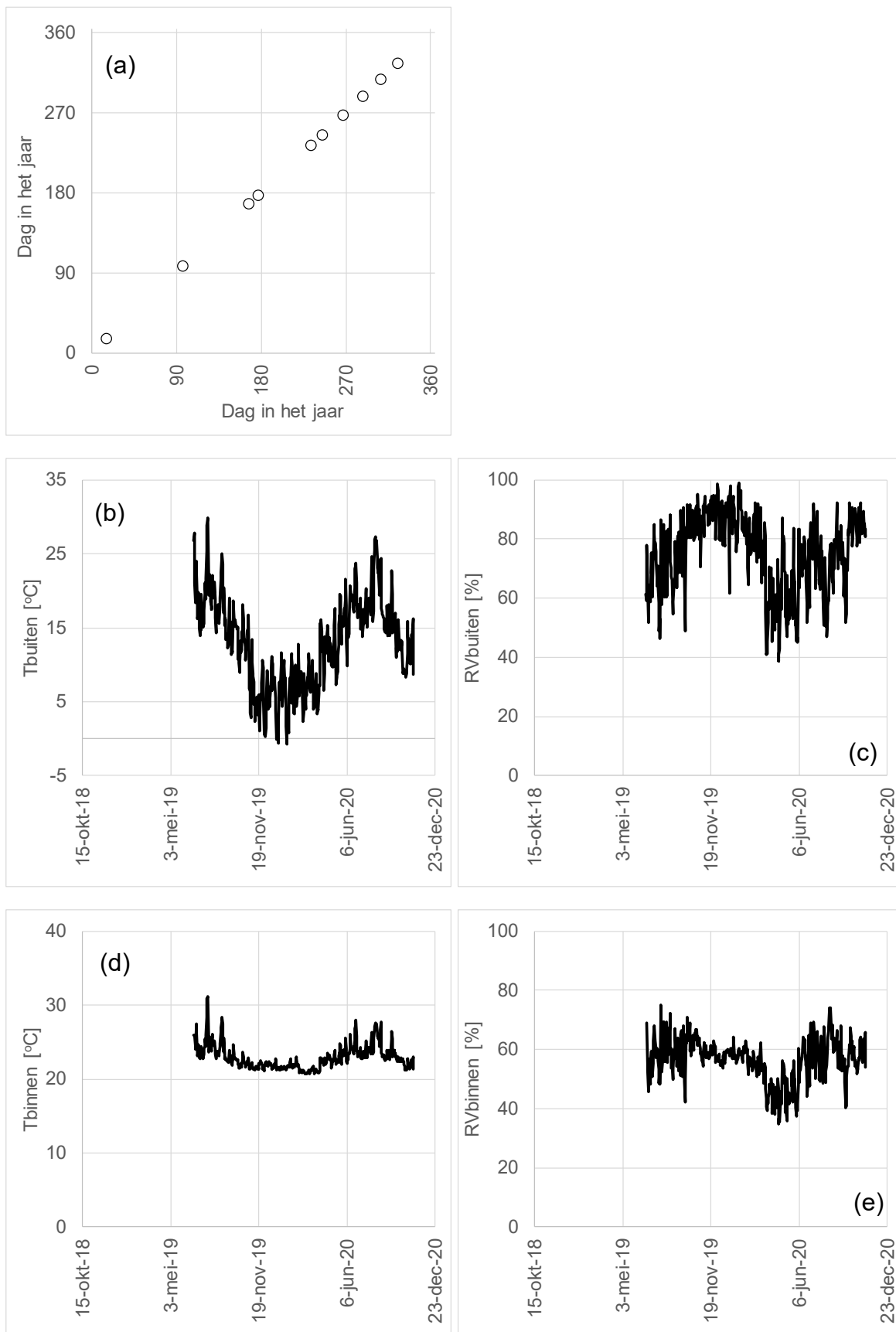
Kenmerken	Waarde
Dierplaatsen	70
Oriëntatie van de stal	Zuidoost-noordwest
Afmetingen afdeling	
Lengte [m] x Breedte [m]	17,5 x 9,40
Goot- en nokhoogte [m]	Goothoogte: 2,6 m Nokhoogte: 6,2 m
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	2 hokken; 8 x 9,4
Leefoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	2,14
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijk roostervloer (48% betonnen roosters, 52% dichte vloer)
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Schuine wanden, riool opvangput; 1,1 m diep; 80 m <sup>3</sup> putinhoud
Mestverwijdering en frequentie	Jaarrond mestafzet
Ventilatie	
Luchtinlaat	Via inlaatpunten (kopgevels) met balanskleppen boven de roosters
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 71 cm
Voersysteem en voertijden	Droogvoer, twee keer per (7:00-9:30) dag
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)
Lichtregime	Naast daglicht via de ramen, 8 uur per dag licht via lampen.
Schoonmaakregime	Twee keer per jaar

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 24/06/2019 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er tien referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen (Figuur DZ1.2a). Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur (T: 13,8 °C; Tabel DZ1.2) hoger en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 77%; Tabel DZ1.2) iets lager dan de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Volkel; T: 10,5 °C; RV: 80%). Voor de continue metingen was een vergelijkbare patroon gevonden (hogere waarden voor de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,9 °C; Tabel DZ1.2) en iets lagere waarden voor de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%; Tabel DZ1.2) ten opzichte van de langdurige 10-jaargemiddelde. In Figuur DZ1.2 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten binnentemperatuur en -luchtvochtigheid; buitentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten van het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. De data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen, worden in Tabel DZ1.3 en Tabel DZ1.4 samengevat.

**Tabel DZ1.2** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal management- en klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen.

	Kenmerk	Continue	Referentie
Management	Aantal dieren	70 (70 : 70)	70 (70 : 70)
	Dag in ronde	---	---
	Gewicht dieren	289,6 (280,0 : 290,0)	289,0 (280,0 : 290,0)
	Groei [kg/dag/dier]	---	---
	Voeropname [kg/dier/dag]	2,8 (2,8 : 2,8)	2,8 (2,8 : 2,8)
	Ruweiwit voer [%]	12,5 (12,0 : 13,0)	12,6 (12,0 : 13,0)
	Energiewaarde voer [MJ/kg]	1,03 (1,03 : 1,03)	1,03 (1,03 : 1,03)
Klimaat	T-binnen [°C]	22,9 (20,7 : 31,2)	22,9 (21,5 : 25,1)
	RV-binnen [%]	56 (35 : 75)	58 (43 : 66)
	T-buiten [°C]	12,9 (-0,7 : 29,9)	13,8 (4,0 : 19,7)
	RV-buiten [%]	75 (39 : 99)	77 (58 : 91)
	Windrichting	192 (35 : 324)	181 (109 : 216)
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,7 (0,8 : 11,7)	3,4 (1,6 : 6,3)
Resultaten	Aantal meetdagen	499	10
	Ventilatie-debiet [m <sup>3</sup> /uur/dier]	54,0 (9,2 : 118,1)	58,6 (11,9 : 96,5)
	CO <sub>2</sub> stal [ppm]	1520 (767 : 3051)	1405 (875 : 2695)
	CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	736 (466 : 1334)	688 (467 : 1129)
	Aantal meetdagen	499	10
	NH <sub>3</sub> stal [ppm]	12,5 (4,3 : 34,7)	11,4 (7,3 : 21,8)
	NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	---	0,5 (0,08 : 1,31)
	NH <sub>3</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	3,3 (1,2 : 7,0)	3,4 (1,5 : 5,6)
	Aantal meetdagen	499	10
	CH <sub>4</sub> stal [ppm]	80 (15 : 237)	83 (17 : 225)
	CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	---	7,6 (3,5 : 12)
	CH <sub>4</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	16,3 (2,8 : 35,3)	18,5 (7,6 : 35,0)
	Aantal meetdagen	---	9
	N <sub>2</sub> O stal [ppm]	---	0,48 (0,35 : 0,72)
	N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	---	0,43 (0,29 : 0,62)
N <sub>2</sub> O-emissie [g/jaar per dpl]	---	49,9 (9,4 : 143,1)	

