



Emissies uit een vernieuwde wroetstal voor gespeende biggen

Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122012

Noor Hertogh, Paria Sefeedpari, Joost van Rooijen, Yvo Goselink, André Aarnink

Rapport 1584



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Emissies uit een vernieuwde wroetstal voor gespeende biggen

Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122012

Noor Hertogh, Paria Sefeedpari, Joost van Rooijen, Yvo Goselink, André Aarnink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research via de Subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv) van RVO.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juli 2025

Rapport 1584

Hertogh, N.C., P. Sefeedpari, J. van Rooijen, Y. Goselink, A.J.A. Aarnink, 2025. *Emissies uit een vernieuwde wroetstal voor gespeende biggen; Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122012*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1584.

Samenvatting NL - In de periode van oktober 2023 tot en met december 2024 zijn protocollaire emissiemetingen uitgevoerd in een vernieuwd wroetstalsysteem voor gespeende biggen. De metingen vonden plaats volgens het case-control principe, waarbij twee vergelijkbare afdelingen (proef- en controleafdeling) binnen hetzelfde bedrijf werden vergeleken. Gedurende zeven meetperiodes verspreid over het jaar zijn emissies van ammoniak (NH_3), methaan (CH_4), lachgas (N_2O), geur en fijnstof (PM_{10}) gemeten op basis van erkende methoden. Het nieuwe wroetstalsysteem voor gespeende biggen laat overtuigende emissiereducties zien voor ammoniak, methaan en lachgas. De resultaten voor geur zijn positief, maar de reductie is lager dan verwacht. Fijnstofemissie vormt het belangrijkste aandachtspunt voor verdere optimalisatie. Het systeem heeft de potentie om zowel het dierenwelzijn als het stalklimaat structureel te verbeteren en emissies van meerdere componenten tegelijk te reduceren.

Summary UK - From October 2023 to December 2024, protocol-based emission measurements were conducted in a new rooting housing system for weaned piglets. The measurements were conducted according to the case-control principle, comparing two comparable departments (case and control department) within the same farm. During seven measurement periods spread throughout the year, emissions of ammonia (NH_3), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), odour, and particulate matter (PM_{10}) were measured using approved methods. The new rooting housing system for weaned piglets demonstrates convincing emission reductions for ammonia, methane, and nitrous oxide. The results for odour are positive, but the reduction is lower than expected. Particulate matter emissions are the primary focus for further optimization. The system has the potential to structurally improve both animal welfare and the barn climate, and to reduce emissions of multiple components simultaneously.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/697991> 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, 2025

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

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

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

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

Wageningen Livestock Research Rapport 1584

Inhoud

Woord vooraf

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Vooronderzoek	11
2.1 Geschatte ammoniakreductie	11
2.2 Geschatte reductie van broeikasgassen, geur en fijnstof	13
3 Materiaal en methoden	14
3.1 Bedrijfsituatie en behandelingen	14
3.1.1 Het gemeten emissiearme stalsysteem	14
3.1.2 Stalbeschrijving en management	14
3.2 Waarnemingen en metingen	17
3.2.1 Protocolaire emissiemetingen (referentiemetingen)	17
3.2.2 Meetpunten	17
3.2.3 Ammoniak metingen	18
3.2.4 Methaan en lachgas metingen	19
3.2.5 Geurmetingen	19
3.2.6 Fijnstofmetingen	20
3.2.7 Continue metingen	20
3.2.8 Ventilatie-debiet	21
3.2.9 Overige metingen	22
3.3 Berekening van de emissies en de reducties	22
3.3.1 Methaan, ammoniak en lachgas	22
3.3.2 Geur en fijnstof	23
4 Resultaten	24
4.1 Protocolaire metingen	24
4.1.1 Verdeling van referentie meetdagen	24
4.1.2 Berekende emissies en reducties protocolaire metingen	25
4.2 Hokbevuiling	29
4.3 Continue metingen	29
5 Discussie	37
5.1 Ammoniakemissie	37
5.2 Methaanemissie	38
5.3 Lachgasemissie	38
5.4 Geuremissie	39
5.5 Fijnstofemissie	39
5.6 Vergelijking van systeemkenmerken tussen proef- en controleafdeling	40
6 Conclusies en aanbevelingen	41
Literatuur	42
Bijlagen	46

Woord vooraf

Dit onderzoek is het resultaat van een samenwerking tussen varkenshouders van ketenconcept het Krullvarken en Wageningen Livestock Research (WLR). Ketenconcept het Krullvarken heeft een duidelijke visie op een integraal duurzame varkenshouderij, waarin diergezondheid, milieu en praktische toepasbaarheid hand in hand gaan. Centraal in deze visie staat het wroetstalsysteem, dat gericht is op het verbeteren van dierenwelzijn en stalklimaat, terwijl gelijktijdig bij de bron emissies van methaan, ammoniak en geur worden gereduceerd. Een belangrijk onderdeel van dit systeem is de directe scheiding van mest en urine in combinatie met frequente mestverwijdering en een verkleind emitterend oppervlak, wat niet alleen emissievoordelen oplevert, maar tegelijkertijd ook perspectief biedt voor duurzame mestverwerking en -verwaarding, bijvoorbeeld door energieopwekking via mono-vergisting.

Binnen dit project lag de focus op het meten van emissies in het vernieuwde wroetstalsysteem voor gespeende biggen. De ontwikkelde stalopzet is het resultaat van een zorgvuldige afweging tussen technische haalbaarheid, effectiviteit van emissiereductie, diergedrag, economische uitvoerbaarheid en inpasbaarheid in de bestaande praktijk. Bij het ontwerpen zijn keuzes gemaakt die verder gaan dan alleen emissiebeperking, ook aspecten zoals hygiëne, arbeidsomstandigheden en circulariteit zijn bewust meegenomen.

De protocollaire emissiemetingen zijn uitgevoerd volgens de erkende protocollen en maken het mogelijk om de prestaties van dit systeem objectief te toetsen aan referentiewaarden en bestaande stalconcepten. Het onderzoek maakt onderdeel uit van een bredere inspanning om brongerichte stalmaatregelen te ontwikkelen die bijdragen aan het realiseren van klimaat- en milieudoelen, zonder daarbij het belang van het dier of de boer uit het oog te verliezen.

De ontwikkeling van dit stalconcept en de uitvoering van de eerste metingen zijn mede mogelijk gemaakt dankzij financiële ondersteuning vanuit de Subsidieregeling 'brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv)', gefaciliteerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en de Provincie Overijssel. Wij danken deze partijen hartelijk voor het in ons gestelde vertrouwen en hun bijdrage aan dit traject.

Tot slot danken wij de deelnemende varkenshouders voor de constructieve samenwerking en de bereidheid om vernieuwende ideeën in de praktijk te brengen. Zonder hun inzet en praktijkervaring was dit onderzoek niet mogelijk geweest. Daarnaast willen wij onze collega's van het Air Quality Lab bedanken voor het uitvoeren van de emissiemetingen op deze bedrijfslocatie. Dankzij hen hebben wij de waarnemingen en data vergaard welke benodigd waren voor dit onderzoek.

Namens het onderzoeksteam,

André Aarnink

Wageningen Livestock Research

Samenvatting

In de periode van oktober 2023 tot en met december 2024 zijn protocollaire emissiemetingen uitgevoerd in een vernieuwd wroetstalsysteem voor gespeende biggen. De metingen vonden plaats volgens het case-control principe, waarbij twee vergelijkbare afdelingen (proef- en controleafdeling) binnen hetzelfde bedrijf werden vergeleken. Gedurende zeven meetperiodes verspreid over het jaar zijn emissies van ammoniak (NH_3), methaan (CH_4), lachgas (N_2O), geur en fijnstof (PM_{10}) gemeten op basis van erkende methoden. Om het effect van leeftijd en seizoen op de emissies te beheersen, zijn de metingen gelijkmatig verdeeld over de eerste en tweede helft van de groeicyclus van de dieren en over de vier jaarkwartalen. De opzet van het wroetstalsysteem is gericht op het verbeteren van zowel het stalklimaat als het dierenwelzijn, waarbij emissiereductie wordt gerealiseerd via brongerichte maatregelen. Mest en urine worden direct onder de roostervloer gescheiden door een V-vormige vloer met urinegoot, waardoor anaerobe afbraak en emissievorming van methaan worden beperkt. Daarnaast is het (ammoniak) emitterend oppervlak verkleind door het toepassen van een relatief kleine mestruimte en heeft de stal een techniek die gericht is op het reduceren van fijnstofemissies (ionisatielampen). Door een goede hokinrichting en optimaal stalklimaat, blijft het strooisel in de hokken schoon en droog, wat gunstig is voor het dierenwelzijn en het gedrag van de biggen, maar ook voor de emissies.

Gemeten reductiepercentages

Het reductiepotentieel van het nieuwe wroetstalsysteem is vergeleken met zowel de controleafdeling als met de waarden uit bijlage V van de Omgevingsregeling voor ammoniak, geur en fijnstof. Voor methaan en lachgas zijn de reducties alleen berekend ten opzichte van de controleafdeling.

Ammoniakemissie (NH_3)

Voor ammoniak werd een gemiddelde reductie van 79,4% ten opzichte van bijlage V van de Omgevingsregeling vastgesteld, en 62,9% ten opzichte van de controleafdeling. Dit is vergelijkbaar met de vooraf verwachte reductie. Belangrijk is dat tijdens het onderzoek geen hokbevuiling werd geconstateerd, wat bijdraagt aan een hogere effectiviteit van de brongerichte maatregelen. De lagere reductie ten opzichte van de controleafdeling is te verklaren door het feit dat deze afdeling al relatief lage emissies vertoonde (0,42 kg/jaar per dierplaats) ten opzichte van de bestaande emissie factor van overige huisvestingsystemen voor gespeende biggen (0,69 kg/jaar per dierplaats) uit bijlage V van de Omgevingsregeling.

Methaanemissie (CH_4)

De reductie van methaanemissie vormt een van de meest in het oog springende resultaten. Waar vooraf werd gerekend op een maximale reductie van circa 90%, bleek uit de metingen dat het systeem gemiddeld een reductie van 97,8% realiseerde ten opzichte van de controleafdeling. Dit is toe te schrijven aan de frequente verwijdering van feces en urine wat de vorming van methaan uit anaerobe afbraak in de stal minimaliseert.

Lachgasemissie (N_2O)

Hoewel niet centraal in het oorspronkelijke onderzoek, is ook de lachgasemissie gemeten. Deze bleek met 97,6% gereduceerd ten opzichte van de controleafdeling. Opgemerkt moet worden dat de gemeten N_2O -emissie van de controleafdeling aanzienlijk hoger was (gem. 226 ± 58 g/jaar per dierplaats) dan de beschikbare waarden vanuit eerdere onderzoeken voor gespeende biggen (33 ± 20 g/jaar per dierplaats) voor biggen gehuisvest in een volledig roostervloerstal. Deze verhoogde waarde kan mogelijk worden verklaard door de korstvorming van de mest, waardoor het zuurstofgehalte in de bovenlaag kan toenemen. Dit kan samen met factoren zoals temperatuur, het droge stofgehalte, pH van de mest onder de volledig roostervloer in de controleafdeling een rol spelen. Dit fenomeen vraagt om nader onderzoek om de precieze oorzaken beter te begrijpen.

Geuremissie

De gemeten reductie in geuremissie bedroeg 36,9% ten opzichte van de bestaande emissiefactor voor overige huisvestingsystemen voor gespeende biggen uit bijlage V van de Omgevingsregeling. Dit ligt lager dan de eerder ingeschatte 70%, die was gebaseerd op metingen in een wroetstal voor vleesvarkens. Mogelijke verklaringen voor de afwijking zijn onder meer verschillen in diercategorie, ventilatie en temperatuur.

Fijnstofemissie (PM10)

De fijnstofemissie bleek toegenomen, met een negatieve reductie van -140,6% ten opzichte van de bestaande emissiefactor voor overige huisvestingsystemen voor gespeende biggen uit bijlage V van de Omgevingsregeling. Vanaf het begin van de proefperiode zijn ionisatielampen in dit systeem toegepast. De toename in fijnstofemissie wordt mogelijk veroorzaakt door het gebruik van droog strooisel dat niet in contact komt met mest of urine, waardoor het makkelijker verstoft. Om dit tegen te gaan, wordt aanbevolen om stof-arm strooisel toe te passen en het strooisel regelmatig te verversen. Verdere optimalisatie van het strooiselbeheer is noodzakelijk om deze ongewenste bijwerking te minimaliseren.

Conclusie

Het nieuwe wroetstalsysteem voor gespeende biggen laat overtuigende emissiereducties zien voor ammoniak, methaan en lachgas. De resultaten voor geur zijn positief, maar de reductie is lager dan verwacht. Fijnstofemissie vormt het belangrijkste aandachtspunt voor verdere optimalisatie. Het systeem heeft de potentie om zowel het dierenwelzijn als het stalklimaat structureel te verbeteren en emissies van meerdere componenten tegelijk te reduceren. Aanvullend onderzoek wordt aanbevolen om het effect van temperatuur en ventilatie en hokcondities op geuremissie beter te begrijpen. De verhoogde gemeten N₂O-emissie in de controleafdeling van dit systeem vraagt om nader onderzoek om de onderliggende oorzaken beter te kunnen verklaren.

1 Inleiding

In het Klimaatakkoord van Parijs in 2015 is een afspraak gemaakt om de opwarming van de aarde te beperken tot minder dan twee graden Celsius ten opzichte van 1990. Naar aanleiding hiervan heeft Nederland zich als doel gesteld om in 2030 de uitstoot van broeikasgassen met 55% te reduceren ten opzichte van het jaar 1990 en in 2050 klimaatneutraal te zijn (Rijksoverheid, 2023). In 2021 had de land- en tuinbouw een aandeel van 16% in de totale broeikasgasemissies in Nederland, waarvan circa 10% uit de veehouderij komt (Berkhout et al., 2023; WUR, 2025a). De veehouderij draagt het meeste bij aan de methaanuitstoot in Nederland. Methaanuitstoot ontstaat tijdens de vertering van voer en uit de mest van vee. Bij varkens ontstaat de methaan voornamelijk uit de mest, terwijl bij herkauwers methaan voornamelijk ontstaat tijdens het verteringsproces (WUR, 2025b). De Nederlandse overheid heeft als doel om in 2030 de methaanuitstoot met 30% te verlagen ten opzichte van 2020 (Rijksoverheid, 2025). Om de overheidsdoelen te behalen zijn innovaties om broeikasgassen in de veehouderij te reduceren essentieel.

In het Klimaatakkoord zijn maatregelen beschreven voor de veehouderij, zoals het realiseren van emissiearme en duurzame varkensstallen (Rijksoverheid, 2023). Daarnaast gelden er aangescherpte emissienormen voor ammoniakemissie uit de veehouderij om de natuurwaarde in Natura2000-gebieden te versterken. Van de stikstofgevoelige natuur in Natura2000-gebieden moet in 2025, 2030 en 2035 respectievelijk 40%, 50% en 74% van de hectaren onder de kritische depositiewaarden gebracht zijn (PSN, 2022). Een ammoniakreductie van 85% is te behalen door middel van luchtwassers. Een luchtwasser verwijdert een deel van de gasvormige componenten en fijnstof uit de uitgaande stallucht, echter hebben deze geen effect op de concentraties en luchtkwaliteit in de stal. Ook kunnen de huidige luchtwassers methaan niet uit de lucht halen. Door emissies bij de bron te reduceren, verbetert ook de luchtkwaliteit in de stal wat een positief effect heeft voor dier, mens en milieu (Aarnink et al., 2019).

