



Verminderen van methaanemissie uit varkensstallen door dagontmesting

Methaan- en ammoniakemissies bij vleesvarkens en gespeende biggen

Paria Sefeedpari, Joost Wagenveld, Marith Booijen, Anne-Marie van Bussel, Andre Aarnink

Rapport 1533



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verminderen van methaanemissie uit varkensstallen door dagontmesting

Methaan- en ammoniakemissies bij vleesvarkens en gespeende biggen

Paria Sefeedpari¹, Joost Wagenveld¹, Marith Booijen¹, Anne-Marie van Busse², Andre Aarnink¹

¹ Wageningen Livestock Research

² De Hoeve Innovatie

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Integraal Aanpakken' (projectnummer F1 - BO-43.10-002-006).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2024

Rapport 1533

Dit onderzoek richt zich op het verminderen van methaanemissie in de varkenshouderij door dagontmesting. Een nieuwe variant werd getest op twee varkensbedrijven met vleesvarkens en gespeende biggen. Bij de vleesvarkens werd gemeten in hokken met 40% dichte vloerooppervlakte waarbij het mestkanaal dagelijks werd gespoeld en het waterkanaal regelmatig werd geleegd. Deze nieuwe variant werd vergeleken met een eerdere versie waarbij van de hokken met 60% dichte vloer alleen het mestkanaal dagelijks werd gespoeld. Beide systemen werden tevens vergeleken met een controleafdeling met hokken met 40% dicht vloerooppervlak waar mest langdurig werd opgeslagen. Voor gespeende biggen is de variant met 60% dichte vloer, dagelijkse verwijdering van mest en frequente verwijdering van het waterkanaal vergeleken met een controleafdeling. De nieuwe variant verminderde methaanemissie in de stal met 91,1% voor vleesvarkens en 95,5% voor biggen. Ammoniakemissie werd met 44,7% bij vleesvarkens en 86,2% bij gespeende biggen verminderd. Voor methaan en ammoniak werden voor deze nieuwe variant emissiefactoren bepaald van 1,44 kg CH₄/jaar per dierplaats en 1,48 kg NH₃/jaar per dierplaats voor vleesvarkens, en 0,59 kg CH₄/jaar per dierplaats en 0,096 kg NH₃/jaar per dierplaats voor gespeende biggen. Als voorkomen wordt dat emissies verder in de mestketen alsnog optreden, dan is het onderzochte stalsysteem een effectieve strategie om emissies te beperken en daarmee de duurzaamheid van de varkenshouderij te vergroten.

This study focuses on reducing methane emission in pig farming through daily manure removal. A new variant was tested on two pig farms with fattening pigs and weaned piglets. For fattening pigs, measurements have been done in pens having 40% solid floor area where the manure channel was flushed daily and the water channel was regularly emptied. This new variant was compared to an earlier version where of pens having 60% solid floor area only the manure channel was flushed daily. Both systems were compared to a control room with pens having 40% solid floor area where manure was stored for a longer period. For weaned piglets, the variant system having 60% solid floor, daily removal of manure and frequent removal of the water channel have been compared with a control room. The new variant reduced methane emissions in the barn by 91.1% for fattening pigs and 95.5% for piglets. Ammonia emissions were reduced by 44.7% for fattening pigs and 86.2% for weaned piglets. Emission factors for methane and ammonia for the new variant were determined to be 1.44 kg CH₄/year per pig place and 1.48 kg NH₃/year per pig place for fattening pigs, and 0.59 kg CH₄/year per pig place and 0.096 kg NH₃/year per pig place for weaned piglets. If emissions can be prevented further along the manure chain, the studied barn system can be an effective strategy for reducing emissions and thus strengthen the sustainability of pig farming.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/680435> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

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

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

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1533

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en Methoden	11
2.1 Bedrijfsomschrijvingen en behandelingen	11
2.1.1 Gemeten systeem en tijdlijn	11
2.1.2 Spoelproces	11
2.2 Hokuitvoeringen	11
Vleesvarkens	11
Gespeende biggen	16
2.3 Waarnemingen en metingen	19
2.3.1 Emissiemetingen met de referentiemethode	19
2.3.2 Ammoniakconcentratie	19
2.3.3 Methaan- en koolstofdioxideconcentratie	20
2.3.4 Ventilatie-debiet	20
2.3.5 Kalibratie van de meetwaaiers	20
2.3.6 CO ₂ -massabalans methode	21
2.3.7 Andere waarnemingen	22
2.4 Data-analyse	23
2.4.1 Berekening emissies en reducties	23
2.4.2 Verdunningsfactor	24
3 Resultaten	25
3.1 Emissies	25
3.1.1 Vleesvarkens	25
3.1.2 Gespeende biggen	28
3.2 Bevuilingscore	31
3.2.1 Vleesvarkens	31
3.2.2 Gespeende biggen	33
3.3 Verdunning met water	35
3.3.1 Vleesvarkens	35
3.3.2 Gespeende biggen	36
3.4 Continue emissiemetingen	38
3.4.1 Vleesvarkens	38
3.4.2 Gespeende biggen	39
3.5 CO ₂ -massabalans methode	40
4 Discussie	42
4.1 Vleesvarkens	42
4.2 Gespeende biggen	44
5 Conclusies en aanbevelingen	45
Literatuur	46
Bijlage 1 Hokuitvoeringen bedrijf 2	48
Vleesvarkens - VV2	48
Gespeende biggen – GB1	51
Bijlage 2 Verdeling emissiemetingen	53

	Vleesvarkens	53
	Gespeende biggen	53
Bijlage 3	IJKlijnen meetwaaiers	54
	VV1 - Nieuwe variant	54
	VV1 - Oude variant	54
	VV1 - Controleafdeling	55
	GB1 - Variantafdeling	55
	GB1 - Controleafdeling	56
Bijlage 4	Mest- en waterhoogtes	57
Bijlage 5	Ammoniumgehalte en pH van de mest	58
Bijlage 6	Ventilatie-debiet door CO₂-massabalans methode	61
Bijlage 7	Continue CO₂ metingen	62
Bijlage 8	Alle meetresultaten	63
	Vleesvarkens	63
	Gespeende biggen	69

Woord vooraf

Dit onderzoek is het resultaat van een nauwe samenwerking tussen De Hoeve Innovatie (DHI) en Wageningen Livestock Research (WLR) naar aanleiding van eerder onderzoek (Rapport 1405, Booijen et al. (2023)). DHI heeft duidelijke ideeën over hoe integraal duurzame varkenshouderij er uit kan zien. Een belangrijk onderdeel daarvan is de dagelijkse verwijdering van mest uit de stal zodat deze benut kan worden voor productie van duurzame energie in een biogasinstallatie. Door dit te combineren met andere stalmaatregelen kunnen emissies van methaan, ammoniak, fijnstof en geur bij de bron worden gereduceerd. Dit is niet alleen goed voor het milieu (buiten de stal), maar ook voor de luchtkwaliteit in de stal en daarmee voor het welzijn en de gezondheid van de varkens. In dit onderzoek is een nieuw emissiearm ontwerp voor de dagontmesting getest waarbij gebruik is gemaakt van spoelbare mest- en waterkanalen met schuine wanden. In dit nieuwe systeem wordt het waterkanaal ook regelmatig gespoeld en dat lijkt, vooral voor methaan, een verbetering te zijn ten opzichte van het vorige systeem waarbij het waterkanaal slechts één keer per groeiperiode werd leeggemaakt.

Het onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van de Klimaatvelop - Programma Integraal Aanpakken. De ontwikkeling en realisatie van de innovatieve ontwerpen is gesubsidieerd door de Provincie Noord-Brabant, passend binnen de doelstelling een alternatief voor luchtwassers te ontwikkelen. Namens de verschillende betrokken onderzoekers van WLR wil ik De Hoeve Innovatie bedanken voor de goede samenwerking binnen dit onderzoek.

André Aarnink
Senior onderzoeker
Wageningen Livestock Research



Samenvatting

Methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) zijn twee belangrijke emissies afkomstig uit de veehouderij die aanzienlijke milieu- en gezondheidsimpact kunnen hebben. Methaan is een krachtig broeikasgas dat bijdraagt aan de opwarming van de aarde. In de veehouderij is methaan met name afkomstig van de spijsvertering van herkauwers en de afbraak van mest. Ammoniak ontstaat voornamelijk uit de urine van de dieren. Het kan bijdragen aan luchtvervuiling en verzuring van ecosystemen, wat negatieve gevolgen heeft voor zowel het milieu als de volksgezondheid. Innovatieve maatregelen en technieken, zoals verbeterde stalontwerpen, betere mestmanagementpraktijken en het gebruik van additieven, zijn nodig om deze emissies effectief te verminderen. Hierdoor kan de veehouderij niet alleen haar ecologische voetafdruk verkleinen, maar ook bijdragen aan een gezondere leefomgeving en een duurzame toekomst.

De Hoeve Innovatie (DHI) streeft naar verbetering van het stalklimaat door de emissies van methaan en ammoniak bij de bron te reduceren via de volgende principes:

- Verkleining van het emitterend oppervlak: dit wordt gerealiseerd door een optimale hokinrichting met dichte vloer en klimatisering, wat het lig- en mestgedrag van de varkens naar de juiste plekken in het hok stuurt. Het emitterend oppervlak wordt verder verkleind door schuine wanden in het mestkanaal en het gebruik van metalen driekantroosters.
- Verdunning met water: op plaatsen waar weinig mest en urine wordt verwacht, maar waar een roostervloer noodzakelijk is om vloervervuiling te voorkomen, worden waterkanalen geïnstalleerd.
- Dagontmesting: de mest wordt dagelijks uit de mestgoten gespoeld met dagverse mest en vervolgens afgevoerd naar een gesloten opslag.

Wageningen Livestock Research (WLR) heeft tussen januari 2023 en februari 2024 emissiemetingen uitgevoerd op twee varkensbedrijven. De metingen vonden plaats bij vleesvarkens en gespeende biggen, volgens het case-control principe. Hierbij zijn de emissies van twee stalontwerpen met varianten van dagontmesting vergeleken met een controleafdeling zonder dit systeem. De metingen bij gespeende biggen op bedrijf 2 zijn uitgevoerd in een eerdere meetcampagne van maart 2021 t/m september 2022. Hierbij zijn de emissies van één variant gemeten en vergeleken met die van één controleafdeling. In dit onderzoek zijn bij de vleesvarkens drie afdelingen gemeten op twee bedrijven: 1- Nieuwe variant van dagontmestingssysteem (proefafdeling met dagontmesting van het mestkanaal en frequente verwijdering van de watergoot en 40% dichte vloer), 2- Oude variant van dagontmestingssysteem (proefafdeling met dagontmesting van het mestkanaal, minder frequent verwijdering van het waterkanaal en 60% dichte vloer) en 3- Controleafdelingen (Controle). De termen "oude" en "nieuwe" variant verwijzen respectievelijk naar de oude variant van dagontmesting (met 60% dichte vloer en waterkanaal), dat al op beide bedrijven werd toegepast voordat de nieuwe variant werd geïntroduceerd (met 40% dichte vloer en watergoot). Voor gespeende biggen is een variantsysteem gemeten met dagontmesting van de mestgoot en spoelbare watergoot en 60% dichte vloer. De emissies van ammoniak en methaan werden gemeten volgens de meetprotocollen voor het vaststellen van stalemissiefactoren. In dit rapport zijn de gemeten methaan- en ammoniakemissies, de gemiddelde reductiepercentages van de emissies en de bijbehorende emissiefactoren voor gespeende biggen en vleesvarkens weergegeven.

Het onderzochte emissiearme systeem bestaat uit een nieuwe variant van dagontmesting waarbij één varkensstal is voorzien van een spoelbare goot met schuine wanden voor zowel het mestkanaal als het waterkanaal. Het dagelijks spoelen gebeurt met verse mest uit andere afdelingen. Deze nieuwe variantafdeling heeft net als de controleafdeling 40% dichte vloer. Bij de oude variant bestaat het mestkanaal ook uit een spoelbare goot en deze wordt ook dagelijks gespoeld met dagverse mest. Het waterkanaal wordt echter slechts éénmaal per groeiperiode afgelaten en de hokken hebben 60% oppervlak aan dichte vloer. Deze twee proefafdelingen zijn vergeleken met een controleafdeling waarbij de mest gedurende een lange periode onder de roostervloer wordt opgeslagen.

Methaanemissie

Bij zowel de nieuwe als de oude variant is een aanzienlijke reductie van methaan ten opzichte van de controleafdeling waargenomen. Bij vleesvarkens waren de gemiddelde reducties $91,1\% \pm 4,0\%$ (gemiddelde \pm s.d.) bij de nieuwe variant en $82,2\% \pm 15,0\%$ bij de oude variant en bij gespeende biggen $95,5\% \pm 2,0\%$ bij de nieuwe variant. Bij de vleesvarkens zijn emissiefactoren van 1,44 en 2,45 kg CH₄/jaar per dierplaats berekend voor de nieuwe en oude variant. Voor gespeende biggen is een emissiefactor van 0,59 kg CH₄/jaar per dierplaats berekend. Dit wijst op de effectiviteit van het dagelijkse mestverwijderingssysteem waardoor de anaerobe omzetting van organische stof naar methaan en kooldioxide in de stal niet of vrijwel niet plaatsvindt.

Ammoniakemissie

De reductie in ammoniakemissie t.o.v. de controleafdeling was bij de vleesvarkens $44,7\% \pm 23,0\%$ (gemiddelde \pm s.d.) bij de nieuwe variant en $54,9\% \pm 18,0\%$ bij de oude variant; bij de nieuwe variant van de gespeende biggen was dit $86,2\% \pm 4,0\%$. Voor vleesvarkens zijn emissiefactoren berekend van 1,48 en 1,22 kg NH₃/jaar per dierplaats bij respectievelijk de nieuwe en de oude variant. Voor gespeende biggen is een emissiefactor berekend van 0,096 kg NH₃/jaar per dierplaats voor de variantafdeling. De afwijking van de gemeten ammoniakreductie lijkt voor een groot deel toe te schrijven aan verschillen in factoren die de ammoniakemissie beïnvloeden, zoals hokbevuiling en het optimale binnenklimaat.

Uit dit onderzoek blijkt dat meer vloerbevuiling geassocieerd is met lagere reductiepercentages van ammoniak. Dit benadrukt het belang van schone hokken voor het verlagen van de ammoniakemissies. Optimale hokuitvoering en een optimaal stalklimaat zijn daarom van essentieel belang om lage emissieniveaus gedurende de groeiperiode te handhaven.

Toekomstperspectief

De mogelijkheid om methaan en ammoniak via brongerichte maatregelen terug te dringen, biedt een veelbelovend toekomstperspectief voor de varkenssector. De resultaten van de emissiemetingen laten zien dat de varianten van dagontmesting aanzienlijke reducties opleveren bij zowel vleesvarkens als gespeende biggen, wat zowel de werkomgeving van de varkenshouder als het welzijn en de gezondheid van de varkens ten goede kan komen. Door effectieve beheersing van het stalklimaat en frequente mestverwijdering kunnen varkenshouders niet alleen de milieuprestaties van hun bedrijf verbeteren, maar ook voor een deel voldoen aan de reductieambities van de overheden. Uit de resultaten is gebleken dat het ontwerp met 60% dichte vloer om een goede hokinrichting vraagt en om een goed management, vooral van het stalklimaat. Voor ammoniak lijkt echter een extra maatregel noodzakelijk om aan de reductie-eisen van de Provincie Noord-Brabant te voldoen.

1 Inleiding

Emissies van methaan (CH₄) en ammoniak (NH₃) uit de landbouw dragen mede bij aan klimaatverandering en aan effecten op de luchtkwaliteit en de ecosysteemgezondheid (de Vries, 2021; Le Dinh et al., 2022; Zong et al., 2015). CH₄ is het op één na meest voorkomende antropogene broeikasgas (Myhre et al., 2014), en in de veehouderij is dit vooral afkomstig van de dierlijke spijsvertering en de mestopslag (O'Mara, 2011). In Nederland draagt de veehouderij voor 75% bij aan de CH₄ emissie. Het verminderen van de methaanemissie is daarom cruciaal voor de veehouderijsector om aan de klimaatdoelstellingen te voldoen. In de varkenshouderij komt het grootste deel van de CH₄ (meer dan 80%) uit opgeslagen mest (feces en urine) in de stallen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de langdurige opslag van mest onder de (rooster)vloer in de stal en van buitenopslagen voor mest (van der Zee et al., 2021). Een relatief klein deel van het geëmitteerde methaan wordt gevormd in het spijsverteringssysteem van varkens, met name in de dikke darm, het zogenaamde enterische methaan (Jørgensen et al., 2011).

Naast de gevolgen van stikstofdepositie op natuurgebieden voor het ecosysteem, is een hoge concentratie NH₃ nadelig voor een gezond stalklimaat en de emissie ervan draagt bij aan de vorming van secundair fijnstof (de Vries, 2021; Van Damme et al., 2018; Wyer et al., 2022). De veehouderij is de belangrijkste bron van NH₃ emissie in de Nederlandse landbouw. Ammoniak bij varkens ontstaat vooral uit de ureumstikstof dat wordt uitgescheiden via de urine (Aarnink, 1993; Groenestein, 2006; Webb en Misselbrook, 2004). De Nederlandse landbouwsector heeft sinds 1990 een reductie van de NH₃ emissie gerealiseerd van ca. twee derde door verschillende mitigatiemaatregelen, waaronder het direct inwerken van de mest in de grond, gebruik van emissiearme huisvesting, rantsoenen met een verminderd eiwitgehalte en het afdekken van buitenopslagen van mest (van Bruggen et al., 2023).

De Hoeve Innovatie (DHI) werkt sinds een aantal jaren aan systemen om de emissies uit haar stallen bij de bron aan te pakken ('Stal van de Toekomst'). Hierdoor worden niet alleen de emissies uit de stal gereduceerd, maar wordt tevens de luchtkwaliteit in de stal sterk verbeterd. Dit wordt gerealiseerd via een combinatie van maatregelen. De mest van alle categorieën varkens wordt dagelijks afgevoerd naar een vergister. Door de verse mest dagelijks uit de stal te verwijderen is er heel weinig emissie van methaan uit die mest. Uit onderzoek tot nu toe blijkt dat de methaanemissie met meer dan 90% wordt gereduceerd bij zowel vleesvarkens als gespeende biggen. De ammoniakemissie wordt met ca. 50% gereduceerd bij vleesvarkens en met ca. 70% bij gespeende biggen. Voor het uitrollen van de 'Stal van de Toekomst' naar andere bedrijven is het van belang dat het systeem ingebouwd kan worden in bestaande stallen. Om dit mogelijk te maken wil DHI samen met WLR een aantal varianten bemeten van de huidige systemen voor dagontmesting. Deze varianten kunnen gemakkelijker worden uitgerold voor renovatie van bestaande stallen.

Naast de dagelijkse mestafvoer uit de stallen, wordt bij de oude variant met 60% dichte vloer het emitterende oppervlak in het mestkanaal verder verkleind door het toepassen van schuine wanden. In een eerder onderzoek van Booijs et al. (2023) zijn de resultaten van deze combinatie van maatregelen geëvalueerd. Het nu voorliggende onderzoek heeft aanvullende maatregelen getest om de effectiviteit van deze combinatie in het reduceren van methaan- en ammoniakemissies te beoordelen. Naast de bovenstaande maatregelen wordt de watergoot gedurende de groeiperiode veelvuldig gespoeld met mest. Bovendien zijn deze maatregelen toegepast en getest in stallen met hokken die 40% dichte vloer hebben. Dat is een percentage van dichte vloer dat regelmatig voorkomt in bestaande stallen die gerenoveerd kunnen worden.

Het doel van dit onderzoek is om de emissies (broeikasgassen en ammoniak) van verschillende varianten van huidige dagontmesting systemen te bemeten. De hypothese is dat door toepassing van deze varianten van het dagontmesting-systeem een vergaande emissiereductie van methaan en ammoniak kan worden bewerkstelligd.

In dit rapport worden de tijdens de meetcampagne gemeten methaan- en ammoniakemissies, de gemiddelde reductiepercentages van de emissies en de bijbehorende emissiefactoren voor gespeende biggen en vleesvarkens weergegeven. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het gebruikte systeem, de meetmethode en meetlocaties. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten en in hoofdstuk 4 worden deze resultaten bediscussieerd. In hoofdstuk 5 tenslotte zijn de belangrijkste conclusies gepresenteerd en enkele aanbevelingen voor verbetering van het systeem en voor verder onderzoek naar het systeem.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Bedrijfsomschrijvingen en behandelingen

2.1.1 Gemeten systeem en tijdlijn

Gedurende de periode januari 2023 t/m februari 2024 zijn emissiemetingen uitgevoerd aan de emissiearme stalsystemen voor vleesvarkens en gespeende biggen op twee verschillende bedrijfslocaties, volgens het principe van case-control metingen. Tijdens deze metingen zijn de concentraties methaan en ammoniak gemeten volgens vastgestelde meetprotocollen.

In deze studie is een nieuwe variant van dagontmesting gemeten waarbij de mest dagelijks uit de afdeling wordt gespoeld met dagverse mest en vervolgens wordt afgevoerd naar een tussen opslag voor vergister. Ook wordt het waterkanaal vaker afgelaten. In de oude variant werd alleen de mestgoot dagelijks gespoeld en werd de watergoot minder vaak geleegd (1 keer per groeiperiode). Bij vleesvarkens zijn de bestaande stallen gerenoveerd voor deze nieuwe variant, zodat de vloer van de nieuwe variant een 40% dichte vloer is (dit komt regelmatig voor in bestaande stallen), ten opzichte van de oude variant waarbij de stal is herbouwd met een 60% dichte vloer. De mestgoot bij gespeende biggen in de nieuwe variant zijn vervangen door een doorspoelgoot. Deze variant voor gespeende biggen is getest op een tweede bedrijf tijdens een eerdere meetcampagne (één jaar voordat de metingen van deze studie plaatsvonden). Omdat dit systeem vergelijkbaar is met dat van het huidige rapport, zijn de resultaten in dit rapport samengevoegd.

2.1.2 Spoelproces

In de stallen met dagontmesting werd het spoelproces uitgevoerd door dagelijks gedurende 10 minuten verse mest met een flow van 267 L/min via een persleiding in het mestkanaal onder het rooster te pompen. Deze mest werd aan het begin van het kanaal, via een ventiel, in de goot van het mestkanaal gepompt. Aan de andere kant van het mestkanaal was een rioolleiding aangesloten die uitkwam in een put buiten de stal.

Het spoelproces begon met een niveau van 40 cm in de put buiten de stal. Vervolgens werd ongeveer 2 m³ verdunde mest uit het waterkanaal toegevoegd tot een niveau van 65 cm. Deze verdunde mest werd eerst gemengd in de put en daarna rondgepompt. Vervolgens werd het spoelproces gestart, waarbij de mestgoot gedurende 10 minuten werd doorgespoeld. Na deze spoelfase bleef de schuifafsluiter nog 10 minuten openstaan om de resterende mest volledig af te voeren. Op bedrijf 1 werd het spoelproces geautomatiseerd door een computer, terwijl dit op bedrijf 2 handmatig werd uitgevoerd.

2.2 Hokuitvoeringen

In deze paragraaf worden de hokontwerpen voor de drie gemeten afdelingen op bedrijven 1 en 2 beschreven. In het rapport worden de afdelingen als volgt aangeduid: de afdeling waar de nieuwe variant wordt toegepast heet "Nieuwe variant", de afdeling waar de oude variant wordt toegepast heet "Oude variant", en daarnaast is er een controleafdeling voor de vleesvarkens en gespeende biggen. De plattegrond en dwarsdoorsneden van de hokken van vleesvarkens bij bedrijf 2 zijn weergegeven in Bijlage 1.

Vleesvarkens

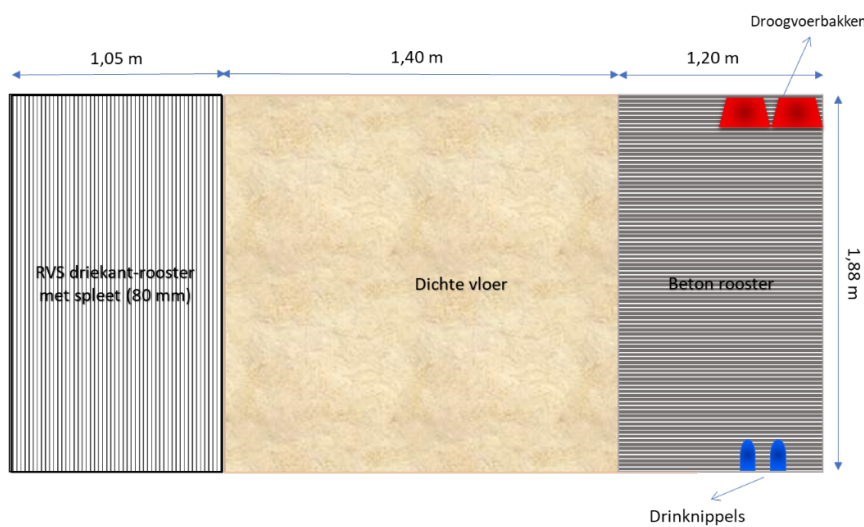
Het hok bij de nieuwe variant had vanaf de voergang gezien eerst een betonnen rooster met daaronder een waterkanaal met schuine wanden, dichte betonvloer en achterin het hok een metalen driekant roostervloer met daaronder een mestkanaal met schuine wanden. De schuine wanden in het mestkanaal hebben een

helling van 45°. In Figuur 1 en Figuur 2 zijn het schematisch het hok met de nieuwe variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1 weergegeven.

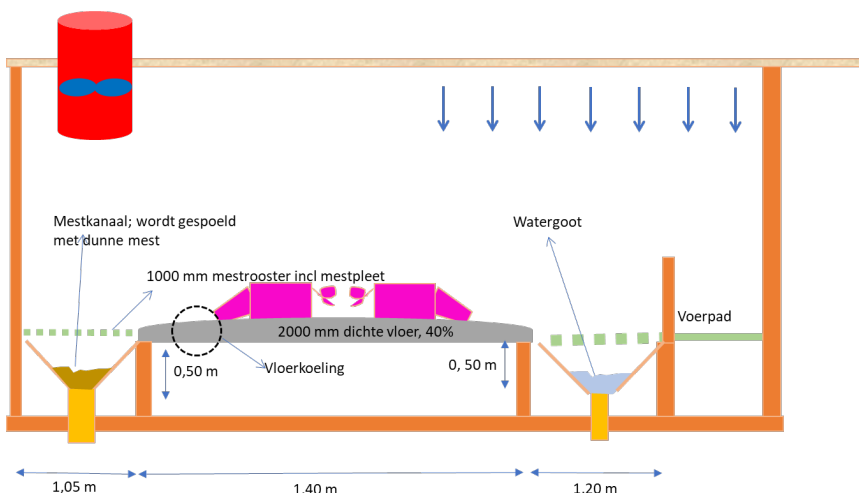
Het waterkanaal is voorzien van een kunststof goot en is daarmee ook spoelbaar gemaakt. Boven de watergoot werden in de hoeken de droogvoerbakken en drinknippels tegenover elkaar geplaatst. Aan het begin van de ronde bleef het gebruikte reinigingswater van het reinigen van de afdeling in het waterkanaal staan. Daarnaast werd er water toegevoegd door het morsen uit de drinknippels. De mest in het mestkanaal werd dagelijks weggespoeld met dagverse mest. Het waterkanaal werd eens per twee weken gespoeld. Zie paragraaf 2.1.2 voor een beschrijving van het spoelproces.