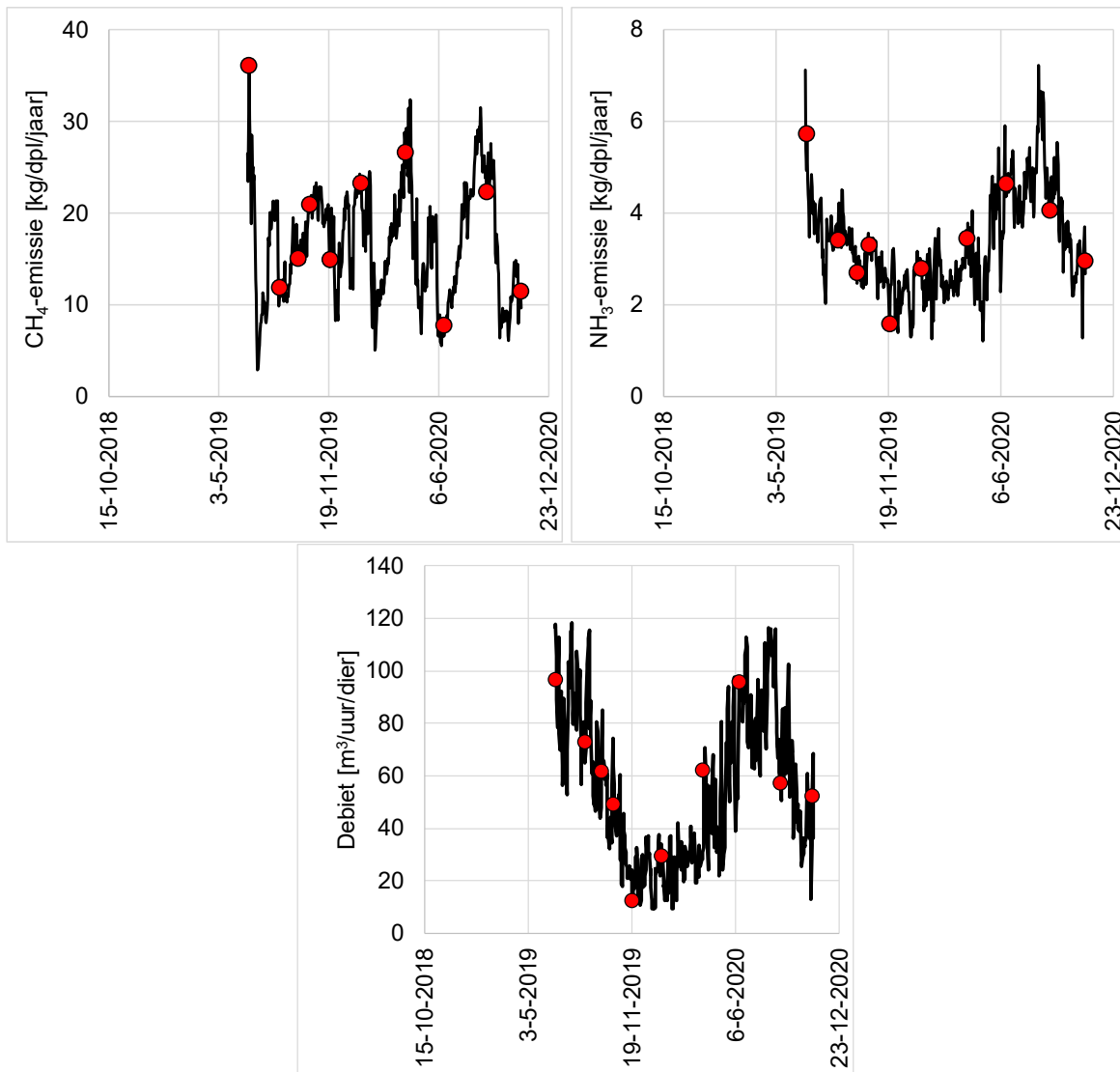




**Figuur DZ1.2** a) Verdeling van de metingen over de seizoenen; b) t/m e) Continue metingen van een aantal klimaatparameters.

In Figuur DZ1.3 worden per dag het ventilatiedebiet en de ammoniak- en methaanemissies weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $54 \pm 29$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet  $59 \pm 26$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op

basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $3,3 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde ammoniakemissie  $3,4 \pm 1,1$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $16 \pm 6$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde methaanemissie (gecorrigeerd voor leegstand)  $18 \pm 8$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde lachgasemissie  $50 \pm 40$  g/jaar per dierplaats. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij de dragende zeugen uitgevoerd. Voor dragende zeugen wordt een leegstand van 3% verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



**Figuur DZ1.3.** Linksboven: CH<sub>4</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Rechtsboven: NH<sub>3</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Onder: Ventilatie-debiet [m<sup>3</sup>/uur/dier]. De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven. De emissies in deze figuur zijn niet door leegstand (3% volgens Groenestein en Aarnink (2008)) gecorrigeerd.

**Tabel DZ1.3** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Datum	26-6-2019	21-8-2019	24-9-2019	15-10-2019	21-11-2019	16-1-2020	6-4-2020	15-6-2020	1-9-2020	2-11-2020	
Dag in het jaar	177	233	267	288	325	16	97	167	245	307	
Klimaatgegevens	T-binnen [°C]	25,1	23,8	22,7	22,4	22,2	21,5	22,5	24,1	22,7	22,2
	RV-binnen [%]	62,2	53,8	63,8	66,4	58,4	56,3	43,3	61,4	53,7	60,0
	T-buiten [°C]	19,7	16,9	15,3	14,0	4,0	7,6	14,3	19,2	15,1	12,4
	RV-buiten [%]	72,1	66,6	83,3	90,8	90,1	82,1	57,6	75,4	70,2	82,0
	Windrichting	210,6	177,0	181,0	197,1	109,0	182,7	153,5	164,1	216,4	214,2
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,4	1,8	3,8	3,9	3,6	4,5	3,4	1,7	1,6	6,3
	Managementgegevens	Aantal dieren	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Dag in ronde		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Gewicht dieren [kg]		280,0	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0
Groei [kg/dag/dier]		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Voeropname [kg/dier/dag]		2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Ruweiwit voer [%]		13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Energiewaarde voer [MJ/kg]		1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03

**Tabel DZ1.4.** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 3% volgens Groenestein en Aarnink (2008)) tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Datum	26-6-2019	21-8-2019	24-9-2019	15-10-2019	21-11-2019	16-1-2020	6-4-2020	15-6-2020	1-9-2020	2-11-2020
Dag in het jaar	177	233	267	288	325	16	97	167	245	307
CO <sub>2</sub> stal [ppm]	978	1256	1160	1356	2695	1910	1266	875	1195	1362
CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	<sup>1)</sup>	824	467	520	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	526	511	---	519
Debiet [m <sup>3</sup> /dier/uur]	96,5	72,3	61,5	48,9	11,9	29,2	61,9	95,6	56,8	51,9
NH <sub>3</sub> stal [ppm]	10,2	8,2	7,3	11,0	21,8	15,5	9,2	8,6	12,0	10,5
NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	<sup>1)</sup>	0,70	0,14	0,08	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	0,36	0,74	0,55	1,31
NH <sub>3</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	5,6	3,3	2,6	3,2	1,5	2,7	3,3	4,5	3,9	2,9
CH <sub>4</sub> stal [ppm]	72,4	36,6	52,2	85,9	224,6	143,2	77,3	17,5	73,5	42,5
CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	<sup>1)</sup>	8,7	10,0	12,2	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	4,5	3,5	6,6	4,6
CH <sub>4</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	35,0	11,6	14,6	20,3	14,5	22,6	25,9	7,6	21,7	11,2
N <sub>2</sub> O stal [ppm]	0,43	0,42	---	0,46	0,48	0,49	0,53	0,72	0,46	0,35
N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	<sup>1)</sup>	0,39	---	0,40	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	0,46	0,62	0,43	0,29
N <sub>2</sub> O emissie [g/dpl/jaar]	62,0	34,1	---	40,4	9,4	27,0	65,0	143,1	19,0	49,2