Brongerichte maatregelen voor het emissiearm maken van stallen wordt in Nederland door de overheid gestimuleerd door middel van de 'Subsidiemodule brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen' (Sbv). Hiermee is het mogelijk voor veehouders en het toeleverend bedrijfsleven om te investeren in ontwikkeling van brongerichte maatregelen in de stal, waarmee de uitstoot van ammoniak, broeikasgassen, fijnstof en geur kan worden verminderd. Wageningen Livestock Research is als onderzoeksorganisatie direct als partner betrokken bij deze ontwikkeling en bij het uiteindelijk bemeten van de effecten van het ontwikkelde systeem op de emissies uit de stal. Het onderzoek beschreven in dit rapport is opgestart om een vernieuwd wroetstalsysteem binnen het Krullvarken concept te onderzoeken. Het oude wroetstalsysteem is een systeem voor vleesvarkens met veel zaagsel in de hokken met een volledig dichte vloer. Het zaagsel werd vermengd met mest en urine en werd door de dieren naar de mestgoot toegewerkt, dit systeem is verder beschreven in Houwers et al. (2014). Het vernieuwde wroetstalsysteem is op een locatie getest bij gespeende biggen en wordt in de nabije toekomst op twee andere locaties getest met gespeende biggen en vleesvarkens. Er worden additionele brongerichte maatregelen met het nieuwe systeem genomen, met als doel om een ammoniakreductie te realiseren die voldoet aan de eisen van het besluit emissiearme huisvesting (Rijksoverheid, 2023). Dit houdt in dat de ammoniakemissie minimaal met 70% moet worden gereduceerd ten opzichte van de referentie-emissie zoals is vastgelegd voor gespeende biggen onder 'Overige huisvestingssystemen' in de (voormalige) Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling) (RVO, 2020). De reductiedoelstelling in de veehouderijsector richt zich niet uitsluitend op de verlaging van ammoniakemissies, maar tevens de emissies van broeikasgassen (vooral methaan), geur en fijnstof. Zo moet de uitstoot van methaan met 50% (Rijksoverheid, 2022) worden gereduceerd, terwijl voor geur en fijnstof een reductie van 25% wordt nagestreefd (Aarnink et al., 2021).

Het vernieuwde wroetstalsysteem maakt gebruik van de volgende reducerende principes: 1) verkleining van het emitterend oppervlak door een relatief kleine mestruimte in combinatie met verkleining van het risico op hokbevuilding door een optimale hokinrichting en klimatisering, 2) scheiding van urine en feces onder de roostervloer achterin het hok, waarbij de urine continu wegloopt via een hellende vloer en giergoot; de feces worden regelmatig afgeschoven, 3) installatie van een fijnstof reducerende staltechniek. Om de reductiepercentages in kaart te brengen, zijn gedurende een jaar metingen uitgevoerd van de emissies van ammoniak, methaan, lachgas, fijnstof en geur volgens vastgestelde meetprotocollen. In dit rapport worden de resultaten beschreven van het vernieuwde emissiearme wroetstalconcept bij gespeende biggen. In dit onderzoek

waren de varkenshouders verantwoordelijk voor de implementatie en management van het emissie-reducerende systeem. Voor het maken van inschattingen van de verwachting van emissiereducties en het correct uitvoeren van protocollaire emissiemetingen was Wageningen Livestock Research (WLR) verantwoordelijk. In Hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een beschrijving gegeven van het vooronderzoek aan het systeem. In Hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van de meetlocaties, de meettechniek en het emissie-reducerende systeem. Hoofdstuk 4 bevat een overzicht van de hoofdresultaten, welke in Hoofdstuk 5 worden bediscussieerd. Tot slot, worden in Hoofdstuk 6 conclusies weergegeven en aanbevelingen beschreven voor verbetering en vervolgonderzoek aan het brongericht emissie-reducerende systeem.

2 Vooronderzoek

In dit hoofdstuk worden resultaten gegeven van het vooronderzoek waarbij inschattingen zijn gemaakt van de te verwachten emissiereducties voor ammoniak, broeikasgassen, geur en fijnstof voor het vernieuwde wroetstalsysteem bij gespeende biggen. Het principe van het wroetstalsysteem is het gebruik van veel zaagsel in hokken met veel dichte vloer en een klein roosteroppervlak waaronder een mestschuif loopt op een V-vormige vloer waardoor urine en vaste mest van elkaar worden gescheiden. Het zaagsel zorgt voor een aangenaam ligbed voor de varkens. In de oorspronkelijke versie van de wroetstal werd de meeste mest en urine net voor de roosters geproduceerd. Deze mest en urine werd vervolgens door de dieren zelf met het zaagsel gemengd en via een opening onder de verhoogde roostervloer naar de mestgoot met schuif toegewerkt. Aangezien indicatieve metingen vrijwel geen ammoniakreductie lieten zien, werd een vernieuwd concept ontwikkeld, waarbij de roostervloer vlak werd gelegd ten opzichte van de dichte vloer, waardoor de meeste mest op de roostervloer wordt geproduceerd en het zaagsel vrijwel niet bevuild wordt. Eerste testen bij een varkenshouder lieten positieve resultaten zien.

2.1 Geschatte ammoniakreductie

Voor de berekening van de ammoniakemissie uit de wroetstalhokken is uitgegaan van drie te onderscheiden emitterende bronnen: 1) de mestruimte; dit is de locatie waar de meeste mest wordt geproduceerd; 2) de metalen driekant roostervloer met daaronder een dichte naar midden toe hellende vloer met giergoot en 3) de lig- en vreetruimte; dit is de dichte vloer met strooisel.

Bij de berekeningen zijn eerst de afzonderlijke emissies per bron berekend en vervolgens bij elkaar opgeteld. De algemene rekenwijze voor het bepalen van de ammoniakemissie per bron is als volgt:

$$E_{Bi} = A_{Bi} * E_{m^2_{Bi}}$$

Waarin: E_{Bi} is de ammoniakemissie van bron i (kg/jaar per dierplaats); A_{Bi} is de emitterende oppervlakte van bron i (m^2 per dierplaats); $E_{m^2_{Bi}}$ is de ammoniakemissie per m^2 emitterende oppervlakte van bron i (kg/jaar per m^2 , gecorrigeerd voor leegstand).

De totale emissie kan als volgt worden berekend:

$$E = E_{B1} + E_{B2} + E_{B3}$$

Waarin: E is de totale ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats); E_{B1} , E_{B2} en E_{B3} zijn de ammoniakemissies van respectievelijk de lig- en vreetruimte, de roostervloer en de mestruimte. Opmerking: de ammoniakemissie vanaf de roostervloer wordt niet bepaald vanuit het emitterend oppervlak maar hiervoor wordt een vaste waarde per dierplaats aangehouden.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor berekening van de ammoniakemissie uit de vernieuwde wroetstal:

- Voor het aantal dierplaatsen is uitgegaan van de minimale welzijnsnormen (RVO, 2020). Deze welzijnsnorm is voor gespeende biggen tot 30 kg: 0,30 m^2 /dier (netto oppervlakte).
- Ammoniakemissie voor de referentiesituatie vanaf de lig- en vreetruimte is gemiddeld 0,41 kg/jaar per m^2 oppervlakte. Hierbij is uitgegaan van de ammoniakemissie uit het strooisel bed bij vleesvarkens van 1,40 kg/jaar per m^2 oppervlakte (Houwers et al., 2014). Dit is vervolgens vermenigvuldigd met de factor 1,22/4,20. Deze factor is de verhouding in emissie tussen biggen en vleesvarkens bij een bevuilde dichte vloer zonder strooisel (Aarnink et al., 2012). We veronderstellen dat deze verhouding hetzelfde is bij een dichte vloer met strooisel. Bij berekening van de ammoniakemissie uit het strooisel-bed is er uitgegaan van een gemiddelde bevuilingsgraad van het gehele bed.
- Door de volgende maatregel te nemen wordt de bevuiling van het strooisel met 20% gereduceerd ten opzichte van de referentiesituatie zonder deze maatregel:

- Door de inkomende lucht via grondbuizen binnen te halen wordt er voor gezorgd dat bij hoge omgevingstemperaturen (30°C) de inkomende lucht wordt gekoeld tot een temperatuur van maximaal ca. 20°C.
- Emissie vanaf een metalen driekant roostervloer: hierbij wordt niet uitgegaan van een emissie per m² bevuild oppervlak maar van een vaste waarde per dierplaats van 0,030 kg/jaar (Groenestein et al., 2014). In de afdeling wordt tevens een mest spleet van 60 mm toegepast. Dit geeft een lagere ammoniakemissie. Daar staat tegenover dat de mestdoorlaat door het strooisel waarschijnlijk minder zal zijn. De verwachting is wel dat de biggen vooral achterop het rooster zullen mesten. Daar zal naar verwachting niet veel strooisel terecht komen. Wij gaan in de berekening uit van een emissie vanaf het rooster van 0,030 kg/jaar.
- Emissie vanaf een bevuilde mestvloer onder het rooster is 1,22 kg per m² emitterende oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012). De mestvloer, inclusief de urinegoot, is afgewerkt met een gladde coating.
- We veronderstellen dat gemiddeld 50% van de mestvloer onder het rooster is bevuild met urine en dus emitterend oppervlak is.

Op basis van deze uitgangspunten is een emitterend oppervlak bepaald per dierplaats van 0,24 m² voor de lig- en vreetruimte en van 0,033 m² voor de mestvloer onder de roosters. In tabel 1 wordt de berekende ammoniakemissie gegeven, in kg/jaar per dierplaats, voor de wroetstal en het reductiepercentage van de wroetstal ten opzichte van de referentie emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen' in Bijlage V van de Omgevingsregeling.

De tabel laat zien dat een totale emissie van het nieuwe wroetstalsysteem wordt verwacht van 0,148 kg/jaar per dierplaats, wat ten opzichte van de referentie emissiefactor van 0,690 kg/jaar per dierplaats (Bijlage I), een reductie zou opleveren van 79%.

Tabel 1 *Berekende ammoniakemissie (in kg/jaar per dierplaats) bij gespeende biggen voor de wroetstal en geschatte reductie t.o.v. de referentie emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen'. Zie Bijlage I voor de verschillende referentie emissiefactoren. Alle emissiefactoren zijn nu opgenomen in bijlage V van de Omgevingsregeling voor stalsystemen.*

Emissiebron	Bijlage V van de Omgevingsregeling Overige huisvestingssystemen (Bijlage I)	Wroetstal
Metalen driekantrooster		0,030
Mestvloer onder rooster		0,040
Lig- en vreetruimte		0,078
Totaal		0,148
Referentie emissiefactor	0,690	
Reductie (% ten opzichte van referentie emissiefactor)		79%

2.2 Geschatte reductie van broeikasgassen, geur en fijnstof

De emissies van broeikasgassen (methaan en lachgas), geur en fijnstof (PM10) zijn eerder alleen gemeten in een wroetstal voor vleesvarkens op één bedrijf gedurende 3 metingen in de herfst/winter periode (Houwers et al., 2014). De berekende verwachte emissiereducties zijn daarom zeer indicatief.

In Houwers et al. (2014) werden de volgende reducties gevonden: 71% voor geuremissie, 94% voor methaanemissie en 41% voor fijnstofemissie. De reductie van lachgas kon niet worden bepaald, omdat de referentieafdeling vrijwel gelijk was aan nul, terwijl dit in de wroetstal gemiddeld 0,44 kg/jaar per dierplaats was.

De verwachting was dat in het nieuwe wroetstalconcept vergelijkbare geur- en methaanreducties zullen worden behaald. De lachgasemissie zal lager zijn, aangezien de urine en feces zich niet mengen met elkaar en niet met het strooisel. Hierdoor zal er geen aeroob milieu ontstaan waarin lachgas zich kan vormen. Daarom is de verwachting dat, net als in de referentiesituatie, de lachgasemissie naar verwachting zeer laag zal zijn. De fijnstofemissie zal naar verwachting minder worden gereduceerd dan in voornoemd onderzoek, aangezien in het nieuwe wroetstalconcept het strooisel droog blijft en zich niet gaat mengen met feces en urine. Dit strooisel zal daardoor meer gaan verstoffen. Het is op voorhand niet te voorspellen of de fijnstofemissie zal toenemen.

Op basis van voorgaande overwegingen worden de volgende emissiereducties voor het nieuwe wroetstalconcept voor de gespeende biggen verwacht:

- 90% methaanemissie
- 70% geuremissie
- verwachte lage lachgasemissie
- verwachte toename van fijnstofemissie