Bij bedrijf 2 bestond het waterkanaal bij deze afdeling van de vleesvarkens uit 2 goten naast elkaar, waarvan de ene bovenaan smaller was dan de andere (Figuur B1, Bijlage 1). De diepere watergoot werd gespoeld en de andere werd handmatig gereinigd wanneer nodig.

Tijdens de meetcampagne voor vleesvarkens en gespeende biggen zijn de varianten op twee bedrijven getest en vergeleken met zowel een eerder onderzocht systeem als een referentiesysteem.



Figuur 1 Plattegrond van het hok met de nieuwe variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1.



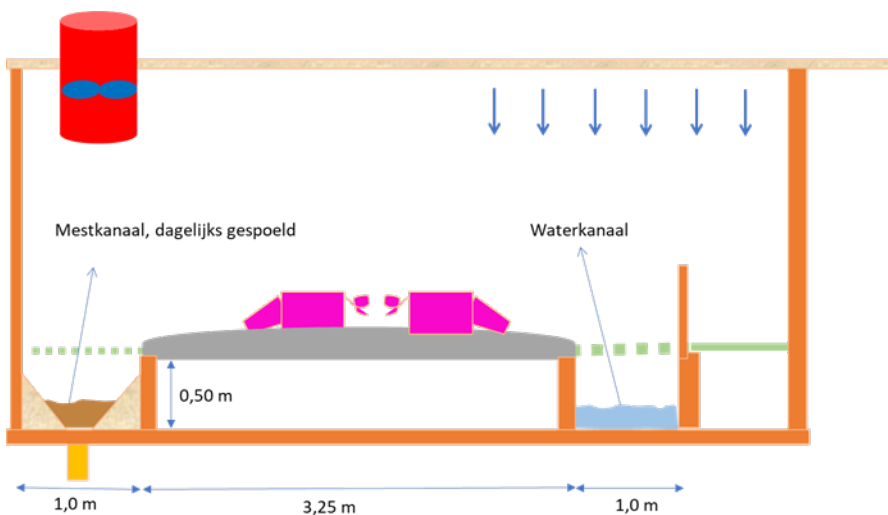
Figuur 2 Dwarsdoorsnede van het hok met de nieuwe variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1.

Het hok van de oude variant had dezelfde volgorde van vloertypen als de nieuwe variant, maar in andere afmetingen. Vanaf de voergang gezien had het daaronder gelegen waterkanaal rechte wanden, gevolgd door een dichte betonvloer en aan de achterzijde van het hok een metalen driekantrooster met daaronder een mestkanaal met schuine wanden. De helling van de schuine platen in het mestkanaal was 45° (Figuur 3 en

Figuur 4). Bij deze variant is het oppervlak van de dichte vloer 60%. De mest in het mestkanaal werd dagelijks gespoeld met verse mest en vervolgens naar een vergister gepompt. Het waterkanaal werd één keer per groeiperiode geleegd.

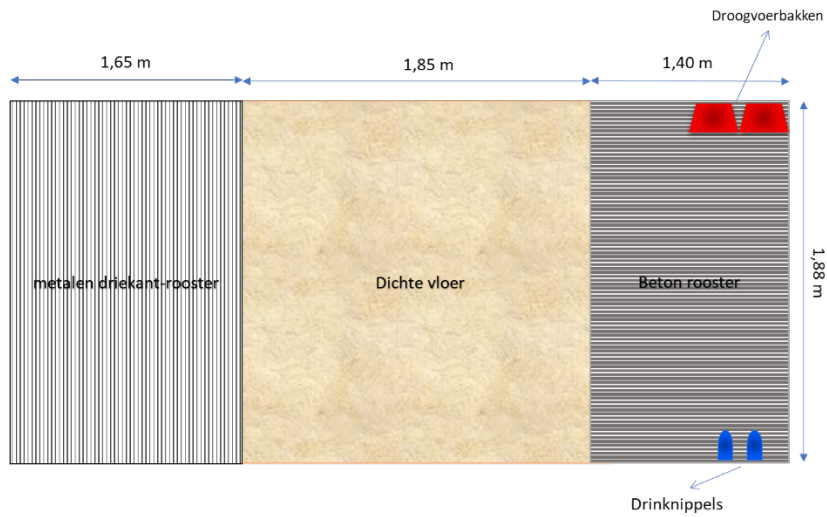


Figuur 3 Plattegrond van het hok met de oude variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1.

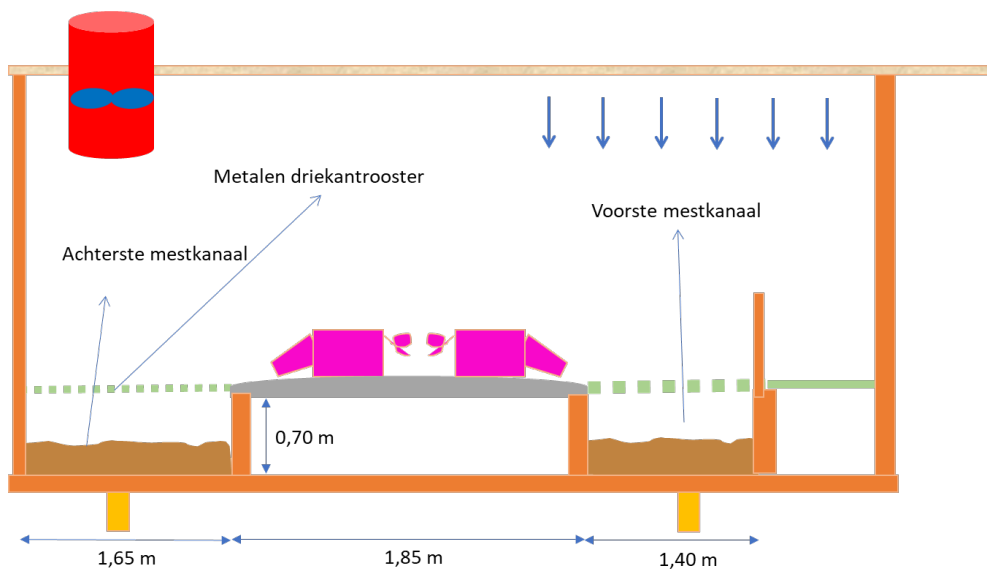


Figuur 4 Dwarsdoorsnede van het hok met de oude variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1.

Het controlehok had vanaf de voergang gezien eerst een betonnen rooster met daaronder een mestkanaal, een dichte betonvloer en achterin het hok een driekant roostervloer met daaronder een mestkanaal met rechte wanden (Figuur 5 en Figuur 6). Boven het voorste mestkanaal stonden de droogvoerbakken en drinknippels.



Figuur 5 Plattegrond van het controlehok bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1.



Figuur 6 Dwarsdoorsnede van het controlehok bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 1.

Tabel 1 geeft een overzicht van de kenmerken van de afdelingen en hokken bij de vleesvarkens.

Tabel 1 Overzicht van de kenmerken van de afdelingen voor vleesvarkens bij bedrijf 1 en 2.

Kenmerken	Bedrijf 1 (VV1)			Bedrijf 2 (VV2)		
	Nieuwe variant	Oude variant	Controle	Nieuwe variant	Oude variant	Controle
Aantal dieren per afdeling	56	78	54	64	64	128
Oriëntatie van de stal	Noordoost-zuidwest	Noordoost-zuidwest	Noordoost-zuidwest	Zuidoost-noordwest	Zuidoost-noordwest	Zuidoost-noordwest
Afmeting afdeling: Lengte [m] x Breedte [m]	15,00 x 4,45	15,50 x 6,25	11,28 x 5,90	5,82 x 10,30	5,82 x 10,30	6,00 x 10,00
Aantal hokken per afdeling	8	6	6	4	4	8
Leefoppervlak (m ² per dier)	1,0	1,0	1,0	0,80	0,80	0,80
Hokken afmetingen (roostervloer mestkanaal, roostervloer waterkanaal, dichte vloer)	Gedeeltelijke roostervloer; 1,05 x 1,88 metalen driekantrooster, 1,20 x 1,88 betonrooster, 1,40 x 1,88 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,0 x 2,50 metalen driekantrooster, 1,0 x 2,50 betonrooster, 3,25 x 2,50 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,65 x 1,88 metalen driekantrooster, 1,40 x 1,88 betonrooster, 1,85 x 1,88 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,39 x 2,49 metalen driekantrooster en 1,58 x 2,49 betonrooster, 2,11 x 2,49 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,0 x 2,49 metalen driekantrooster, 1,07 x 2,49 betonrooster, 3 x 2,49 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer 50%; 2,34 x 2,70 betonrooster, 2,34 x 2,70 dichte vloer
Vloeruitvoering	40% dichte vloer	60% dichte vloer	40% dichte vloer	40% dichte vloer	60% dichte vloer	40% dichte vloer
Mestkanaal - Achterste kanaal (beschrijving en diepte)	Mestgoot met schuine wanden van 45°; 1,88 x 1,05 x 0,50 (lxbxd ¹ per hok)	Mestgoot met schuine wanden van 45°; 2,50 x 1,0 x 0,50 (lxbxd ¹ per hok)	Mestkelder; 1,88 x 1,65 x 0,70 en 1,88 x 1,40 x 0,70 (lxbxd ¹ per hok)	Mestgoot met schuine wanden van 45°; 2,49 x 1,39 x 0,71 (lxbxd ¹ per hok)	Mestgoot met schuine wanden van 45°; 2,46 x 1,01 x 0,51 (lxbxd ¹ per hok)	Mestkelder; 2,46 x 1,05 x 1,20 en 2,46 x 1,90 x 1,20 (lxbxd ¹ per hok)
Waterkanaal - Voorste kanaal (beschrijving en diepte)	Watergoot met schuine wanden van 45°; 1,88 x 1,20 x 0,50 (lxbxd ¹ per hok)	Watergoot; 2,50 x 1,0 x 0,50 (lxbxd ¹ per hok)	-	2 goten onder het waterkanaal (W-goot) met schuine wanden van 45°; 2,49 x 0,86 x 0,42 en 2,49 x 0,61 x 0,26 (lxbxd ¹ per hok)	Waterpan met schuine wanden van 45°; 2,49 x 1,00 x 1,11 (lxbxd ¹ per hok)	-
Uitvoering mestkanaal en frequentie	Spoelbaar mestkanaal; dagelijks	Spoelbaar mestkanaal; dagelijks	Diepe mestkelder; 1 keer per half jaar tot een jaar	Spoelgoot met schuine wanden; dagelijks	Spoelgoot met schuine wanden; dagelijks	Diepe mestkelder; 1 keer per half jaar tot een jaar
Uitvoering waterkanaal en frequentie	Spoelbaar waterkanaal; éénmaal per week	Spoelbaar waterkanaal; éénmaal per groeicyclus	Verbonden met mestkanaal	Spoelbare goot met schuine wanden; éénmaal per week	Spoelbare goot met schuine wanden; éénmaal per groeicyclus	Verbonden met mestkanaal
Stofreductie	Watervernevelling, fijnstof metingen	Nee, geen fijnstof metingen	Nee, fijnstof metingen	Vernevelling met water, fijnstof metingen	Nee, geen fijnstof metingen	Nee, fijnstof metingen
Ventilatie	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Via een geperforeerd plafond	Via een geperforeerd plafond	Via een geperforeerd plafond	Via de afdelingsdeur	Via de afdelingsdeur	Via de afdelingsdeur
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 50 cm	1 ventilator met een diameter van 50 cm	1 ventilator met een diameter van 45 cm	1 ventilator met een diameter van 50 cm	1 ventilator met een diameter van 50 cm	1 ventilator met een diameter van 50 cm
Voersysteem en voertijden	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak met drinknippel)	Onbeperkt (droogvoerbak met drinknippel)	Onbeperkt (droogvoerbak met drinknippel)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels in de voerbakken)	Onbeperkt (drinknippels in de voerbakken)	Onbeperkt (drinknippels in de voerbakken)

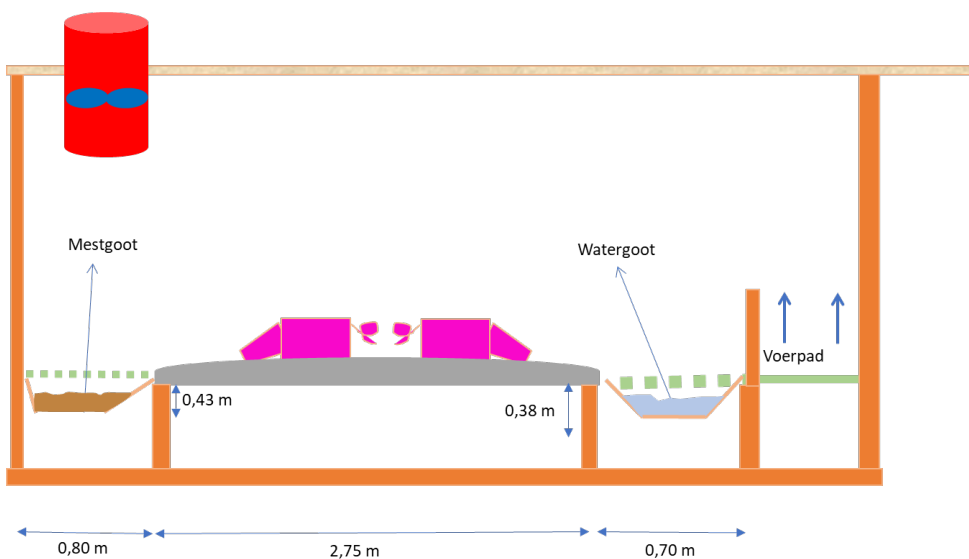
¹ lxbxd = lengte x breedte x diepte.

Gespeende biggen

De hokken van de variant voor de gespeende biggen op bedrijf 1 hadden een composiet rooster waar de voerbak en drinknippels zich bevonden met daaronder een waterkanaal (Figuur 7 en Figuur 8). De hokken hadden een dichte betonvloer en achterin een metalen driekant roostervloer met mestspleet. Daaronder was een mestgoot geplaatst die dagelijks werd geleegd door middel van het doorspoelen met verse mest. Aan het begin van de ronde bleef het gebruikte schoonmaakwater van het schoonspuiten van de afdeling in het waterkanaal staan. Tijdens de groeicyclus werd het waterkanaal elke ronde afgelaten (1x per 4 weken).

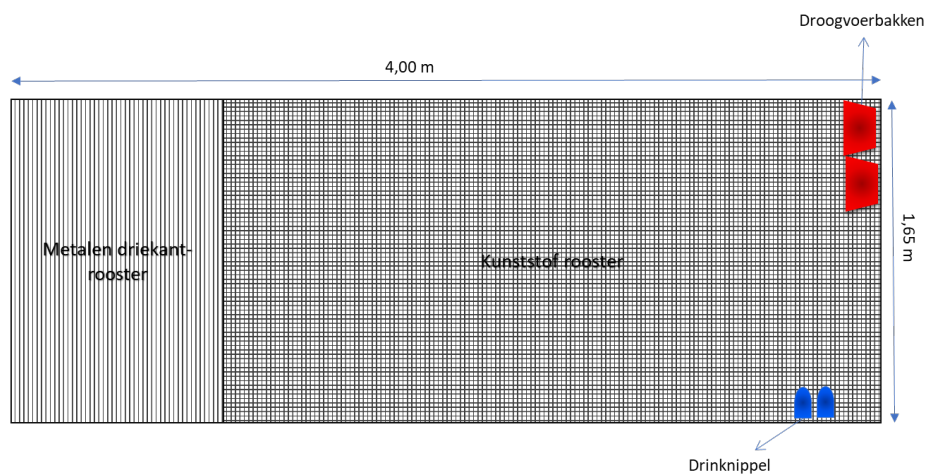


Figuur 7 Plattegrond van het hok met de variant bij de gespeende biggen op bedrijf 1.

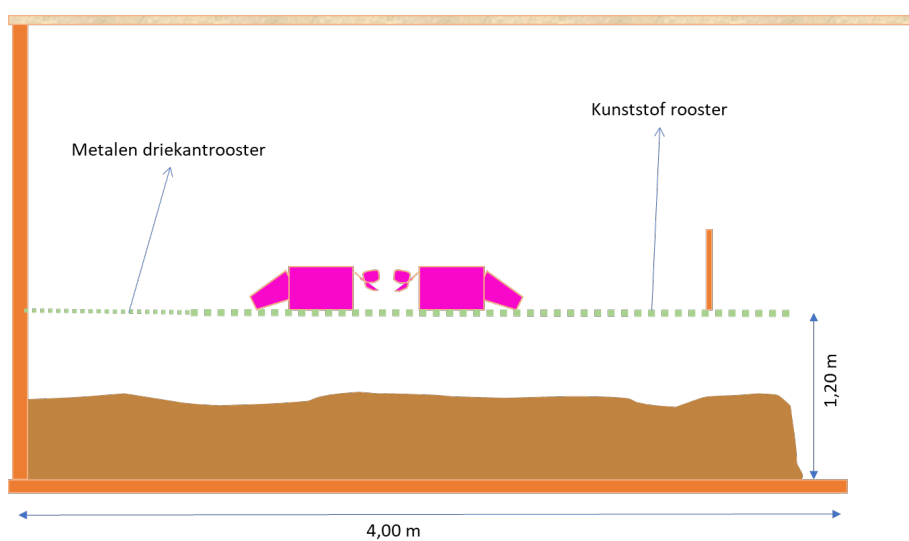


Figuur 8 Dwarsdoorsnede van het hok met de variant bij de gespeende biggen op bedrijf 1.

De controlehokken zijn in de lengterichting langs de voergang geplaatst (Figuur 9 en Figuur 10). Het controlehok was een hok met volledig roostervloer van merendeel kunststof, waarbij op de mestplaats van de biggen een metalen driekantrooster was aangebracht. De hokken waren voorzien van droogvoerbakken met een drinknippel.



Figuur 9 Plattegrond van het controlehok bij de gespeende biggen op bedrijf 1.



Figuur 10 Dwarsdoorsnede van het controlehok bij de gespeende biggen op bedrijf 1.

Tabel 2 geeft een overzicht van de kenmerken van de afdelingen en hokken bij de gespeende biggen.

Tabel 2 Overzicht van de kenmerken van de afdelingen bij de gespeende biggen bij bedrijf 1 en 2.

Kenmerken	Bedrijf 1 (GB1)		Bedrijf 2 (GB2)	
	Variant	Controle	Variant	Controle
Aantal dieren	60	60	150	76
Oriëntatie van de stal	Noordoost-zuidwest	Noordoost-zuidwest	Zuidoost-noordwest	Zuidoost-noordwest
Afmeting afdeling: Lengte [m] x Breedte [m]	8,50 x 4,00	8,00 x 4,00	10,98 x 5,09	9,95 x 3,39
Aantal hokken	4	4	6	4
Leefoppervlak (m ² per dier)	0,56	0,53	0,33	0,34
Hokken afmetingen (roostervloer mestkanaal, roostervloer waterkanaal, dichte vloer)	Gedeeltelijke roostervloer; 0,80 x 1,65 metalen driekantrooster, 0,70 x 1,65 betonrooster, 2,75 x 1,65 dichte vloer	Gehele roostervloer (deels staal tegen buitenmuren verder kunststof); 4,00 x 1,65 rooster	Gedeeltelijke roostervloer; metalen driekantrooster 1,0 x 1,81, composietrooster 0,84 x 1,81, dichte vloer 2,49 x 1,81	Gehele kunststof roostervloer; 2,49 x 2,65
Vloeruitvoering	60% dichte vloer	0% dichte vloer	60% dichte vloer	0% dichte vloer
Mestkanaal - Achterste kanaal (beschrijving en diepte)	Mestgoot; 1,65 x 0,80 x 0,43 (lxbxd ¹ per hok)	Mestkelder; 1,65 x 4,00 x 1,20 (lxbxd ¹ per hok)	Mestgoot; 1,67 x 0,90 x 0,43 (lxbxd ¹ per hok)	Mestkelder; 2,49 x 2,65 x 1,69 (lxbxd ¹ per hok)
Waterkanaal - Voorste kanaal (beschrijving en diepte)	Watergoot met 45° schuine wanden; 1,65 x 0,70 x 0,38 (lxbxd ¹ per hok)	-	Watergoot met 45° schuine wanden; 1,67 x 1,00 x 0,39 (lxbxd ¹ per hok)	-
Uitvoering mestkanaal en frequentie	Spoelbaar mestkanaal; dagelijks	Diepe mestkelder; éénmaal per half jaar tot een jaar	Spoelgoot; dagelijks	Diepe mestkelder; éénmaal per half jaar tot een jaar
Uitvoering waterkanaal en frequentie	Spoelbare goot	-	Spoelbare goot	-
Ventilatie	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Via de roostervloer van de voergang	Via de roostervloer van de voergang	Via het plafond, houtcementwol	Via de roostervloer van de voergang
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 40 cm	1 ventilator met een diameter van 40 cm	1 ventilator met een diameter van 40 cm	1 ventilator met een diameter van 40 cm
Voersysteem en voertijden	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak met drinknippel)	Onbeperkt (droogvoerbak met drinknippel)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)

¹ lxbxd = lengte x breedte x diepte.

2.3 Waarnemingen en metingen

2.3.1 Emissiemetingen met de referentiemethode

De emissiemetingen zijn uitgevoerd tussen januari 2023 tot februari 2024 met de referentiemethode, volgens het principe van case-control metingen bij de vleesvarkens- en gespeende biggen afdelingen. Er werden zes metingen zoveel mogelijk verspreid over het jaar uitgevoerd, rekening houdend met de verwachte emissiepatronen tijdens de groeiperiode. Voor gespeende biggen en vleesvarkens werd een lineair toenemend emissiepatroon verwacht (Ogink et al., 2017). Een aanvullende eis was dat bij elke meetlocatie de metingen zodanig verdeeld waren dat de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de productieperiode viel. De metingen in het tweede deel van de productieperiode moesten gelijkmatig over de jaarkwartalen verdeeld zijn. Het meetschema in het onderzoek werd zo opgesteld dat aan deze eisen werd voldaan. Vanwege een mislukte meting op bedrijf 1 in de nieuwe variant vleesvarkensafdeling op 19-06-2023, is deze meting opnieuw uitgevoerd op 05-07-2023. Bij de gespeende biggen op bedrijf 2 is het nieuwe variantensysteem gemeten tijdens een eerdere meetcampagne tussen maart 2021 en september 2022. De verdeling van de meetdagen over een jaar en de leeftijd van de dieren is weergegeven in Bijlage 2.

2.3.2 Ammoniakconcentratie

De ammoniakemissie werd bepaald door het gemeten concentratieverschil tussen uitgaande en ingaande lucht te vermenigvuldigen met het gemeten ventilatiedebiet. De methoden voor het meten van beide worden hierna beschreven. De concentratie van ammoniak in de buitenlucht, die representatief was voor de aangezogen lucht (ingående lucht), en in de lucht die uit de afdeling werd gezogen (stallucht), werd gemeten met behulp van de zogenaamde nat-chemische methode. Hierbij werd lucht gedurende 24 uur met een constante flow door een bubbelflesje met zuur geleid (Figuur 11). De ammoniak in de lucht werd gebonden aan het zuur en de hoeveelheid ammoniak die was afgevangen uit de lucht werd vervolgens spectrofotometrisch bepaald (Mosquera et al., 2019). De luchtflow door de bubbelflesjes werd voor en na de metingen gecontroleerd en de waarden werden genoteerd. De gemiddelde waarde werd gebruikt in de berekeningen. Metingen zijn uitgevoerd conform het aangepaste protocol van Wageningen Livestock Research voor natte luchtwassing dat gelijkwaardig is aan de NEN 2826 (Mosquera et al., 2019). De meting is in duplo uitgevoerd (zowel inkomende als uitgaande lucht).



Figuur 11 Meetopstelling voor ammoniakmetingen. Links: wasflessen. Rechts: flowmeter.

Om inzicht te krijgen in het verloop van de ammoniakconcentraties en -emissies werden daarnaast (door DHI) continue metingen gedaan met een DOL 53 sensor (gefabriceerd door Dräger). Deze continue metingen werden niet gebruikt voor het berekenen van een emissiefactor. Ze konden echter wel worden gebruikt om bij verschillen in de duplo-metingen van de nat-chemische methode te bepalen welke waarde afwijkend was.

2.3.3 Methaan- en koolstofdioxideconcentratie

De concentraties van methaan werden bepaald door de in- en uitgaande lucht gedurende 24 uur te bemonsteren in luchtzakken door middel van de zogenaamde longmethode (Groenestein et al., 2011) (Figuur 12). De achtergrondconcentratie is gemeten op een punt in de luchtstroom die de afdeling binnenkwam (inkomende lucht) en de uitgaande lucht werd bemonsterd in het ventilatorkanaal. Voor de luchtbemonstering werd een 40-liter zak in een afgesloten container geplaatst en onder vacuüm gehouden. Voor de meting werden Teflon-leidingen op dit vat en de zak aangesloten. Met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) werd met een bekende flow (0,020 l/min) een luchtmonster door middel van onderdruk in de zak gezogen. Deze metingen werden gedurende 24 uur uitgevoerd. De genomen monsters werden vervolgens in een laboratorium geanalyseerd volgens de gaschromatografische methode. Met dezelfde methode zijn de concentraties kooldioxide (CO₂) in de luchtmonsters bepaald. Metingen werden in duplo uitgevoerd.



Figuur 12 Meetopstelling voor de methaan metingen. Links: container met 40 liter monsternamezak. Midden: een 40 liter monsternamezak onder vacuüm. Rechts: pomp, monsternameleiding en kritische openingen, geplaatst in een roestvrijstalen houder voor bescherming).

2.3.4 Ventilatie-debiet

De afdelingen werden mechanisch geventileerd. De lucht werd afgevoerd via een computergestuurde ventilator, wat enige onderdruk in de afdeling veroorzaakte. Hierdoor werd alle lucht via de ventilatiekoker uit de afdeling afgevoerd. Het werkelijke ventilatie-debiet is gemeten met een meetventilator die in de ventilatiekoker was geplaatst en dezelfde diameter had als de ventilator. Bij elke omwenteling genereerde de meetventilator een aantal pulsen, die door de klimaatcomputer van de varkenshouder continu werden geregistreerd en omgerekend naar het aantal geventileerde kubieke meters per uur (m³/uur).