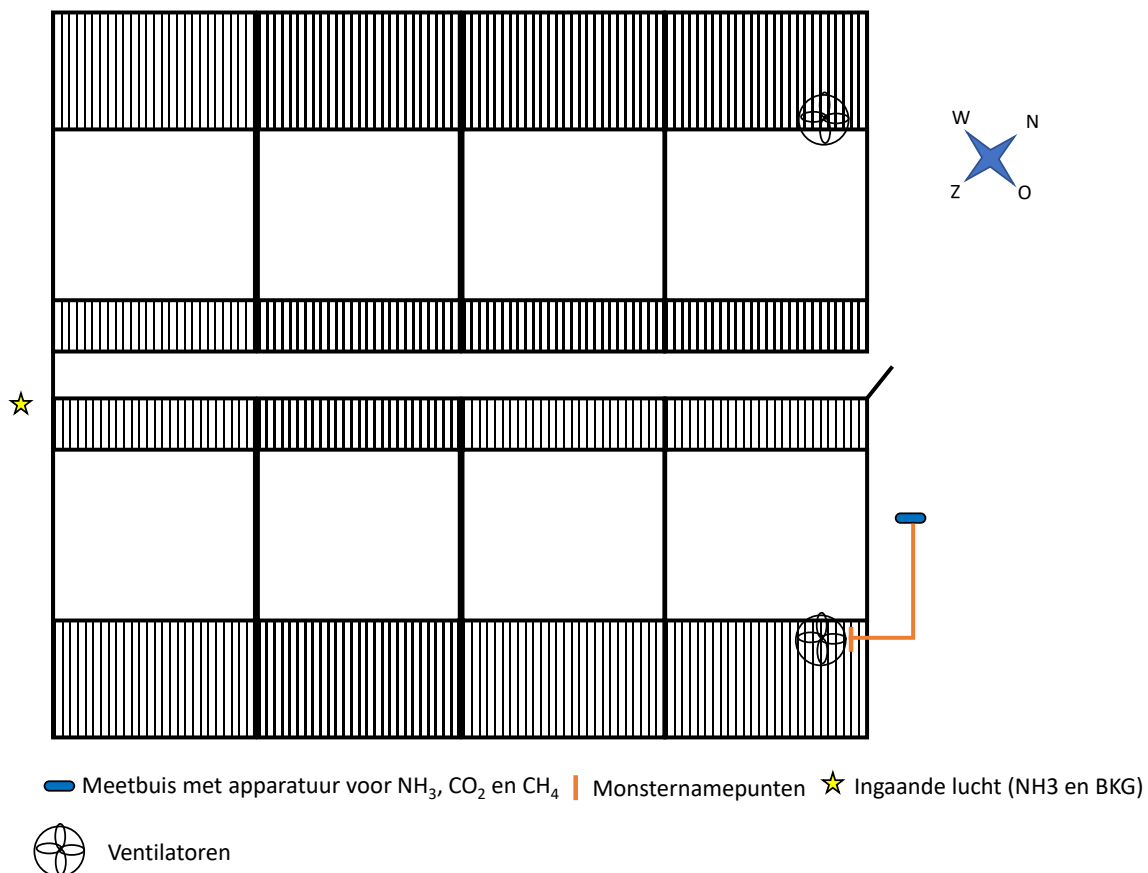
<sup>1)</sup> Door een onjuiste positionering van de monsternamleiding voor de ingaande lucht metingen, ook stallucht gemeten. Als achtergrondwaarde is in de berekeningen de gemiddelde genomen van de vorige en de volgende beschikbare referentiemeting.

## Vleesvarkens: Bedrijf 1 (VV1)

De metingen vonden plaats in een afdeling van een varkensstal voor vleesvarkens met plaats voor 96 dieren. De dieren werden in groepen in acht verschillende hokken in de afdeling gehouden (Figuur VV1.1), met een voergang in het midden van de afdeling en vier hokken aan beide zijden van de voergang. De hokken hadden een gedeeltelijk roostervloer (53% roostervloer, 47% bolle (dichte) vloer) voorzien van betonnen roosters met het grootste deel (75%) achter en een kleiner deel (25%) voor in de hok. De dieren hadden een leefoppervlak van 1,0 m<sup>2</sup> per dier ter beschikking. De afdeling is volledig onderkelderd, de mestkelder is 1,25 m diep. Er was geen luchtuitwisseling tussen de kelder onder de dichte vloer en die onder de roostervloer (stankslot). Na elke ronde wordt de afdeling gereinigd en de mestkelder schoongemaakt, maar niet leeggemaakt.

De afdeling werd mechanisch geventileerd. De lucht kwam vanaf een tegenoverliggende afdeling onder de bollevloer van die afdeling naar de centrale gang, en gaat dan via de deur die uitkomt op de voergang de afdeling in. In de afdeling zijn twee meet/smoorunits (diameter: 45 cm) die de ventilatie sturen naar het centrale luchtkanaal waar de lucht door middel van vier hogedruk ventilatoren door de luchtwasser naar buiten gaat.

De dieren hebben een groeitraject (opleg-afleveren) van 25-120 kg over een productieronde van gemiddeld 16 weken. De dieren kregen onbeperkt water. Voer werd in brijbakken een keer per dag verstrekt. Na ongeveer 2,5 maand werd het voerschema met 5% verhoogd, en later in de productieronde (afhankelijk hoe het met de dieren gaat) tot 10% verhoogd. Het lichtregime bestond uit alleen daglicht. In Tabel VV1.1 zijn de belangrijkste kenmerken van deze afdeling op een rij gezet.



**Figuur VV1.1** Stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur. De ingaande lucht werd buiten de stal gemeten.

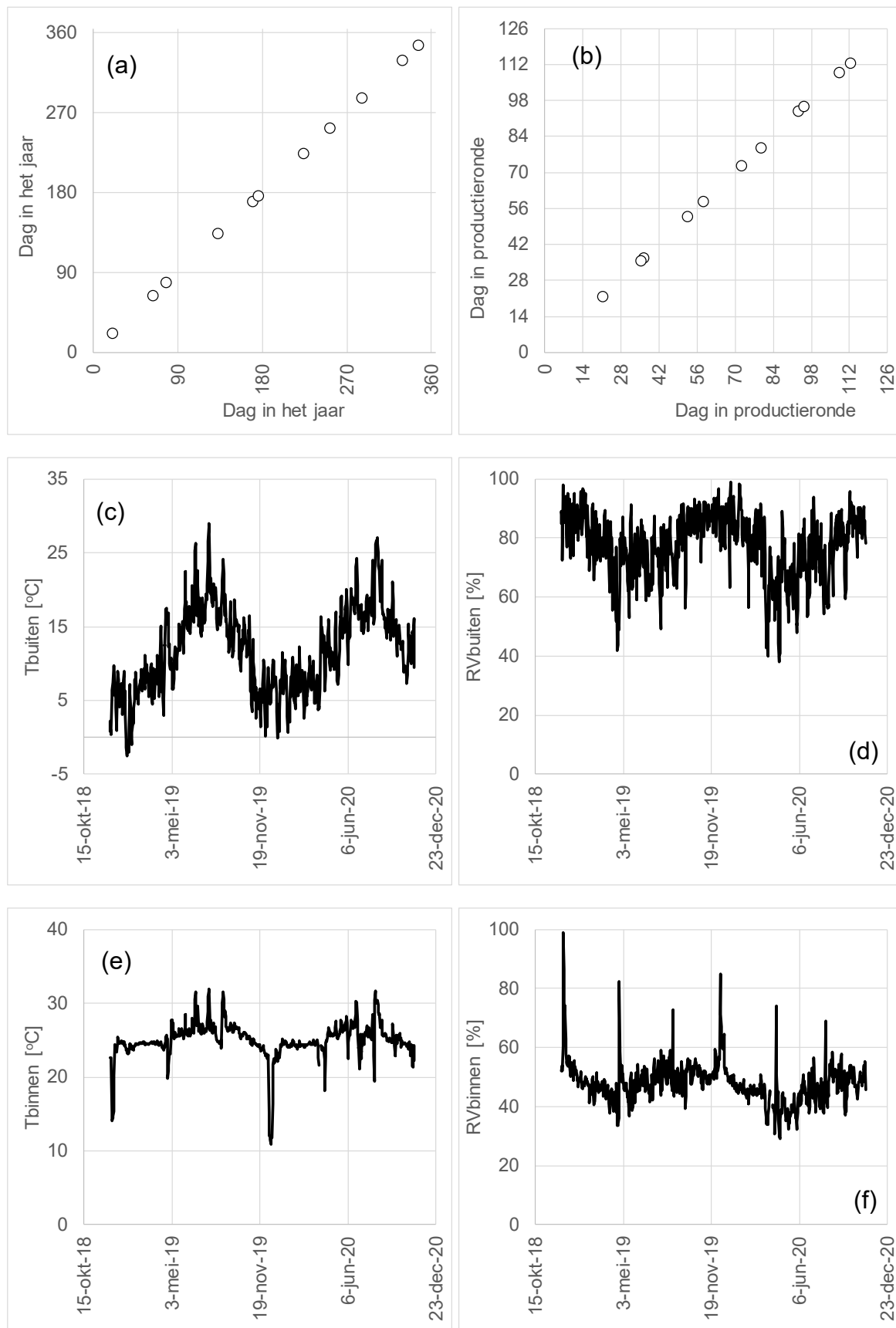
**Tabel VV1.1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte vleesvarkensafdeling.