3 Materiaal en methoden

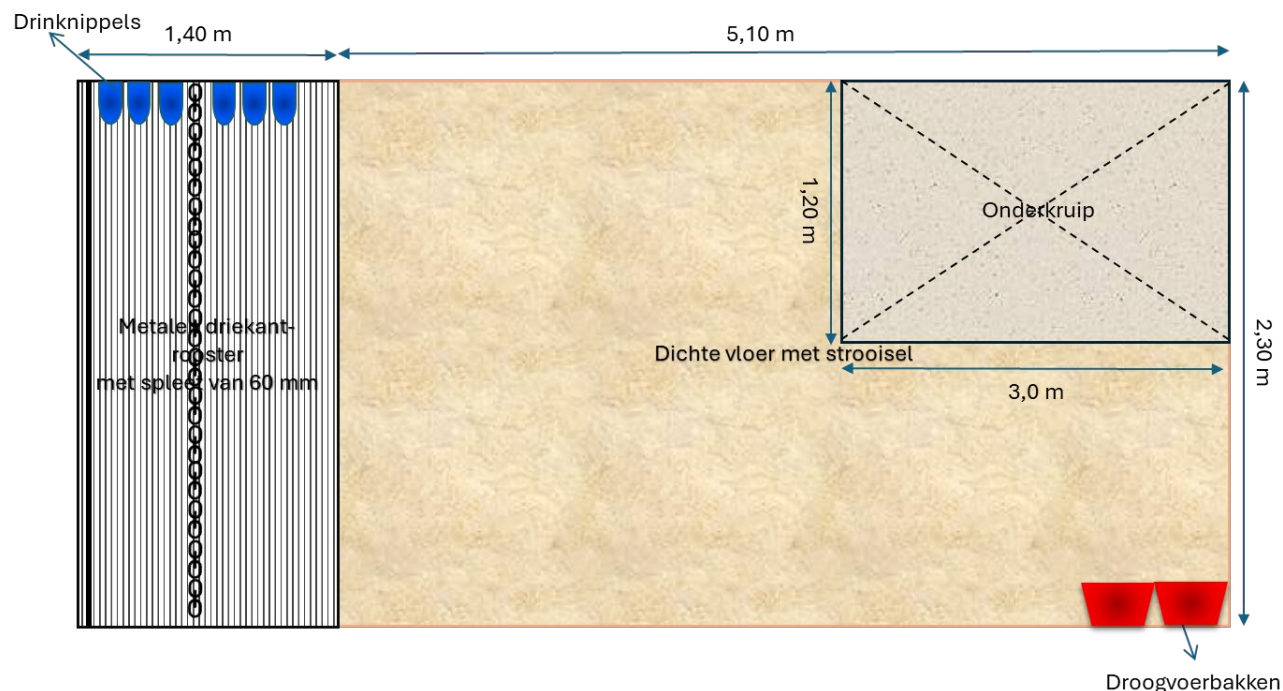
3.1 Bedrijfssituatie en behandelingen

3.1.1 Het gemeten emissiearme stalsysteem

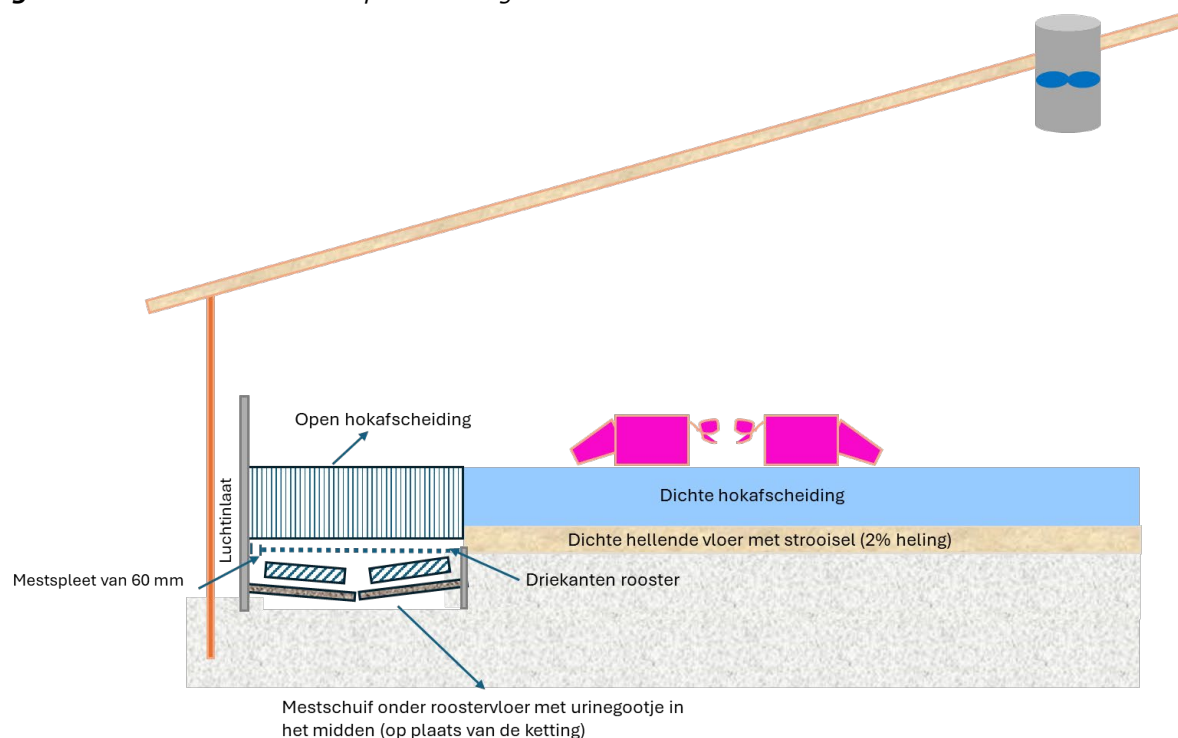
Het Krullvarken is een Nederlands ketenconcept met wroetstallen waarbij een aantal varkenshouders aangesloten zijn. Op de gemeten locatie is een experimentele strooiselstal voor gespeende biggen gebouwd welke voldoet en gemanaged wordt volgens het leaflet bijbehorend bij het systeem (Bijlage II). Deze stal had lange, diepe hokken, die achterin een ondiep mestkanaal bevatten en waar met behulp van een mestschuif met rubberen strips de vaste mest 8 tot 12 keer per dag uit de stal werd verwijderd. Een schematische tekening van de mestschuif is weergegeven in het leaflet in Bijlage II. Het mestkanaal had een V-vormige vloer met een verdiepte urinegoot, waardoor vaste mest en urine direct gescheiden werden en apart werden opgeslagen. De mestgoot had een 3-laagse epoxy coating bestaande uit twee componenten om de mest en urine effectiever te verwijderen. De stal was voorzien van klimaatbeheersing via grondbuizen, waarbij de lucht tussen de buitenmuur en een extra wand naar binnen werd geleid. Hierdoor kon de lucht door middel van kleppen exact op de juiste plek neerdalen om het klimaat zo stabiel mogelijk te maken voor optimaal mest- en liggedrag. Door dit systeem van grondbuizen en het gebruik van onderkruipen (een kap welke boven de dichte vloer hing waar de biggen onder konden liggen, hieronder werd een microklimaat gecreëerd) kon de temperatuur in de stal verlaagd worden naar ca. 18 graden Celsius, wat zorgde voor een goed lig- en mestgedrag, zelfs bij hogere buitentemperaturen (Aarnink et al., 2006). Volgens het wroetstalsysteem werden de biggen vanaf spenen in een groep gehuisvest die gehandhaafd bleef in de vleesvarkensfase, waardoor de biggen op jonge leeftijd het juiste lig- en mestgedrag aanleerden. De staarten van de dieren bleven bij het Krullvarken ketenconcept intact en er was voldoende daglicht gerealiseerd door middel van ramen, waardoor de dieren een goed dag- en nachtritme konden ontwikkelen. Door het aanbieden van strooisel konden de dieren natuurlijk wroetgedrag uiten. Voor zowel de proef- als de controlestal was er sprake van 2-fasenvoeding, waarbij de gespeende biggen de eerste 1,5 week na spenen speenvoer en daarna tot het einde van de ronde biggenvoer gevoerd kregen (Bijlage III). Na iedere biggenronde werd zowel de proef- als de controleafdeling schoon gespoten en gedesinfecteerd.

3.1.2 Stalbeschrijving en management

De proefstal bestond uit zes afdelingen met een lichtstraat in de buitenwanden die 3% van het vloeroppervlak aan daglicht voor de biggen realiseerde (Bijlage IV). Verse lucht betrad de afdeling via grondbuis ventilatie, waarbij de lucht via de spouw de afdeling binnen kwam. Er zijn ionisatielampen geïnstalleerd om fijnstof emissie te verminderen. Een afdeling bevatte in totaal 204 dierplaatsen (0,49 m² per big), opgedeeld in zes hokken (30 – 31 biggen per hok) en een rest hok (21 biggen). De hokinrichting bestond uit 11,27 m² dichte vloer met een onderkruip die aan het begin van de ronde naar beneden hing en een droogvoerbak met zes vreetplaatsen voorin het hok (Figuur 1). Op de dichte vloer (met een helling van 2%) was wroetgelegenheid gerealiseerd door middel van een laag dennenzaagsel. Er was bij opleg 1 m³ zaagsel verdeeld over de gehele afdeling. Er werd driemaal per week zaagsel bij gestrooid van een hoeveelheid van 2 tot 2,5 m³ voor de gehele stal van zes afdelingen. Eens per zeven weken werd daarvoor een vracht van 40 m³ dennenzaagsel geleverd om de gehele wroetstal te voorzien. Achterin het hok lag een metalen driekant roostervloer van 3,68 m² (met 60 mm spleetbreedte tegen de achterwand) met daaronder de mestgoot met schuifstelsel (Figuur 1). De schuifvloer onder de roosters was V-vormig in de breedte richting met een helling in de breedte richting van 2,5% en in de lengte richting vlak. In het midden van de schuifvloer was een spleet met daaronder een urinegoot waar ook de ketting van de schuif doorheen liep om deze goot schoon te houden. De urine in de goot liep direct af naar een afgesloten urineopslag onder de stal. De mest werd met de schuif naar het uiteinde van de stal getransporteerd waar het overdekt binnen werd opgeslagen. Op de hokafscheiding bij de mestplaats had ieder hok aan één zijde zes drinknippels voor onbeperkte wateropname. De hokafscheiding bij de roosters tussen hokken was open door middel van een hekje, terwijl de rest van de hokafscheiding dicht was (Figuur 2). De afdeling had één ventilatiekoker van 560 mm diameter (Tabel 2).



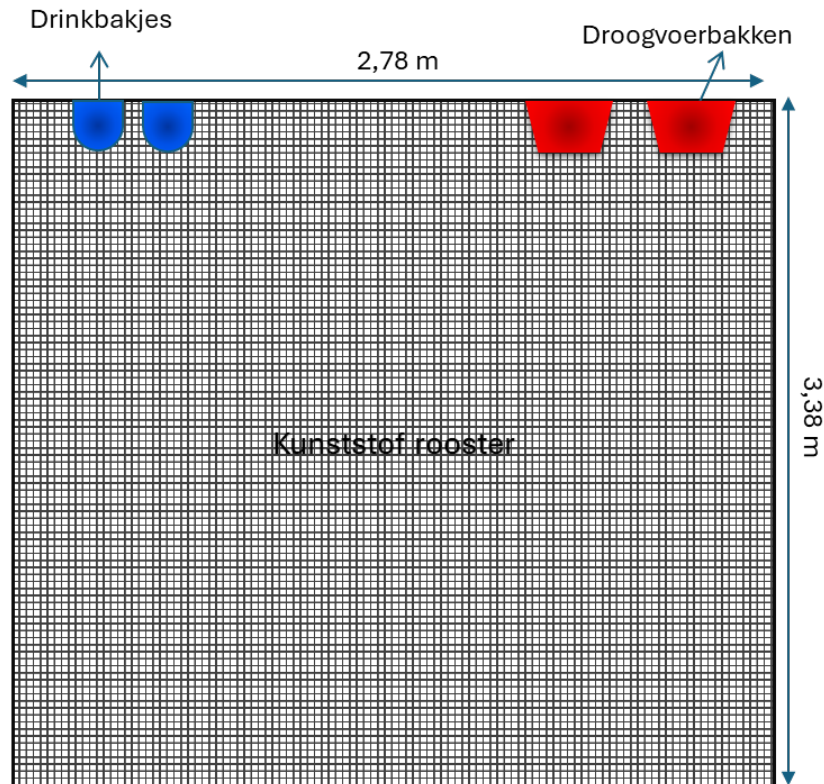
Figuur 1 Bovenaanzicht hok proefafdeling.



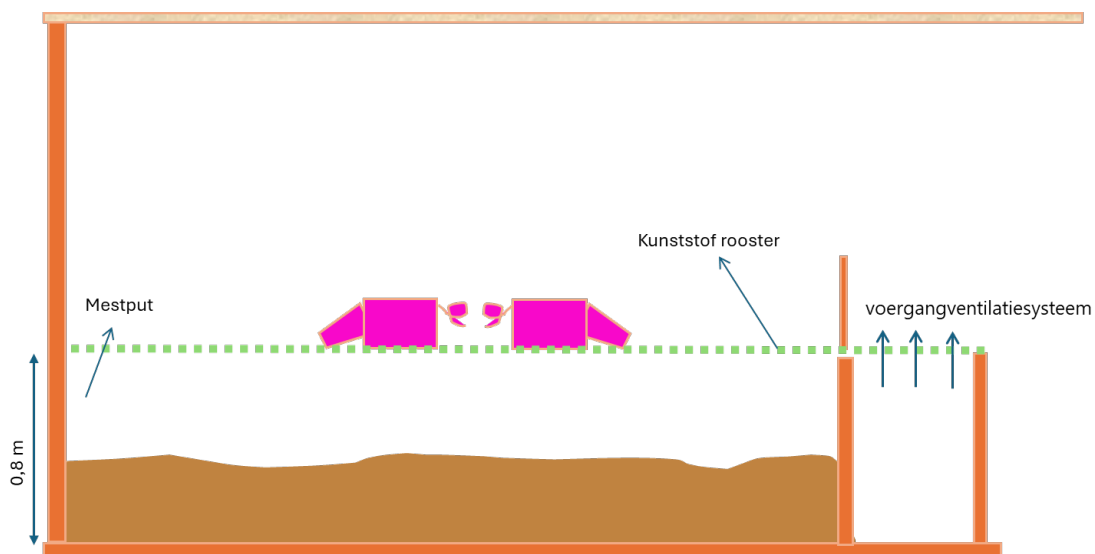
Figuur 2 Zijaanzicht hok proefafdeling.

De controlestal bestond uit negen afdelingen (Bijlage V), waarvan vijf afdelingen met 150 gespeende biggen en vier afdelingen met 160 gespeende biggen. Verse lucht kwam de afdeling binnen via grondkanaalventilatie. De gemeten controleafdeling had acht hokken van 9,39 m² met totaal 160 dierplaatsen met 20 biggen per hok (0,47 m² per big). De hokken hadden een volledige kunststof roostervloer met voorin twee drinkbakjes, één drinknippel en twee droogvoerbakken met in totaal vier vreetplaatsen (Figuur 3). De controleafdeling had onder

de volledig roostervloer een mestkelder van 80 cm diep. De mestkelder werd één keer in de zeven weken leeg gepompt (Figuur 4).



Figuur 3 Bovenaanzicht hok controleafdeling. De voegang bevindt zich aan de linkerkant van het hok.



Figuur 4 Zijaanzicht hok controleafdeling.

Tabel 2 *Overzicht van kenmerken van de onderzochte proef- en controleafdeling van het bedrijf.*

Kenmerken	Proefafdeling	Controleafdeling
Dierplaatsen	204	160
Afmeting afdeling Lengte [m] x Breedte [m]	16,28 m x 8,65 m = 140,82 m ²	13,50 m x 6,48 m = 87,48 m ²
Aantal hokken en afmetingen hok (Lengte [m] x Breedte [m])	6 hokken van 6,50 m x 2,30 m = 14,95 m ² en 1 rest hok van 6,50 m x 1,60 m = 10,40 m ²	8 hokken van 2,78 m x 3,38 m = 9,39 m ²
Leef oppervlak (m ² per big)	0,49 m ²	0,47 m ²
Vloertype	80% dichte vloer met strooisel en 20% metalen driekantsroosters	100% kunststof roostervloer
Mestsysteem	Mestkanaal met V-vormige vloer en schuifsysteem onder rooster	Mestkelder van 80 cm diep
Ventilatie	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Grondbuisventilatie waarbij de verse lucht via de spouw de afdeling betreed	Grondkanaalventilatie
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 560 mm	1 ventilator met een diameter van 500 mm
Voersysteem en voertijden	Ad libitum (6 vreetplaatsen)	Ad libitum (4 vreetplaatsen)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (6 drinknippels)	Onbeperkt (2 drinkbakjes, 1 nippel)