2.3.5 Kalibratie van de meetwaaiers

De kalibratie van de meetwaaiers in de verschillende afdelingen werd gedaan met een meetwaaier die vooraf is gekalibreerd in een windtunnel. Hierdoor konden nauwkeurige correctie-ijklijnen worden gemaakt tussen het door de computer geregistreerde ventilatie-debiet en het werkelijke ventilatie-debiet. De gekalibreerde meetventilator werd op de bestaande ventilatiekoker van de afdeling geplaatst, waarbij beiden dezelfde diameter hadden. Via de klimaatcomputer werd de ventilatiehoeveelheid op verschillende percentages van de geventileerde lucht in een afdeling geregeld. Vervolgens werd bij de gekalibreerde meetventilator de omwentelingen per minuut (Hz) per interval geregistreerd, waarna deze data werd weggeschreven op een datalogsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS). De gemeten data werd vervolgens, met behulp van een ijklijn, omgerekend naar het geventileerde debiet (m³/h) en vergeleken met de door de klimaatcomputer van de varkenshouder geregistreerde debieten. Op basis van deze vergelijking werd een kalibratielijn voor de ventilatie bepaald. Deze correctie-ijklijnen werden gebruikt om de door de klimaatcomputer geregistreerde hoeveelheden geventileerde lucht (m³/uur) te corrigeren naar de werkelijke hoeveelheden afgezogen lucht.

De kalibratie is uitgevoerd op alle gemeten afdelingen voor vleesvarkens en gespeende biggen op bedrijf 1. De kalibratielijnen zijn weergegeven in Bijlage 3. Bij bedrijf 2 waren de ventilatoren lastig te kalibreren vanwege de plaatsing in de afdeling. Daarom werd de CO₂-balansmethode toegepast om het ventilatiedebiet te berekenen.

2.3.6 CO₂-massabalans methode

Naast het meten van het werkelijke ventilatiedebiet met meetwaaiers werden aanvullende berekeningen uitgevoerd op basis van de CO₂-massabalansmethode om de gemeten waarden te vergelijken met deze berekende ventilatiehoeveelheden. Verder is het ventilatiedebiet voor gespeende biggen van bedrijf 2 geschat met behulp van de CO₂-massabalansmethode vanwege onbetrouwbare gemeten waarden van het ventilatiedebiet op de meetdagen (zie paragraaf 2.3.5).

De CO₂-massabalans methode is een veelgebruikte techniek voor het schatten van het ventilatiedebiet. Deze methode is een alternatieve methode voor het vaststellen van ventilatiehoeveelheden in plaats van andere methoden zoals meetwaaiers voor mechanisch geventileerde stallen en de tracergas methode voor natuurlijk geventileerde stallen. Deze methoden zijn arbeidsintensief en vragen investeringen in meetapparatuur. De CO₂-massabalans methode is gebaseerd op een indirecte bepaling van het ventilatiedebiet aan de hand van gemeten CO₂-concentraties in de aan- en afvoerlucht van de te meten afdeling en een schatting van de CO₂-productie van de dieren met behulp van een aantal rekenregels. Deze rekenregels zijn afkomstig van een CIGR (International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering) werkgroep die de totale CO₂-productie van de dieren schat op basis van de warmteproductie die te berekenen is uit het gewicht van de dieren, voereigenschappen (energiewaarde, ruweiwit gehalte, voeropname), en de productie van melk, vlees en/of eieren (CIGR, 2002). Hier volgt een beschrijving van hoe de CO₂-massabalans methode werkt en waarom het een betrouwbare techniek is voor deze toepassingen.

De CO₂-productie door de varkens werd berekend op basis van de warmte productie die vooral afhankelijk is van de metabole activiteit van de dieren. Deze kan als volgt voor vleesvarkens en gespeende biggen worden berekend (F. 1 - 2):

$$Q_{tot-VLV} = 5,09 m^{0,75} + [1 - (0,47 + 0,003 m)] [n \times 5,09 m^{0,75} - 5,09 m^{0,75}] \quad \text{F. 1}$$

$$Q_{tot-GB} = 7,4 m^{0,66} + [1 - (0,47 + 0,003 m)] [n \times 7,4 m^{0,66} - 7,4 m^{0,66}] \quad \text{F. 2}$$

waarbij,

- $Q_{tot-VLV}$ is de warmteproductie van de vleesvarkens (W)
- Q_{tot-GB} is de warmteproductie van de gespeende biggen (W)
- n is het voerniveau uitgedrukt in n maal de onderhoudsenergiebehoefte. Voor vleesvarkens is dit: $Q_m = 5,09 m^{0,75}$ (W) en voor gespeende biggen is dit: $Q_m = 7,4 m^{0,66}$ (W). De standaardwaarden voor n afhankelijk van de groei van CIGR (2002) zijn bijgewerkt door Aarnink et al. (2016) vanwege verbeteringen in de genetica.
- m is het gewicht van de varkens op de meetdag.

Het gewicht van de vleesvarkens werd geschat met behulp van een modelbenadering die het gewicht over de groeiperiode berekende op basis van de Gompertz-curve (de totale voeropname en het startgewicht waren inputs) (Aarnink et al., 2018). Een lineaire schatting op basis van een gewichtstoename van 420 g/dag is toegepast voor gespeende biggen.

In deze studie werd onderscheid gemaakt tussen de CO₂-productie in de afdelingen met dagontmesting (varianten) en de controle afdelingen, waarbij in de variantenafdeling de mest gerelateerde CO₂-productie verwaarloosbaar is vanwege de snelle verwijdering van mest. De CO₂-productie op stalniveau voor de verschillende diercategorieën is bepaald aan de hand van de conversie rekenregels van warmteproductie naar CO₂-productie (Tabel 3) (Pedersen et al., 2008) (F. 3 - 4):

$$PCO_{2-VLV} = PCO_{2,hpu} \cdot \frac{Q_{tot-VLV}}{1000} \quad \text{F. 3}$$

$$PCO_{2-GB} = PCO_{2,hpu} \cdot \frac{Q_{tot-GB}}{1000}$$

F. 4

waarbij,

- PCO_{2-VLV} is de CO₂ productie van de vleesvarkens (m³/uur per dier)
- PCO_{2-GB} is de CO₂ productie van de gespeende biggen (m³/uur per dier)

Tabel 3 CO₂ productie [m³/uur per hpu (heat production unit)] bij vleesvarkens en gespeende biggen (Pedersen et al., 2008).

	Dierniveau (proefafdelingen)	Afdelingsniveau (dier + mest) (controle afdelingen)
Vleesvarkens	0,185	2,00
Gespeende biggen	0,170	0,185

- Ventilatie-debiet. Het ventilatie-debiet kan worden bepaald door de CO₂-concentraties in de luchtinlaat en luchtuitlaat van de stal te meten. De CO₂-concentraties zijn gemeten volgens de referentiemethode (zie paragraaf 2.2.2). Door de CO₂-productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren in de stal is de totale CO₂-productie berekend. Het ventilatie-debiet (V) (m³/uur) werd vervolgens bepaald op basis van de volgende formule (F. 5):

$$V = \frac{PCO_2}{([CO_2]_{uitlaat} - [CO_2]_{inlaat}) \times 10^{-6}}$$

F. 5

waarbij,

- V is het ventilatie-debiet (m³/uur)
 - PCO₂: CO₂-productie [m³/uur per dier voor zowel vleesvarkens als gespeende biggen (F. 3 - 4)
 - [CO₂]_{uitlaat}: CO₂-concentratie (ppm) van de uitgaande stallucht
 - [CO₂]_{inlaat}: CO₂-concentratie (ppm) van de ingaande stallucht
- Emissieberekening. De berekening van de emissies staat beschreven in paragraaf 2.4.1.

2.3.7 Andere waarnemingen

Temperatuur/RV

De temperatuur en relatieve vochtigheid zijn continu gemeten en gelogd met behulp van een Escort T/RV sensor (één sensor buiten en één per afdeling bij de koker).

Bevuilingsscore

Tijdens elke meetperiode is de hokbevuiling twee keer geregistreerd (voor en na de metingen). Het percentage van de dichte vloer dat met urine bevuild was werd gescoord.

Temperatuur en hoogtes van de mest in de kanalen

De temperatuur en hoogtes van de mest in zowel mest- als waterkanalen zijn op de meetdagen gemeten door middel van een handheld infrarood thermometer en laserafstandsmeter. Vervolgens werd de hoogte van de mest in de kanalen berekend door de gemeten hoogte van de oppervlaktelaag af te trekken van de totale diepte van het kanaal.

Mestmonsters

Tijdens elke meting zijn monsters genomen van de mest- en waterkanalen. In de controleafdelingen werden indien van toepassing ook monsters genomen in beide mestkanalen. De monsters zijn in het laboratorium geanalyseerd op N, P, K, NH₄N, DS, As en pH.

2.4 Data-analyse

2.4.1 Berekening emissies en reducties

Uit de gemeten concentraties en ventilatiedebieten zijn de CH₄- en NH₃ emissies berekend volgens de standaard werkwijze (Groenestein et al., 2011a; Ogink et al., 2017).

- De duplo-metingen zijn eerst gemiddeld voor verdere berekeningen. Echter, wanneer de verschillen tussen de duplo's meer dan 15% waren, werden deze metingen vergeleken met de continue data van de ammoniak- en koolstofdioxide-sensoren om de juiste meting te bepalen. Indien het verschil tussen de protocolmeting en de sensormeting binnen een marge van 15% viel, werd deze protocolmeting als de juiste meetwaarde aangenomen en gebruikt voor verdere analyse. Wanneer beide protocolmetingen niet overeenkwamen, werd de gehele meting uit de dataset verwijderd.
- Voor elk afdelingstype en bedrijf ($i=1, 2, 3; j=1, 2$) is de emissie, E_{ij} (kg/jaar per varkensplaats), berekend per meetdag met behulp van de concentratie van CH₄ en NH₃ in de uitgaande lucht (C_{outij}) en de inkomende lucht C_{inij} (beide in mg/m³), de gemiddelde ventilatie debiet V_{ij} (m³/uur per varkensplaats) en de dichtheid van het gas (ρ) om de concentratie (ppm) om te zetten naar mg/m³ (0,71 en 0,657 kg/m³ voor NH₃ en CH₄). Dit werd vervolgens vermenigvuldigd met 24 en 365, en gedeeld door 10⁶ om de kg emissie per varkensplaats per jaar te berekenen (F. 6).

$$E_{ij} = (C_{outij} - C_{inij}) \cdot \rho \cdot V_{ij} \cdot 24 \cdot 365 / 10^6 \quad \text{F. 6}$$

waarbij,

- E_{ij} is de emissie van methaan en ammoniak (kg/jaar per varkensplaats)
 - C_{outij} is de concentratie van CH₄ en NH₃ in de uitgaande lucht (ppm)
 - C_{inij} is de concentratie van CH₄ en NH₃ in de inkomende lucht (ppm)
 - V_{ij} is het gemiddelde ventilatie debiet (m³/uur per varkensplaats)
 - ρ de dichtheid van het gas (0,71 en 0,67 kg/m³ voor NH₃ en CH₄ bij 20 °C)
 - 24 en 365, 10⁶ zijn conversiefactoren voor uur naar jaar en mg naar kg
 - $i=1, 2, 3$ is de afdelingen type (nieuwe variant, oude variant en controle)
 - $j=1, 2$ is het aantal bedrijven.
- Voor de referentiemethode werd een leegstandsfactor van 3% voor vleesvarkens en 9% voor gespeende biggen gebruikt om de jaarlijkse emissie te berekenen (Groenestein en Aarnink (2008); Mosquera Losada et al. (2010)).
 - De reductiepercentage per meetdag wordt als volgt berekend (F. 7 - 8):

$$Reductie_{variant} = [1 - (Emissie\ variantafd./Emissie\ controleafd.)] \times 100 \quad \text{F. 7}$$

$$Reductie_{proef} = [1 - (Emissie\ proefafd./Emissie\ controleafd.)] \times 100 \quad \text{F. 8}$$

- In dit onderzoek is ook de reductie berekend ten opzichte van het referentiesysteem in de voormalige Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling) vanwege het verschil tussen de controleafdeling en de categorie 'Overige huisvestingssystemen' van deze lijst. Voor vleesvarkens op bedrijf 1 is dit berekend op 2,5 kg/jaar per dierplaats vanwege de toepassing van metalen driekant roosters (Groenestein et al., 2014) en voor bedrijf 2 is de 3,0 kg/jaar per dierplaats toegepast zoals opgenomen in de (voormalige) Rav-lijst voor overige huisvestingssystemen. De Rav-emissiefactor voor de gespeende biggen bedraagt 0,69 kg/jaar per dierplaats.
- De emissiefactor is vervolgens berekend met dit reductiepercentage en de aangepaste emissiefactor van bedrijf 1 en bedrijf 2:

$$Emissiefactor = Bestaande\ Emissiefactor \cdot (1 - Reductie) \quad \text{F. 9}$$

- Er zijn geen uitbijters aangetoond.

2.4.2 Verdunningsfactor

Om vast te stellen hoezeer mest en urine zijn verdund in het waterkanaal van het systeem, is de verdunningsfactor berekend. Dit werd gedaan aan de hand van onderstaande formule (F. 10):

$$\text{Verdunningsfactor} = \text{Gem. ammonium stikstof mestkanaal} / \text{Gem. ammonium stikstof waterkanaal} \quad \text{F. 10}$$

Het ammoniumgehalte van de mestmonsters is gebaseerd op laboratoriumanalyses van de mestmonsters op de meetdagen.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten voor de gemeten methaan- en ammoniakemissies gepresenteerd. Bovendien worden de aanvullende analyses, namelijk mestanalyse en vloerbevuilding, gepresenteerd. Dit hoofdstuk volgt de volgende opzet: Paragraaf 3.1 beschrijft de gemeten emissies per diercategorie en per bedrijf op basis van de referentiemethode. Paragraaf 3.2 en 3.3 geeft de resultaten weer met betrekking tot vloerbevuilding in combinatie met ammoniakemissie en verdunning, en paragraaf 3.4 geeft een overzicht van de continu gemeten emissies. Aanvullende resultaten zijn gerapporteerd in de bijlagen.

3.1 Emissies

De gemeten parameters, de berekende emissies, emissiereducties ten opzichte van de controleafdeling en de emissiefactoren voor de vleesvarkens (bedrijf 1: VV1, bedrijf 2: VV2) en de gespeende biggen (bedrijf 1: GB1, bedrijf 2: GB2) zijn weergegeven in de volgende paragrafen.

3.1.1 Vleesvarkens

De samenvatting van de bevindingen is weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5. De gemiddelde binnentemperatuur was 22,4, 23,5 en 23,9 °C bij respectievelijk de nieuwe variant, oude variant en controleafdeling, met een hogere gemiddelde temperatuur in VV2 (+2,35 °C). Het gemiddelde relatieve luchtvochtigheid was 61,7%, 60,4% en 64,5% bij de nieuwe variant, oude variant en controleafdeling. Het gemiddelde ventilatiedebiet was 40,3, 38,1 en 35,5 m³/uur per dierplaats. Ventilatiehoeveelheid was het hoogst bij VV1 in de nieuwe variant afdeling (46,3 m³/uur per dierplaats) en het laagste was in de controle afdeling van VV2 (26,0 m³/uur per dierplaats) gemeten.

3.1.1.1 Methaanemissie

Voor de methaanemissie is een gemiddelde (\pm s.d.) reductie van 91,1% \pm 4,0% gevonden bij de nieuwe variant en 82,2% \pm 15,0% bij de oude variant. Daarnaast is voor de nieuwe en oude varianten een emissiefactor van 1,44 en 2,45 kg/jaar per dierplaats berekend. In de controleafdeling was de gemiddelde absolute emissie 18,9 kg/jaar per dierplaats (15,4 kg/jaar per dierplaats in VV1 en 22,5 kg/jaar per dierplaats in VV2). De gemiddelde reductiepercentages (\pm s.d.) vertoonden weinig verschil bij de nieuwe variantafdeling (VV1 88,7% \pm 5,0% en VV2 93,5% \pm 3,0%) bij beide bedrijven. Bij de oude variant was er een hogere reductie gemeten bij bedrijf 2 (VV1 68,9% \pm 27,0% en VV2 95,5% \pm 2,0%). Het verschil in reductiepercentages tussen de bedrijven kan vooral worden verklaard door de hogere CH₄ emissie in de controleafdeling van bedrijf 2.

De methaanreductie bleef stabiel gedurende de verschillende metingen in de meetperiode, waarbij er relatief weinig variatie tussen de metingen werd waargenomen (Figuur 13). In de controleafdeling van bedrijf 1 weinig correlatie te zien tussen de leeftijd van de varkens na opleg en de absolute emissie (Figuur 13), aangezien de methaanemissie sterk afhankelijk is van de mestverwijderingsfrequentie en de mesthoogte in de stal. In de oude variant werd het mestkanaal dagelijks gelegeerd en het waterkanaal pas aan het einde van de groeiperiode, waardoor de methaanemissie met de groeiperiodedagen toenam (Figuur B8 – B9 - Bijlage 4). Terwijl in de nieuwe variant de CH₄ emissie minder gerelateerd was aan het mestniveau in de put door het dagelijks verwijderen van de mest- en waterkanalen (een zeer lage gemiddelde mesthoogte is gemeten (< 0,01 m)). Bij bedrijf 2 was de absolute CH₄ emissie vergelijkbaar in de nieuwe en oude varianten terwijl de absolute CH₄ emissie in de controleafdeling hoger was dan bij bedrijf 1.

3.1.1.2 Ammoniakemissie

Het gemiddelde reductiepercentage (\pm s.d.) voor ammoniak is 44,7% \pm 23,0% gemeten in de afdeling met de nieuwe variant en 54,9% \pm 18,0% in de oude variant. Daarnaast is een emissiefactor van 1,48 en 1,22 kg NH₃/jaar per dierplaats berekend bij de nieuwe en oude varianten.

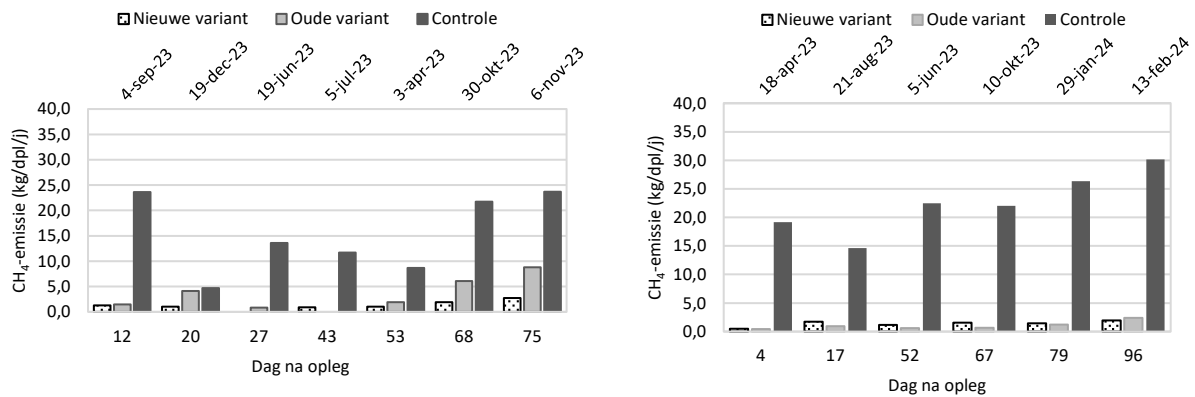
Ten opzichte van de categorie 'Overige huisvestingsystemen' van de voormalige Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling) is een gemiddelde reductie van 48,1% en 55,1% berekend voor de nieuwe en oude varianten. Bij Bedrijf 1 is de absolute ammoniakemissie in de controleafdeling (1,44 kg NH₃/jaar per dierplaats) beduidend lager dan de emissiefactor voor de categorie 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav-lijst (3,0 kg/jaar per dierplaats). Voor dit bedrijf is, zoals hierboven aangegeven (paragraaf 2.4.1), de emissiefactor van 2,5 kg NH₃/jaar per dierplaats gebruikt vanwege het gebruik van metalen driekant roosters. De absolute emissies gemeten in de oude en nieuwe variantafdelingen waren respectievelijk 1,13 en 0,95 kg NH₃/jaar per dierplaats. Bij bedrijf 2 waren de absolute emissies in alle afdelingen hoger dan bij bedrijf 1 (Tabel 5). Door de veel hogere emissie in de controleafdeling bij bedrijf 2 had dit bedrijf hogere reductiepercentages dan bedrijf 1.

Tabel 4 Gemiddelde waarden van de temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (%), ventilatiedebiet (m³/uur per dierplaats) voor vleesvarkens, met tussen haakjes de standaarddeviatie. De gegevens zijn opgesplitst per bedrijf (VV1 en VV2) en afdeling, daarnaast worden de gemiddelde waarden van de twee bedrijven weergegeven.

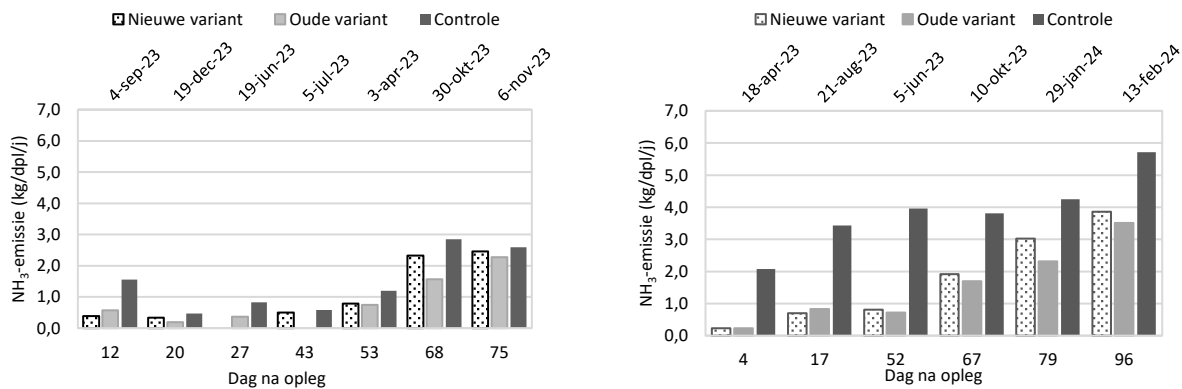
Component	Bedrijf	Afdeling			Gem. waarde		
		Nieuwe variant	Oude variant	Controle	Nieuwe variant	Oude variant	Controle
Temperatuur afdeling (°C)	VV1	21,1 (\pm 2,0)	22,0 (\pm 3,2)	23,0 (\pm 2,3)	22,4 (\pm 2,5)	23,5 (\pm 2,9)	23,9 (\pm 2,1)
	VV2	23,7 (\pm 3,0)	24,9 (\pm 2,7)	24,8 (\pm 1,9)			
Relatieve luchtvochtigheid (%)	VV1	62,0 (\pm 8,7)	58,1 (\pm 9,4)	62,3 (\pm 6,2)	61,7 (\pm 7,9)	60,4 (\pm 8,3)	64,5 (\pm 7,4)
	VV2	61,3 (\pm 7,1)	62,7 (\pm 7,3)	66,6 (\pm 8,7)			
Ventilatiedebiet (m ³ /uur per dierplaats)	VV1	46,3 (\pm 13,0)	46,1 (\pm 14,2)	45,0 (\pm 19,2)	40,3 (\pm 12,5)	38,1 (\pm 12,8)	35,5 (\pm 13,4)
	VV2	34,4 (\pm 12,0)	30,0 (\pm 11,4)	26,0 (\pm 7,6)			

Tabel 5 Gemiddelde waarden van de methaan- en ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) voor vleesvarkens, met tussen haakjes de standaarddeviatie. De gegevens zijn weergegeven per bedrijf (VV1 en VV2) en afdeling, daarnaast worden de gemiddelden waarden van de twee bedrijven weergegeven. Voor elk bedrijf en als totaal worden de reductiepercentages (%) voor de nieuwe en oude varianten weergegeven t.o.v. de controleafdeling. Tenslotte zijn de emissiefactoren (kg/jaar per dierplaats) gepresenteerd.

Component	Bedrijf	Afdeling			Reductie (%)		Gem. emissie			Gem. reductie (%)		Emissiefactor	
		Nieuwe var.	Oude var.	Controle	Nieuwe var.	Oude var.	Nieuwe var.	Oude var.	Controle	Nieuwe var.	Oude var.	Nieuwe var.	Oude var.
Methaan (kg/jaar per dierplaats)	VV1	1,48 (± 0,6)	3,87 (± 2,8)	15,39 (± 7,1)	88,7% (± 5,0%)	68,9% (± 27,0%)	1,44 (± 0,5)	2,45 (± 1,7)	18,93 (± 6,0)	91,1% (± 4,0%)	82,2% (± 15,0%)	1,44	2,45
	VV2	1,39 (± 0,5)	1,04 (± 0,7)	22,47 (± 4,9)	93,5% (± 3,0%)	95,5% (± 2,0%)							
Ammoniak (kg/jaar per dierplaats)	VV1	1,13 (± 0,9)	0,95 (± 0,7)	1,44 (± 0,9)	29,6% (± 23,0%)	45,6% (± 17,0%)	1,44 (± 1,1)	1,25 (± 0,9)	2,66 (± 1,0)	44,7% (± 23,0%)	54,9% (± 18,0%)	1,48	1,22
	VV2	1,76 (± 1,3)	1,55 (± 1,1)	3,87 (± 1,1)	59,9% (± 24,0%)	64,3% (± 19,0%)							



Figuur 13 Methaanemissie (kg/jaar per dierplaats) van de gemeten afdelingen voor vleesvarkens per referentiemeting. Links: VV1. Rechts: VV2.



Figuur 14 Ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) van de gemeten afdelingen voor vleesvarkens per referentiemeting. Links: VV1. Rechts: VV2.

3.1.2 Gespeende biggen

In dit onderzoek is de emissie van gespeende biggen van de variant afdeling op twee bedrijven gemeten. De samenvatting van de resultaten is weergegeven in Tabel 6 en Tabel 7.

De gemiddelde binnentemperatuur was 24,7 °C en 25,8 °C bij respectievelijk de variant- en controleafdeling, met een hogere gemiddelde temperatuur in GB2 (+1,6 °C) en in de controleafdeling van beide bedrijven (+0,46 en +1,9 °C). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid was 62,9% en 65,9% met een hogere luchtvochtigheid in GB2 (+2,15%) en in de controleafdeling (+4,2% in GB1 en +1,7% in GB2). Het gemiddelde ventilatiedebiet was 11,4 en 11,6 m³/uur per dierplaats. De hoogste hoeveelheid ventilatie was in de variantafdeling van GB1 (13,8 m³/uur per dierplaats) gemeten en de laagste ventilatie was in de variantafdeling van GB2 (9,8 m³/uur per dierplaats) gemeten.

3.1.2.1 Methaanemissie

Voor de methaanemissie is een gemiddelde reductie (\pm s.d.) van 95,5% \pm 2,0% gevonden. Daarnaast is voor de variantafdeling een emissiefactor van 0,59 kg/jaar per dierplaats berekend. Bij de controleafdeling was de gemiddelde (\pm s.d.) absolute emissie 12,22 \pm 3,10 kg/jaar per dierplaats per jaar.