Kenmerken	Waarde
Dierplaatsen	96
Oriëntatie van de stal	Zuidwest-noordoost
Afmetingen afdeling	
Lengte [m] x Breedte [m]	10,60 x 10,55
Goot- en nokhoogte [m]	Goothoogte: 2,4 m Nokhoogte: 7,9 m
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	4 hokken; 4,65 x 2,6
Leefoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	1,0
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijk roostervloer; 2,20 m dichte bolle vloer; 1,85 m betonnen roosters achter, en 0,60 m betonnen roosters voor in de hok
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Volledig onderkelderd, stankslot aanwezig; 1,25 m diep; 120 m <sup>3</sup> putinhoud
Mestverwijdering en frequentie	Via zuigput aan de buitenkant van de stal; een paar keer in de zomer
Ventilatie	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Voergangventilatie: lucht komt onder de bolle vloer van een andere afdeling naar de centrale gang en gaat via de deur naar de afdeling.
Luchtuitlaat	2 meet/smoorunits met een diameter van 45 cm. Via een centraal luchtkanaal boven de centrale gang gaat de lucht naar een luchtwasser.
Voersysteem en voertijden	Een keer per dag via brijbakken (droogvoer met drinknippel)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt
Lichtregime	Allen daglicht
Schoonmaakregime	Na elke ronde

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 12/10/2018 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er twaalf referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen en binnen een productieronde (respectievelijk Figuur VV1.2a en Figuur VV1.2.b). Tijdens de referentiemetingen waren de gemiddelde buitentemperatuur (T: 10,8 °C; Tabel VV1.2) en relatieve luchtvochtigheid (RV: 81%; Tabel VV1.2) vergelijkbaar met de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (De Bilt; T: 10,6 °C; RV: 80%). Voor de continue metingen was de gemiddelde buitentemperatuur (T: 11,7 °C; Tabel VV1.2) iets hoger en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 77%; Tabel VV1.2) iets lager dan de langdurige 10-jaargemiddelde. In Figuur VV1.2 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten binnentemperatuur en -luchtvochtigheid; buitentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten van het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. De data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen, worden in Tabel VV1.3 en Tabel VV1.4 samengevat.

**Tabel VV1.2** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal management- en klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen.

	Kenmerk	Continue	Referentie
Management	Aantal dieren	96 (37 : 144)	92 (72 : 107)
	Dag in ronde	57 (1 : 123)	66 (22 : 113)
	Gewicht dieren [kg]	76,4 (25,0 : 132,1)	83,4 (35,3 : 120,0)
	Groei [kg/dag/dier]	0,70 (0,70 : 0,70)	0,70 (0,70 : 0,70)
	Voeropname [kg/dier/dag]	2,2 (1,2 : 3,0)	2,3 (1,2 : 3,0)
	Ruweiwit voer [%]	15,5 (13,2 : 17,3)	15,1 (13,2 : 17,3)
	Energiewaarde voer [MJ/kg]	1,11 (1,07 : 1,13)	1,10 (1,08 : 1,13)
Klimaat	T-binnen [°C]	25,0 (10,9 : 31,9)	25,2 (22,6 : 30,2)
	RV-binnen [%]	48 (29 : 99)	49 (41 : 57)
	T-buiten [°C]	11,7 (-2,5 : 29,0)	10,8 (-1,9 : 23,6)
	RV-buiten [%]	77 (38 : 99)	81 (54 : 93)
	Windrichting	193 (26 : 345)	161 (60 : 235)
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,5 (0,8 : 9,6)	3,3 (2,3 : 6,2)
Resultaten	Aantal meetdagen	600	11
	Ventilatiedebit [m <sup>3</sup> /uur/dier]	33,7 (6,7 : 116,5)	34,3 (9,6 : 71,9)
	CO <sub>2</sub> stal [ppm]	1872 (605 : 3428)	1901 (1135 : 2888)
	CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	516 (484 : 618)	476 (435 : 511)
	Aantal meetdagen	603	11
	NH <sub>3</sub> stal [ppm]	12,4 (3,8 : 31,6)	13,6 (5,5 : 24,4)
	NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	---	0,14 (0,03 : 0,44)
	NH <sub>3</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	2,06 (0,55 : 4,43)	2,24 (0,70 : 4,21)
	Aantal meetdagen	589	11
	CH <sub>4</sub> stal [ppm]	86 (36 : 196)	88 (40 : 156)
	CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	---	3,0 (2,2 : 5)
	CH <sub>4</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	13,1 (3,3 : 25,2)	12,9 (4,2 : 20,4)
	Aantal meetdagen	---	11
	N <sub>2</sub> O stal [ppm]	---	0,47 (0,33 : 0,59)
N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	---	0,37 (0,29 : 0,47)	
N <sub>2</sub> O-emissie [g/jaar per dpl]	---	50,6 (6,1 : 119,2)	

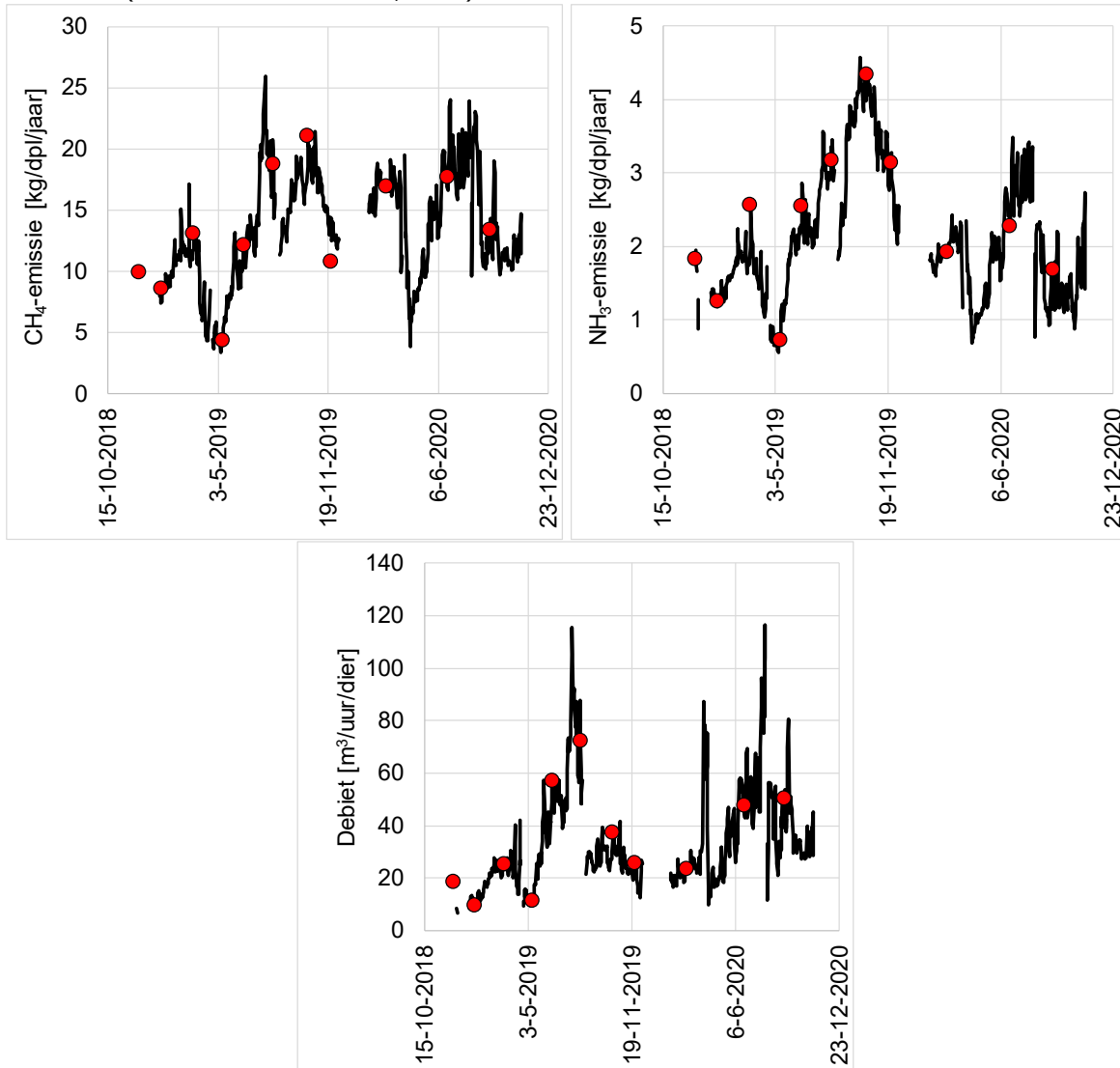


**Figuur VV1.2** a) Verdeling van de metingen over de seizoenen; b) Verdeling van de metingen over een productieronde; c) t/m f) Continue metingen van een aantal klimaatparameters

In Figuur VV1.3 worden per dag het ventilatiedebiet en de ammoniak- en methaanemissies weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $34 \pm 19$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet  $34 \pm 20$  m<sup>3</sup>/uur per dier. Op



basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $2,1 \pm 0,9$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde ammoniakemissie  $2,2 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $13,1 \pm 4,3$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde methaanemissie (gecorrigeerd voor leegstand)  $12,9 \pm 4,8$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde lachgasemissie  $51 \pm 33$  g/jaar per dierplaats. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij de vleesvarkens uitgevoerd. Voor vleesvarkens wordt een leegstand van 3% verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



**Figuur VV1.3.** Linksboven: CH<sub>4</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Rechtsboven: NH<sub>3</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Onder: Ventilatie-debiet [m<sup>3</sup>/uur/dier]. De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven. De emissies in deze figuur zijn niet door leegstand gecorrigeerd.