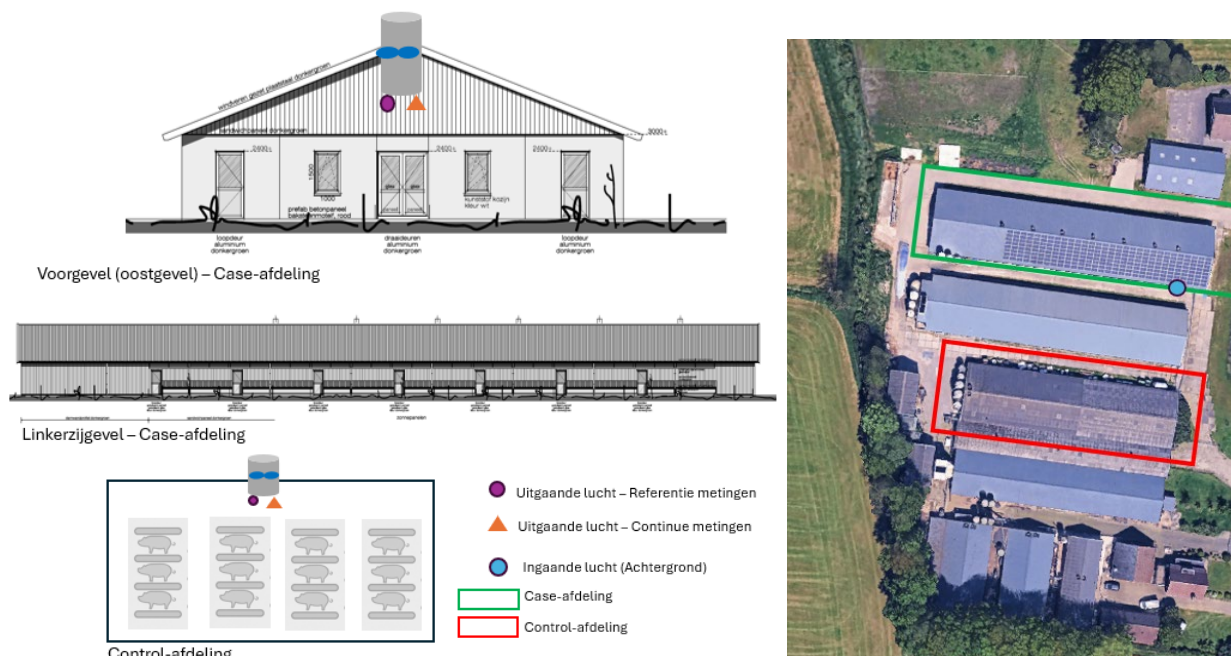
3.2 Waarnemingen en metingen

3.2.1 Protocollaire emissiemetingen (referentiemetingen)

Er zijn protocollaire emissiemetingen in twee verschillende afdelingen met gespeende biggen volgens het case-control principe uitgevoerd in de periode van oktober 2023 t/m december 2024, zoals aangegeven in Tabel 2. Tijdens zes meetperioden verdeeld over het jaar zijn emissies van ammoniak (Ogink et al., 2017), methaan (Groenestein et al., 2011), lachgas (Mosquera et al., 2010), geur (Ogink, 2011) en fijnstof (Ogink et al., 2010) volgens meetprotocollen gemeten. Voor gespeende biggen werd vanwege groei van de biggen een toenemende emissie verwacht gedurende een ronde (Ogink et al., 2017). Volgens het protocol van Ogink et al. (2017) dienen de metingen in opeenvolgende tweemaandelijks periodes te worden uitgevoerd. Aanvullend geldt de voorwaarde dat binnen elke bedrijfslocatie de metingen zodanig verdeeld zijn dat de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de productieperiode valt. De metingen in het tweede deel van de productieperiode dienen gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld. Tijdens alle metingen werd aan de landbouwkundige randvoorwaarden voor gespeende biggen gehouden, deze zijn weergegeven in Bijlage B van het meetprotocol (Ogink et al., 2017) en Bijlage VI van deze rapportage. Dit houdt onder andere in dat vooraf elke protocollaire meting in de afdelingen de dierbezetting minimaal 90% was, de CO₂ concentratie lager dan 3000 ppm was en het uitval percentage niet hoger was dan 10% (Bijlage VI).

3.2.2 Meetpunten

De proef- en controlestallen lagen naast elkaar en daarom is ervoor gekozen om op één punt de ingaande lucht (achtergrondconcentratie) te bemonsteren. De ingaande lucht (achtergrondconcentratie) werd tijdens protocollaire metingen bemonsterd op het punt waar de luchtstroom de proefafdeling binnen trad (Figuur 5). De uitgaande lucht werd voor zowel de proef- als de controleafdeling voor de continue metingen en de protocollaire metingen bemonsterd bij het afzuigpunt in de ventilatiekoker van de desbetreffende afdeling, zoals schematisch weergegeven in Figuur 5. Om lucht tijdens de protocollaire metingen te bemonsteren zijn voorafgaand aan de metingen leidingen aangebracht op de bemonsteringspunten voor in- en uitgaande lucht.



Figuur 5 Meetpunten ingaande en uitgaande lucht voor proef- en controleafdeling (in de figuur weergegeven als case- en control-afdeling).

3.2.3 Ammoniak metingen

De ingaande lucht (achtergrondconcentratie) en de uitgaande lucht werden volgens protocol in duplo gemeten (Ogink et al., 2017). Het luchtmonster werd gedurende 24 uur door middel van de PE leidingen en een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) onder een bekende luchtstroom (tussen 0,5-1,0 l/min) door kritisch capillairen en drie wasflessen getrokken (Figuur 6). De eerste opvangfles bevatte 100 ml 0,05 M salpeterzuur om ammonium op te vangen. De tweede fles bevatte 100 ml 0,05 M salpeterzuur om ammonium op te vangen, welke door verzadiging niet in de eerste fles opgevangen werd. De derde fles was leeg en fungeerde als opvangfles voor mogelijk gevormd vocht gedurende de meting, zodat deze niet de pomp bereikte. Door middel van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA) werd voor en na elke meting de luchtsnelheid gemeten en genoteerd (Figuur 6). De 24-uurs luchtmonsters werden in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR) geanalyseerd volgens de spectrometrie methode (Mosquera et al., 2021).



Figuur 6 Meetopstelling ammoniakmetingen. Links: Wasflessen. Rechts: Flowmeter (foto's van Groenestein et al., 2011).

3.2.4 Methaan en lachgas metingen

Door middel van de zogenaamde longzakmethode werd de in- en uitgaande lucht 24 uur in duplo bemonsterd gedurende alle meetperiodes (Groenestein et al., 2011) (Figuur 6). De PE leidingen werden aangesloten op een vat. In dit afgesloten vat werd voor luchtmonstering een vacuüm getrokken in een 40 liter zak. Door middel van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) werd met een bekende luchtstroom (0,020 L/min) onderdruk in het vat gecreëerd, waardoor het luchtmonster de zak in gezogen werd. De 24-uurs luchtmonsters werden in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR) met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂), Haysep Q (N₂O); detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: HWD) bepaald.



Figuur 7 Meetopstelling van de longzakmethode. Links: Container met 40 liter monsternazak. Midden: Een vacuüm getrokken 40 liter monsternazak. Rechts: pomp, monsternazakleiding en kritische openingen (foto's van Groenestein et al., 2011).

3.2.5 Geurmetingen

Door middel van de zogenaamde longzakmethode werd de uitgaande lucht van alleen de proefafdeling 2 uur tussen 10:00 en 12:00 uur in duplo bemonsterd tijdens alle meetmomenten (Ogink, 2011). De PTFE (Teflon) leidingen werden aangesloten op een vat. In dit afgesloten vat werd voor luchtmonstering een vacuüm getrokken in een 40 liter zak (Figuur 8). Voordat de lucht het vat werd ingezogen werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 micrometer, Savlixxex ® Corp., Minnetonka, VS). Door middel van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) werd met een bekende luchtstroom (0,4 L/min) onderdruk in het vat gecreëerd, waardoor het luchtmonster de zak in gezogen werd. De geurmonsters werden binnen 24 uur geanalyseerd door een geaccrediteerd geurlaboratorium (Buroblauw) waar geuranalyses werden uitgevoerd volgens EN13725.

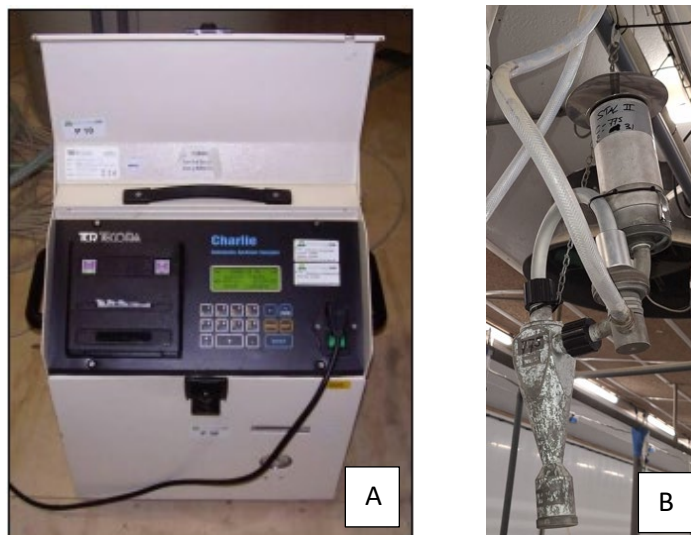
Er werd geen geurmeting uitgevoerd van de ingaande lucht, omdat er geen omgevingsbronnen in de buurt waren welke de geur van de achtergrond mogelijk zouden beïnvloeden.



Figuur 8 Meetopstelling geurmetingen. Container met 40 liter monsternazak met aangekoppeld een Teflon leiding met een stoffilter (foto van Groenestein et al., 2011).

3.2.6 Fijnstofmetingen

De fijnstofconcentratie werd van de ingaande en uitgaande lucht van enkel de proefafdeling gemeten. De lucht werd door middel van gevlochten PVC slangen gedurende 24 uur in duplo bemonsterd, waarbij de stofdeeltjes kleiner dan 10 μm afgevangen werden op een filter. De grotere stofdeeltjes werden vooraf met behulp van een cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS) afgescheiden (Zhao et al., 2009) (Figuur 9). De luchtsnelheid rond de sampler werd niet hoger dan 2,0 m/s (Ogink et al., 2010). Door een geaccrediteerd bureau (Buroblauw) werden de filters gewogen en de concentratie van fijnstof werd in een geconditioneerde weegkamer bepaald door gravimetrische analyses welke werden uitgevoerd conform NEN-EN 12341.



Figuur 9 Apparatuur voor bemonsteren van PM10. A = De 'constant flow' monsternamerpomp (foto van Mosquera et al., 2011); B = PM10 cycloon constructie.

3.2.7 Continue metingen

Voor continue metingen werden SlimmeStal sensoren gebruikt om inzicht te krijgen in het dagelijkse verloop van de concentraties en emissies (Figuur 10). Sensoren aan de SlimmeStal waren de DOL53 voor het continu meten van NH_3 (in ppm), de DOL119 voor het continu meten van CO_2 (in ppm) en de DOL114 voor het continu meten van temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) en luchtvochtigheid (in %). De sensoren hingen onder de ventilatiekoker om de uitgaande lucht te bemeten, zoals eerder aangegeven in Figuur 5. Elke tien minuten werden de sensordata gelogd in de cloud, welke kon worden gevolgd op het dashboard van de SlimmeStal. Vanuit het dashboard kon een geselecteerde periode aan data gedownload worden in de vorm van een CSV-file. De continue metingen werden vergeleken met de 24-uurs protocollaire metingen ter validatie van de sensordata en om inzicht te krijgen in het dagelijkse emissiepatroon.



Figuur 10 SlimmeStal sensor set (foto bron: Van Assendelft Fotografie).

3.2.8 Ventilatie-debiet

De klimaatinstellingen met betrekking tot ventilatie minimum, ventilatie maximum, temperatuurcurve en bandbreedte voor de proef- en controleafdeling zijn weergegeven in Bijlage VII. Tijdens de metingen bleek dat de ventilatiegegevens tijdens een aantal meetrondes niet correct werden vastgelegd. Om de beschikbare ventilatiegegevens in alle afdelingen gedurende de meetdagen te standaardiseren met een vergelijkbare methode, werd de CO₂-massabalansmethode gebruikt in alle meetrondes. De berekeningsmethode en de aannames worden hieronder toegelicht.

CO₂-massabalans methode

De CO₂-massabalans methode is een veelgebruikte techniek voor het schatten van het ventilatie-debiet. Dit is een alternatieve methode voor het vaststellen van ventilatiehoeveelheden in plaats van meetmethoden zoals meetwaaiers voor mechanisch geventileerde stallen en de tracergas methode voor natuurlijk geventileerde stallen (Mosquera et al., 2012; Sefeedpari et al., 2024). De CO₂-massabalans methode is gebaseerd op een indirecte bepaling van het ventilatie-debiet aan de hand van gemeten CO₂-concentraties in de aan- en afvoerlucht van de te bemeten afdeling en een schatting van de CO₂-productie van de dieren met behulp van een aantal rekenregels. Deze rekenregels zijn afkomstig van een CIGR (Commission Internationale du Génie Rural) 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 vlees (CIGR, 2002).

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

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

waarbij,

- Q_{tot} is de warmteproductie van de gespeende biggen (W)
- m is het gewicht van de varkens op de meetdag.
- n is het voerniveau uitgedrukt in n maal de onderhoudsenergiebehoefte. Voor gespeende biggen is dit: $Q_m = 7,4 m^{0,66}$ (W). Voor biggen werd voor n een constante waarde van 3 toegepast gebaseerd op CIGR (2002) waarbij de n 3 was aan het begin van een vleesvarkensronde.

Het gewicht van gespeende biggen werd geschat met behulp van een lineaire groei van 420 g/dag. Deze groei is gebaseerd op bedrijfsgegevens, namelijk de gestandaardiseerde groei (van 8 tot 25 kg) van een kalenderjaar van het bemeten bedrijf.

In deze studie werd onderscheid gemaakt tussen CO₂-productie in de proefafdeling en de controleafdeling. In de proefafdeling is de mest gerelateerde CO₂-productie verwaarloosbaar vanwege de primaire scheiding van feces en urine onder de roostervloer waarbij werd uitgegaan van geen bevuilding van het strooisel. Zoals hierboven vermeld, wordt in de proefafdeling geen significante CO₂-productie van het strooisel verwacht. In de controleafdeling is de CO₂-productie op stalniveau voor de gespeende biggen bepaald aan de hand van de conversie rekenregels van warmteproductie naar CO₂-productie volgens Pedersen et al. (2008) (Eq. 2).

$$PCO_2 = PCO_{2,hpu} \cdot \frac{Q_{tot}}{1000} \quad (2)$$

waarbij,

- PCO_2 is de CO₂ productie van de gespeende biggen (m³/uur per dier) (0,170 m³/(u hpu) (heat production unit) op dier-niveau bij de proefafdeling en 0,185 m³/(u hpu) (heat production unit)] op afdelingsniveau bij de controleafdeling (dier en mest) (Pedersen et al., 2008).

Het ventilatie-debiet werd bepaald door de CO₂-concentraties in de luchtinlaat en -uitlaat van de stal te meten volgens de referentiemethode. De totale CO₂-productie werd berekend door de CO₂-productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal dieren in de stal. Vervolgens werd het ventilatie-debiet (V) berekend met een specifieke formule (Eq. 3).

$$V = \frac{PCO_2}{([CO_2]_{uitlaat} - [CO_2]_{inlaat}) \times 10^{-6}} \times \text{aantal aanwezige dieren} \quad (3)$$

waarbij,

- V is het ventilatiedebiet (m^3/uur)
- PCO_2 : CO_2 -productie [m^3/uur per dier (F. 3)]
- $[\text{CO}_2]_{\text{uitlaat}}$: CO_2 -concentratie (ppm) van de uitgaande stallucht
- $[\text{CO}_2]_{\text{inlaat}}$: CO_2 -concentratie (ppm) van de ingaande stallucht

3.2.9 Overige metingen

Hokbevuiling

In een schematische plattegrond van de proefafdeling werd voor en na elke 24-uurs emissiemeting de hokbevuiling door mest en urine ingetekend. Het scoren van hokbevuiling is tijdens elke meetronde in alle hokken van de proefafdeling gedurende de gehele meetperiode door dezelfde persoon uitgevoerd. Het formulier dat hiervoor werd gebruikt, is opgenomen in Bijlage VIII. In de controleafdeling is geen hokbevuiling gescoord, omdat deze een volledige roostervloer had.

Mestsamenstelling

Er zijn geen mestmonsters genomen, omdat er bij zowel de proef als de controleafdeling geen representatief monster van urine en feces genomen kon worden.