De methaanreductie bleef stabiel gedurende de groeiperiode, waarbij er relatief weinig variatie tussen de metingen bij de variantafdeling is waargenomen (Figuur 15). In juni was zowel de gemeten methaan- als de ammoniakemissie het hoogst bij bedrijf 1. Op die meetdag was de mestkelder voor 60% gevuld en was de temperatuur van het mestoppervlak 27,6 °C en was de binnentemperatuur 29,0 °C, terwijl op alle overige meetdagen de mesttemperatuur gemiddeld 22,5 °C was, de binnentemperatuur 23,8 °C was en de

gemiddelde buitentemperatuur 22,7 °C was. In oktober is een lagere emissie bij varkens van dezelfde leeftijd gemeten. Bij bedrijf 1 was de gemiddelde CH₄ emissie in de controleafdeling lager dan bij bedrijf 2 (7,75 vs. 11,5 kg/jaar per dierplaats), wat bij bedrijf 2 tot een wat hoger reductiepercentage leidde. Bij bedrijf 1 was de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemiddeld lager dan bij bedrijf 2, waarschijnlijk doordat bedrijf 1 meer ventileerde.

3.1.2.2 Ammoniakemissie

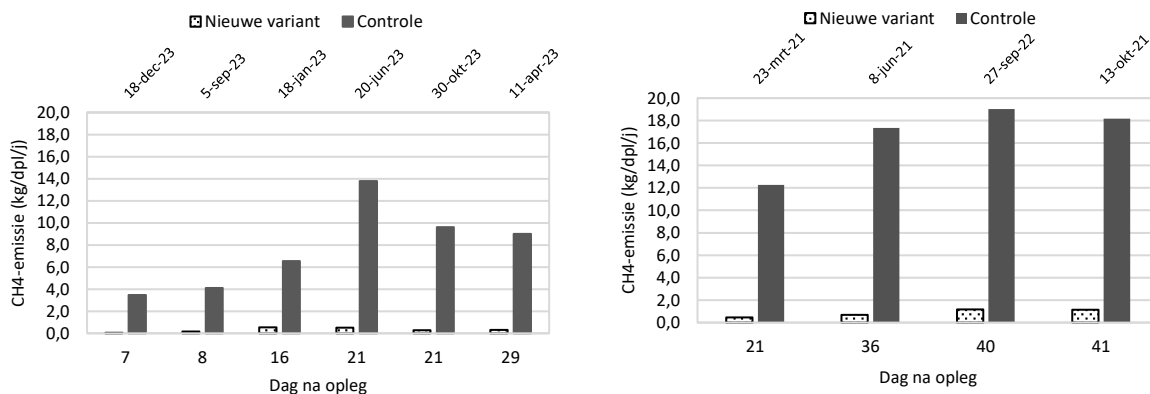
Voor de ammoniakemissie was het gemiddelde reductiepercentage (\pm s.d.) t.o.v. de controleafdeling 86,2% \pm 4,0%. Voor de variantafdeling is een emissiefactor van 0,096 kg NH₃/jaar per dierplaats per jaar berekend. Het reductiepercentage voor ammoniak ten opzichte van de controleafdeling was consistent over de meetperiode en was tussen de 84% en 95% bij bedrijf 1 en tussen de 78% en 87% bij bedrijf 2. De reductie was in de tweede helft van de groeiperiode doorgaans lager. Bij bedrijf 2 werd geen correlatie gevonden tussen de leeftijd van de dieren en de CH₄ en NH₃ emissies. Aan het einde van de groeiperiode steeg de ammoniakemissie (Figuur 16). Voor bedrijven 1 en 2 zijn lagere reductiepercentages berekend ten opzichte van de emissie factor in de voormalige Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling) voor de categorie 'Overige huisvestingssystemen' (emissiefactor van 0,69 kg/jaar per dierplaats). Dit verschil kan worden verklaard door de verschillen in de controleafdeling ten opzichte van die in de voormalige Rav-lijst.

Tabel 6 Gemiddelde waarden van de temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (%), ventilatiedebiet (m³/uur per dierplaats) voor gespeende biggen, met tussen haakjes de standaarddeviatie. De gegevens zijn opgesplitst per bedrijf (GB1 en GB2) en afdeling, daarnaast worden de gemiddelde waarden van de twee bedrijven weergegeven..

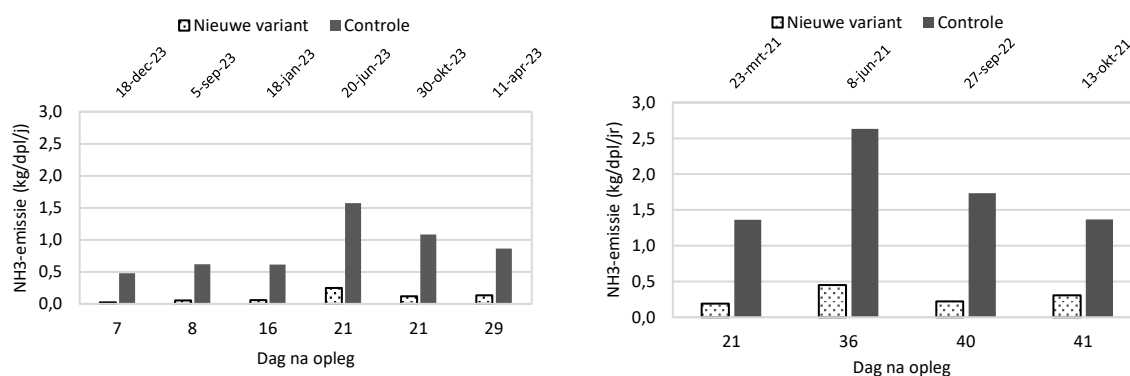
Component	Bedrijf	Afdeling		Gem. waarde	
		Variant	Controle	Variant	Controle
Temperatuur afdeling (°C)	GB1	24,2 (\pm 3,0)	24,7 (\pm 2,9)	24,7 (\pm 3,2)	25,8 (\pm 2,3)
	GB2	25,1 (\pm 3,3)	27,0 (\pm 1,8)		
Relatieve luchtvochtigheid (%)	GB1	61,2 (\pm 5,1)	65,4 (\pm 5,1)	62,9 (\pm 19,0)	65,9 (\pm 6,3)
	GB2	64,6 (\pm 32,9)	66,3 (\pm 7,6)		
Ventilatiedebiet (m ³ /uur per dierplaats)	GB1	13,8 (\pm 7,6)	10,6 (\pm 6,9)	11,4 (\pm 4,9)	11,6 (\pm 6,4)
	GB2	9,8 (\pm 2,6)	12,6 (\pm 5,8)		

Tabel 7 Gemiddelde waarden van de methaan- en ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) voor gespeende biggen, met tussen haakjes de standaarddeviatie. De gegevens zijn opgesplitst per bedrijf (GB1 en GB2) en afdeling, daarnaast worden de gemiddelde waarden van de twee bedrijven weergegeven. Voor elk bedrijf en als totaal worden de reductiepercentages (%) voor de variantafdeling weergegeven t.o.v. de controleafdeling. Tenslotte zijn de emissiefactoren (kg/jaar per dierplaats) berekend.

Component	Afdeling		Reductie (%)	Gem. emissie		Gem. reductie (%)	Emissiefactor (kg/jaar per dierplaats)	
	Bedrijf			Variant	Controle			
		Variant						Controle
Methaan (kg/jaar per dierplaats)	GB1	0,32 (± 0,2)	7,75 (± 3,5)	96,0% (± 3,0%)	0,59 (± 0,30)	12,22 (± 3,10)	95,5% (± 2,0%)	0,59
	GB2	0,87 (± 0,30)	16,69 (± 2,60)	94,9% (± 1,0%)				
Ammoniak (kg/jaar per dierplaats)	GB1	0,11 (± 0,1)	0,87 (± 0,4)	88,9% (± 4,0%)	0,20 (± 0,10)	1,32 (± 0,40)	86,2% (± 4,0%)	0,096
	GB2	0,29 (± 0,10)	1,77 (± 0,50)	83,4% (± 4,0%)				



Figuur 15 Methaanemissie (kg/jaar per dierplaats) bij de gemeten variant- en controleafdeling voor gespeende biggen per referentiemeting. Links: GB1. Rechts: GB2.

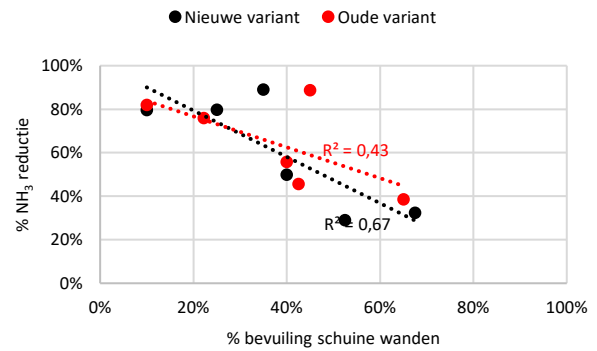
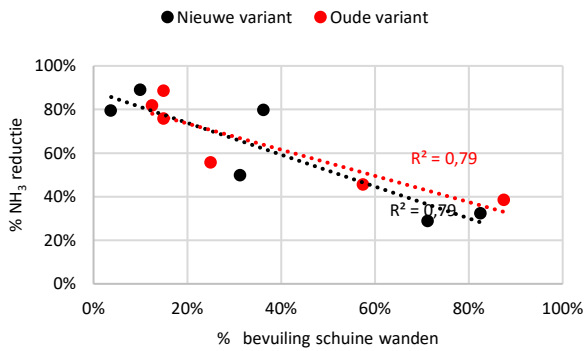
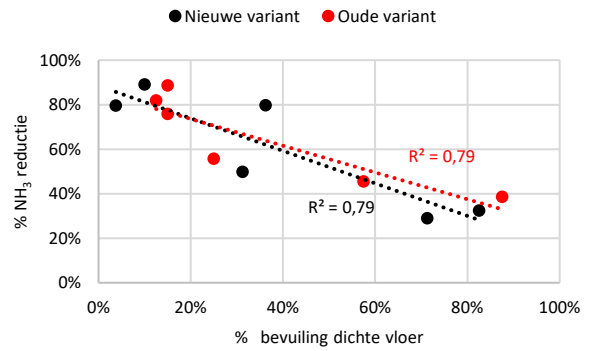
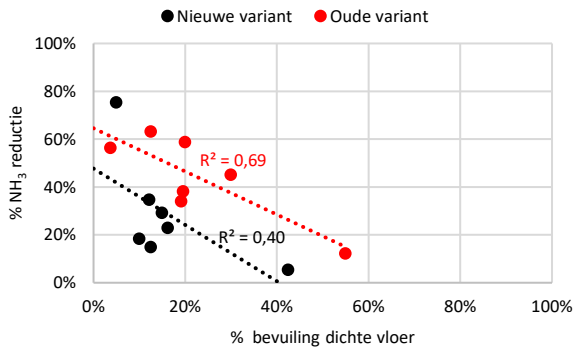


Figuur 16 Ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) bij de gemeten variant- en controleafdeling voor gespeende biggen per referentiemeting. Links: GB1. Rechts: GB2.

3.2 Bevuilingscore

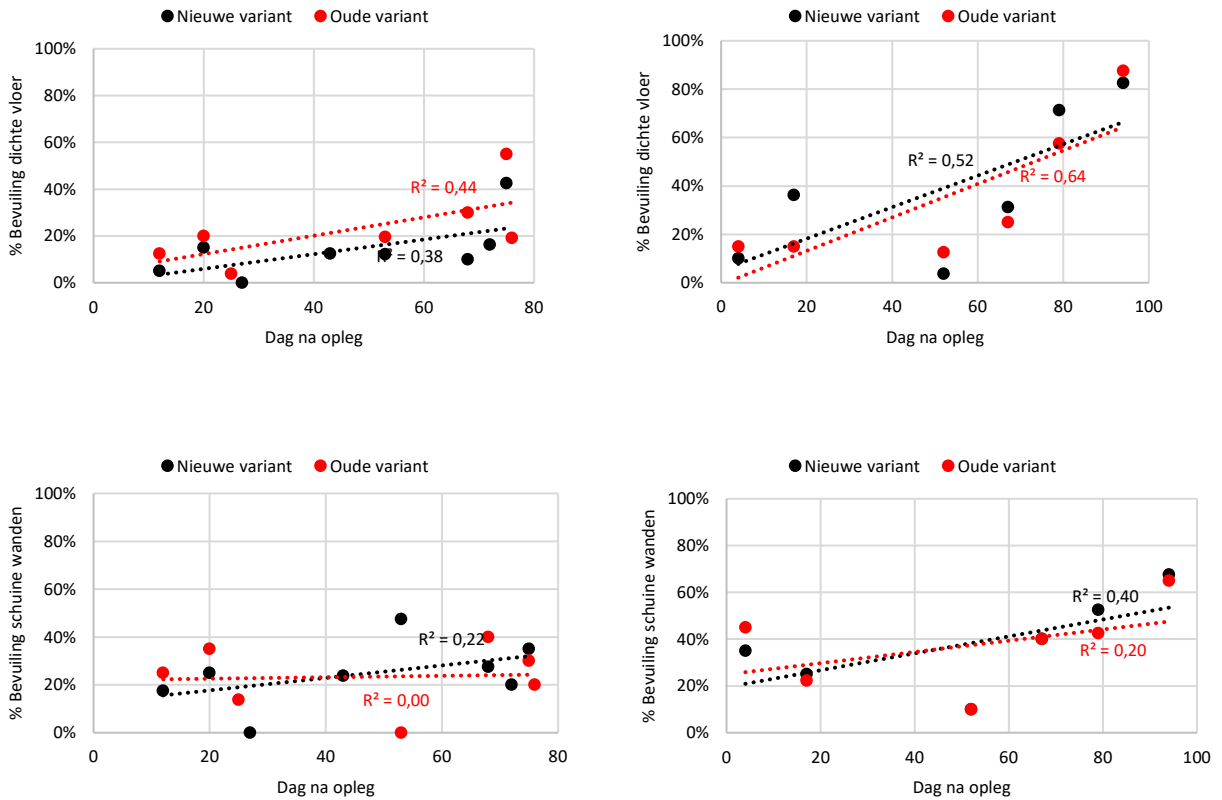
3.2.1 Vleesvarkens

De vloerbevuiling (percentage van het dichte vloeroppervlak vervuild met urine) en het percentage van bevuiling op de schuine wanden werden gescoord voor zowel de nieuwe en oude variantafdelingen van vleesvarkens op de beide bedrijven (Figuur 17). Beide grafieken laten een afname van de ammoniakreductie zien bij een toenemend percentage vloer- en schuine wandenbevuiling. Het effect van vloerbevuiling lijkt groter te zijn op bedrijf 1 ten opzichte van bedrijf 2. Opgemerkt moet worden dat het effect van bevuiling op de ammoniakemissie verstrengeld is met andere factoren zoals dagen na opleg en staltemperatuur. Daarom kan de relatie met ammoniakemissie niet volledig worden toegeschreven aan stalbevuiling.



Figuur 17 De relatie tussen bevillingsscores op de vloer en schuine wanden (%) en het reductiepercentage van ammoniak in de gemeten afdelingen voor de vleesvarkens. Links: VV1. Rechts: VV2.

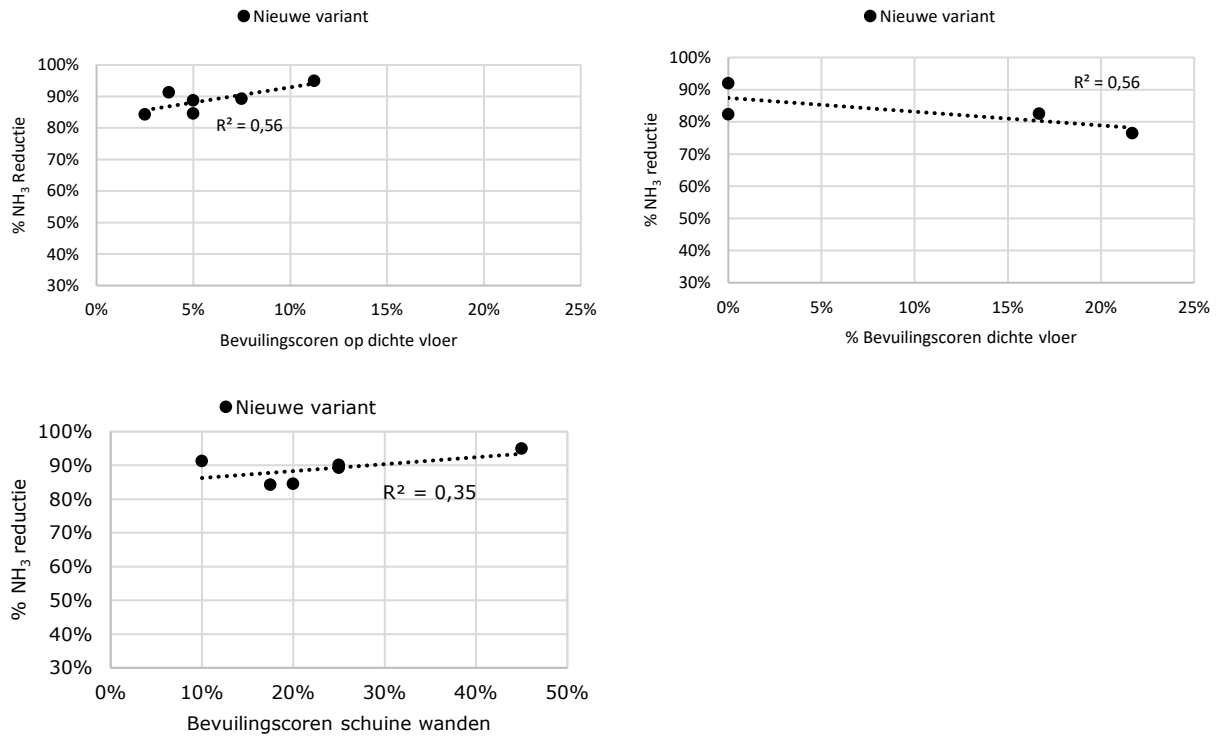
De relatie tussen de bevulling op de dichte vloer en de leeftijd van de varkens is weergegeven in Figuur 18. Het is te zien dat de bevulling van de vloer is toegenomen met het toenemen van het aantal dagen na opleg bij vleesvarkens. De bevillingsscores op de vloer en de schuine wanden van bedrijf 2 waren aan het einde van de groeiperiode hoger en namen sneller toe dan bij bedrijf 1.



Figuur 18 De relatie tussen bevuilingscores op de vloer en de schuine wanden (%) en de leeftijd van de dieren na oplegdatum in de gemeten afdelingen voor de vleesvarkens. Links: VV1. Rechts: VV2.

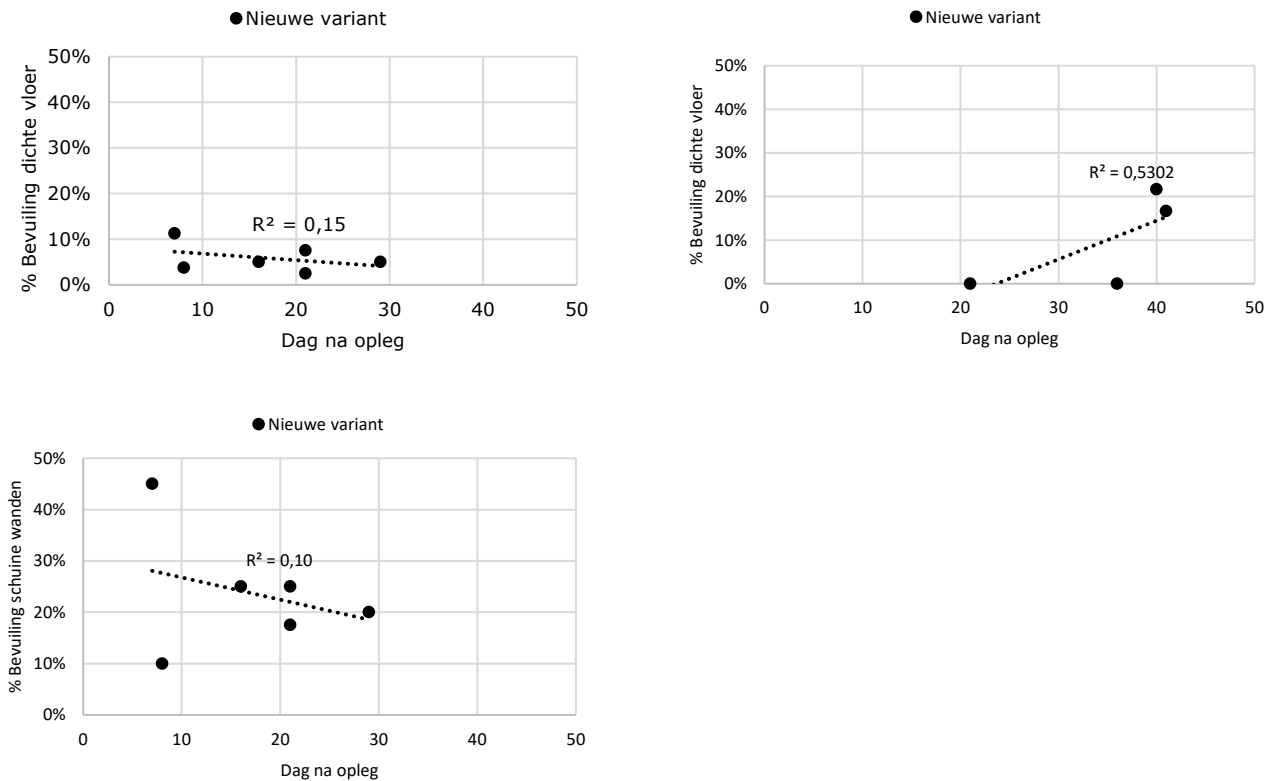
3.2.2 Gespeende biggen

De bevuilingscores van de dichte vloer en de schuine wanden in de variantafdelingen op beide bedrijven zijn weergegeven in Figuur 19. Bij biggen is de bevuiling gering en de correlaties zijn niet sterk. Bij bedrijf 2 is een hogere vloerbevuiling waargenomen dan bij bedrijf 1. Er zijn drie metingen uitgevoerd waarbij een bevuilingscore van 0% werd geregistreerd, met bijbehorende reductiepercentages van 78,1%, 89,4% en 76,8%. Figuur 19 laat bij een vloerbevuiling van 16,7% een reductie van 77,0% zien, en bij een hogere bevuilingscore van 21,7% een reductie van 69,0%. Het bevuilingspercentage van de schuine wanden bij bedrijf 2 is in dit onderzoek niet meegenomen vanwege de moeilijke zichtbaarheid.



Figuur 19 De relatie tussen bevuilingscores op de vloer en de schuine wanden (%) en het reductiepercentage van ammoniak in de variantafdeling bij de gespeende biggen. Links: GB1. Rechts: GB2.

Er is nauwelijks een correlatie tussen de bevuilingscore en de dagen van het groeitraject (Figuur 20). Bij GB1 is er weinig variatie in hokbevuiling waargenomen tijdens de groeiperiode. Bij bedrijf 2 is echter een grotere positieve correlatie vastgesteld. Dit kan deels het hogere reductiepercentage van de ammoniakemissie bij bedrijf 1 verklaren.



Figuur 20 De relatie tussen bevuilingscores op de vloer en de schuine wanden (%) en de dag na opleg bij de variantafdeling van de gespeende biggen. Links: GB1. Rechts: GB2.

3.3 Verdunning met water

In Tabel 8 worden de gemiddelde ammoniumgehalten en gemiddelde pH-waarden gegeven voor het waterkanaal en de mestgoot. Voor het waterkanaal is tevens de berekende verdunningsfactor gegeven. Daarnaast worden de gemeten parameters ($\text{NH}_4\text{-N}$ en pH) per meetdag in Bijlage 5 weergegeven.

3.3.1 Vleesvarkens

De gemiddelde berekende verdunningsfactor in het waterkanaal was 5,76 en 4,61 bij de nieuwe en oude variantafdelingen van bedrijf 1 (VV1), wat betekent dat er vrij hoge verdunningen zijn opgetreden bij dit bedrijf. Bij bedrijf 2 zijn zowel in de nieuwe als in de oude variantafdelingen voor de vleesvarkens relatief hoge ammoniumgehalten gemeten in het waterkanaal (4,41 en 4,72 g/kg), resulterend in verdunningsfactoren van minder dan één, wat impliceert dat er geen of zeer verdunning plaatsvindt. Er is op dit bedrijf vrijwel geen verdunning door vermorsing van drinkwater door het gebruik van drinknippels in de droogvoerbak in plaats van drinknippels zoals bij bedrijf 1. Door de drinknippels in de voerbakken wordt vrijwel geen water vermorst. Daarnaast de brijbakken meer voervermorsing geven dan droogvoerbakken. Dit zorgt er waarschijnlijk ook voor dat de mest in het waterkanaal bij Bedrijf 2 droger is dan in Bedrijf 1. Bij bedrijf 2 is er bij de tweede meting een ammoniumgehalte van 0,7 $\text{NH}_4\text{-N}$ (g/kg) gemeten in de mestgoot van de nieuwevariant afdeling, wat duidt op relatief veel water in dit kanaal (Figuur B10). Bij deze meetronde is een reductie van 80% berekend in de nieuwe variantafdeling, terwijl de gemiddelde NH_3 reductie voor dit bedrijf 59,9% was.

De pH van de mest fluctueerde tussen verschillende afdelingen bij bedrijf 1, terwijl de variatie in gemeten pH van mestmonsters hoger was bij bedrijf 2. De pH van het waterkanaal bleef stabiel tijdens alle meetdagen. Bij bedrijf 2 in de oude variantafdeling is op één meetdag (5-06-2023), de hoogste pH (van 7,9) in het waterkanaal gemeten terwijl die van het mestkanaal 7,0 was en NH₃ reductie van 82% is gemeten. De gemiddelde pH van het mest- en waterkanaal was hoger bij de nieuwe variantafdelingen van bedrijf 1 (7,35 voor het mestkanaal en 6,80 voor het waterkanaal) dan die van bedrijf 2 (6,71 voor het mestkanaal en 5,89 voor het waterkanaal) (Figuur B11).

3.3.2 Gespeende biggen

Bij de gespeende biggen op bedrijf 1 was de gemiddeld berekende verdunningsfactor in het waterkanaal 6,94 en op bedrijf 2 was deze 4,15 (Tabel 8). De berekende reductiepercentages voor de NH₃ emissie van de proefafdeling t.o.v. de controle afdeling was bij bedrijf 1 88,9% en bij bedrijf 2 83,4%. De hogere verdunningsfactor bij bedrijf 1 zou het iets hogere reductiepercentage van de NH₃ emissie kunnen verklaren. Het gemiddelde ammoniumgehalte van de mest in de controleafdeling was hoger dan in het mestkanaal van de variantafdeling (3,89 vs. 1,65 g/kg), en dit was doorgaans stabiel gedurende de groeiperiode (Figuur B12). Bij de laatste meting bij bedrijf 2 is in zowel de mestgoot als in de watergoot een ammoniumgehalte van 0,11 g/kg NH₄N gemeten, wat duidt op water in dit kanaal. Op deze meetdag is een NH₃ reductie van 87,1% gemeten, wat het hoogst berekende reductiepercentage is. Bij de eerste meting ontbrak het mestmonster van de controleafdeling (Figuur B12).