**Tabel VV1.3** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Datum	12-12-2018	21-1-2019	19-3-2019	13-5-2019	19-6-2019	12-8-2019	13-10-2019	25-11-2019	13-1-2020	4-3-2020	24-6-2020	8-9-2020	
Dag in het jaar	346	21	78	133	170	224	286	329	13	64	176	252	
Klimaatgegevens	T-binnen [°C]	22,6	23,2	24,6	25,6	26,7	25,0	26,0	24,2	24,8	24,4	30,2	25,2
	RV-binnen [%]	52,2	49,0	46,9	41,8	53,4	50,7	55,9	52,7	47,5	45,1	40,6	56,9
	T-buiten [°C]	1,5	-1,9	6,7	10,0	17,9	15,3	15,6	8,3	9,1	6,0	23,6	17,2
	RV-buiten [%]	87,0	87,1	85,7	63,6	80,3	80,5	88,9	92,6	85,1	84,1	53,8	88,6
	Windrichting	71,0	179,8	207,7	59,6	212,4	227,2	151,9	150,8	194,2	151,5	94,6	235,0
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,4	2,9	2,3	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0	6,2	3,4	3,7	3,1
	Managementgegevens	Aantal dieren	72	97	97	107	95	75	98	79	96	95	97
Dag in de ronde		109	37	94	22	59	113	53	96	29	80	73	36
Gewicht dieren [kg]		115,4	50,6	104,3	35,3	76,6	109,5	86,3	120,0	49,0	100,0	96,1	58,0
Groei [kg/dag/dier]		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Voeropname [kg/dier/dag]		3,03	1,86	2,75	1,23	2,30	2,70	2,50	3,03	1,60	2,75	2,65	1,80
Ruweiwit voer [%]		13,2	13,2	14,8	17,3	14,8	14,9	14,8	14,8	16,7	15,2	15,3	16,4
Energiewaarde voer [MJ/kg]		1,08	1,13	1,10	1,13	1,10	1,09	1,10	1,10	1,12	1,09	1,10	1,13

**Tabel VV1.4.** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 3% volgens Groenestein en Aarnink (2008)) tijdens de referentiemetingen.

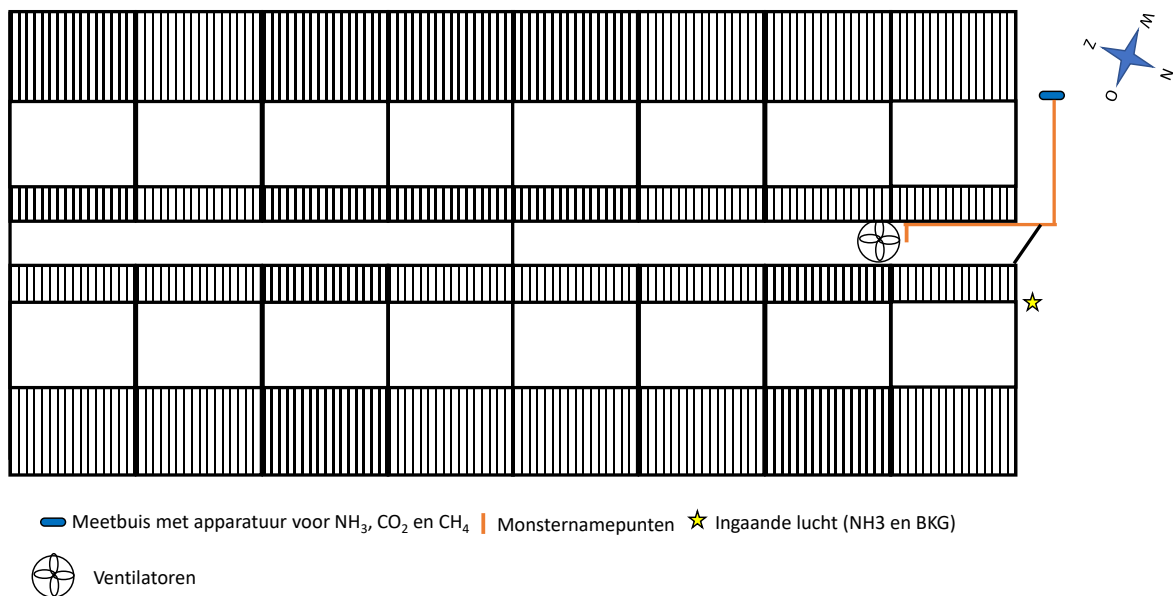
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11
Datum	12-12-2018	21-1-2019	19-3-2019	13-5-2019	19-6-2019	12-8-2019	13-10-2019	25-11-2019	13-1-2020	4-3-2020	24-6-2020	8-9-2020
Dag in het jaar	346	21	78	133	170	224	286	329	13	64	176	252
CO <sub>2</sub> stal [ppm]	2449	2888	1957	1932	1135	1135	1849	2572	1790	2560	1331	1212
CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	499	503	511	464	483	463	435	490	453	471	465	469
Debiet [m <sup>3</sup> /dier/uur]	18,3	9,6	25,3	11,3	57,0	71,9	37,3	25,6	---	23,4	47,3	50,2
NH <sub>3</sub> stal [ppm]	21,3	20,9	16,1	9,2	7,5	9,3	19,1	24,4	8,4	13,7	8,0	5,5
NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	---	0,06	0,08	0,10	0,10	0,16	0,44	0,13	0,11	0,03	0,20	0,12
NH <sub>3</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	1,76	1,22	2,49	0,70	2,46	3,08	4,21	3,04	---	1,87	2,20	1,63
CH <sub>4</sub> stal [ppm]	125,3	155,6	89,4	59,5	39,8	60,0	99,1	92,3	94,6	130,3	67,4	48,4
CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	2,8	5,2	3,0	2,2	2,4	2,8	3,1	3,6	2,3	3,2	3,0	2,9
CH <sub>4</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	9,6	8,3	12,6	4,2	11,8	18,1	20,4	10,5	---	16,4	17,1	13,0
N <sub>2</sub> O stal [ppm]	0,51	0,48	0,51	0,51	0,54	0,35	0,38	0,33	0,41	0,58	0,59	0,50
N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	0,35	0,35	0,43	0,29	0,40	0,31	0,31	0,31	0,34	0,42	0,47	0,40
N <sub>2</sub> O emissie [g/dpl/jaar]	34,76	19,44	32,81	44,70	119,23	35,03	39,95	6,07	---	53,84	91,92	78,74

## Vleesvarkens: Bedrijf 2 (VV2)

De metingen vonden plaats in een afdeling van een varkensstal voor vleesvarkens met plaats voor 160 dieren. De dieren werden in groepen in zestien verschillende hokken in de afdeling gehouden (Figuur VV2.1), met een voergang in het midden van de afdeling en acht hokken aan beide zijden van de voergang. De hokken hadden een gedeeltelijk roostervloer (60% roostervloer, 40% dichte vloer) voorzien van betonnen roosters. De dieren hadden een leefoppervlak van 0,8 m<sup>2</sup> per dier ter beschikking. Onder de roostervloer bevindt zich een mestkelder (1,50 m diep; 220 m<sup>3</sup> putinhoud). Na elke ronde werd de afdeling schoongemaakt. Afhankelijk van de praktische situatie werd er mest afgevoerd.

De afdeling werd mechanisch geventileerd. De lucht kwam via het plafond de afdeling binnen. In de afdeling is een ventilator (diameter: 71 cm) geplaatst die onderdruk in de afdeling creëert, waardoor de stallucht via de ventilatiekoker de stal verlaat. Uiteindelijk werd de lucht door een centraal afzuigkanaal naar een luchtwater afgevoerd.

De dieren hebben een groeitraject (opleg-afleveren) van 25-130 kg over een productieronde van gemiddeld 16 weken. De dieren kregen onbeperkt water en drie keer per dag (brij)voer (6:00-13:00-20:00). Het lichtregime bestond uit 8 uur licht (tussen 6:00-14:00). In Tabel VV2.1 zijn de belangrijkste kenmerken van deze afdeling op een rij gezet.