3.3 Berekening van de emissies en de reducties

Hieronder worden berekeningen van reducties en emissies toegelicht. Om een emissiefactor te berekenen zijn protocollaire metingen volgens het case-control principe nodig van minimaal twee bedrijven voor ammoniak (Ogink et al., 2017), methaan (Groenestein et al., 2011) en lachgas (Mosquera et al., 2010). Voor geur (Ogink, 2011) en fijnstof (Ogink et al., 2010) zijn hiervoor vier bedrijven nodig met protocollaire metingen volgens het case-control principe. In deze rapportage is één bedrijf bemeten, hierom wordt de term 'bedrijfsemissiefactor' gebruikt om de berekende emissies aan te duiden voor enkel dit bemeten bedrijf met het nieuwe wroetstelsysteem. De berekende reducties worden vergeleken tussen proef- en controleafdeling volgens het case-control principe, en daarnaast vergeleken met de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' uit de voormalige Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling) (zie Bijlage I) om een beeld te schetsen van de reductie van het vernieuwde wroetstelsysteem op het in dit rapport bemeten bedrijf in vergelijking met het bestaande standaardstelsysteem voor gespeende biggen. Ten slotte wordt de emissiefactor van het bedrijf bepaald door de gemiddelde emissiereductie van dit bedrijf en de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' uit bijlage V van de Omgevingsregeling (voor NH_3 , PM_{10} en geur) en de emissie van het systeem dat toegepast is in de controle (voor methaan en lachgas) (Winkel et al., 2024).

3.3.1 Ammoniak, methaan en lachgas

De bedrijfsemissiefactoren voor ammoniak, methaan en lachgas zijn uitgedrukt in $\text{kg NH}_3/\text{dierplaats per jaar}$, $\text{kg CH}_4/\text{dierplaats per jaar}$ en $\text{kg N}_2\text{O}/\text{dierplaats per jaar}$. Dit werd berekend volgens een case-control principe:

- Voor verdere berekeningen werden de duplo metingen per meetmoment en afdeling (proef of controle) eerst gemiddeld. Bij een verschil tussen duplo's van NH_3 van meer dan 15%, werden de metingen vergeleken met de continue data van de SlimmeStal sensoren welke gemiddeld werd voor dezelfde 24 uur als de protocollaire meting ter vergelijking. Alle waargenomen verschillen bleven binnen de acceptabele afwijking van 15%, wat duidt op een goede overeenkomst tussen de duplometingen.
- Er werden geen continue metingen uitgevoerd van de CH_4 en N_2O concentraties. Echter gold hiervoor ook een uitbijter test, waarbij duplo's maximaal 15% van elkaar mochten afwijken. Wanneer de duplo's niet binnen 15% verschil van elkaar vielen, werd de meting uit de dataset verwijderd. Alle waargenomen verschillen bleven binnen de acceptabele afwijking van 15%, wat duidt op een goede overeenkomst tussen de duplometingen.

- Vervolgens zijn de emissies voor de proef en controleafdeling berekend met de gemiddelde duploconcentraties en de berekende ventilatiedebieten (Eq. 4). Hiervoor zijn de concentraties gemeten in ppm omgerekend naar mg/m³ met de omrekeningsfactoren in Tabel 3. De conversie van concentraties van ppm naar mg/m³ is gebaseerd op een standaardtemperatuur van 20 °C en een atmosferische druk van 1 atmosfeer. Daarnaast zijn de concentraties gecorrigeerd voor de in-situ temperatuur in de stal op basis van de gemeten waarden van sensoren.

Tabel 3 Omrekeningsfactoren voor de verschillende gassen voor ppm naar mg/m³ (Sefeedpari et al., 2024).

Gas	Omrekeningsfactor
NH ₃	0,71
CH ₄	0,67
N ₂ O	1,83
CO ₂	1,83

$$E_{ij} = (C_{outt_{ij}} - C_{inij}) \cdot V_{ij} \cdot 24 \cdot 365 / 10^6 \quad (4)$$

- E_{ij} is de emissie van ammoniak, methaan en lachgas in afdeling i bij meting j (kg/jaar per dierplaats)
- $C_{outt_{ij}}$ is de concentratie van NH₃, CH₄ en N₂O in de uitgaande lucht (mg/m³)
- C_{inij} is de concentratie van NH₃, CH₄ en N₂O in de inkomende lucht (mg/m³)
- V_{ij} is het gemiddelde ventilatie debiet (m³/uur per dierplaats)
- 24 maal 365 gedeeld door 10⁶ is een conversiefactor voor mg/uur naar kg/jaar
- i is afdeling (case (proef)/control (controle)); j is meting (1, ..., 7)
- De berekende emissie werd vervolgens vermenigvuldigd met een correctiefactor van 0,91 om te corrigeren voor een leegstandsfactor van 9% voor gespeende biggen (Groenestein & Aarnink, 2008).

- De reductie per meetdag werd als volgt berekend (Eq. 5):

$$Reductiepercentage = [1 - (Emissie_{proef} / Emissie_{controle})] * 100 \quad (5)$$

- Vervolgens werd een bedrijfsemissiefactor berekend voor ammoniak met de berekende reductiepercentages in Eq. 5 en de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' uit bijlage V van de Omgevingsregeling (zie Bijlage I). De bedrijfsemissiefactor werd berekend op basis van het gemiddelde reductiepercentage van alle resultaten van alle meetdagen.
- Op basis van de meetresultaten uit dit onderzoek werd een bedrijfsemissiefactor voor methaan en lachgas enkel vastgesteld voor de proefafdeling van de onderzochte varkensstal. Dit komt doordat er geen emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' bestaat voor deze broeikasgassen.

3.3.2 Geur en fijnstof

De bedrijfsemissiefactor voor geur werd uitgedrukt in OUE/s per dierplaats en fijnstof in gram per dierplaats per jaar. Dit werd alleen voor de proefafdeling gemeten en berekend:

- Voor verdere berekeningen werden de duplo metingen per meting eerst gemiddeld.
- Voor de concentraties van geur en fijnstof was een groter verschil dan 15% tussen duplo's waarschijnlijk. Hiervoor gold daarom de uitbijter test van 15% zoals in paragraaf 3.3.1 beschreven niet. Er zijn daarom geen uitbijters verwijderd.
- Reductiepercentages werden bepaald door een vergelijking te maken met de huidige emissiefactoren voor geur en fijnstof op basis van de referentie-emissie zoals is vastgelegd voor gespeende biggen onder 'Overige huisvestingssystemen' in de (voormalige) Rav-lijst (nu: bijlage V van de Omgevingsregeling) (RVO, 2020). Dit komt doordat geur en PM10 niet zijn gemeten in de controleafdeling. Op basis van de meetresultaten uit dit onderzoek werd een bedrijfsemissiefactor voor geur en fijnstof vastgesteld voor de proefafdeling van de onderzochte varkensstal.

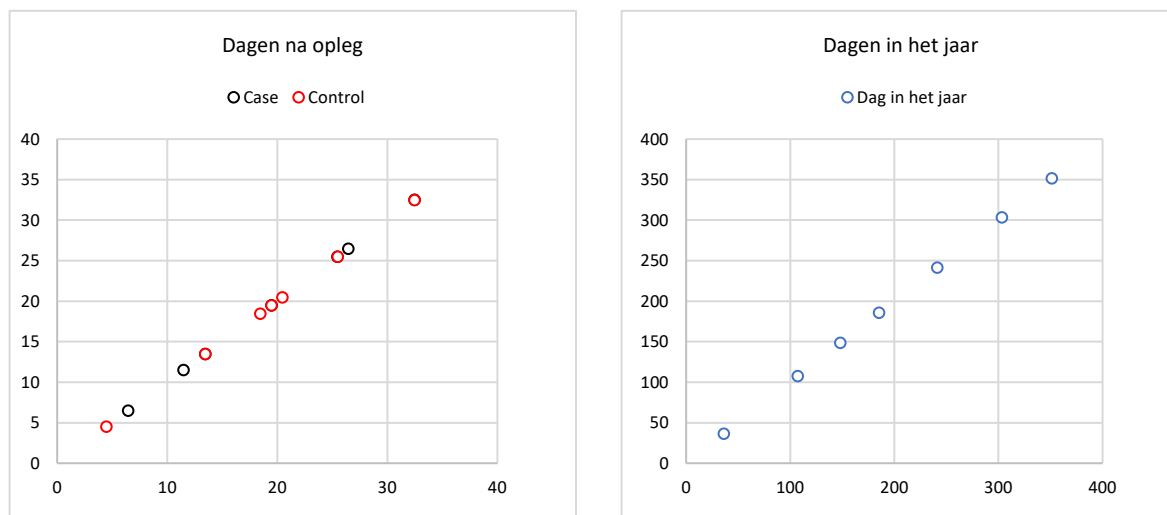
4 Resultaten

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van protocollaire emissiemetingen van ammoniak, methaan, lachgas, geur en fijnstof en de berekende emissiereducties. Paragraaf 4.1 geeft de berekende emissies en reducties (%) vanuit de protocollaire metingen per afdeling weer. Paragraaf 4.2 geeft resultaten van de gescoorde hokbevuiling van de proefafdeling. Paragraaf 4.3 geeft een overzicht van de continu gemeten emissies in zowel de proef- als de controleafdeling gecombineerd met de meetwaarden van de protocollaire metingen in duplo. De duplo gemeten concentraties en de kenmerken van de meetrondes (aantal dieren en diergewichten) tijdens protocollaire metingen zijn voor de proefafdeling weergegeven in Bijlage IX en voor de controleafdeling in Bijlage X. Een overzicht van de berekende emissies en reducties (%) zijn voor de proefafdeling weergegeven in Bijlage XI en voor de controleafdeling in Bijlage XII.

4.1 Protocollaire metingen

4.1.1 Verdeling van referentie meetdagen

De verdeling van de meetdagen over het jaar en de leeftijd van de biggen in het groeitraject tijdens de metingen is weergegeven in Figuur 11. Er zat vanwege de bedrijfsvoering ongeveer 1 week leeftijdsverschil tussen de oplegdatum van de biggen van de proef- en controleafdeling.



Figuur 11 De verdeling van de meetdagen over het jaar en de leeftijd van de biggen in het groeitraject tijdens de meetdagen voor de proef- (in de figuur weergegeven als 'case') en controleafdeling (in de figuur weergegeven als 'control').

4.1.2 Berekende emissies en reducties protocolaire metingen

Voor de ammoniakemissie is een reductiepercentage van 79,4% ten opzichte van de waarde uit de (voormalige) Rav-lijst (nu: Bijlage V uit de Omgevingswet) (Bijlage I) en een bedrijfsemissiefactor van 0,26 kg/jaar per dierplaats gevonden (Tabel 4). Dit is een aanzienlijke vermindering van ammoniakemissie in de proefafdeling. De absolute emissie voor de controleafdeling was gemiddeld ($\pm$ de standaarddeviatie tussen metingen) $0,42 \pm 0,1$ kg/jaar per dierplaats. De controleafdeling had daarmee een reductiepercentage van 39,2% ten opzichte van de waarde uit Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I). In Figuur 12 is te zien dat zowel in de proef- als controleafdeling elke meting emissies gemeten zijn die lager waren dan de waarde uit Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I). De ammoniakemissie van de proefafdeling was tijdens de verschillende metingen in de meetperiode stabiel, waarbij relatief weinig variatie tussen metingen gevonden is. Terwijl voor de controleafdeling meer variatie in ammoniakemissie tijdens de verschillende metingen gevonden is (Figuur 12).

Het reductiepercentage voor methaanemissie was 97,8% ten opzichte van de controleafdeling waarmee een bedrijfsemissiefactor is gevonden van 0,20 kg/jaar per dierplaats (Tabel 4). De controleafdeling had gemiddeld een methaanemissie van $8,93 \pm 0,9$ kg/jaar per dierplaats en liet daarmee relatief meer variatie zien in methaanemissie tussen metingen gedurende de meetperiode. In de proefafdeling is een relatief stabiele methaanemissie gemeten met gemiddeld $0,20 \pm 0,1$ kg/jaar per dierplaats (Figuur 13).

Met betrekking tot lachgasemissie, is een reductiepercentage gevonden van 97,6% ten opzichte van de controleafdeling. De bedrijfsemissiefactor voor lachgas is hiermee vastgesteld op 6,07 g/dierplaats per jaar (Tabel 4). In de controleafdeling is een gemiddelde lachgasemissie van $226 \pm 57,8$ g/dierplaats per jaar gevonden. In Figuur 14 is te zien dat de lachgasemissie gedurende de meetperiode relatief veel varieerde in de controleafdeling. Dit is terug te zien in de minimum en maximum lachgasemissie die gemeten is van 141 en 326 g/jaar per dierplaats in de controleafdeling (Tabel 4).

Voor de geuremissie was het reductiepercentage 36,9% met een bedrijfsemissiefactor van 4,92 OU_E/s per dierplaats (Tabel 4). De geuremissie varieerde gedurende de gehele meetperiode (de standaarddeviatie tussen metingen van 2,1 OU_E/s per dierplaats), waarbij eenmalig hogere emissie in mei gemeten is ten opzichte van de waarde uit Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I) (Figuur 15).

Er is een negatief reductiepercentage gevonden van -141% gevonden voor fijnstofemissie ten opzichte van de waarde uit Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I) (Tabel 4). Dit geeft aan dat er geen reductie van fijnstof is, maar een toename. De vastgestelde bedrijfsemissiefactor is 178 g/jaar per dierplaats. De standaarddeviatie tussen metingen was 53,9 g/jaar per dierplaats. In Figuur 16 is te zien dat de gemeten fijnstofemissie tijdens elke protocolaire meting boven de waarde uit Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I) uit kwam.

Klimaatgegevens laten zien dat de gemiddelde temperatuur in de proefafdeling $22,3 \pm 1,0$ °C en in de controleafdeling $26,0 \pm 1,2$ °C was. Daarnaast was de luchtvochtigheid in de afdelingen $68,9 \pm 5,0$ % in de proef en $72,1 \pm 7,7$ % in de controleafdeling. Er werd gemiddeld hoger geventileerd in de proef t.o.v. de controleafdeling (Tabel 4).

Tabel 4 Gemiddelde (standaard deviatie tussen metingen) van de gemeten temperatuur (°C), relatieve vochtigheid (%), ventilatie (m³/uur per dpl), emissies van ammoniak en methaan in (kg/jaar per dpl), lachgas en fijnstof in (g/jaar per dpl) en geur in (OUE/s per dpl) per proef en controleafdeling, de reductie percentages t.o.v. de controleafdeling en t.o.v. de emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen van Bijlage V uit de Omgevingswet en de berekende bedrijfsemissiefactor van het vernieuwde wroetstalsysteem voor gespeende biggen (kg/jaar per dierplaats).