De pH van de mest was in alle meetrondes hoger in de controleafdeling vergeleken met de variantafdeling (7,71 vs. 6,04 bij GB1 en 7,89 vs. 6,90 bij GB2). De pH in het waterkanaal van beide bedrijven was bijna gelijk (5,72 bij GB1 en 5,79 bij GB2). De gemiddelde pH in het waterkanaal was lager dan van de mest in het mestkanaal (Figuur B13).

Tabel 8 Gemiddelde ammoniumgehaltenes (g/kg) en pH in het mest- en waterkanaal, en de verdunningsfactor vanuit het waterkanaal per diercategorie.

Diercategorie	Bedrijf	Ammoniumgehalte (g/kg)						pH				Verdunningsfactor		
		Mestkanaal			Waterkanaal			Mestkanaal			Waterkanaal		Waterkanaal	
		Nieuwe var.	Oude var.	Controle	Nieuwe var.	Oude var.	Nieuwe var.	Oude var.	Controle	Nieuwe var.	Oude var.	Nieuwe var.	Oude var.	
Vleesvarkens	VV1	4,01	3,38	3,15	0,69	0,73	7,35	7,14	7,30	6,80	7,15	5,76	4,61	
	VV2	3,36	4,69	4,54	4,41	4,72	6,71	7,28	7,32	5,89	6,01	0,76	0,99	
Gespeende biggen	GB1	2,15	-	3,05	0,31	-	6,04	-	7,71	5,72	-	6,94	-	
	GB2	1,65	-	3,89	0,40	-	6,90	-	7,89	5,79	-	4,15	-	

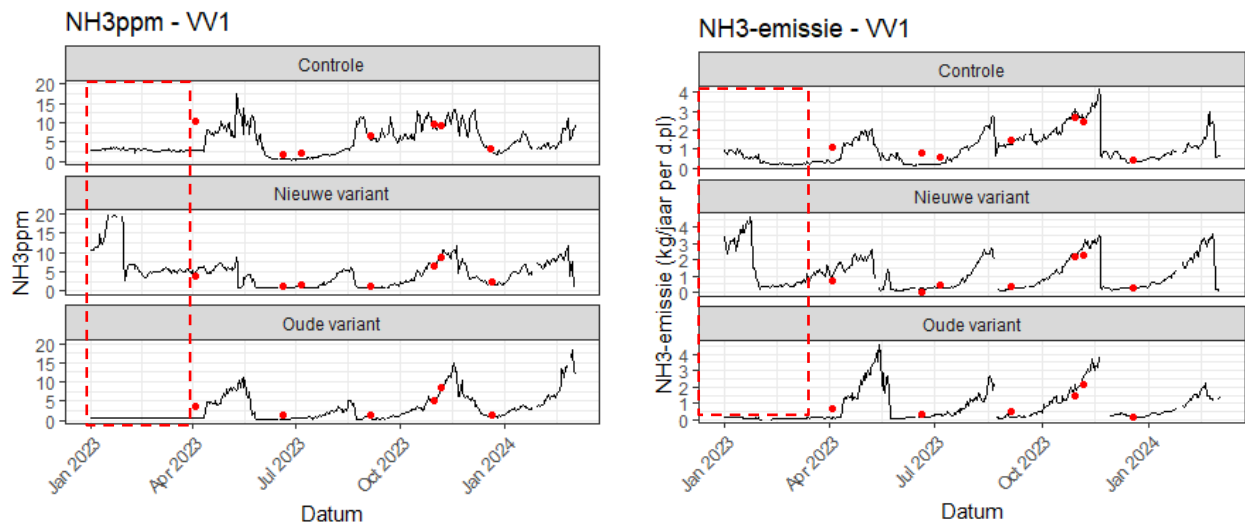
3.4 Continue emissiemetingen

3.4.1 Vleesvarkens

Gedurende de meetperiode zijn de concentraties van NH₃ en CO₂ en ventilatiedebiet in de meetafdelingen continu gemeten. Het bleek dat de sensoren bij de vleesvarkensafdelingen op bedrijf 1 in de eerste vier maanden niet goed gefunctioneerde. In Figuur 21 en Figuur 22 zijn daggemiddelde concentraties en ammoniakemissies in de proef- en controleafdelingen bij de vleesvarkens en gespeende biggen weergegeven. In dit onderzoek zijn commerciële sensoren gebruikt die niet in ons eigen laboratorium zijn gekalibreerd. Het doel was om de ontwikkeling van de ammoniakemissie in de stal gedurende de gehele meetperiode in beeld te brengen en daarnaast de gemeten concentratie en emissies van de commerciële sensoren te vergelijken met de gemeten waarden van de referentiemethode.

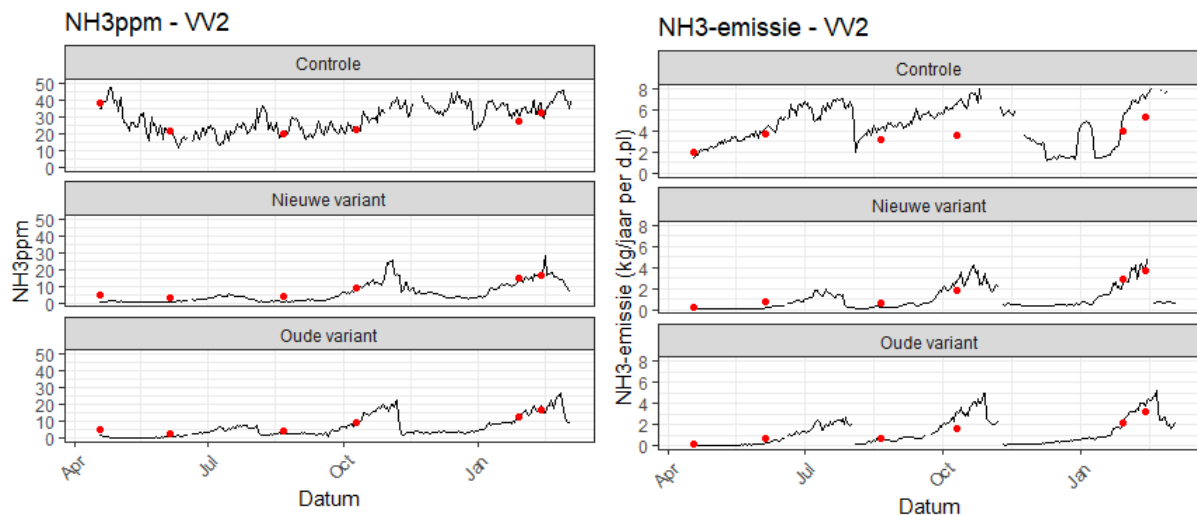
Zoals in Figuur 21 en Figuur 22 bij VV1 te zien is, tonen de sensormetingen de patronen van emissies zoals beïnvloed door het management heel goed aan. In de nieuwe variantafdelingen waar het waterkanaal vaker werd geleeft dan in de oude variant, zijn meer schommelingen in de NH₃ concentraties zichtbaar. Het patroon van de NH₃ concentratie in alle afdelingen laat zien dat het reductiepotentieel aan het einde van de groeiperiode in beide varianten lager werd. De plotselinge daling van de concentratie aan het eind geeft aan dat de groeiperiode voorbij is. Hierin is ook zichtbaar dat het lagere reductiepotentieel van NH₃ te wijten is aan het einde van de groeiperiode vooral bij VV1.

De continue metingen van CO₂-sensoren en de referentiemethoden worden weergegeven in Figuur B14 in Bijlage 7.



Figuur 21 Daggemiddelden van de continu gemeten ammoniakconcentratie (ppm) en - emissie (kg/jaar per dierplaats) bij de gemeten vleesvarkensafdelingen in VV1. De punten geven de gemeten emissies aan volgens de referentiemethode. Binnen het rood gestreepte kader is de periode weergegeven waarin de sensoren niet goed gefunctioneerde hebben.

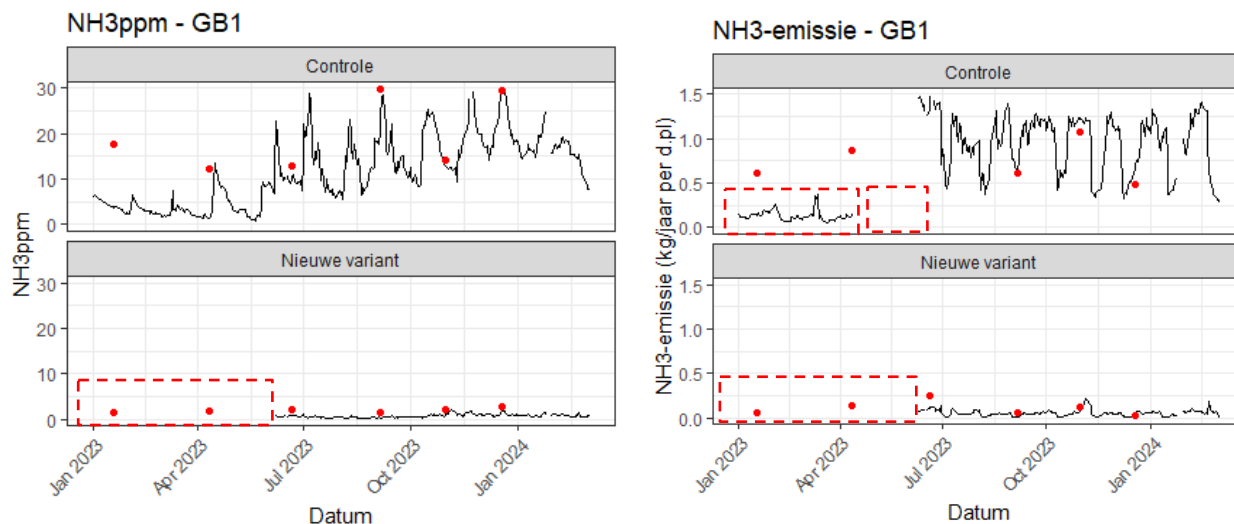
Bij VV2 zijn dezelfde observaties te zien. Relatief lagere gemeten concentraties bij de nieuwe en oude variantafdelingen in vergelijking met de controleafdeling bevestigt de effectiviteit van de reductiemaatregelen. De plotselinge daling van de concentratie geeft aan dat de groeiperiode voorbij is.



Figuur 22 Daggemiddelden van de continu gemeten ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) bij de gemeten vleesvarkensafdelingen in VV2. Weergegeven zijn de daggemiddelde emissies gedurende de hele meetperiode. De punten geven de gemeten emissies aan volgens de referentiemethode.

3.4.2 Gespeende biggen

Dezelfde ammoniakconcentratiepatronen als bij vleesvarkens is ook te zien bij de gespeende biggen (Figuur 23). De lage concentratie van NH_3 sensor gedurende de eerste vier maanden van de meetperiode in de controleafdeling laat zien dat de gemeten concentratie van de NH_3 sensor niet realistisch waren, aangezien de emissies in de controleafdelingen erg laag zijn berekend. De tweede onderbreking van de continue emissieberekening geeft weer dat het ventilatiedebiet ontbrak terwijl de concentraties wel gemeten werden. Gedurende de eerste zes maanden vonden er geen ammoniakmetingen plaats in de variantenafdeling.

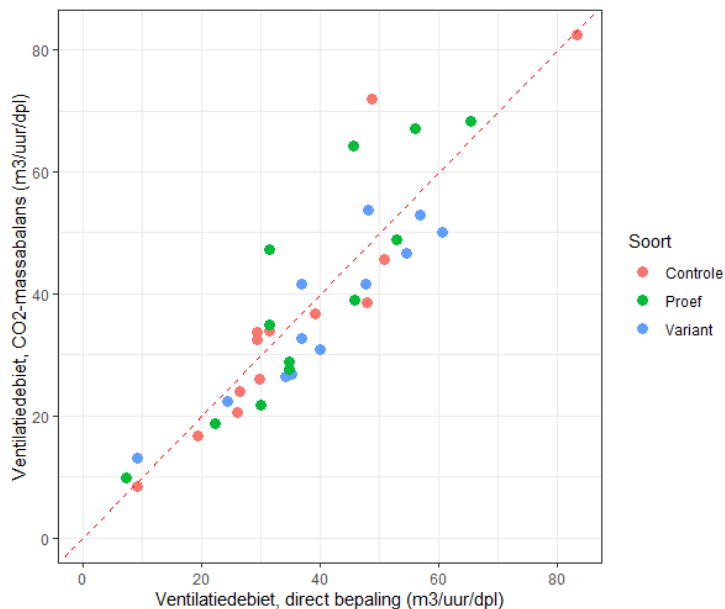


Figuur 23 Daggemiddelden van de continu gemeten ammoniakemissies (kg/jaar per dierplaats) bij de gemeten gespeende biggenafdelingen in GB1. Weergegeven zijn de daggemiddelde emissies gedurende de hele meetperiode. De punten geven de gemeten emissies aan volgens de referentiemethode. Het onderbroken gedeelte in de emissielijn van de controleafdeling geeft aan dat de ventilatiegegevens niet zijn vastgelegd (ontbrekende gegevens) terwijl er wel concentratiegegevens beschikbaar waren. In de variantenafdeling werden vóór de maand juni geen sensormetingen geregistreerd.

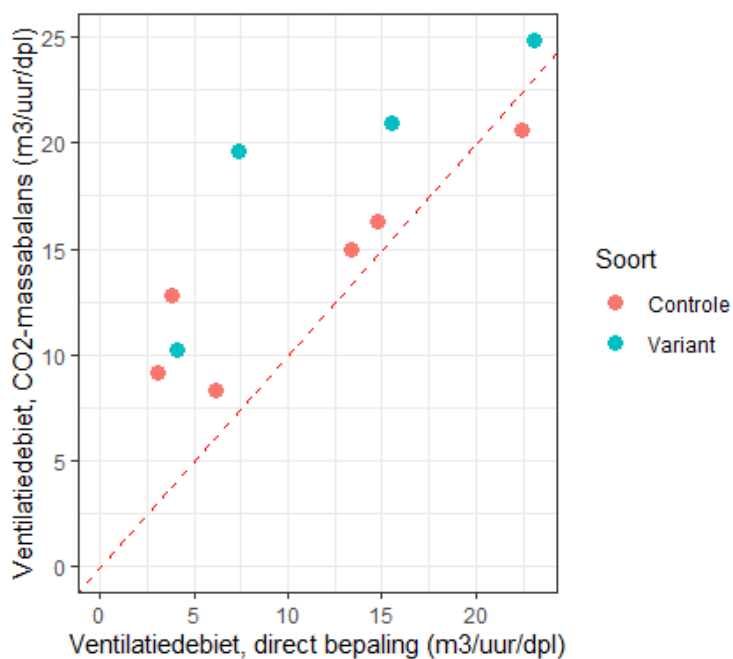
3.5 CO₂-massabalans methode

De ventilatiehoeveelheden gemeten door de meetwaaiers zijn vergeleken met het berekende ventilatiedebiet door de CO₂-massabalans methode (Figuur 24). De verschillen tussen de berekende CO₂-massabalans methode en de gemeten ventilatiedebieten bleken niet significant op basis van een tweezijdige gepaarde t-test ($p > 0,05$). Uit de regressieanalyse (Tabel B1 – Bijlage 6) bleek dat de regressiecoëfficiënt niet significant afwijkt van 1 voor vleesvarkens. Ondanks de vrij grote spreidingen die kunnen optreden van individuele punten ten opzichte van de $y=x$ lijn, laten de resultaten zien dat de CO₂-massabalans methode, bij voldoende metingen, een betrouwbare methode is voor het bepalen van de ventilatiehoeveelheid voor mechanisch geventileerde varkensstallen.

De dataset voor gespeende biggen vertoont aanzienlijke variatie in de metingen in vergelijking met vleesvarkens (Figuur 25). Bij 50% van de metingen (5/10 metingen) kwamen de geschatte en gemeten ventilatie niet goed overeen. De overschatting van het ventilatiedebiet met de CO₂-massabalans methode kan worden verklaard door de aannames en invoerwaarden voor deze varkenscategorie. Dit kan komen doordat de invoergegevens, zoals het gewicht van het dier of de berekende CO₂ productie, minder nauwkeurig zijn geschat. Bovendien impliceert de plaatsing van alle punten boven de $x=y$ -lijn dat de gemeten ventilatiewaarden altijd lager waren dan de geschatte ventilaties (behalve één punt in de controle afdeling).



Figuur 24 Ventilatie-debiet bepaald met de CO₂-massabalans methode vs. metingen met gekalibreerde meetwaaiers in de vleesvarkensafdelingen. De ideale relatie ($y=x$) wordt in de figuur als stippellijn weergegeven.



Figuur 25 Ventilatie-debiet bepaald met de CO₂-massabalans methode vs. metingen met gekalibreerde meetwaaiers in de gespeende biggenafdelingen. De ideale relatie ($y=x$) wordt in de figuur als stippellijn weergegeven.

4 Discussie

Bij de onderzochte varianten van dagelijkse mestverwijdering (dagontmesting) is het belangrijkste doel om de methaanemissie te beperken door de mest snel uit de stal te verwijderen en het stalklimaat te verbeteren door middel van brongerichte maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie. De resultaten van de emissiemetingen, uitgevoerd bij zowel vleesvarkens als gespeende biggen worden hieronder samengevat en besproken voor beide varianten.

4.1 Vleesvarkens

De bevindingen wijzen op aanzienlijke reducties in methaan- en ammoniakemissies bij de afdeling met de nieuwe variant. Voor methaanemissies werden reducties van $91,1\% \pm 4,0\%$ en $82,2\% \pm 15,0\%$ gemeten in respectievelijk de nieuwe en de oude variant. Bij de nieuwe en oude variant van vleesvarkens zijn emissiefactoren bepaald van 1,44 en 2,45 kg CH₄/jaar per dierplaats per jaar. In een eerder onderzoek van Booijen et al. (2023) is een emissiefactor van 2,5 kg CH₄/jaar per dierplaats per jaar bepaald voor de oude variant. Op bedrijf 2 was de hoogte van de mest in het mestkanaal in de nieuwe variantafdeling gemiddeld hoger dan in de afdeling met de oude variant. Bij bedrijf 1 zijn tijdens vrijwel alle metingen zeer lage mesthoogtes in het mestkanaal gemeten (gem. 0,05 m) in de oude variantafdeling, terwijl dit in de nieuwe variant bijna nul was. Dagontmesting van het mestkanaal zorgt voor een sterke reductie van de methaanemissie (oude variant) en door regelmatig het waterkanaal schoon te spoelen is er in de nieuwe variant afdeling extra reductie gemeten. Door de dagelijkse en (vrijwel) volledige verwijdering van de mest vindt in de stal de anaerobe omzetting van organische stof in mest naar methaan en kooldioxide bijna niet plaats (Mosquera Losada et al., 2012; Sefeedpari et al., 2024). Door de groei en activiteit van methanogene micro-organismen te beperken en de hoeveelheid organische stof in de mestput van varkensstallen te verminderen door frequent verwijderen van mest naar de buitenopslag, worden lagere methaanemissies verwacht (Habtewold et al., 2018). Feng et al. (2022) hebben recentelijk aangetoond dat de CH₄ emissie minder afhankelijk was van de temperatuur bij hogere verwijderingsfrequenties in varkensstallen. Daarom geven de huidige bevindingen aan dat dagelijkse mestverwijdering de methaanemissies aanzienlijk kan verminderen, tot het punt waarop de enige bron van CH₄ het enterische methaan van de varkens is. De resultaten van deze studie bevestigen dit.. Monteny et al. (2001) meldden dat de varkens zelf gemiddeld ongeveer 1,5 kg methaan per jaar produceren (enterisch methaan). Het is dus te verwachten dat met het dagontmestingssysteem de meeste methaanemissie uit mest kan worden voorkomen. Dit systeem kan verder bijdragen aan een oplossing voor het verminderen van emissies in de gehele keten, namelijk wanneer het geconserveerde organische stof in mest wordt omgezet naar biogas (Vellinga et al., 2023).

De emissiefactoren voor de oude en nieuwe variant zijn bepaald op respectievelijk 1,48 en 1,22 kg NH₃/jaar per dierplaats. Eerder onderzoek van Booijen et al. (2023) liet een emissiefactor zien van 1,3 kg NH₃ per dierplaats voor de oude variant. In dat onderzoek werd een gemiddelde emissiereductie voor ammoniak van 56,8% bepaald (Booijen et al., 2023).

De gemeten ammoniakreductie is echter minder in de nieuwe variant met 40% oppervlakte vergeleken dan de oude variant met 60% oppervlakte. Dit komt waarschijnlijk doordat de reductie van het emitterend oppervlak door de goot niet opweegt tegen de verdunning van de mest die in het oude systeem werd bereikt. Daarnaast is het aandeel roostervloer in de nieuwe variant groter dan in de oude variant (58% - 62% bij de nieuwe variantafdeling van bedrijf 1 en bedrijf 2 vs. 38% - 41% bij de oude variantafdeling van bedrijf 1 en bedrijf 2).

De behaalde gemiddelde ammoniakreductie ten opzichte van de controleafdeling bij bedrijf 1 was lager dan de reductie ten opzichte van de categorie 'Overige huisvestingsystemen' van de voormalige Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling). Dit komt door de lagere ammoniakemissie die in de controleafdeling werd gemeten (1,44 kg NH₃/jaar per dierplaats) ten opzichte van de emissiefactor voor deze categorie in de

voormalige Rav-lijst (2,5 kg NH₃/jaar per dierplaats). Hierbij moet vermeld worden dat voor bedrijf 1 de lagere ammoniakemissie in de controleafdeling voor een deel verklaard kan worden door de toepassing van metalen driekantroosters in plaats van betonnen roosters. Daarom is bij de berekening van de uiteindelijke emissiefactor uitgegaan van een referentiewaarde van 2,50 kg per dierplaats per jaar in plaats van de 3,0 kg voor overige huisvestingssystemen (Groenestein et al., 2014). Het is moeilijk aan te geven wat de oorzaak is van de laag gemeten ammoniakemissie in de controleafdeling van bedrijf 1, ook ten opzichte van het vorige onderzoek, waar dezelfde afdeling als controle diende. Verschillen in de voersamenstelling en daarmee in de mestamenstelling zou de meest logische verklaring zijn. De pH en het NH₄-N gehalte in mestmonsters waren in de huidige studie lager dan in de vorige studie. Het pH in het huidige onderzoek was ongeveer 0,3 eenheden lager dan in het vorige onderzoek. Dit zou een belangrijk deel van de lagere NH₃ emissie kunnen verklaren. De lagere pH en het lagere NH₄-N gehalte is waarschijnlijk veroorzaakt door een andere samenstelling van het voer.

De hogere gemeten emissies bij bedrijf 2 t.o.v. bedrijf 1 lijken vooral veroorzaakt te zijn door een verschil in bevuilding van de dichte vloer (16% bij bedrijf 1 vs. 39% bij bedrijf 2). Bovendien is het ammoniumgehalte van het waterkanaal bij bedrijf 2 in beide afdelingen opvallend hoger dan bedrijf 1 (0,69 g/kg bij bedrijf 1 vs. 4,41 g/kg bij bedrijf 2), terwijl op beide bedrijven het ammoniumgehalte van de mest in het mestkanaal (zonder verdunning) redelijk vergelijkbaar was. Dit heeft waarschijnlijk met verschillen in het drinkwatersysteem te maken. Bij bedrijf 2 zitten de drinkknippen in de voerbakken (de zogenaamde brijbakken) waardoor hier vrijwel geen water wordt vermorst waren. Daarnaast geven de brijbakken meer voervermorsing dan droogvoerbakken. Dit zorgt er waarschijnlijk ook voor dat de mest in het waterkanaal Bedrijf 2 droger is dan in Bedrijf 1. Bij bedrijf 2 is er bij de een meetronde een lage ammoniumgehalte (0,7 NH₄-N (g/kg)) gemeten in de mestgoot van de nieuwevariant afdeling, wat duidt op relatief veel water in dit kanaal, wat leidt tot een reductie van 80%.

Bij bedrijf 2 bestaat de watergoot bij de nieuwe variantafdeling uit 2 goten naast elkaar, waarvan de ene bovenaan smaller is dan de andere (Bijlage 1). De goten werden handmatig gespoeld met een kraan op de spoelleiding. Bevuilde kanalen kunnen dan in een volgende ronde voor meer ammoniakemissie zorgen. Verontreiniging van de kanalen vermindert de verdunning van de mest, wat belangrijk is om de ammoniakemissie te verminderen (Aarnink et al., 2010). Het is daarom belangrijk om aandacht te besteden aan de frequentie en grondigheid van het spoelen om de ammoniakemissie uit de waterkanalen te beperken. Ammoniakemissies varieerden gedurende de groeiperiode waarschijnlijk vooral door factoren zoals verwijderingsfrequentie van mest in het waterkanaal en vloerbevuiling. Uit de resultaten blijkt dat het ontwerp met 60% dichte vloer vraagt om een goede hokinrichting en een goed management vooral van het stalklimaat.

Uit de relatie tussen vloerbevuiling en ammoniakreductie in het algemeen blijkt dat een hogere bevuilding leidt tot lagere reductiepercentages. Dit benadrukt het belang van het sturen van het mestgedrag. Bovendien duiden trends in vloerbevuiling tijdens de groeiperiode op de noodzaak een stabiel stalklimaat te realiseren, waarbij de temperaturen binnen de comfortzone van de varkens blijven. In de zomer is het belangrijk om een vorm van koeling toe te passen, b.v. het koelen van de ligvloer of van de inkomende lucht. Dit kan hokbevuilding in de zomer voorkomen. Het is aan te raden om de relatie tussen stalklimaat en hokbevuilding verder te onderzoeken.

In afdelingen voor vleesvarkens zijn de volgende verschillen tussen de proef- en controleafdeling geïdentificeerd die geen onderdeel zijn van het onderzochte emissiearme systeem:

- Aantal varkens per hok en afdeling: Het aantal varkens per hok en afdeling was verschillend. Bij bedrijf 1 is het aantal varkens per hok in de nieuwe variantafdeling minder (7) dan in de oude variant (13)- en controleafdeling (9). Het totale aantal varkens in de oude variantafdeling is het hoogst (78 varkens in de oude variant-, 56 in de nieuwe variant- en 54 in de controleafdeling). Bij bedrijf 2 is het aantal varkens per afdeling 64 in de nieuwe en oude variantafdeling, terwijl de controleafdeling 128 varkensplaatsen had.
- Ventilatiesysteem: Bij alle proef- en controleafdelingen binnen bedrijf 1 en 2 zijn vergelijkbare ventilatiesystemen gebruikt.
- Voer- en drinkwatersystemen: dezelfde voer- en drinkwatersystemen zijn gebruikt in de proef- en controleafdelingen.

Het verschil tussen de proef- en controleafdelingen in dit onderzoek heeft vooral te maken met het aantal dieren per hok en afdeling, wat geen onderdeel is van het emissiearme systeem. Wij verwachten dat dit verschil een gering effect heeft op de gemeten emissies.