**Figuur VV2.1** Stalindeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur.



---

# Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens

Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020

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

Rapport 1377



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



**Tabel VV2.1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte vleesvarkensafdeling.

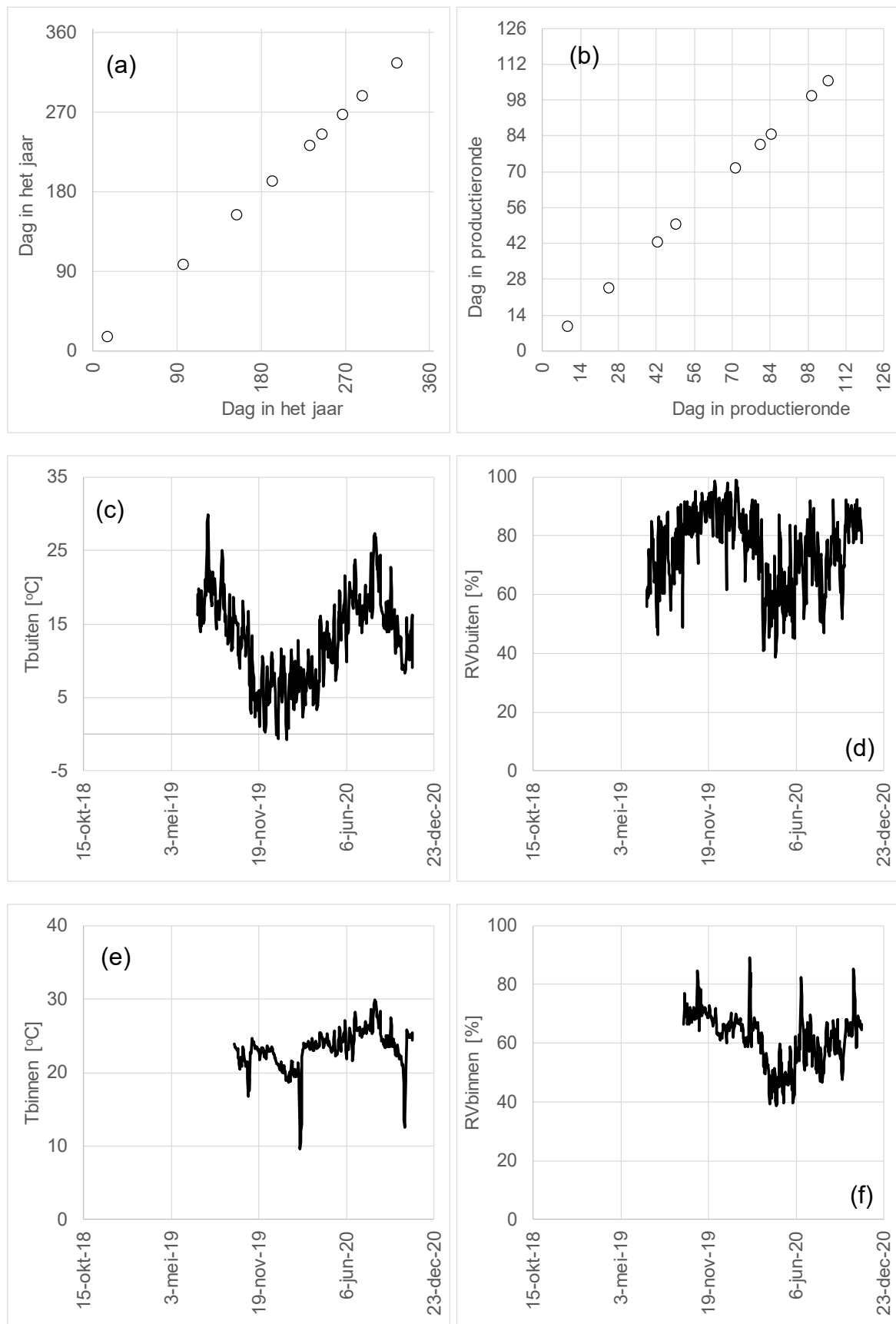
Kenmerken	Waarde
Dierplaatsen	160
Oriëntatie van de stal	Zuidoost-noordwest
Afmetingen afdeling	
Lengte [m] x Breedte [m]	16 x 8
Goot- en nokhoogte [m]	Goothoogte: 3,6 m Nokhoogte: 9,0 m
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	16 hokken; 4 x 2
Leefoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	0,8
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijk roostervloer (60% betonnen roostervloer, 40% dichte vloer)
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Onder de roostervloer; 1,5 m diep; 220 m <sup>3</sup> putinhoud
Mestverwijdering en frequentie	Jaarronde mestafzet
Ventilatie	
Luchtinlaat	Plafondventilatie
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 71 cm. Afvoer van de lucht door centrale afzuigkanaal naar een luchtwasser.
Voersysteem en voertijden	Brijvoer, drie keer per dag (6:00-13:00-20:00)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)
Lichtregime	8 uur licht, tussen 6:00-14:00. Daglicht door het raam.
Schoonmaakregime	Na elke ronde

De gerapporteerde resultaten hebben betrekking op metingen die in de periode 01/07/2019 – 03/11/2020 zijn uitgevoerd. In deze periode zijn er negen referentiemetingen uitgevoerd, verdeeld over de verschillende seizoenen en binnen een productieronde (respectievelijk Figuur VV2.2a en Figuur VV2.2.b). Tijdens de referentiemetingen was de gemiddelde buitentemperatuur (T: 13,8 °C; Tabel VV2.2) hoger en de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%; Tabel VV2.2) lager dan de langdurige 10-jaargemiddelden (2009-2018) bij het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation (Volkel; T: 10,5 °C; RV: 80%). Voor de continue metingen was dezelfde patroon gezien (hogere waarden voor de gemiddelde buitentemperatuur (T: 12,8 °C; Tabel VV2.2) en lagere waarden voor de relatieve luchtvochtigheid (RV: 75%; Tabel VV2.2) ten opzichte van de langdurige 10-jaargemiddelde). In Figuur VV2.2 worden de continue metingen voor een aantal klimaatparameters (gemeten binnentemperatuur en -luchtvochtigheid; buitentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten van het dichtstbijzijnde KNMI-meteostation) grafisch weergegeven. De data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens en meetresultaten tijdens de referentiemetingen, worden in Tabel VV2.3 en Tabel VV2.4 samengevat.

**Tabel VV2.2** Gemiddelde waarden (tussen haakjes minimum en maximum waarden) van een aantal management- en klimaatparameters en meetresultaten voor zowel continue- als referentiemetingen.

	Kenmerk	Continue	Referentie
Management	Aantal dieren	154 (112 : 160)	158 (154 : 160)
	Dag in ronde	60 (1 : 134)	63 (10 : 106)
	Gewicht dieren	78,7 (22,5 : 149,2)	82,2 (35,6 : 128,8)
	Groei [kg/dag/dier]	0,75 (0,75 : 0,75)	0,75 (0,75 : 0,75)
	Voeropname [kg/dier/dag]	1,9 (1,0 : 2,7)	1,9 (1,0 : 2,4)
	Ruweiwit voer [%]	15,5 (14,5 : 17,1)	15,5 (14,5 : 17,1)
	Energiewaarde voer [MJ/kg]	1,16 (1,14 : 1,18)	1,16 (1,14 : 1,18)
Klimaat	T-binnen [°C]	23,2 (9,6 : 29,9)	23,3 (20,1 : 26,2)
	RV-binnen [%]	62 (39 : 89)	61 (44 : 72)
	T-buiten [°C]	12,8 (-0,7 : 29,9)	13,8 (4,0 : 19,8)
	RV-buiten [%]	75 (39 : 99)	75 (54 : 91)
	Windrichting	193 (35 : 324)	189 (109 : 239)
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	3,8 (0,8 : 11,7)	3,1 (1,6 : 4,5)
Resultaten	Aantal meetdagen	478	9
	Ventilatiedebit [m <sup>3</sup> /uur/dier]	28,4 (3,9 : 60,9)	31,1 (9,5 : 55,7)
	CO <sub>2</sub> stal [ppm]	1965 (598 : 4451)	1980 (1395 : 3525)
	CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	612 (583 : 697)	476 (459 : 501)
	Aantal meetdagen	429	7
	NH <sub>3</sub> stal [ppm]	15,2 (4,4 : 47,9)	15,7 (10,5 : 33,3)
	NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	---	0,20 (0,04 : 0,28)
	NH <sub>3</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	2,0 (0,18 : 6,87)	2,2 (1,21 : 2,88)
	Aantal meetdagen	488	9
	CH <sub>4</sub> stal [ppm]	144 (49 : 546)	138 (54 : 238)
	CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	---	3,9 (2,1 : 11)
	CH <sub>4</sub> -emissie [kg/jaar per dpl]	17,5 (4,2 : 53,6)	20,0 (10,3 : 28,9)
	Aantal meetdagen	---	8
	N <sub>2</sub> O stal [ppm]	---	0,49 (0,36 : 0,84)
	N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	---	0,38 (0,32 : 0,52)
N <sub>2</sub> O-emissie [g/jaar per dpl]	---	31,1 (8,2 : 73,2)	