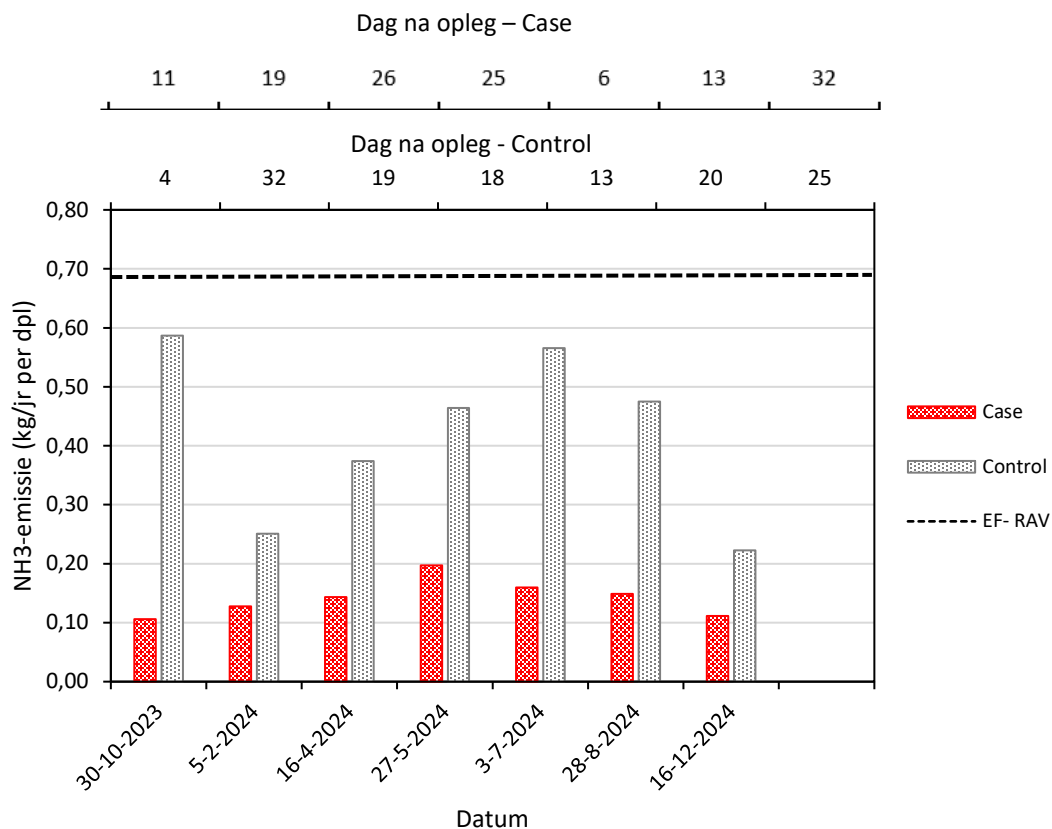
Component	Proef			Controle			Reductie t.o.v. controle (%)	Reductie t.o.v. Bijlage V* (%)	Reductie controle t.o.v. Bijlage V* (%)	Bedrijfsemissiefactor
	Gemiddelde (SD)	Minimum	Maximum	Gemiddelde (SD)	Minimum	Maximum				
Temperatuur (°C)	22,3 (1,0)	21,5	24,5	26,0 (1,2)	24,3	27,5	-	-	-	-
Relatieve luchtvochtigheid (%)	68,9 (5,0)	60,2	76,8	72,1 (7,7)	60,6	85,6	-	-	-	-
Ventilatie (m ³ /uur per dpl)****	20,9 (10,3)	10,7	34,3	14,1 (8,7)	6,10	30,8	-	-	-	-
NH ₃ (kg/jaar per dpl)	0,14 (0,0)	0,10	0,20	0,42 (0,1)	0,22	0,59	62,9%	79,4%	39,2%	0,26
CH ₄ (kg/jaar per dpl)	0,20 (0,1)	0,11	0,30	8,93 (0,9)	7,71	10,4	97,8%	-	-	0,20
N ₂ O (g/jaar per dpl)	6,07 (6,2)	0,0**	16,8	226 (57,8)	141	326	97,6%	-	-	6,07
Geur (OUE/s per dpl)	4,92 (2,1)	2,56	9,07	-	-	-	-	36,9%	-	4,92***
Fijnstof (g/jaar per dpl)	178 (53,9)	103	256	-	-	-	-	-141%	-	178***

* Bijlage V = de waarde van Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I uit dit rapport)

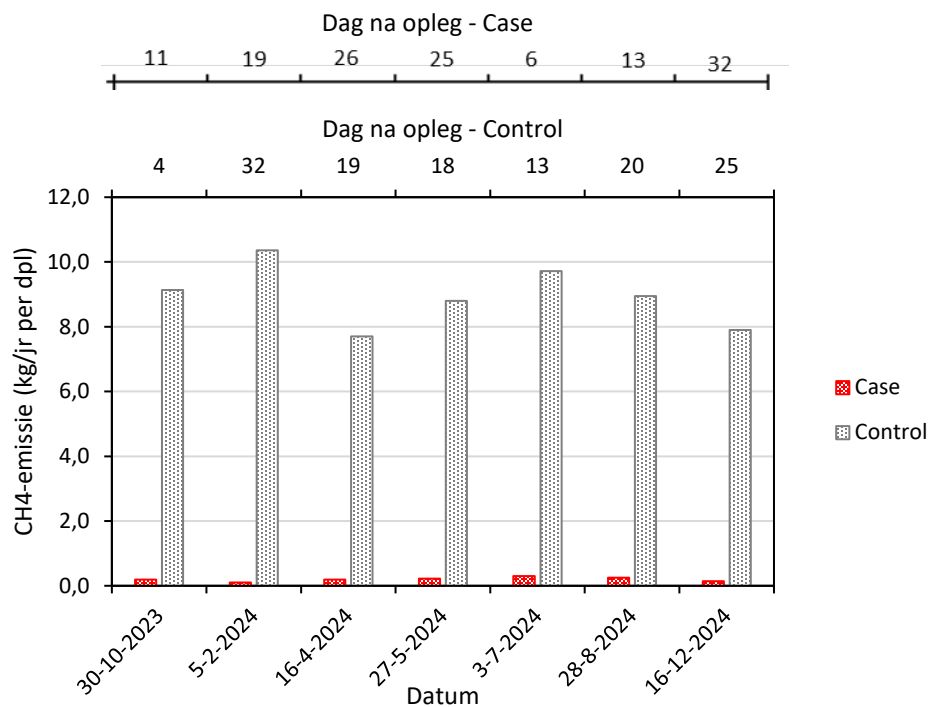
** De concentraties van N₂O te laag waren om een nauwkeurige schatting van de emissie te bepalen.

*** Er zijn geen metingen van geur en fijnstof bij de controleafdeling uitgevoerd

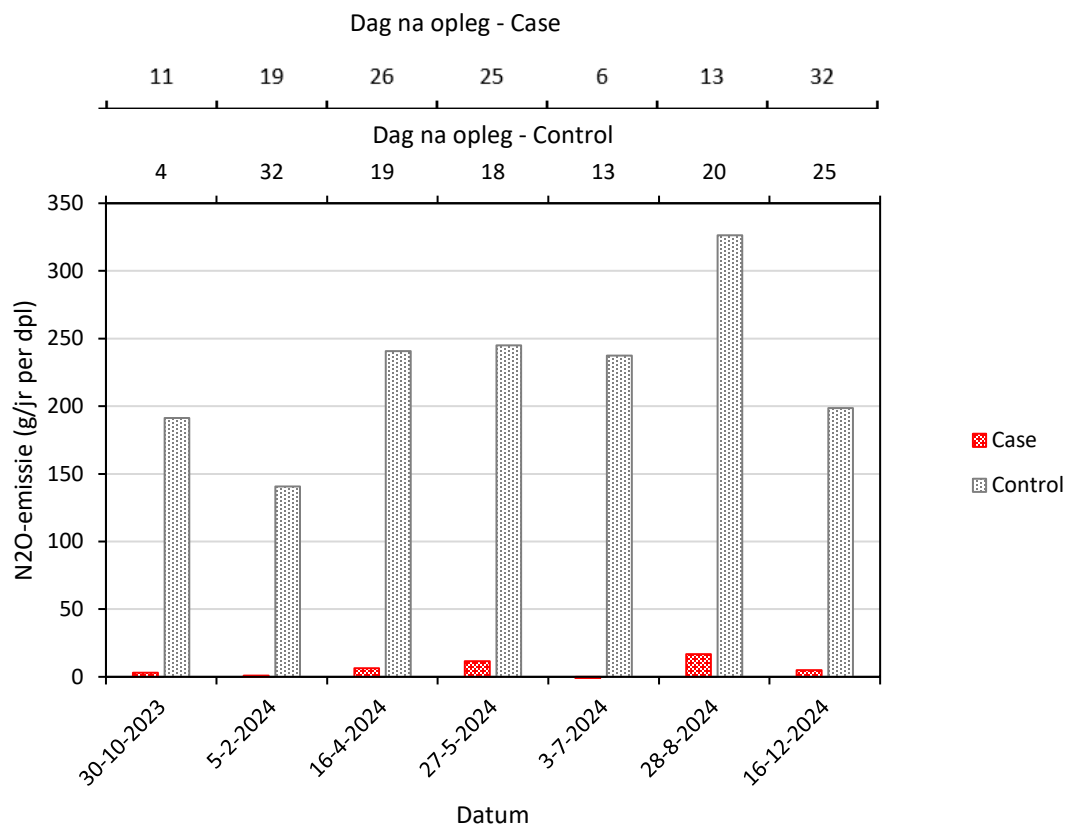
**** Alle ventilatiewaarden zijn geschat door middel van de CO₂-massabalans methode



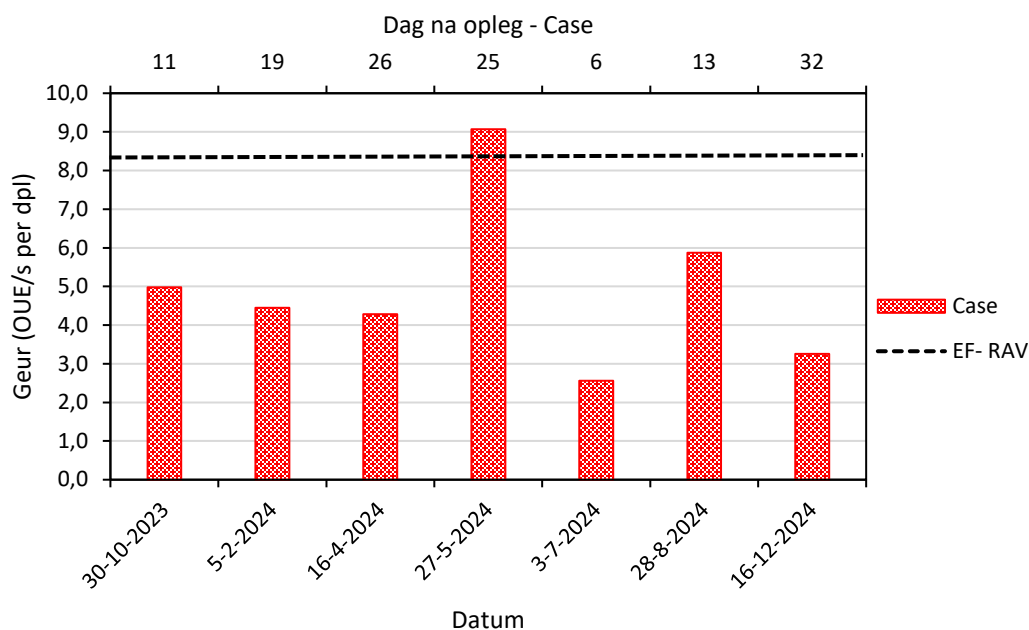
Figuur 12 Ammoniakemissie (kg/dpl per jaar) van de gemeten proef en controleafdeling weergegeven per protocollaire meting. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. Boven de grafiek is met lijnen de leeftijd in de dag vanaf opleg weergegeven. De stippellijn geeft de voormalige Rav-emissiefactor (nu: Bijlage V uit de Omgevingswet) voor Overige huisvestingssystemen weer.



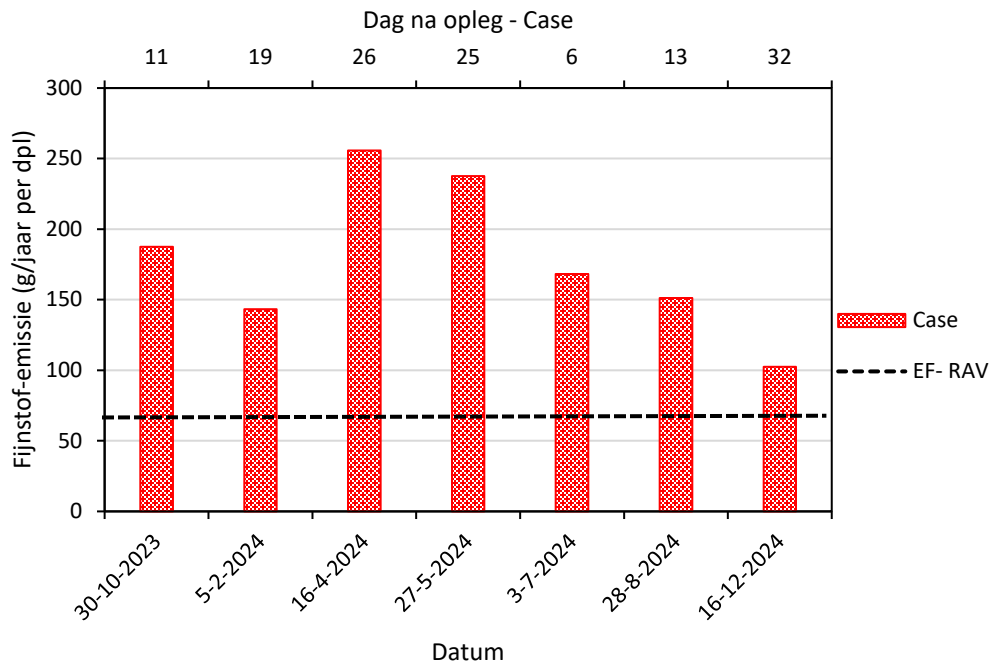
Figuur 13 Methaanemissie (kg/dpl per jaar) van de gemeten proef en controleafdeling weergegeven per protocollaire meting. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. Boven de grafiek is met lijnen de leeftijd in de dag vanaf opleg weergegeven.



Figuur 14 Lachgasemissie (g/dpl per jaar) van de gemeten proef en controleafdeling weergegeven per protocollaire meting. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. Boven de grafiek is met lijnen de leeftijd in de dag vanaf opleg weergegeven.



Figuur 15 Geuremissie (OUE/s per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case'. Boven de grafiek is met een lijn de leeftijd in de dag vanaf opleg weergegeven. De stippellijn geeft de voormalige Rav-emissiefactor (nu: Bijlage V uit de Omgevingswet) voor Overige huisvestingssystemen weer.



Figuur 16 Fijnstofemissie (g/jaar per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case'. Boven de grafiek is met een lijn de leeftijd van de dag vanaf opleg weergegeven. De stippellijn geeft de voormalige Rav-emissiefactor (nu: Bijlage V uit de Omgevingswet) voor Overige huisvestingssystemen weer.