4.2 Gespeende biggen

Resultaten van de metingen bij gespeende biggen lieten significante reducties zien in de methaan- en ammoniakemissies in de nieuwe variantafdelingen vergeleken met de controleafdelingen. De gemiddelde methaanreductie was 95,5%. Voor de nieuwe variantafdeling bij gespeende biggen is een emissiefactor van 0,59 kg CH₄/jaar per dierplaats berekend. In onderzoek van Booijen et al. (2023) is een emissiefactor van 0,80 kg CH₄/jaar per dierplaats gevonden bij afdelingen met een vergelijkbaar systeem als de oude variant bij vleesvarkens (dagontmesting van het mestkanaal/de mestpan en verwijdering van mest uit het waterkanaal na elke ronde). Door het frequent verwijderen van de mest uit het waterkanaal (ca. éénmaal per week) en het beter reinigen van het mestkanaal ten opzichte van de mestpan, is een lagere emissiefactor berekend ten opzichte van het vorige onderzoek.

Voor de variantafdeling is een ammoniakemissiefactor van 0,096 kg NH₃/jaar per dierplaats berekend. In het bovenvermelde onderzoek van Booijen et al. (2023) werd een emissiefactor vastgesteld van 0,21 kg/jaar per dierplaats. Verder zijn er substantieel hoge reducties van de ammoniakemissie gemeten bij de nieuwe variantafdeling voor gespeende biggen, variërend tussen 82% en 95% t.o.v. de controleafdelingen. In het onderzoek van Booijen et al. (2023) is een gemiddelde reductie van ammoniakemissie van 69,2% gerapporteerd.

Vloerbevuiling is ook bij gespeende biggen een kritische factor geweest bij de ammoniakemissie waarbij meer bevuiling werd geassocieerd met lagere reductiepercentages. Vergelijkbaar met vleesvarkens, benadrukken variaties in vloerbevuiling gedurende de groeiperiode en de invloed van vloeremissie op optimale emissiereductie de noodzaak van continue monitoring van de ammoniakemissies en het gedrag van de varkens in de stal.

In afdelingen voor gespeende biggen zijn de volgende verschillen tussen de proef- en controleafdeling geïdentificeerd die geen onderdeel zijn van het onderzochte emissiearme systeem:

- Aantal varkens per hok en afdeling: Het aantal varkens per hok en afdeling bij de proef- en controleafdelingen waren gelijk bij bedrijf 1. Bij bedrijf 2 was de controleafdeling (4 x 19 biggen/hok = 76 biggen) kleiner dan de proefafdeling (6 x 25 biggen/hok = 150 biggen).
- Ventilatiesysteem: Bij bedrijf 1 hadden de proef- en controleafdelingen vergelijkbare ventilatiesystemen (mechanisch geventileerd via de roostervloer van de voergang). In de proefafdeling van bedrijf 2 was de luchtinlaat via het plafond met houtcementwol, terwijl in de controleafdeling de lucht via de roostervloer van de voergang werd aangezogen.
- Voer- en drinkwatersystemen: dezelfde voer- en drinkwatersystemen zijn gebruikt in de proef- en controleafdelingen.

Het verschil tussen de proef- en controleafdelingen voor gespeende biggen, dat geen onderdeel is van het emissiearme systeem, heeft vooral te maken met het aantal dieren per hok en afdeling en met de luchtinlaat bij bedrijf 2. Wij verwachten dat dit verschil een gering effect heeft op de gemeten emissies.

5 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzochte stalsysteem voor vleesvarkens en gespeende biggen is gericht op het verminderen van de methaan- en ammoniakemissies bij de bron. Door de emissiereductie bij de bron worden niet alleen de emissies naar de buitenlucht verlaagd maar tevens de concentraties van vervuilende componenten in de stal, waardoor de leefomgeving voor de varkens en de werkomgeving voor de varkenshouder wordt verbeterd. De resultaten van dit onderzoek laten aanzienlijke reducties in methaanemissie zien voor zowel vleesvarkens als gespeende biggen, waarbij dagelijkse mestverwijdering een belangrijke rol speelt. Er zijn daarnaast flinke reducties gemeten van de ammoniakemissies, hoewel deze per bedrijf en diercategorie verschillen. De gemeten ammoniakreductie bij vleesvarkens was echter minder in de nieuwe variant vergeleken met de oude variant. Bij de biggen werden wel hogere ammoniakreducties gemeten bij de nieuwe variant ten opzichte van het systeem gemeten in eerder onderzoek. Vloerbevuilding blijkt een cruciale rol te spelen bij de gemeten emissieniveaus, waarbij meer bevuilding in het algemeen leidt tot lagere reductiepercentages. Deze resultaten benadrukken de noodzaak van het effectief sturen van het mestgedrag van de varkens waardoor er minder bevuilding optreedt van de dichte vloer. Het is aan te bevelen om continu emissies in varkensstallen te monitoren en aanvullende technieken zoals cameramonitoring te gebruiken, zodat varkenshouders beter inzicht krijgen in de invloed van factoren zoals omgevingsomstandigheden en mestgedrag, en daarmee mogelijkheden ontdekken om het mestgedrag effectiever te sturen.

De gemeten reductiepercentages van de methaan- en ammoniakemissies bieden perspectievolle oplossingen voor de varkenssector om de emissies naar de omgeving te beperken en tegelijkertijd een betere luchtkwaliteit in de stal te creëren. Wetgeving en stimulerende maatregelen zijn nodig om de reductieambities bij de bron te realiseren, aangezien end-of-pipe maatregelen zoals luchtwassers deze mogelijkheden niet bieden. De mogelijkheid om methaan en ammoniak via deze brongerichte maatregelen terug te dringen, suggereert dan ook een positieve ontwikkeling als toekomstperspectief.

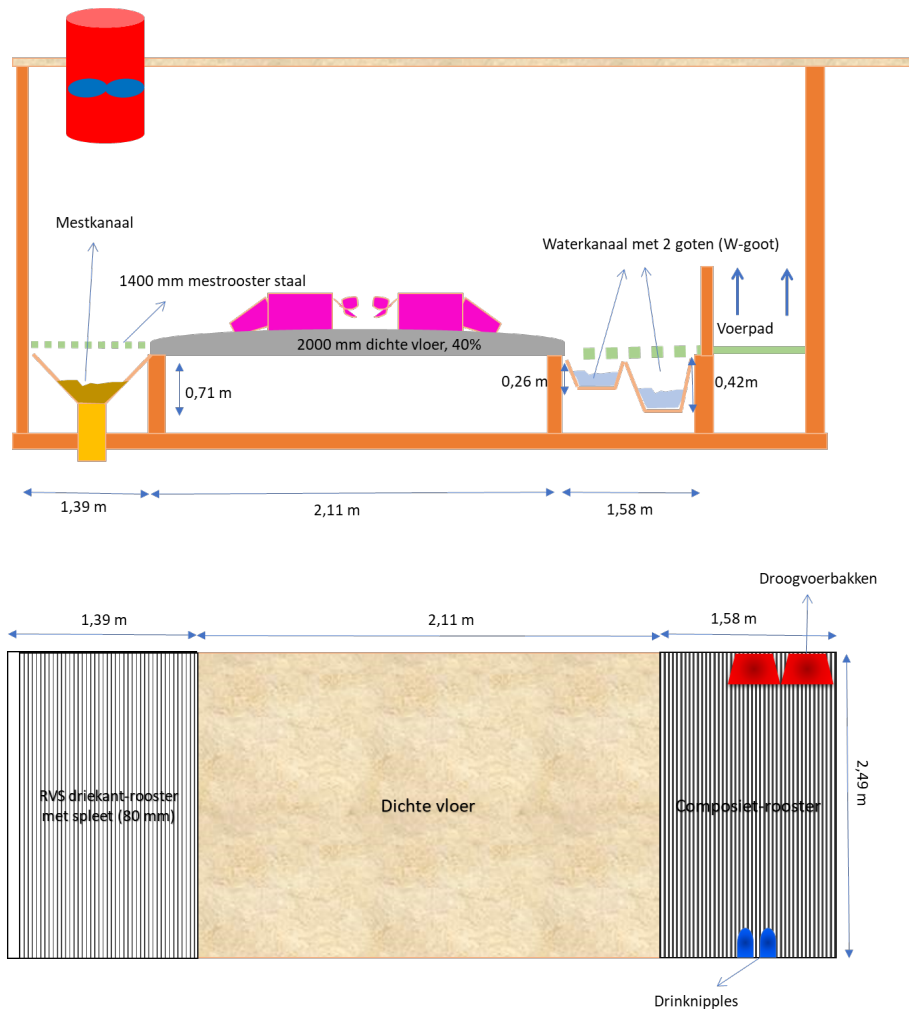
Literatuur

- Aarnink, A., van de Pas, L., van der Peet-Schwering, C., Hol, A., Binnendijk, G., Le Dinh, P., Hafner, S., Ogink, N., 2018. Rekentool voor het bepalen van de effecten van voer-en management-maatregelen op de ammoniakemissie bij varkens: ontwikkeling en validatie. Wageningen Livestock Research.
- Aarnink, A.J., Huynh, T.T., Bikker, P., 2016. Modelling heat production and heat loss in growing-finishing pigs.
- Aarnink, A.J.A., 1993. Factors affecting ammonia concentration in slurry from fattening pigs, Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, 1993. Pudoc Scientific Publishers, pp. 413-420.
- Aarnink, A.J.A., Smits, M., Vermeij, I., 2010. Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen= Reduction of ammonia emission from houses for growing-finishing pigs by combined measures. Wageningen UR Livestock Research.
- Booijen, M., Wagenveld, J., van Riel, J., de Mol, R., Aarnink, A., 2023. Emissiereductie methaan, ammoniak en geur in varkensstallen met dagontmesting. Wageningen Livestock Research.
- CIGR, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- de Vries, W., 2021. Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. Current Opinion in Environmental Science & Health 21, 100249.
- Feng, L., Guldborg, L.B., Hansen, M.J., Ma, C., Ohrt, R.V., Møller, H.B., 2022. Impact of slurry removal frequency on CH₄ emission and subsequent biogas production; a one-year case study. Waste Management 149, 199-206.
- Groenestein, Mosquera, Ogink, 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingsystemen in de veehouderij 2010. . Rapport 493, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Groenestein, C.M., 2006. Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw bedding. Wageningen University and Research.
- Groenestein, C.M., Aarnink, A.J.A., Ogink, N., 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen: advies herberekening op basis van welzijnseisen. Wageningen UR Livestock Research.
- Groenestein, K., Aarnink, A., 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808. Animal Science Group van Wageningen UR. Intern rapport 200808.
- Habtewold, J., Gordon, R., Sokolov, V., VanderZaag, A., Wagner-Riddle, C., Dunfield, K., 2018. Targeting bacteria and methanogens to understand the role of residual slurry as an inoculant in stored liquid dairy manure. Applied and environmental microbiology 84(7), e02830-02817.
- Jørgensen, H., Knudsen, K.E.B., Theil, P.K., 2011. Enteric methane emission from pigs. Citeseer.
- Le Dinh, P., van der Peet-Schwering, C.M.C., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A., 2022. Effect of Diet Composition on Excreta Composition and Ammonia Emissions from Growing-Finishing Pigs. Animals 12(3), 229.
- Monteny, G., Groenestein, C., Hilhorst, M., 2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. Nutrient Cycling in Agroecosystems 60(1), 123-132.
- Mosquera, J., Ploegaert, J., Kupers, G., 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.
- Mosquera Losada, J., Hol, J., Groenestein, C., 2012. Emissies uit de biologische veehouderij: processen en factoren. Wageningen UR Livestock Research.
- Mosquera Losada, J., Hol, J.M.G., Winkel, A., Lovink, E., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A., 2010. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens= Dust emission from animal houses: growing and finishing pigs. Wageningen UR Livestock Research.
- Myhre, G., Shindell, D., Pongratz, J., 2014. Anthropogenic and natural radiative forcing.
- O'Mara, F.P., 2011. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. Animal Feed Science and Technology 166, 7-15.
- Ogink, Mosquera, Hol, 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingsystemen in de veehouderij 2013a= Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2013a. Wageningen UR Livestock Research.
- Sefeepari, P., Pishgar-Komleh, S.H., Aarnink, A.J.A., 2024. Model adaptation and validation for estimating methane and ammonia emissions from fattening pig houses: effect of manure management system. Animals Geaccepteerd voor publicatie.
- van Bruggen, C., Bannink, A., Bleeker, A., Bussink, D., van Dooren, H., Groenestein, C., Huijsmans, J., Kros, J., Lagerwerf, L., Oltmer, K., 2023. Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen UR.

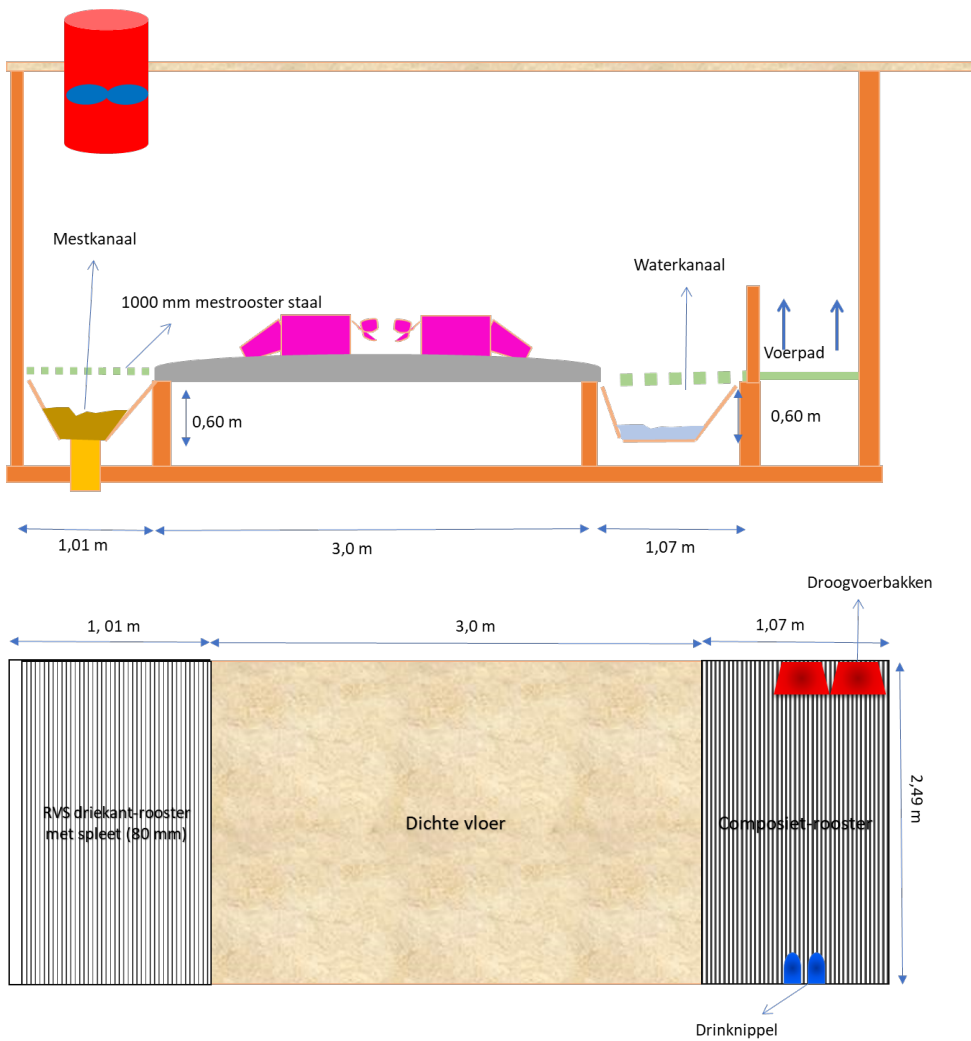
-
- Van Damme, M., Clarisse, L., Whitburn, S., Hadji-Lazaro, J., Hurtmans, D., Clerbaux, C., Coheur, P.-F., 2018. Industrial and agricultural ammonia point sources exposed. *Nature* 564(7734), 99-103.
- van der Zee, T., Bannink, A., van Bruggen, C., Groenestein, K., Huijsmans, J., van der Kolk, J., Lagerwerf, L., Luesink, H., Velthof, G., Vonk, J., 2021. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations for CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ using the National Emission Model for Agriculture (NEMA)–Update 2021.
- Vellinga, T.V., Huisman, I., Mostert, P., 2023. Inventarisatie activiteiten carbon footprint in de varkenssector. Wageningen Livestock Research.
- Webb, J., Misselbrook, T.H., 2004. A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production. *Atmospheric environment* 38(14), 2163-2176.
- Wyer, K.E., Kelleghan, D.B., Blanes-Vidal, V., Schaubberger, G., Curran, T.P., 2022. Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health. *Journal of Environmental Management* 323, 116285.
- Zong, C., Li, H., Zhang, G., 2015. Ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pig house with two types of partial pit ventilation systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 208, 94-105.

Bijlage 1 Hokuitvoeringen bedrijf 2

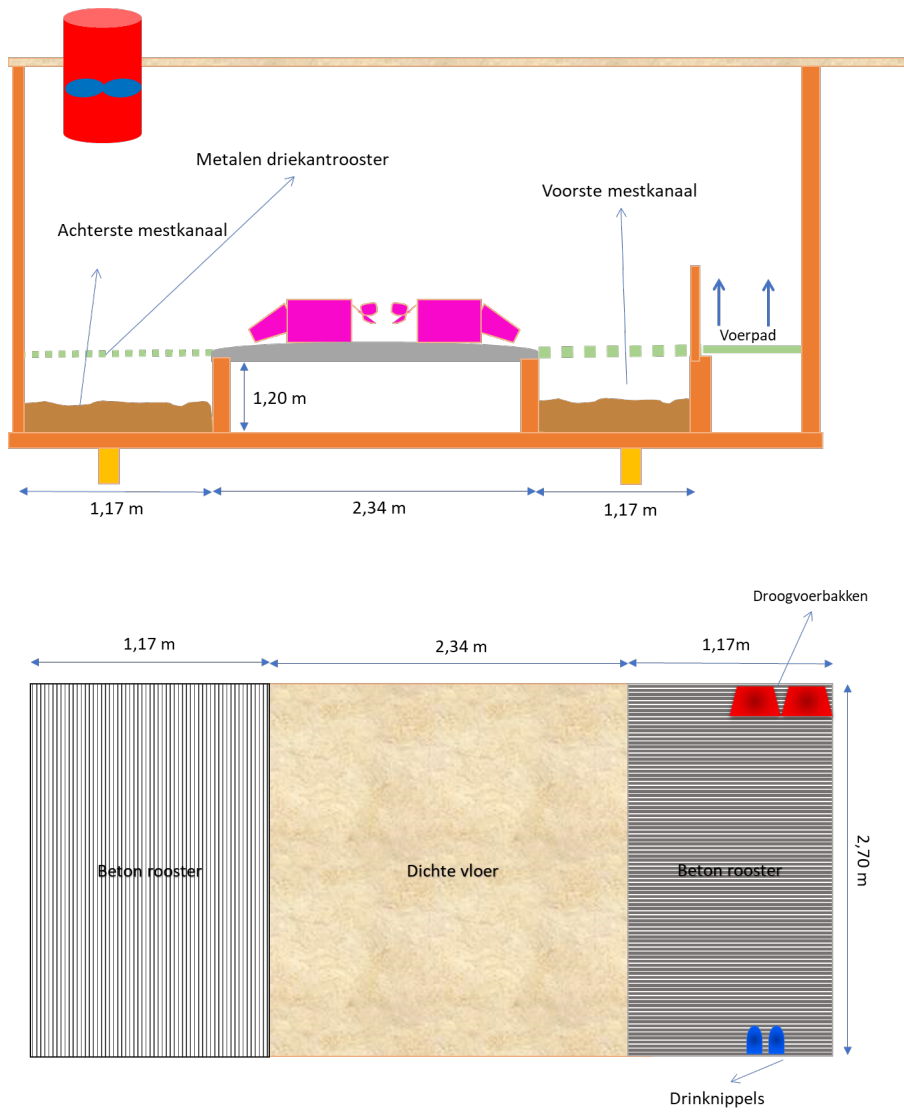
Vleesvarkens - VV2



Figuur B1 Dwarsdoorsnede van het hok met de nieuwe variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 2.

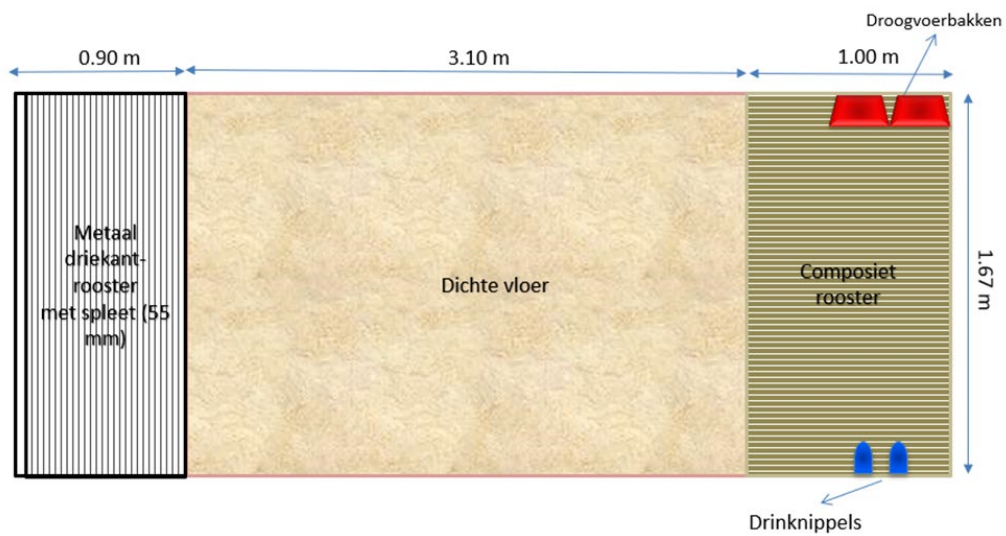


Figuur B2 Dwarsdoorsnede van het hok met de oude variant bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 2.

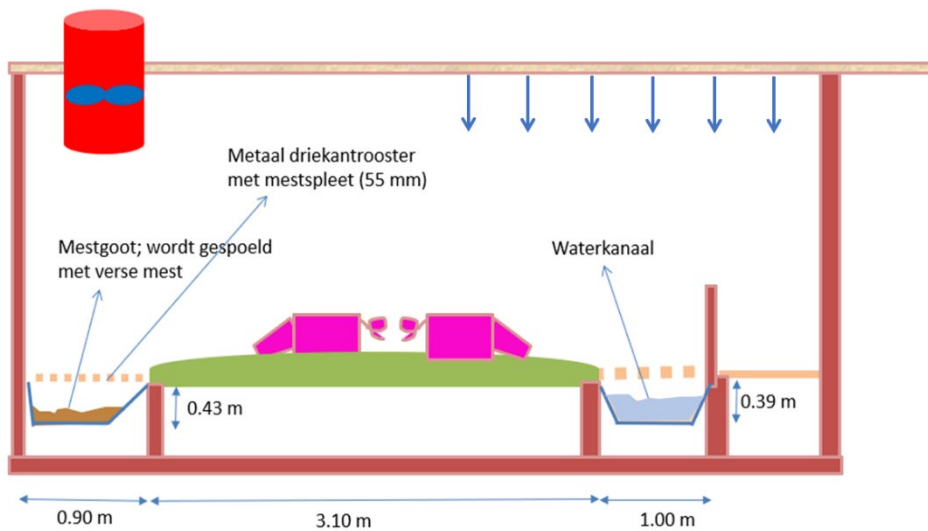


Figuur B3 Dwarsdoorsnede van het controlehok bij de vleesvarkensafdeling op bedrijf 2.

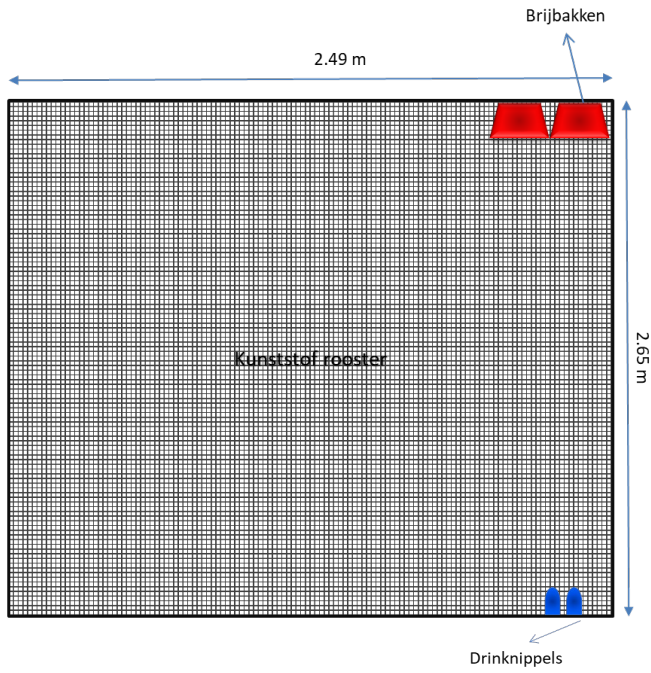
Gespeende biggen – GB1



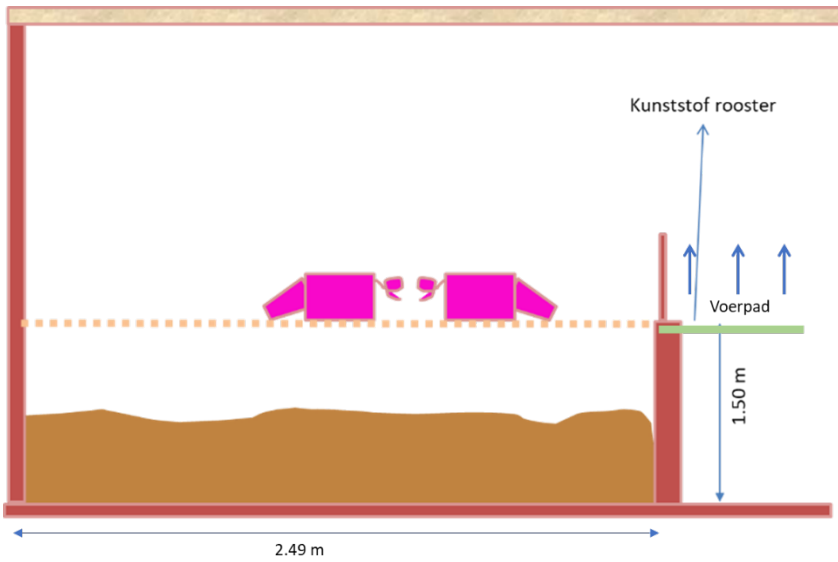
Figuur B4 Plattegrond van het hok met de nieuwe variant bij de gespeende biggen afdeling op bedrijf 2.



Figuur B5 Dwarsdoorsnede van het hok met de nieuwe variant bij de gespeende biggen afdeling op bedrijf 2.