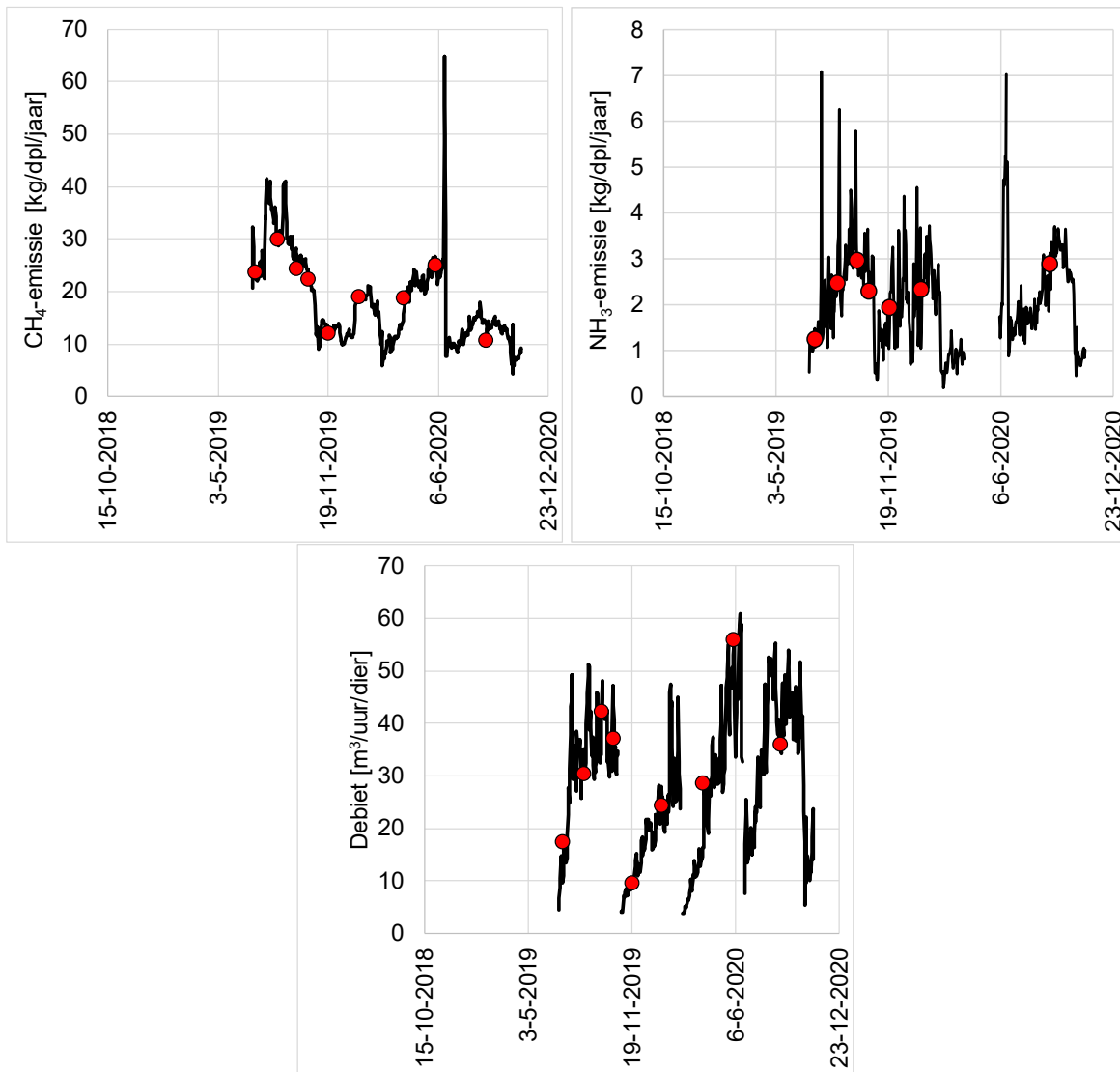




**Figuur VV2.2** a) Verdeling van de metingen over de seizoenen; b) Verdeling van de metingen over een productieronde; c) t/m f) Continue metingen van een aantal klimaatparameters

In Figuur VV2.3 worden per dag het ventilatiedebiet en de ammoniak- en methaanemissies weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $28 \pm 14 \text{ m}^3/\text{uur}$  per dier. Op basis van de referentiemetingen was het gemiddelde ventilatiedebiet  $31 \pm 14 \text{ m}^3/\text{uur}$  per dier. Op

basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $2,0 \pm 1,0$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde ammoniakemissie  $2,2 \pm 0,6$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen) werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $18 \pm 8$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde methaanemissie (gecorrigeerd voor leegstand)  $20 \pm 6$  kg/jaar per dierplaats. Op basis van de referentiemetingen was de (voor leegstand gecorrigeerde) gemiddelde lachgasemissie  $31 \pm 21$  g/jaar per dierplaats. Er zijn geen continue lachgasmetingen bij de vleesvarkens uitgevoerd. Voor vleesvarkens wordt een leegstand van 3% verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



**Figuur VV2.3.** Linksboven: CH<sub>4</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Rechtsboven: NH<sub>3</sub>-emissie [kg/jaar per dierplaats]; Onder: Ventilatie-debiet [m<sup>3</sup>/uur/dier]. De referentiemetingen worden met rode cirkels weergegeven. De emissies in deze figuren zijn niet door leegstand gecorrigeerd. Door water in het meetbuis zijn in de periode 03-04-2020 t/m 03-06-2020 geen betrouwbare NH<sub>3</sub>-waarden beschikbaar.

**Tabel VV2.3** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd, en gemiddelde klimaat- en managementgegevens tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Datum	11-7-2019	20-8-2019	24-9-2019	15-10-2019	21-11-2019	16-1-2020	6-4-2020	2-6-2020	1-9-2020	
Dag in het jaar	192	232	267	288	325	16	97	154	245	
Klimaatgegevens	T-binnen [°C]	23,2	23,2	23,6	22,1	22,1	20,1	25,2	26,2	23,7
	RV-binnen [%]	61,6	61,6	69,0	71,3	72,0	65,8	44,1	45,6	57,3
	T-buiten [°C]	18,2	15,7	15,3	14,0	4,0	7,6	14,3	19,8	15,1
	RV-buiten [%]	79,0	68,8	83,3	90,8	90,1	82,1	57,6	54,0	70,2
	Windrichting	239,2	205,4	181,0	197,1	109,0	182,7	153,5	216,5	216,4
	Windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]	2,4	2,4	3,8	3,9	3,6	4,5	3,4	2,6	1,6
	Managementgegevens	Aantal dieren	160	158	157	157	160	159	160	154
Dag in ronde		10	50	85	106	25	81	43	100	72
Gewicht dieren [kg]		35,6	66,0	103,6	128,8	42,2	99,6	58,8	114,3	90,7
Groei [kg/dag/dier]		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Voeropname [kg/dier/dag]		0,97	2,00	2,40	2,40	1,23	2,13	1,70	2,30	2,20
Ruweiwit voer [%]		17,1	14,7	15,0	15,0	16,0	15,5	16,0	14,5	15,5
Energiewaarde voer [MJ/kg]		1,15	1,17	1,18	1,18	1,15	1,16	1,14	1,16	1,16

**Tabel VV2.4.** Data waarop referentiemetingen zijn uitgevoerd en meetresultaten (ventilatie-debiet, concentraties en emissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 3% volgens Groenestein en Aarnink (2008)) tijdens de referentiemetingen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Datum	11-7-2019	20-8-2019	24-9-2019	15-10-2019	21-11-2019	16-1-2020	6-4-2020	2-6-2020	1-9-2020
Dag in het jaar	192	232	267	288	325	16	97	154	245
CO <sub>2</sub> stal [ppm]	1862	1963	1679	1563	3525	2487	1807	1395	1538
CO <sub>2</sub> ingaand [ppm]	501	477	473	465	497	473	477	459	459
Debiet [m <sup>3</sup> /dier/uur]	17,2	30,1	42,0	36,9	9,5	24,1	28,4	55,7	35,8
NH <sub>3</sub> stal [ppm]	11,9	13,5	12,0	10,5	33,3	15,7	1)	1)	13,3
NH <sub>3</sub> ingaand [ppm]	0,21	0,22	0,26	0,23	0,14	0,28	0,15	0,12	0,04
NH <sub>3</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	1,21	2,40	2,88	2,23	1,88	2,26	0,32	0,69	2,81
CH <sub>4</sub> stal [ppm]	238,1	172,5	113,0	109,1	221,2	136,4	115,0	83,5	53,9
CH <sub>4</sub> ingaand [ppm]	3,3	3,1	11,4	3,6	2,8	3,7	2,8	2,5	2,1
CH <sub>4</sub> emissie [kg/dpl/jaar]	22,9	28,9	23,5	21,6	11,7	18,3	18,1	24,3	10,3
N <sub>2</sub> O stal [ppm]	0,36	0,42	---	0,36	0,84	0,40	0,55	0,57	0,41
N <sub>2</sub> O ingaand [ppm]	0,33	0,37	---	0,33	0,34	0,32	0,45	0,52	0,38
N <sub>2</sub> O emissie [g/dpl/jaar]	8,15	23,07	---	12,24	73,24	32,23	44,26	39,28	16,36

1) Door water in meetbuis zijn de NH<sub>3</sub>-metingen tussen 03-04-2020 en 03-06-2020 niet betrouwbaar en worden in de analyse niet meegenomen

## Bijlage 2 Meetapparatuur

### **B.2.1. Continue metingen (concentraties)**

Het instrument dat tijdens dit onderzoek door WLR is gebruikt om de  $\text{NH}_3$ -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  $\text{NH}_3$  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  $\text{NH}_3$ -concentratie metingen.