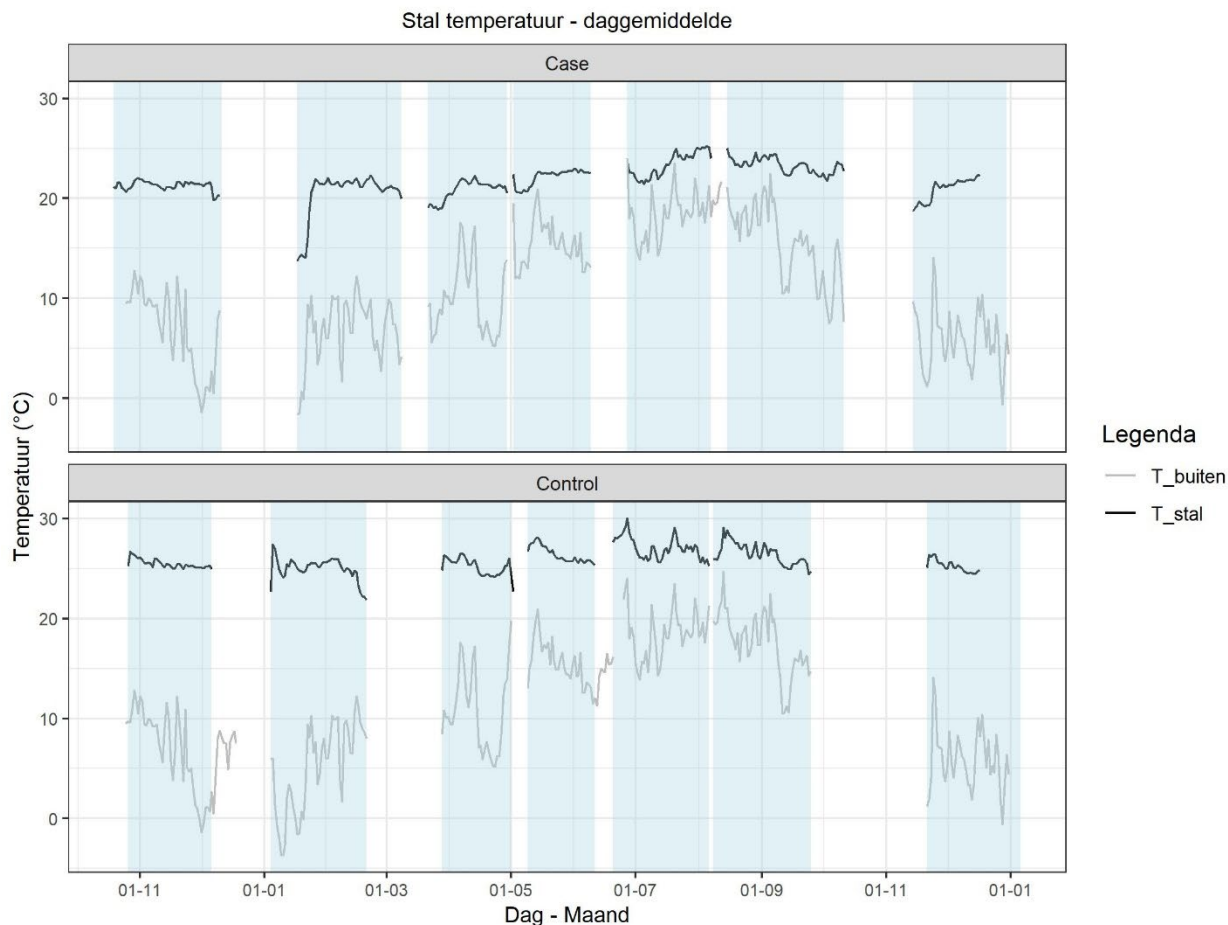
4.2 Hokbevuiling

De gemiddelde hokbevuiling van de proefafdeling was verwaarloosbaar dit betekent dat er geen zichtbare hokbevuiling was van de dichte vloer met feces of urine gedurende de meetperiode.

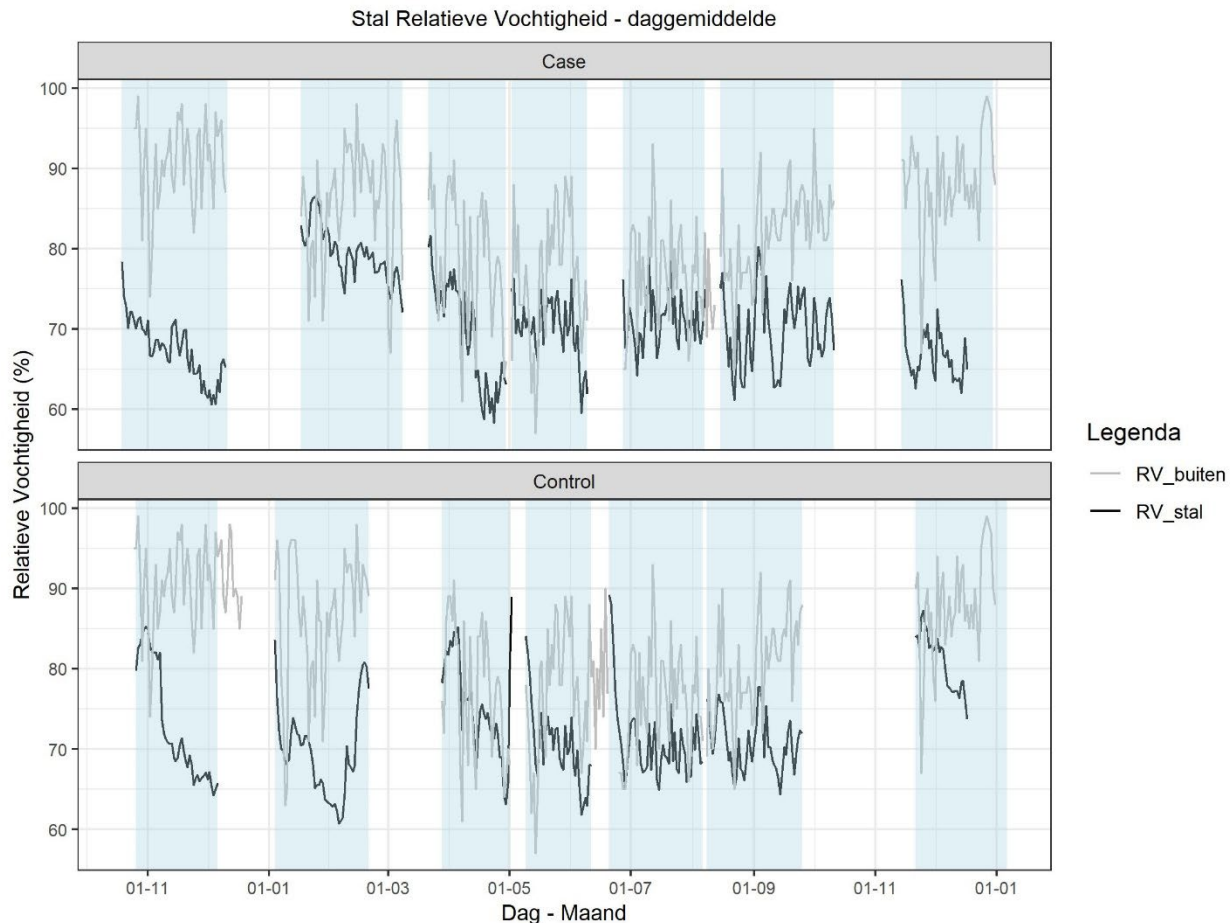
4.3 Continue metingen

De gemiddelde temperatuur in de proefafdeling was $22,3 \pm 1,0$ °C en $26,0$ °C $\pm 1,2$ in de controleafdeling (Tabel 4). Het verloop van de temperatuur zowel in de stallen als buiten zijn weergegeven in Figuur 17. De onderbrekingen in de figuur duiden op momenten van leegstand tussen biggenrondes. Temperaturen in de proefafdeling waren minimaal $21,5$ °C en maximaal $24,5$ °C, en in de controleafdeling waren deze minimaal $24,3$ °C en maximaal $27,5$ °C (Tabel 4).

De gemiddelde luchtvochtigheid in de proefafdeling was $68,9 \pm 5,0$ % en $72,1 \pm 7,7$ % in de controleafdeling (Tabel 4). Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid van zowel in de stallen als buiten zijn weergegeven in Figuur 18. Hierbij duiden de onderbrekingen in de figuur op momenten van leegstand tussen biggenrondes. In de proefafdeling was de relatieve luchtvochtigheid minimaal $60,2$ % en maximaal $76,8$ %, voor de controleafdeling was dit minimaal $60,6$ % en maximaal $85,6$ % (Tabel 4).

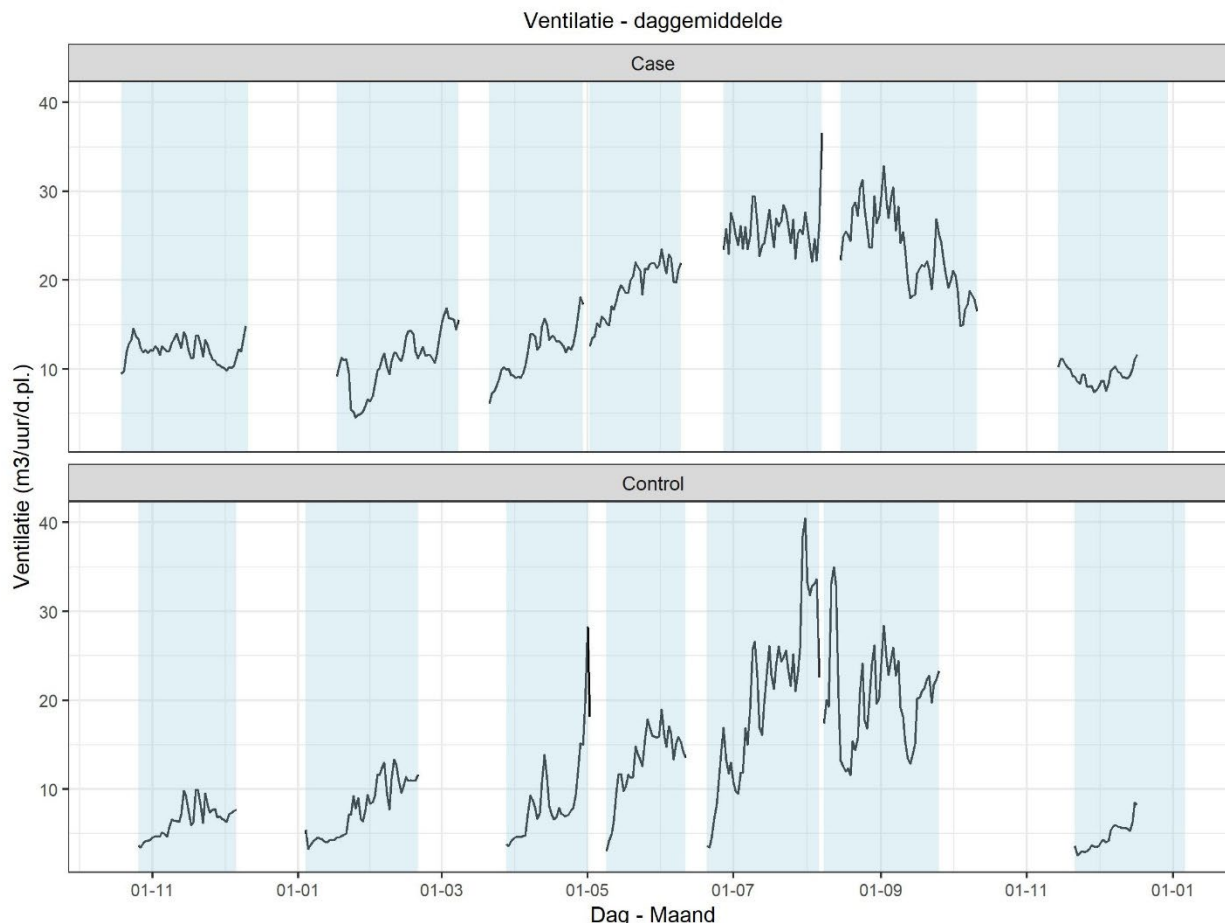


Figuur 17 Daggemiddelde verloop van temperatuur gedurende de meetperiode in de proef- en controleafdeling, en buiten. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.



Figuur 18 Daggemiddelde verloop van relatieve luchtvochtigheid gedurende de meetperiode in de proef- en controleafdeling, en buiten. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

De berekende ventilatie (zie paragraaf 3.2.8: CO₂-massabalans methode) voor de proefafdeling was gemiddeld per dierplaats $20,9 \pm 10,3$ m³/uur, met een minimum van 10,7 m³/uur en een maximum van 34,3 m³/uur. Voor de controleafdeling was de berekende ventilatie gemiddeld $14,1 \pm 8,7$ m³/uur, met een minimum van 6,1 m³/uur en een maximum van 30,8 m³/uur (Tabel 4). Het verloop van de berekende ventilatie is weergegeven in Figuur 19. De onderbrekingen in de grafiek duiden op momenten van leegstand tussen biggenrondes.



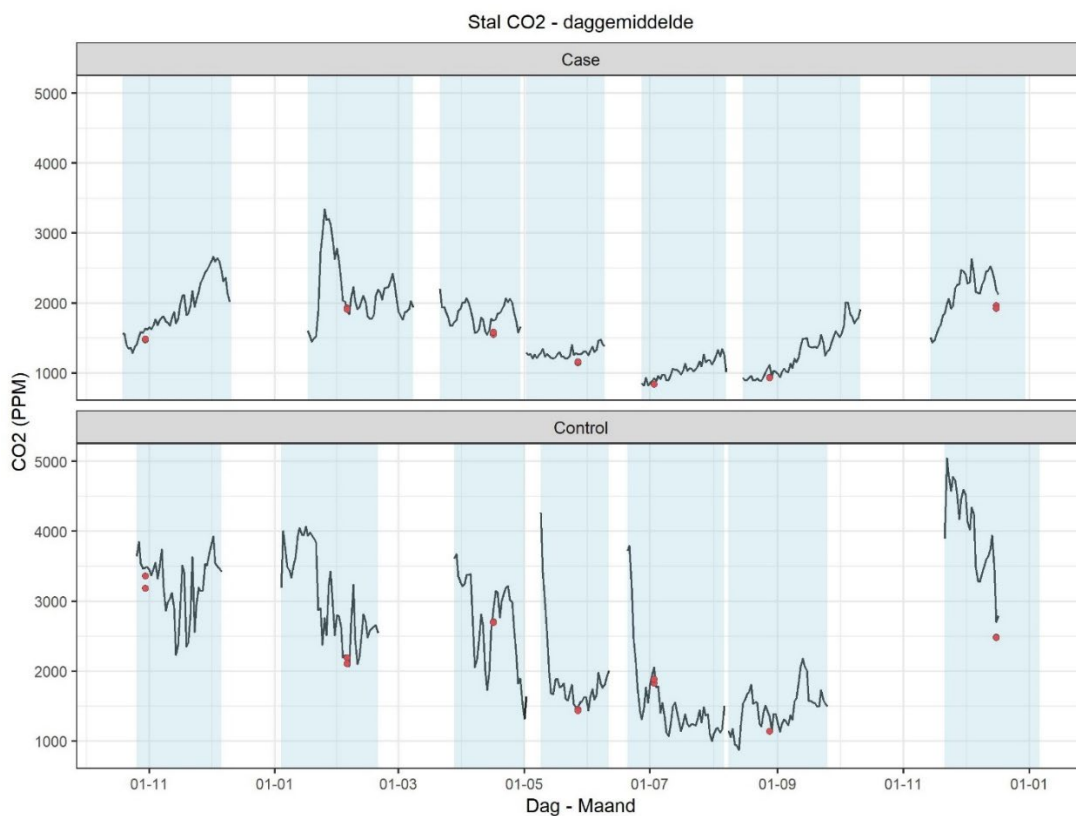
Figuur 19 Daggemiddelde van de berekende ventilatie (m^3/uur per dierplaats) voor de proef- en controleafdeling. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

In Tabel 5 worden de CO_2 en NH_3 concentraties en ammoniakemissies weergegeven van alle zeven metingen, voor zowel de protocollaire referentiemetingen als de continue metingen. De continu gemeten CO_2 concentratie komt van alle meetrondes gemiddeld uit op 1491 ± 427 ppm voor de proefafdeling. Dit is vergelijkbaar met de gemiddelde CO_2 concentratie gemeten met de protocollaire methode (1408 ± 413 ppm). Voor de controleafdeling komt de gemiddelde CO_2 concentratie van alle meetrondes in de continu data uit op 2286 ± 779 ppm en met de protocollaire methode op 2151 ± 685 ppm (Tabel 5). Voor CO_2 bedraagt het relatieve verschil tussen de twee methoden ongeveer 6%, wat ruim binnen de gangbare afwijking van 15% valt die doorgaans als acceptabel wordt beschouwd bij dit type metingen. Dit wijst op een goede overeenstemming tussen de meetmethoden voor CO_2 .