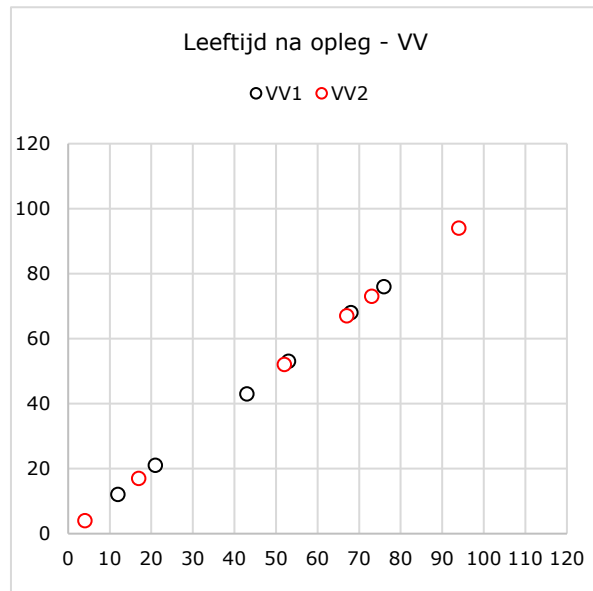
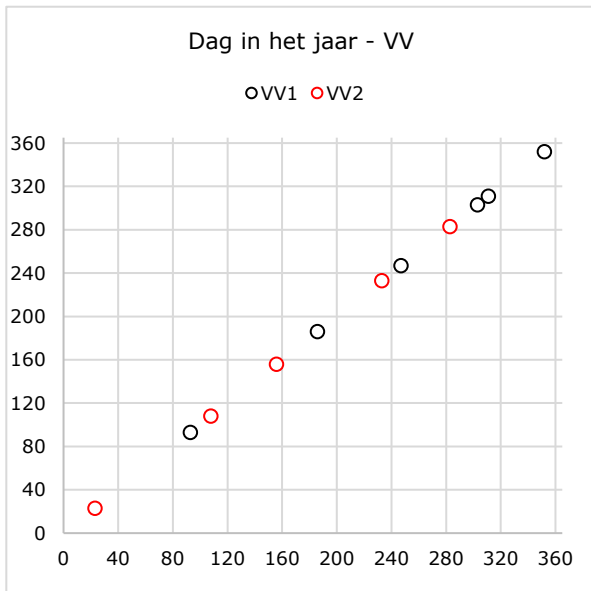
Figuur B6 Plattegrond van het controlehok bij de gespeende biggen afdeling op bedrijf 2.



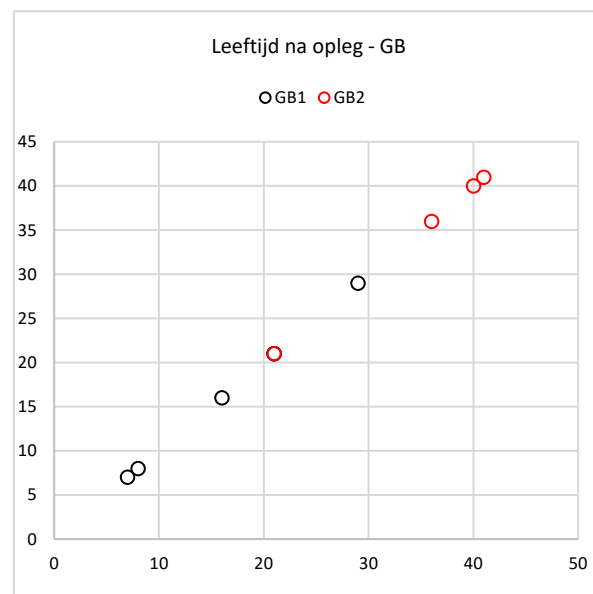
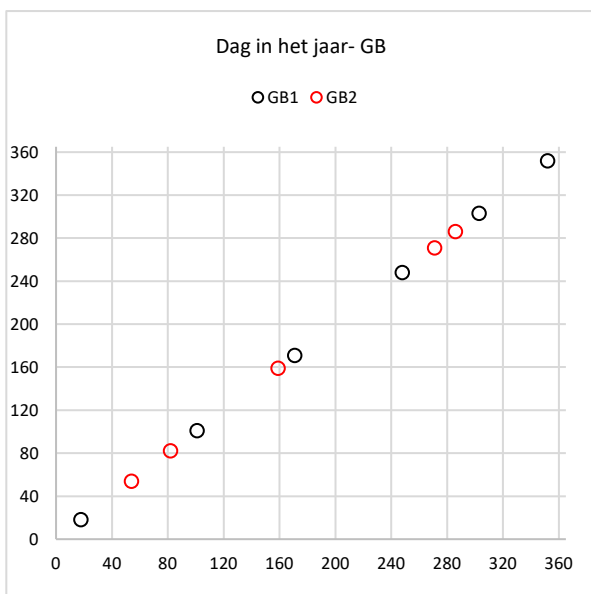
Figuur B7 Dwarsdoorsnede van het controlehok bij de gespeende biggen afdeling op bedrijf 2.

Bijlage 2 – Verdeling emissiemetingen

Vleesvarkens



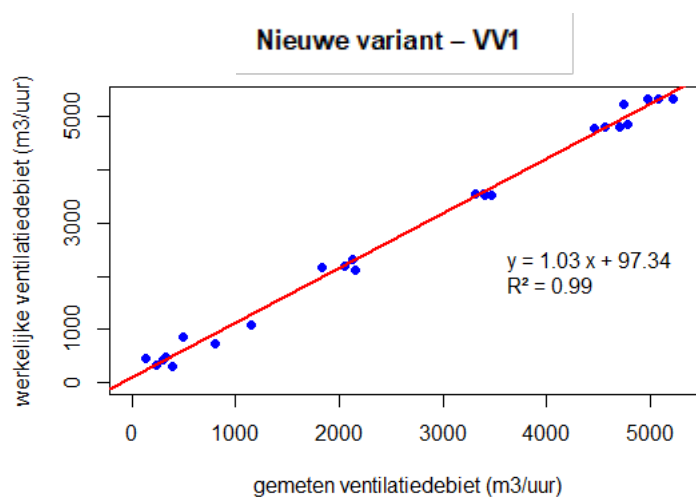
Gespeende biggen



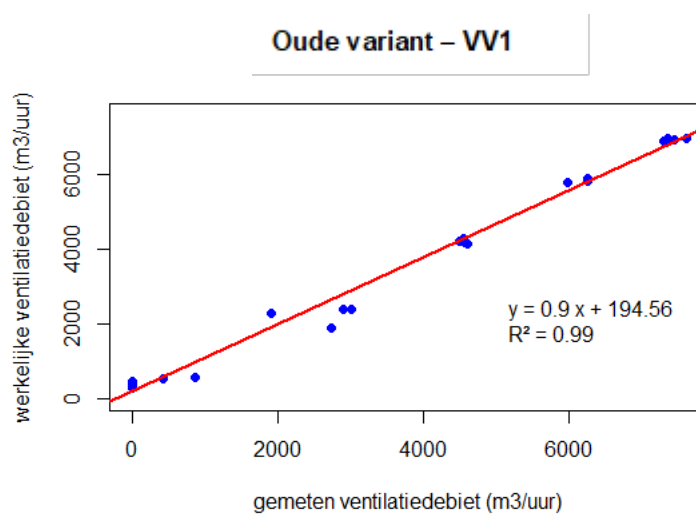
* Twee van de zes metingen bij GB2 bleken ongeldig en zijn daarom niet weergegeven.

Bijlage 3 – IJklijnen meetwaaiers

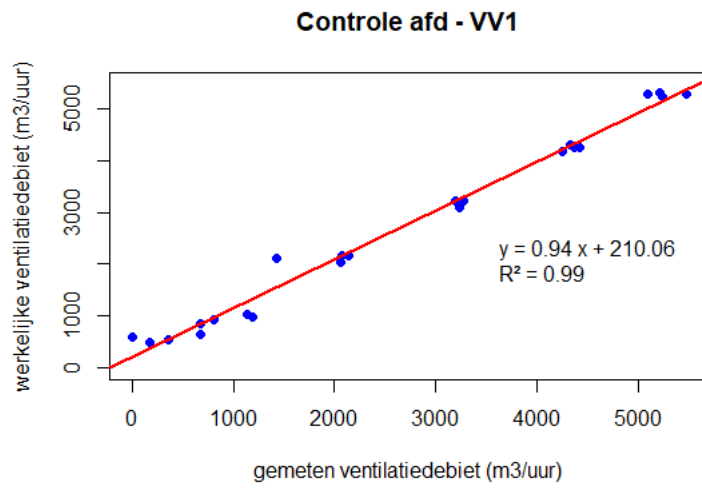
VV1 - Nieuwe variant



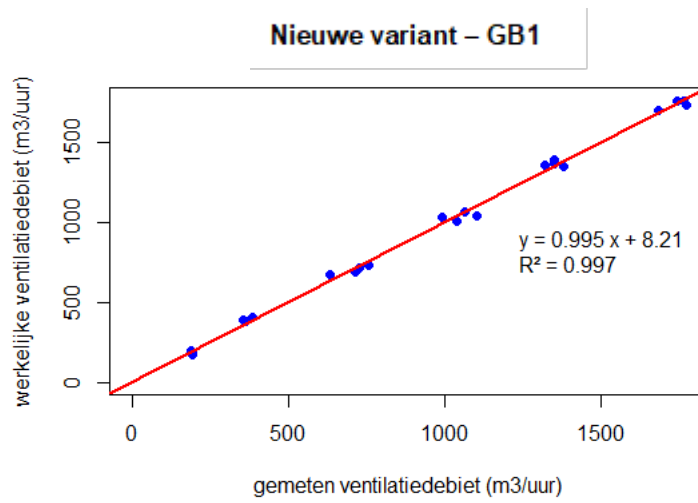
VV1 - Oude variant



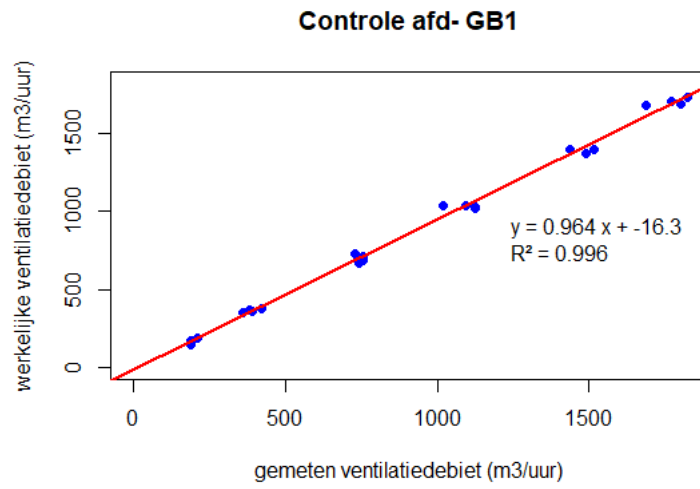
VV1 - Controleafdeling



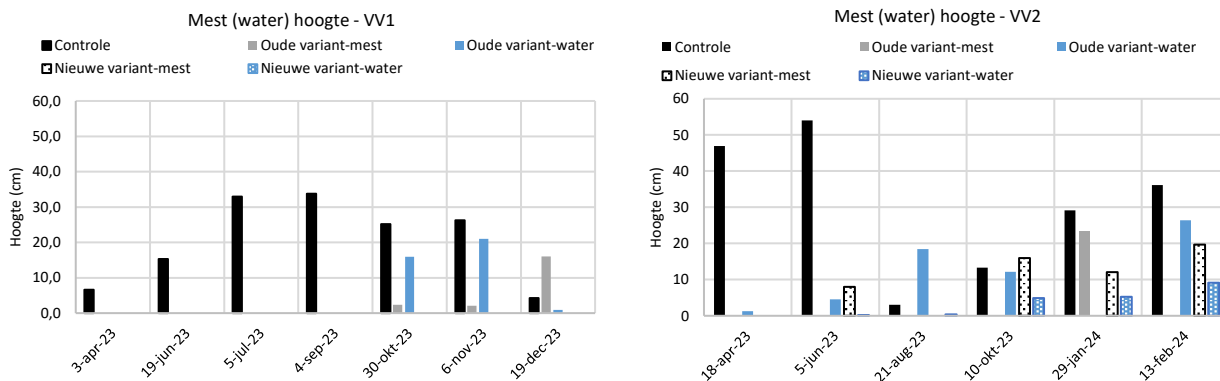
GB1 - Variantafdeling



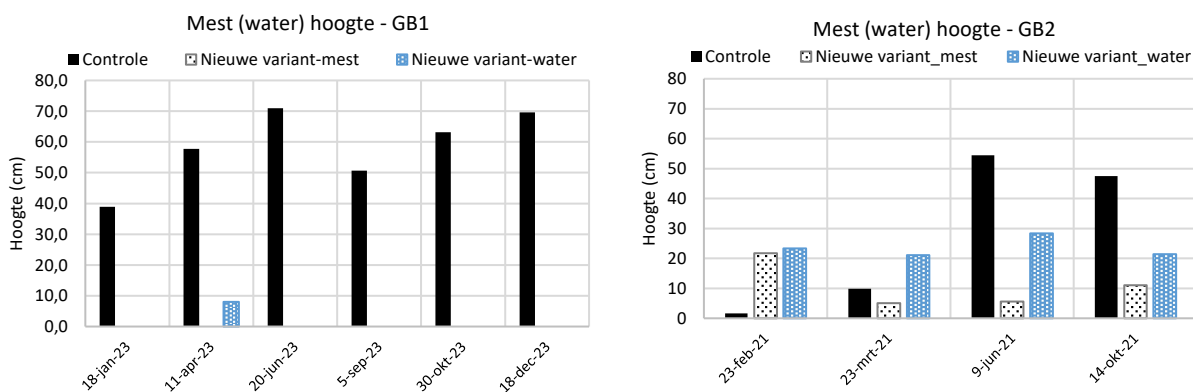
GB1 - Controleafdeling



Bijlage 4 - Mest- en waterhoogtes

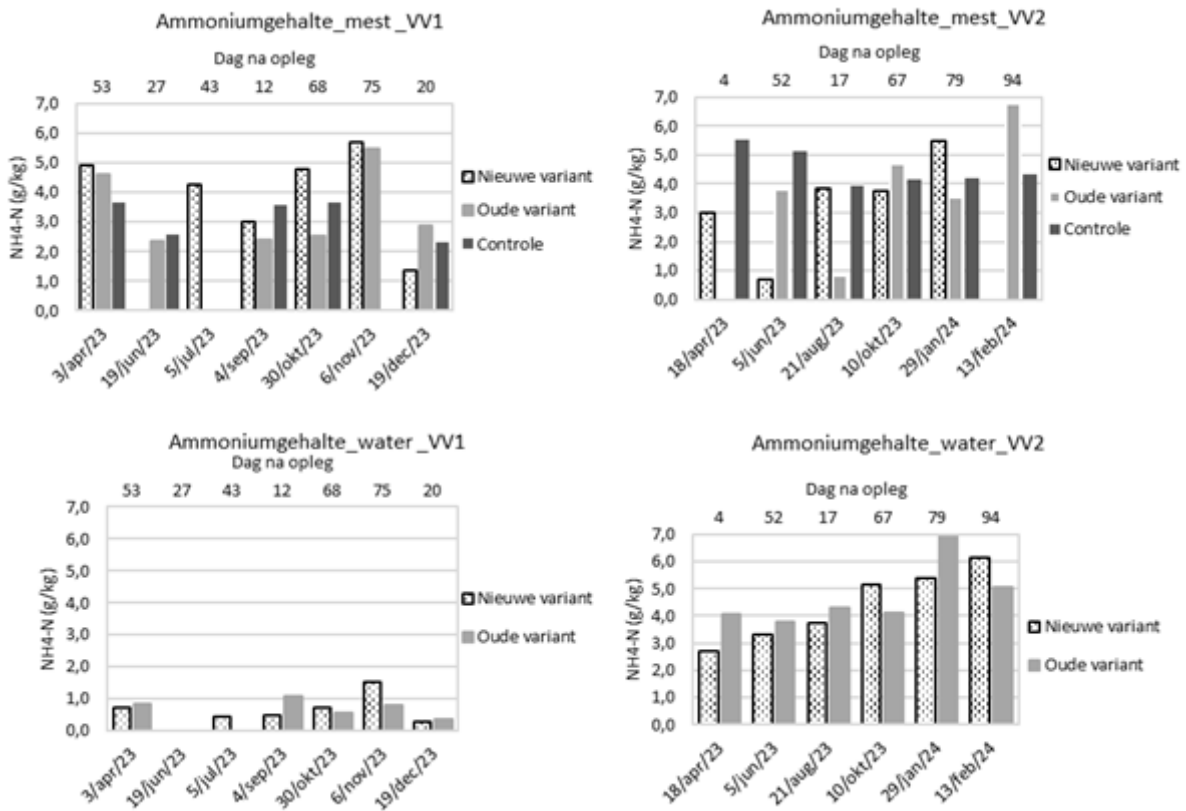


Figuur B8 Gemeten hoogte (cm) per meetdag in mest- en waterkanalen van de gemeten vleesvarkensafdelingen. Links: VV1. Rechts: VV2.

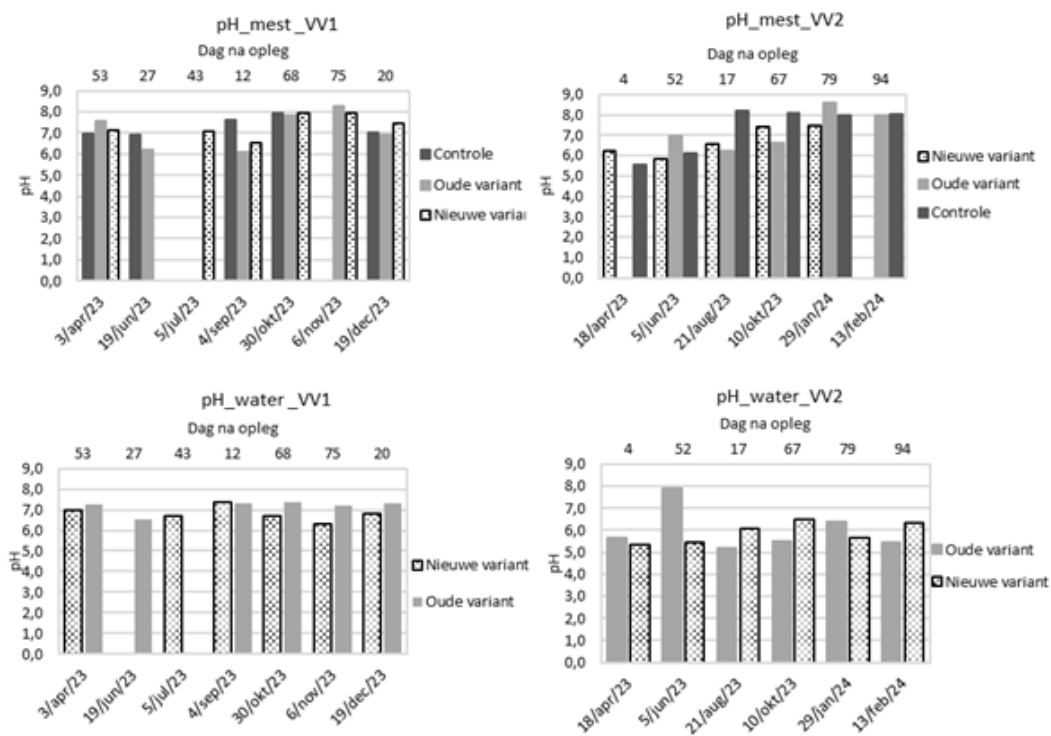


Figuur B9 Gemeten hoogte (cm) per meetdag in mest- en waterkanalen van de gemeten gespeende biggenafdelingen. Links: GB1. Rechts: GB2.

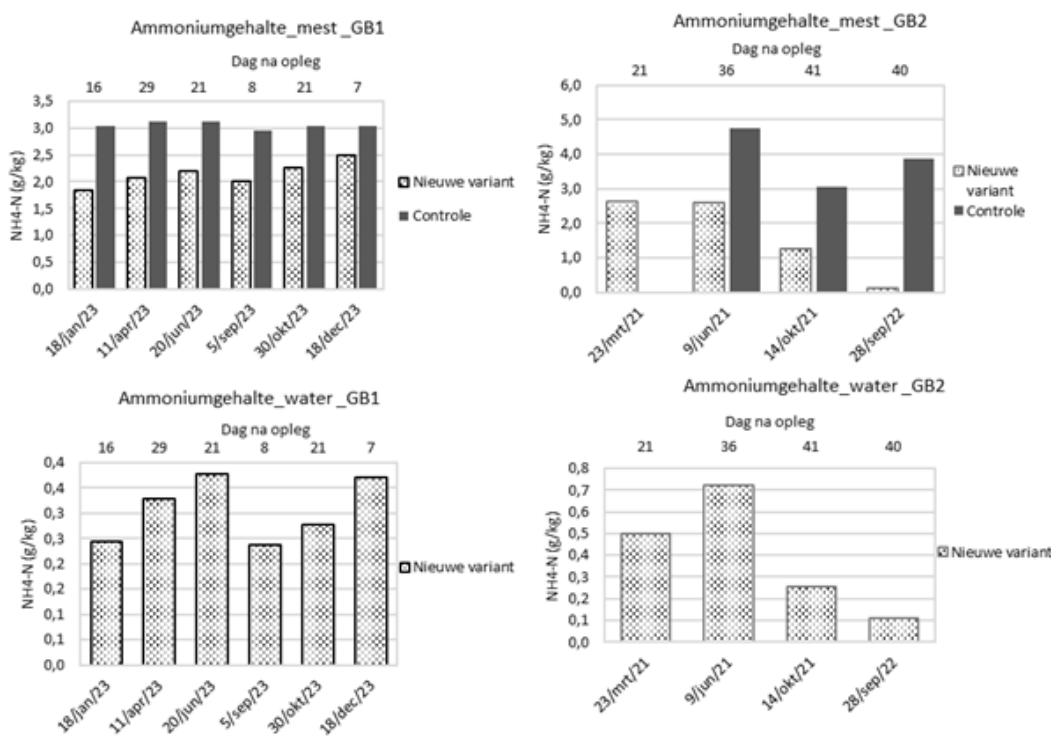
Bijlage 5 - Ammoniumgehalte en pH van de mest



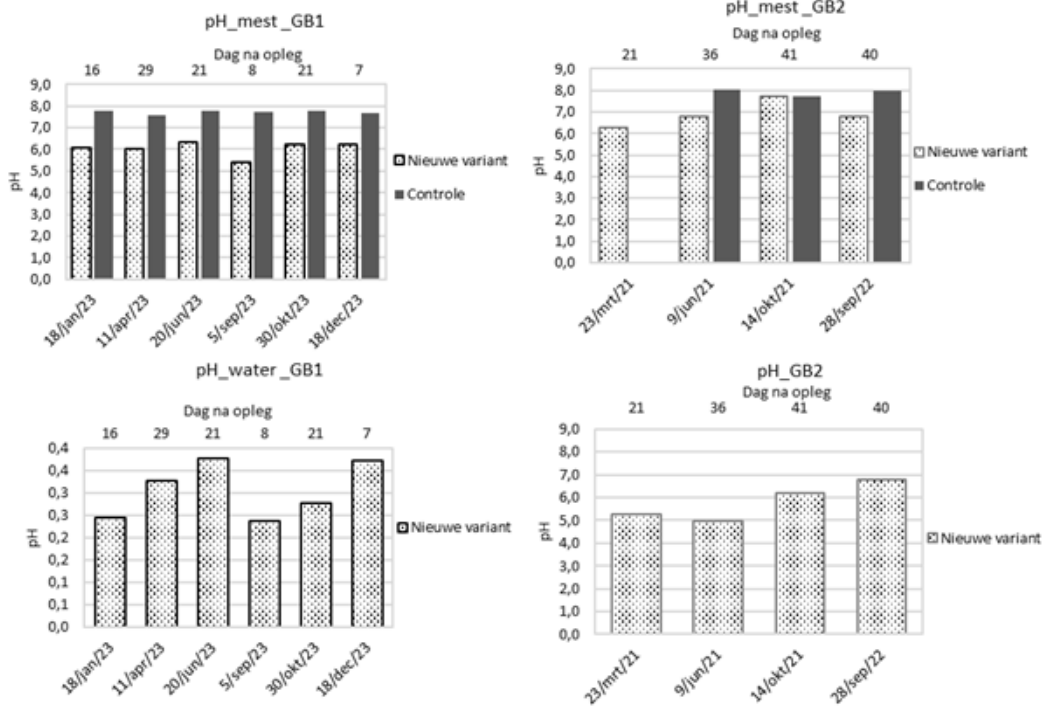
Figuur B10 Gemeten ammoniumgehalte (g/kg) in mest- en waterkanalen per meetdag bij de gemeten vleesvarkensafdelingen. Links: VV1. Rechts: VV2.



Figuur B11 Gemeten pH in mest- en waterkanalen per meetdag bij de gemeten vleesvarkensafdelingen. Links: VV1. Rechts: VV2.



Figuur B12 Gemeten ammoniumgehalte (g/kg) in mest- en waterkanalen per meetdag bij de variantafdeling van de gespeende biggen. Links: GB1. Rechts: GB2.