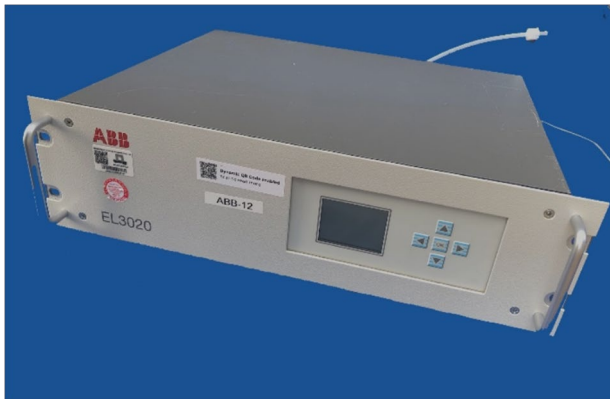
Voor het meten van de  $\text{CO}_2$ -concentraties in stallen is in dit onderzoek door WLR gebruik gemaakt van een passieve *Non-dispersive infrared* (NDIR)-sensor (Figuur B2.2; Vaisala CARBOCAP® met GMP252 sensor; <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/GMP252-User-Guide-in-English-M211897EN.pdf>). 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  $\text{CO}_2$  wordt geabsorbeerd, en 2) door een golflengte te gebruiken die niet door  $\text{CO}_2$  wordt geabsorbeerd. De verhouding tussen deze twee signalen wordt dan gebruikt om de  $\text{CO}_2$ -concentratie in het luchtmonster te bepalen.



**Figuur B2.2** Vaisala CARBOCAP® met GMP252 sensor voor  $\text{CO}_2$ -concentratie metingen.

Voor het meten van de  $\text{CH}_4$ -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<sub>4</sub> wordt geabsorbeerd, en een tweede door hetzelfde infrarood licht door een referentie cel (gevuld met een gas die het infrarood licht niet absorbeert zoals N<sub>2</sub>) te laten passeren) om de CH<sub>4</sub>-concentratie in het luchtmonster te bepalen.



**Figuur B2.3** ABB EasyLine EL3000 met Uras26 sensor voor CH<sub>4</sub>-concentratie metingen.

### **B.2.2 NH<sub>3</sub>-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 monsternaleiding 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 NH<sub>3</sub> wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (zie foto hieronder). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden NH<sub>3</sub> spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH<sub>4</sub><sup>+</sup> gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH<sub>3</sub>-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.

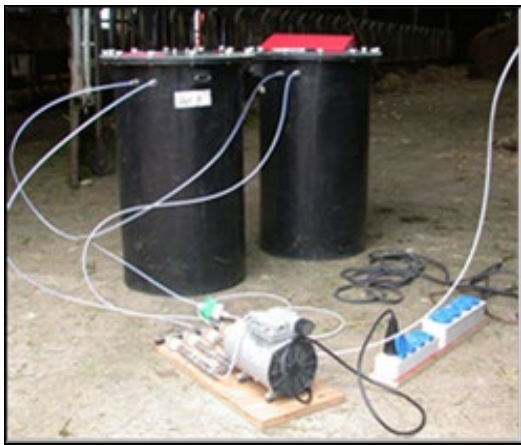


**Figuur B2.4** Meetopstelling WLR voor NH<sub>3</sub>-referentiemetingen. Links: wasflessen. Midden: Droge gasstroommeter (DryCal® Defender 510-m, Bios Int. Corp, VS). Rechts: pomp (Thomas Industries Inc., model 617CD32, Wabasha, Minnesota, VS), monsternaleiding (teflon of polyethyleen) en kritische openingen (borosilicaatglas (diameter: 8 mm; lengte: 80 mm), gehuisvest in a roestvrijstaal container voor bescherming).

### **B.2.3 Referentiemetingen voor CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O: Longmethode**

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

Bij de bepaling van de concentratie broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) 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: CH<sub>4</sub>: FID, N<sub>2</sub>O: ECD, CO<sub>2</sub>: TCD) bepaald.



**Figuur B2.5** Meetopstelling WLR voor broeikasgas-referentiemetingen (via longmethode). Gesloten vaten met 40 liter Nalophan monsternazakken voor luchtbemonstering, monsternazeleiding (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**

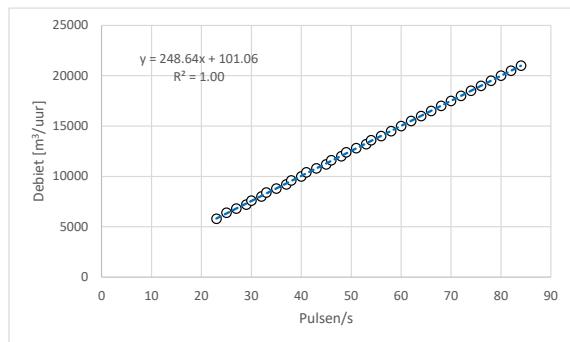
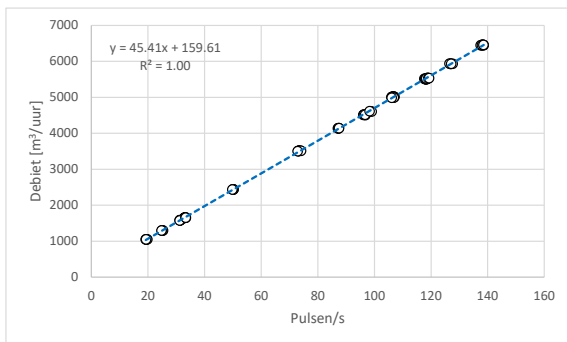
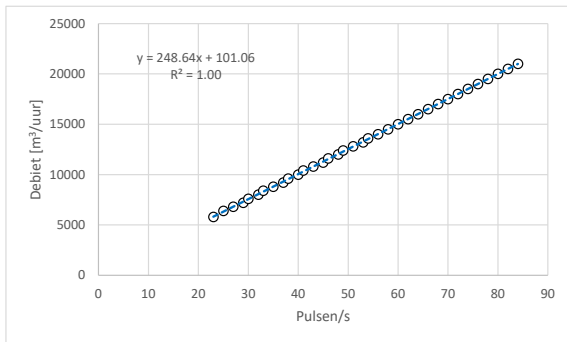
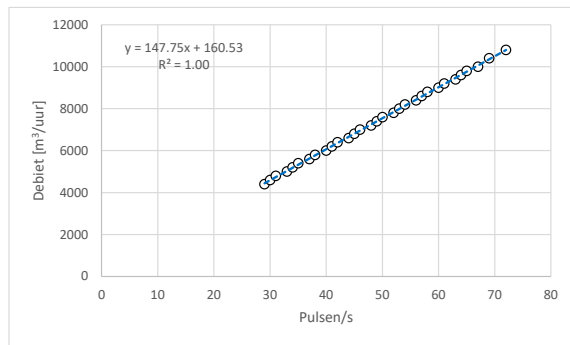
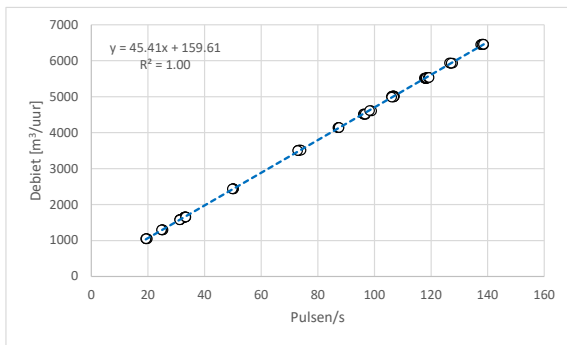
In tabel B2.1 wordt een overzicht gegeven van het aantal ventilatoren dat in de verschillende stallen aanwezig waren, en van bij hoeveel van deze ventilatoren een meetwaaier aanwezig was. De kalibratielijnen worden in Figuur B2.6 weergegeven.

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

Bedrijf	Aantal aanwezige ventilatoren	Diameter (cm)	Aantal geplaatste meetwaaiers
BG1	1	45	1 <sup>1)</sup>
BG2	1	56	1 <sup>2)</sup>
DZ1	1	71	1 <sup>2)</sup>
VV1	2	45	1 <sup>1)</sup>
VV2	1	71	1 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Kalibratie op basis van gegevens uit het verleden (ATM-45; kalibratie in 2004 in IMAG-windtunnel)

<sup>2)</sup> Kalibratie op basis van Stienen AQC-G



**Figuur B2.6** Kalibratielijnen meetwaaiers. Boven: biggen. Midden: dragende zeugen; Onder: vleesvarkens.





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



---

Wageningen Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

---

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

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