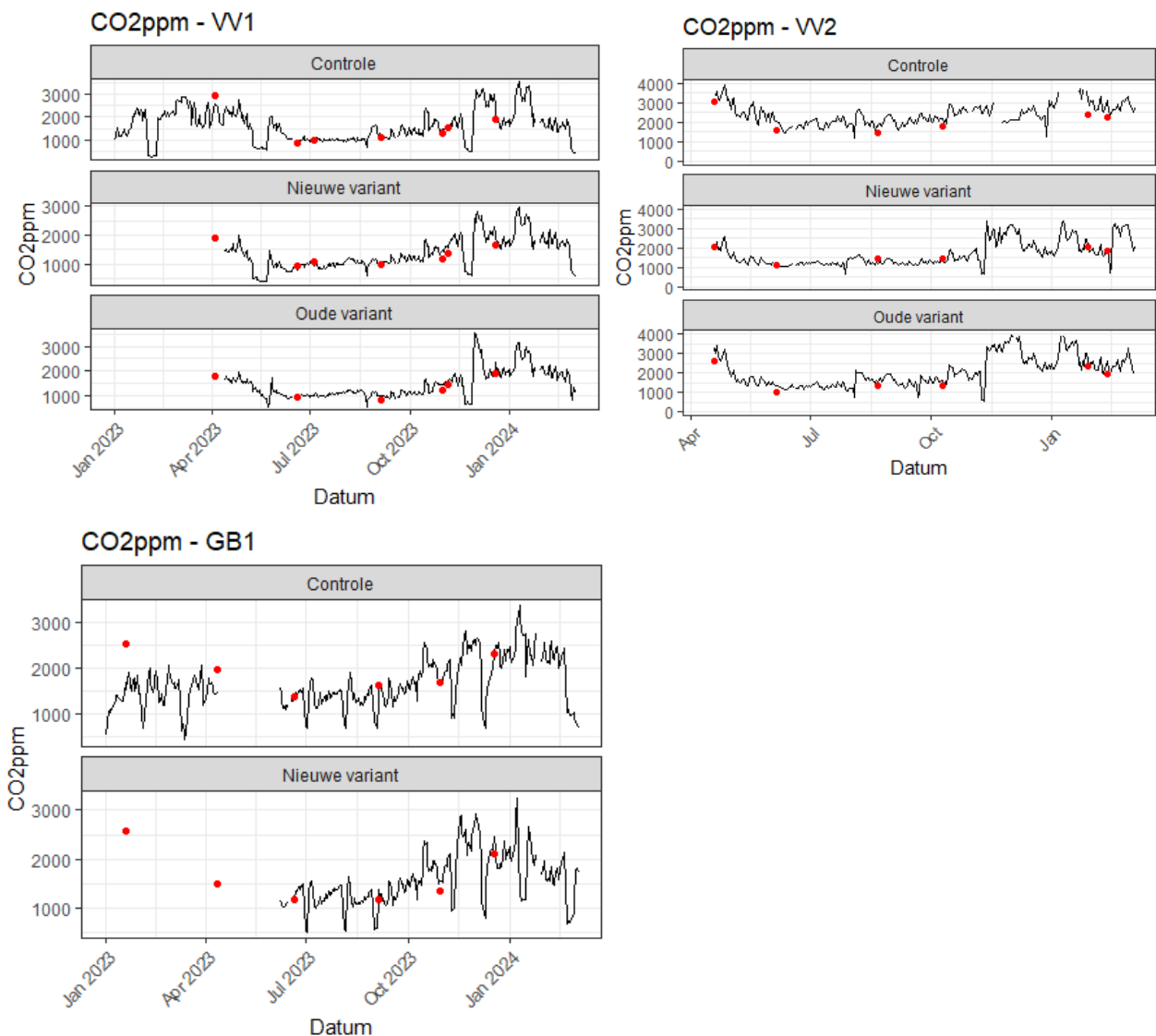
Figuur B13 Gemeten pH in mest- en waterkanalen per meetdag *bij de variantafdeling* van de gespeende biggen. *Links: GB1. Rechts: GB2.*

Bijlage 6 - Ventilatie-debiet door CO₂-massabalans methode

Tabel B1 Resultaten regressieanalyse voor de metingen op praktijkbedrijven.

Diercategorie	Nieuwe variant	Oude variant	Controle
Vleesvarkens			
Regressiecoëfficiënt	0,83	1,09	1,04
Intercept	2,94	-1,93	-1,54
R ²	0,85	0,78	0,86
Gespeende Biggen			
Regressiecoëfficiënt	0,62	-	0,53
Intercept	7,74	-	6,03
R ²	0,84	-	0,88

Bijlage 7 - Continue CO₂ metingen



Figuur B14 Daggemiddelden van de continu gemeten CO₂ concentraties (ppm) bij de gemeten vleesvarkensafdelingen op bedrijf 1 (VV1) en 2 (VV2) en gespeende biggenafdelingen op bedrijf 1 (GB1). De punten geven de gemeten concentratie aan volgens de referentie methode. Het onderbroken gedeelte in de emissielijn geeft aan dat de ventilatiegegevens niet zijn vastgelegd (ontbrekende gegevens) terwijl er wel concentratiegegevens beschikbaar waren.

Bijlage 8 – Alle meetresultaten

Vleesvarkens

VV1 Nieuwe variant							
Datum	03-04-2023	19-06-2023	05-07-2023	04-09-2023	30-10-2023	06-11-2023	19-12-2023
Meting	1	2	3	4	5	6	7
CH ₄ concentratie (ppm)	7,8 ; 7,9	6,4 ; 6,4	5,9 ; 5,9	6,9 ; 6,9	9,8 ; 8,8	14,0 ; 13,6	10,9 ; 10,4
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,50	3,01	3,03	2,69	3,70	3,83	3,10
NH ₃ concentratie (ppm)	3,9 ; 3,9	1,2 ; 1,0	1,6 ; 1,6	1,3 ; 1,3	6,4 ; 6,7	8,8 ; 8,5	2,3 ; 2,4
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,07	0,13	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
CO ₂ concentratie (ppm)	1909,0 ; 1915,4	933,3 ; 919,4	1083,2 ; 1077,4	970,9 ; 971,3	1199,8 ; 1178,5	1410,6 ; 1380,6	1712,0 ; 1641,8
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	480,4	464,7	436,1	450,1	402,2	429,3	411,2
Dag in de productieronde	53	27	43	12	68	75	20
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	34,0	-	56,7	54,5	60,5	47,6	24,4
Temperatuur (°C)	19,9	25,0	23,4	24,4	20,4	19,2	19,6
Luchtvochtigheid (%)	44,4	69,2	62,1	59,4	70,1	68,8	67,5
Waterkanaal							
N (g/kg)	1,00	0,35	0,65	0,57	0,91	-	0,35
NH ₄ N (g/kg)	0,72	0,26	0,44	0,48	0,73	1,51	0,29
DS (g/kg)	8,03	3,12	6,66	5,89	6,18	-	2,96
As (g/kg)	3,27	1,39	2,90	2,81	2,68	-	1,49
pH	6,96	6,65	6,71	7,36	6,67	6,33	6,79
Temperatuur (°C)	22,3	26,7	25,5	24,0	24,6	22,7	20,7
Hoogte (cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mestkanaal							
N (g/kg)	7,68	6,71	6,74	7,19	8,50	-	7,14
NH ₄ N (g/kg)	4,90	2,60	4,26	3,02	4,77	5,67	1,36
DS (g/kg)	407,55	264,11	454,38	232,69	193,15	-	204,88
As (g/kg)	299,94	115,89	366,85	87,95	65,88	-	35,59
pH	7,11	6,38	7,08	6,56	7,97	7,93	7,45
Temperatuur (°C)	20,9	27,2	24,4	23,1	23,4	25,1	20,5
Hoogte (cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	12,2	5,0	12,5	5,0	10,0	42,5	15,0
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	47,5	23,8	23,8	17,5	27,5	35,0	25,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

VV1 Oude variant							
Datum	03-04-2023	19-06-2023	05-07-2023	04-09-2023	30-10-2023	06-11-2023	19-12-2023
Meting	1	2	3	4	5	6	7
CH ₄ concentratie (ppm)	11,9 ; 12,7	5,8 ; 5,8	-	6,8 ; 6,8	37,6 ; 38,0	37,6 ; 38,0	35,9 ; 35,4
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,50	3,01	3,03	2,69	3,70	3,83	3,10
NH ₃ concentratie (ppm)	3,7 ; 3,6	1,3 ; 1,2	-	1,5 ; 1,7	5,2 ; 4,9	8,3 ; 8,5	1,4 ; 1,7
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,07	0,13	-	0,11	0,12	0,10	0,09
CO ₂ concentratie (ppm)	1765,7 ; 1784,7	923,3 ; 919,0	-	824,1 ; 819,6	1219,0 ; 1217,3	1442,6 ; 1492,7	1917,1 ; 1882,1
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	480,4	464,7	-	450,1	402,2	429,3	411,2
Dag in de productieronde	53	27	-	12	68	75	20
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	34,7	55,9	-	65,3	52,9	45,8	22,2
Temperatuur (°C)	19,9	28,1	-	24,2	20,6	19,4	20,1
Luchtvochtigheid (%)	40,9	51,3	-	60,0	68,8	64,4	63,0
Waterkanaal							
N (g/kg)	1,04	0,45	-	1,39	0,70	-	0,43
NH ₄ N (g/kg)	0,84		-	1,07	0,58	0,80	0,38
DS (g/kg)	7,12	4,18	-	13,48	5,26	-	3,08
As (g/kg)	3,15	2,08	-	4,89	2,35	-	1,61
pH	7,23	6,52	-	7,32	7,34	7,18	7,29
Temperatuur (°C)	18,83	26,90	-	25,60	23,58	23,63	22,90
Hoogte (cm)	0,00	0,00	-	0,00	15,95	20,98	0,87
Mestkanaal							
N (g/kg)	8,85	6,85	-	8,42	4,09	-	4,33
NH ₄ N (g/kg)	4,62	2,37	-	2,38	2,55	5,49	2,87
DS (g/kg)	464,99	172,58	-	260,56	151,66	-	151,05
As (g/kg)	345,63	38,41	-	86,14	86,63	-	101,24
pH	7,55	6,23	-	6,09	7,84	8,25	6,90
Temperatuur (°C)	19,9	28,4	-	24,4	22,9	25,1	22,2
Hoogte (cm)	0,00	0,00	-	0,00	2,33	2,05	16,00
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	19,6	3,8	-	12,5	30,0	55,0	20,0
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)		13,8	-	25,0	40,0	30,0	35,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

VV1 Controle							
Datum	03-04-2023	19-06-2023	05-07-2023	04-09-2023	30-10-2023	06-11-2023	19-12-2023
Meting	1	2	3	4	5	6	7
CH ₄ concentratie (ppm)	84,2 ; 81,4	33,0 ; 32,3	45,8 ; 46,1	112,5 ; 110,1	80,7 ; 79,1	91,0 ; 91,9	35,2 ; 35,5
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,50	3,01	3,03	2,69	3,70	3,83	3,10
NH ₃ concentratie (ppm)	10,5 ; 10,5	1,8 ; 1,8	2,1 ; 2,1	6,8 ; 6,8	9,6 ; 9,5	9,1 ; 9,2	3,1 ; 3,1
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,07	0,13	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
CO ₂ concentratie (ppm)	2949,8 ; 2853,1	878,9 ; 871,9	995,2 ; 955,1	1159,3 ; 1138,8	1344,4 ; 1320,3	1540,0 ; 1555,4	1873,6 ; 1880,3
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	480,4	464,7	436,1	450,1	402,2	429,3	411,2
Dag in de productieronde	53	27	43	12	68	75	20
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	19,3	83,2	48,8	39,2	50,7	47,8	25,9
Temperatuur (°C)	23,1	27,0	24,0	24,9	21,2	20,2	20,8
Luchtvochtigheid (%)	54,2	53,4	62,6	61,9	70,5	64,3	69,5
Waterkanaal							
N (g/kg)	-	-	-	-	-	-	-
NH ₄ N (g/kg)	-	-	-	-	-	-	-
DS (g/kg)	-	-	-	-	-	-	-
As (g/kg)	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	-	-
Temperatuur (°C)	-	-	-	-	-	-	-
Hoogte (cm)	-	-	-	-	-	-	-
Mestkanaal							
N (g/kg)	7,59	5,19	5,40	6,19	6,68	-	4,57
NH ₄ N (g/kg)	3,65	2,56	2,69	3,58	3,65	-	2,30
DS (g/kg)	149,91	71,09	78,01	125,27	118,12	-	99,96
As (g/kg)	27,46	18,86	19,66	28,04	28,79	-	31,22
pH	6,99	6,89	6,88	7,61	7,97		7,04
Temperatuur (°C)	20,65	26,00	23,80	24,40	24,93	22,63	24,15
Hoogte (cm)	6,65	15,30	33,00	33,78	25,15	26,25	4,30
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	16,3	6,3	8,8	5,0	25,0	27,5	23,3
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	-	-	-	-	-	-	-

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

VV2 Nieuwe variant						
Datum	18-04-2023	05-06-2023	21-08-2023	10-10-2023	29-01-2024	13-02-2024
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	12,8 ; 13,0	7,0 ; 6,9	0,0 ; 12,2	12,9 ; 12,2	12,4 ; 12,5	11,3 ; 11,3
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,81	2,51	3,64	4,95	5,24	2,71
NH ₃ concentratie (ppm)	4,3 ; 4,3	2,9 ; 2,9	3,5 ; 3,4	9,0 ; 9,0	14,7 ; 14,3	16,1 ; 16,2
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,08	0,07	0,17	0,17	0,17	0,07
CO ₂ concentratie (ppm)	2035,6 ; 2053,9	1119,0 ; 1112,7	0,0 ; 1403,6	1493,5 ; 1421,6	2010,8 ; 2041,1	1833,0 ; 1841,7
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	435,0	422,7	520,1	492,1	497,2	462,5
Dag in de productieronde	4	52	17	67	79	94
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	9,2	48,1	36,9	36,9	35,2	40,0
Temperatuur (°C)	23,6	25,4	26,8	26,8	19,9	19,6
Luchtvochtigheid (%)	56,6	49,1	61,8	61,8	68,6	70,3
Waterkanaal						
N (g/kg)	7,99	8,73	6,66	9,39	11,58	12,17
NH ₄ N (g/kg)	2,68	3,34	3,74	5,17	5,40	6,16
DS (g/kg)	206,26	206,83	127,53	185,58	229,80	211,48
As (g/kg)	32,61	38,59	33,27	42,39	40,66	44,06
pH	5,32	5,46	6,08	6,51	5,66	6,31
Temperatuur (°C)	24,1	25,9	27,9	24,8	25,2	26,9
Hoogte (cm)	0,00	0,18	0,35	4,93	5,25	9,15
Mestkanaal						
N (g/kg)	7,83	5,62	8,02	6,75	9,84	-
NH ₄ N (g/kg)	3,01	0,70	3,86	3,77	5,46	-
DS (g/kg)	398,63	199,59	208,83	419,26	398,91	-
As (g/kg)	257,67	33,53	77,91	316,85	267,35	-
pH	6,25	5,85	6,58	7,39	7,46	-
Temperatuur (°C)	23,08	26,27	29,05	28,35	25,30	26,25
Hoogte (cm)	0,00	8,03	0,00	15,93	12,10	19,68
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	10,0	3,8	36,3	31,3	71,3	82,5
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	35,0	10,0	25,0	40,0	52,5	67,5

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

VV2 Oude variant						
Datum	18-04-2023	05-06-2023	21-08-2023	10-10-2023	29-01-2024	13-02-2024
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	16,1 ; 12,0	4,8 ; 0,0	9,3 ; 9,0	8,7 ; 8,8	12,6 ; 12,3	14,9 ; 15,1
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,81	2,51	3,64	4,95	5,24	2,71
NH ₃ concentratie (ppm)	5,6 ; 5,6	2,8 ; 2,7	4,6 ; 4,8	9,7 ; 9,1	13,3 ; 13,1	16,7 ; 17,4
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,08	0,07	0,17	0,17	0,17	0,07
CO ₂ concentratie (ppm)	3073,5 ; 2165,1	1004,5 ; 0,0	1376,4 ; 1333,0	1332,8 ; 1359,5	2414,4 ; 2320,4	1884,2 ; 2017,3
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	435,0	422,7	520,1	492,1	497,2	462,5
Dag in de productieronde	4	52	17	67	79	94
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	7,2	45,5	31,4	31,4	29,9	34,7
Temperatuur (°C)	24,8	25,7	27,9	27,9	21,8	21,2
Luchtvochtigheid (%)	66,7	48,0	61,8	61,8	67,4	70,5
Waterkanaal						
N (g/kg)	9,40	5,47	11,50	11,11	12,29	13,08
NH ₄ N (g/kg)	4,09	3,77	4,30	4,12	6,97	5,05
DS (g/kg)	200,70	55,38	240,53	271,02	169,09	256,31
As (g/kg)	37,19	21,32	41,02	36,94	43,78	41,50
pH	5,67	7,88	5,17	5,49	6,39	5,46
Temperatuur (°C)	23,30	25,20	26,28	25,50	23,63	22,60
Hoogte (cm)	1,25	4,55	18,48	12,15	0,00	26,38
Mestkanaal						
N (g/kg)	-	7,15	6,32	8,14	10,91	11,32
NH ₄ N (g/kg)	-	3,80	0,81	4,69	3,53	6,75
DS (g/kg)	-	369,75	210,38	196,11	261,41	211,62
As (g/kg)	-	251,20	36,98	78,95	49,93	71,36
pH	-	6,97	6,23	6,62	8,59	7,98
Temperatuur (°C)	24,78	26,58	27,88	27,55	22,05	23,18
Hoogte (cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	23,40	0,00
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	15,0	12,5	15,0	25,0	57,5	87,5
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	45,0	10,0	22,3	40,0	42,5	65,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

VV2 Controle						
Datum	18-04-2023	05-06-2023	21-08-2023	10-10-2023	29-01-2024	13-02-2024
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	374,6 ; 375,6	133,2 ; 129,8	95,4 ; 92,1	141,7 ; 139,3	182,7 ; 182,6	183,9 ; 183,1
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,81	2,51	3,64	4,95	5,24	2,71
NH ₃ concentratie (ppm)	38,5 ; 37,5	21,6 ; 21,4	20,1 ; 20,0	22,2 ; 22,3	27,1 ; 27,1	32,9 ; 31,7
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,08	0,07	0,17	0,17	0,17	0,07
CO ₂ concentratie (ppm)	3041,0 ; 3041,3	1614,2 ; 1585,5	1490,2 ; 1449,8	1779,2 ; 1749,2	2361,7 ; 2365,9	2238,1 ; 2232,1
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	435,0	422,7	520,1	492,1	497,2	462,5
Dag in de productieronde	4	52	17	67	79	94
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	9,2	31,4	29,4	29,4	26,5	29,7
Temperatuur (°C)	24,8	25,3	26,9	26,9	22,5	22,2
Luchtvochtigheid (%)	62,1	49,8	69,1	69,1	74,0	75,6
Waterkanaal						
N (g/kg)	-	-	-	-	-	-
NH ₄ N (g/kg)	-	-	-	-	-	-
DS (g/kg)	-	-	-	-	-	-
As (g/kg)	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	-
Temperatuur (°C)	-	-	-	-	-	-
Hoogte (cm)	-	-	-	-	-	-
Mestkanaal						
N (g/kg)	5,53	9,79	6,00	6,58	6,72	6,89
NH ₄ N (g/kg)	3,86	5,12	3,93	4,14	4,18	4,31
DS (g/kg)	56,31	171,93	76,13	99,25	111,10	115,10
As (g/kg)	21,39	38,56	28,41	33,90	39,09	39,31
pH	7,95	6,13	8,20	8,08	7,96	8,04
Temperatuur (°C)	25,80	24,35	29,93	27,88	27,98	26,58
Hoogte (cm)	46,93	54,03	3,00	13,30	29,18	36,13
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	32,5	58,8	16,3	36,3	52,5	67,5
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	-	-	-	-	-	-

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

Gespeende biggen

GB1 Nieuwe variant						
Datum	18-01-2023	11-04-2023	20-06-2023	05-09-2023	30-10-2023	18-12-2023
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	17,8 ; 17,6	9,2 ; 9,4	7,4 ; 7,4	7,0 ; 6,9	7,4 ; 7,5	21,8 ; 21,8
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,83	6,43	3,23	2,92	4,09	20,09
NH ₃ concentratie (ppm)	1,4 ; 2,0	1,8 ; 1,8	2,1 ; 2,2	1,5 ; 1,5	2,2 ; 2,2	2,7 ; 2,9
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,11	0,63	0,21	0,14	0,88	1,73
CO ₂ concentratie (ppm)	2592,1 ; 2572,3	1494,9 ; 1499,8	1177,5 ; 1157,0	1183,4 ; 1176,8	1352,9 ; 1348,5	2111,5 ; 2121,8
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	474,0	605,1	474,8	523,5	528,9	727,9
Dag in de productieronde	16	29	21	8	21	7
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	8,8	23,8	23,1	7,4	15,5	4,1
Temperatuur (°C)	20,0	22,7	28,6	27,7	23,4	22,9
Luchtvochtigheid (%)	69,0	52,8	60,5	57,7	63,5	63,6
Waterkanaal						
N (g/kg)	1,25	0,50	1,05	2,69	0,47	0,54
NH ₄ N (g/kg)	0,24	0,33	0,38	0,24	0,28	0,37
DS (g/kg)	31,96	4,99	15,34	85,07	5,91	3,35
As (g/kg)	3,45	2,08	3,25	9,54	1,52	1,38
pH	5,08	6,84	5,67	4,20	6,35	6,19
Temperatuur (°C)	21,55	19,45	26,40	23,90	25,55	23,50
Hoogte (cm)	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mestkanaal						
N (g/kg)	4,47	7,38	6,08	4,38	6,20	5,20
NH ₄ N (g/kg)	1,83	2,07	2,20	2,00	2,27	2,49
DS (g/kg)	90,81	186,51	147,33	77,43	116,07	68,49
As (g/kg)	16,34	31,65	27,93	15,45	22,75	17,22
pH	6,06	6,03	6,35	5,38	6,21	6,22
Temperatuur (°C)	19,70	18,10	26,18	23,65	24,30	21,70
Hoogte (cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	5,0	5,0	2,5	3,8	7,5	11,3
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	25,0	20,0	17,5	10,0	25,0	45,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

GB1 Controle						
Datum	18-01-2023	11-04-2023	20-06-2023	05-09-2023	30-10-2023	18-12-2023
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	201,5 ; 203,1	130,9 ; 140,4	121,8 ; 123,4	213,7 ; 211,9	128,0 ; 129,5	246,8 ; 222,6
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	2,83	6,43	3,23	2,92	4,09	20,09
NH ₃ concentratie (ppm)	18,0 ; 17,5	12,3 ; 12,3	13,1 ; 13,0	29,9 ; 29,9	14,1 ; 14,1	29,6 ; 29,5
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,11	0,63	0,21	0,14	0,88	1,73
CO ₂ concentratie (ppm)	2531,6 ; 2536,5	1902,8 ; 2001,3	1381,1 ; 1379,7	1626,3 ; 1611,7	1706,8 ; 1652,1	2422,6 ; 2203,2
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	474,0	605,1	474,8	523,5	528,9	727,9
Dag in de productieronde	16	29	21	8	21	7
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	6,2	13,3	22,5	3,8	14,7	3,1
Temperatuur (°C)	20,5	24,3	29,0	27,6	24,2	22,5
Luchtvochtigheid (%)	70,3	55,0	65,1	66,6	65,2	70,2
Waterkanaal						
N (g/kg)	-	-	-	-	-	-
NH ₄ N (g/kg)	-	-	-	-	-	-
DS (g/kg)	-	-	-	-	-	-
As (g/kg)	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	-
Temperatuur (°C)	-	-	-	-	-	-
Hoogte (cm)	-	-	-	-	-	-
Mestkanaal						
N (g/kg)	5,19	5,31	5,49	6,84	5,06	5,14
NH ₄ N (g/kg)	3,03	3,12	3,12	2,95	3,03	3,05
DS (g/kg)	87,53	86,77	88,64	79,15	88,96	77,26
As (g/kg)	28,05	24,34	26,49	26,34	29,01	26,80
pH	7,78	7,59	7,76	7,70	7,78	7,66
Temperatuur (°C)	21,88	22,60	27,65	25,93	20,55	21,80
Hoogte (cm)	38,93	57,73	70,95	50,65	63,18	69,65
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	-	-	-	-	-	-
Bevuilingsscoren - schuine putwand (%)	-	-	-	-	-	-

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Gecorrigeerde ventilatie op basis van kalibratie

GB2 variant				
Datum	23-3-2021	8-6-2021	13-10-2021	27-9-2022
Meting	1	2	3	4
CH ₄ concentratie (ppm)	10,4 ; 17,7	16,5 ; 27,6	22,7 ; 23,2	18,8 ; 18,7
CH ₄ concentratie ingaand (ppm) ¹	4,48	7,26	4,13	2,56
NH ₃ concentratie (ppm)	5,73 ; 5,88	6,12 ; 6,3	2,98 ; 5,14	3,19 ; 3,26
NH ₃ concentratie ingaand (ppm) ¹	0,30	0,30	0,16	0,06
CO ₂ concentratie (ppm)	3518,12 ; -	2236,4 ; -	2666,9 ; 2643,98	2209,0 ; 2152,5
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	-	562,0	494,1	398,9
Dag in de productieronde	21	36	41	40
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	4,3	20,2	14,9	11,0
Temperatuur (°C)	27,2	29,4	24,5	23,3
Luchtvochtigheid (%)	100,0	-	70,5	67,1
Temperatuur buiten (°C)	6,8	18,5	11,4	8,6
Luchtvochtigheid buiten (%)	82	67	86	86
Waterkanaal				
N (g/kg)	1,4	3,6	0,5	0,3
NH ₄ N (g/kg)	0,50	0,7	0,3	0,1
DS (g/kg)	30,4	92,6	5,6	3,4
As (g/kg)	4,8	9,9	1,7	1,5
pH	5,2	5,0	6,2	6,8
Temperatuur (°C)	26,5	30,9	26,5	25,4
Hoogte (cm)	23,4	21,1	28,4	21,4
Mestkanaal				
N (g/kg)	5,2	7,8	2,3	0,3
NH ₄ N (g/kg)	2,6	2,6	1,3	0,1
DS (g/kg)	81,1	138,2	23,0	3,4
As (g/kg)	15,2	21,5	12,4	1,5
pH	6,3	6,8	7,7	6,8
Temperatuur (°C)	26,8	30,1	25,1	28,7
Hoogte (cm)	21,8	5,1	5,6	11,0
Bevuilingsscore - dichte vloer (%)	0,0	0,0	17,0	22,0
Bevuilingsscore - schuine putwand (%)	-	-	-	-

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Geschat op basis van CO₂-massabalans methode

GB2 Controle				
Datum	23-3-2021	8-6-2021	13-10-2021	27-9-2022
Meting	1	2	3	4
CH ₄ concentratie (ppm)	452,76 ; 471,33	145,11 ; 145,24	267,0 ; 271,4	203,95 ; 211,92
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm) ¹	4,48	7,26	4,13	2,56
NH ₃ concentratie (ppm)	51,49 ; 50,41	21,27 ; 21,08	20,1 ; 20,1	18,79 ; 19,01
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm) ¹	0,30	0,30	0,16	0,06
CO ₂ concentratie (ppm)	4686,1 ; 4643,8	1651,4 ; 1643,4	2581,75 ; 2602,4	1896,4 ; 1954,1
CO ₂ concentratie Ingaand (ppm)	-	562,0	494,1	389,9
Dag in de productieronde	21	36	41	40
Ventilatie (m ³ /uur/dier) ²	5,5	12,0	11,7	9,8
Temperatuur (°C)	27,3	29,3	27,8	24,6
Luchtvochtigheid (%)	60,1	63,5	72,3	76,4
Waterkanaal	-	-	-	-
N (g/kg)	-	-	-	-
NH ₄ N (g/kg)	-	-	-	-
DS (g/kg)	-	-	-	-
As (g/kg)	-	-	-	-
pH	-	-	-	-
Temperatuur (°C)	-	-	-	-
Hoogte (cm)	-	-	-	-
Mestput	-	-	-	-
N (g/kg)	-	7,7	5,4	6,2
NH ₄ N (g/kg)	-	4,8	3,1	3,9
DS (g/kg)	-	144,7	76,6	116,7
As (g/kg)	-	62,9	28,7	55,2
pH	-	8,0	7,7	8,0
Temperatuur (°C)	-	29,5	27,1	28,7
Hoogte (cm)	-	9,9	54,5	47,5
Bevuilingscore - dichte vloer (%)	-	-	-	-
Bevuilingscores - schuine putwand (%)	-	-	-	-

¹ Gemiddelde ingaande lucht van duplo metingen

² Geschat op basis van CO₂-massabalans methode

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



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

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

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