Het verloop van de continue CO_2 concentratie gedurende alle meetperiodes is weergegeven in Figuur 20, voor zowel de proef- als de controleafdeling.

Tabel 5 Gemiddelde CO₂ en NH₃ concentratie, en NH₃ emissie per meting, gemeten met de protocollaire metingen en continue gemeten door sensoren op de meetdag voor de proef- en controleafdeling.

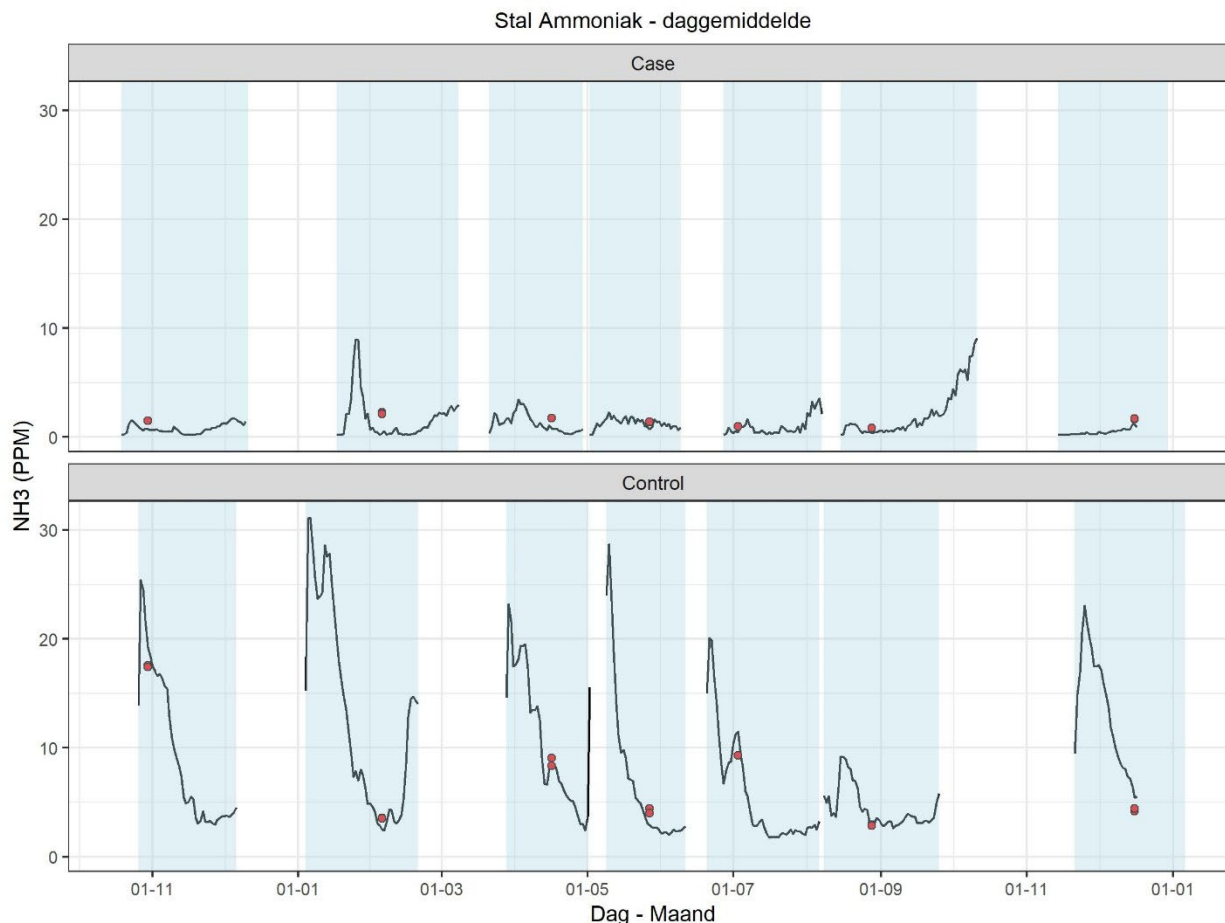
Component	CO ₂ concentratie (ppm)				NH ₃ concentratie (ppm)				NH ₃ emissie (kg/jaar per dpl)			
	Protocollair		Continue		Protocollair		Continue		Protocollair		Continue	
	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle
M1	1483	3276	1585	3503	1,49	17,5	0,54	18,9	0,11	0,59	0,04	0,50
M2	1922	2153	1842	2130	2,19	3,54	0,35	2,45	0,13	0,25	0,02	0,20
M3	1568	2703	1720	2993	1,73	8,70	0,68	8,70	0,14	0,37	0,06	0,37
M4	1154	1447	1262	1504	1,38	4,22	0,56	2,87	0,20	0,46	0,07	0,30
M5	841	1857	894	1955	0,98	9,31	0,40	10,7	0,16	0,57	0,06	0,67
M6	935	1142	985	1151	0,85	2,87	0,27	2,66	0,15	0,47	0,05	0,45
M7	1946	2484	2145	2769	1,66	4,30	0,90	5,36	0,11	0,22	0,06	0,28
Gemiddelde (SD)	1408 (413)	2151 (685)	1491 (427)	2286 (779)	1,47 (0,4)	7,20 (4,8)	0,53 (0,2)	7,38 (5,6)	0,14 (0,03)	0,42 (0,13)	0,05 (0,01)	0,40 (0,15)



Figuur 20 Daggemiddelde continue CO₂ concentraties gedurende de gehele meetperiode. Protocollaire metingen van CO₂ concentraties in duplo zijn weergegeven met de rode punten. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

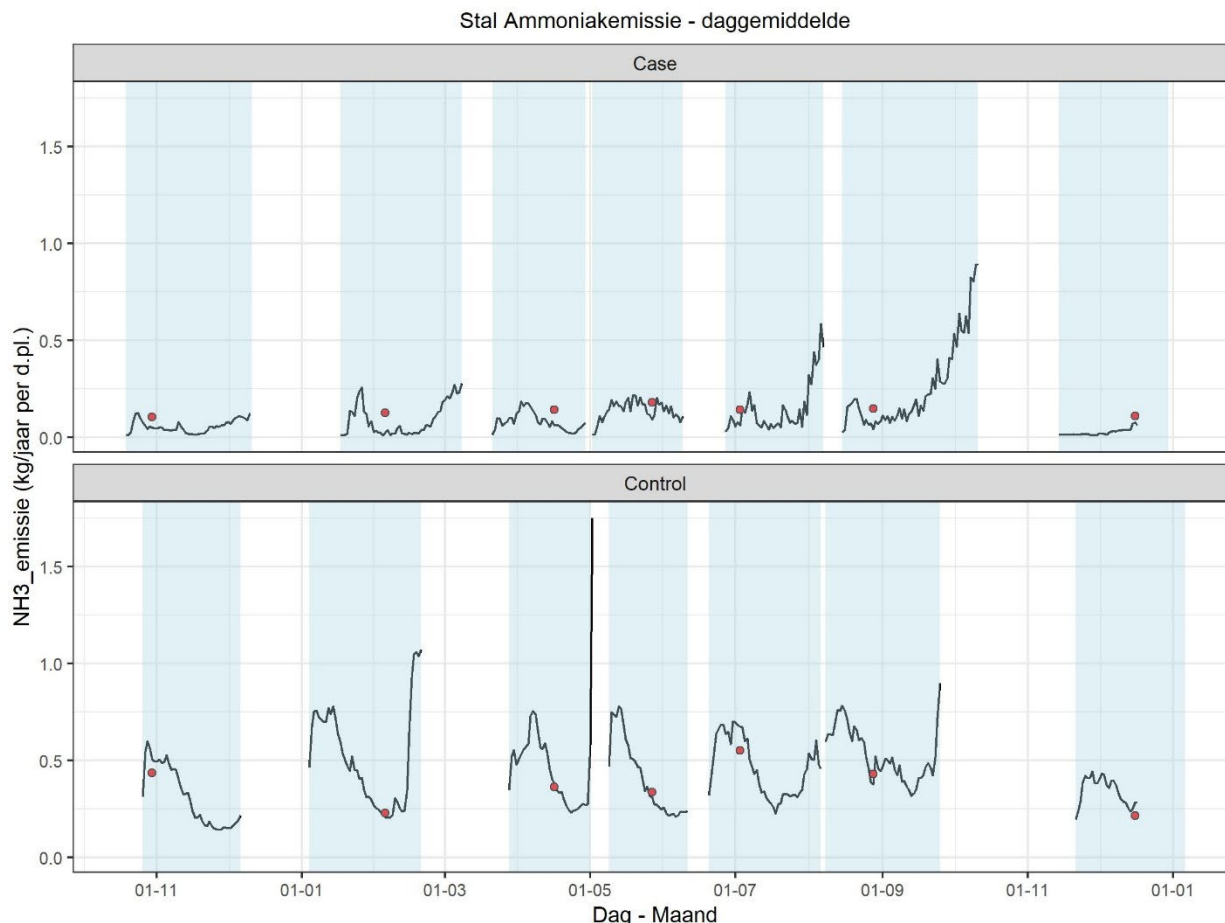
Continu gemeten NH_3 concentratie komt van alle meetrondes gemiddeld uit op $0,53 \pm 0,2$ ppm voor de proefafdeling en deze zijn ruim lager dan de gemiddelde NH_3 concentratie gemeten met de protocollaire metingen van $1,47 \pm 0,4$ ppm. Voor de controleafdeling komt de gemiddelde NH_3 concentratie van alle meetrondes in de continue data uit op $7,38 \pm 5,6$ ppm en met de protocollaire metingen op $7,20 \pm 4,8$ ppm (Tabel 5). Voor NH_3 concentratie in de controleafdeling bedraagt het relatieve verschil tussen de twee methoden ongeveer 2%, wat ruim binnen de gangbare afwijking van 15% valt die doorgaans als acceptabel wordt beschouwd bij dit type metingen. In de proefafdeling is het verschil ruim groter, wat mogelijk verklaard kan worden door de beperkte nauwkeurigheid van de sensor bij het meten van lage concentraties. Bij lage gasconcentraties neemt de meetonzekerheid toe, waardoor de afwijking tussen de sensorwaarden en protocollaire metingen groter wordt.

Het verloop van de continue NH_3 concentraties gedurende alle meetperiodes voor proef- en controleafdeling is weergegeven in Figuur 21.



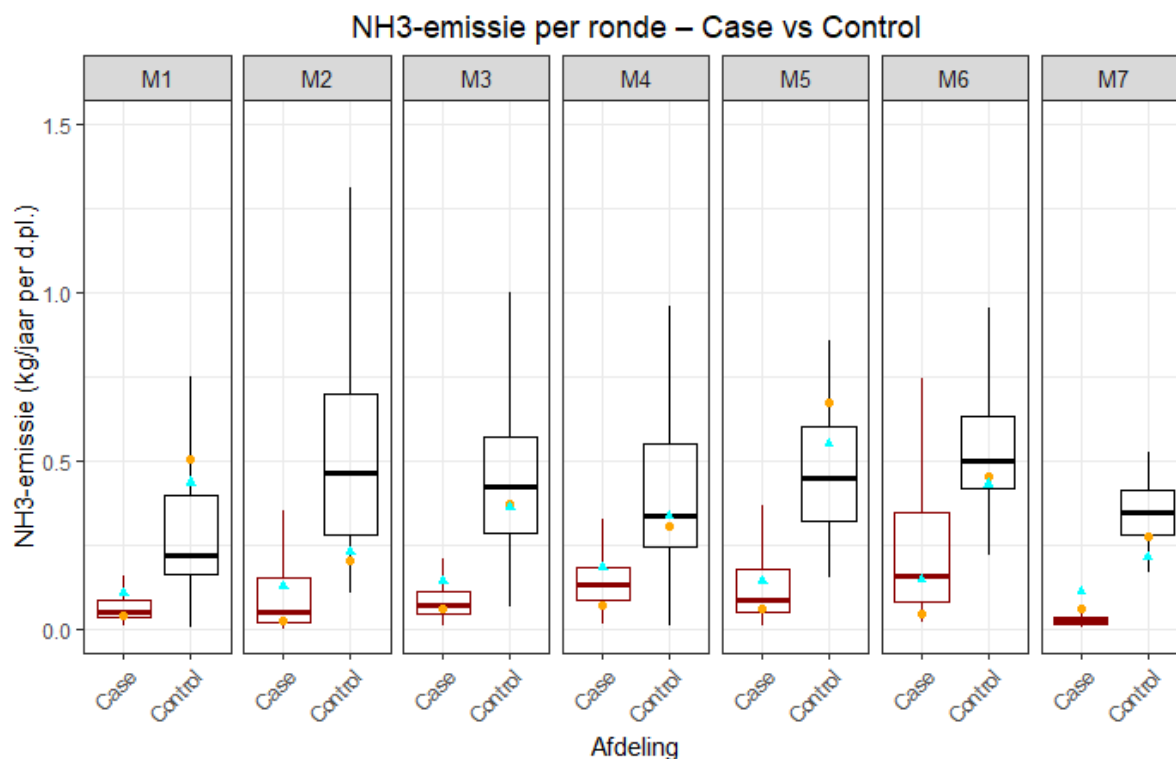
Figuur 21 Daggemiddelde continue NH_3 concentraties gedurende de gehele meetperiode. Protocollaire metingen van NH_3 concentraties in duplo zijn weergegeven met de rode punten. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperiodes aan.

De NH_3 emissie per dierplaats voor de proefafdeling kwam gemiddeld met de continue data uit op $0,05 \pm 0,01$ kg/jaar en met de protocollaire metingen was dit hoger met $0,14 \pm 0,03$ kg/jaar. De NH_3 emissie per dierplaats van de continue data in de controleafdeling was gemiddeld $0,40 \pm 0,15$ kg/jaar, en was vergelijkbaar met de protocollaire metingen ($0,42 \pm 0,13$ kg/jaar) (Tabel 5). Het verloop van de emissie is weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22 Daggemiddelde continue NH_3 emissies gedurende de gehele meetperiode. Protocolaire metingen van NH_3 emissies in duplo zijn weergegeven met de rode punten. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

De gemiddelde continu gemeten NH_3 emissies tijdens de 24-uurs metingen en de met de protocolaire metingen gemeten NH_3 emissies zijn voor elke meting (M1 t/m M7) weergegeven in Figuur 23. Elke boxplot toont de verdeling van de emissies door middel van spreiding en de mediaan. Tijdens alle zeven metingen (M1 t/m M7) is de ammoniakemissie (NH_3) in de proefafdeling consequent lager dan in de controleafdeling, wat wijst op een effectieve emissiebeperkende maatregel of stalsysteem in de proefsetting. De controleafdeling toont daarbij een grotere spreiding in emissiewaarden (lengte van de box) in de verschillende meetperiodes dan de proefafdeling. Op basis van deze visualisatie komen de door de sensor gemeten ammoniakemissies (oranje cirkels) beter overeen met de protocolair gemeten emissies (blauwe driehoeken) in de controleafdeling, terwijl in de proefafdeling grotere afwijkingen tussen beide methoden worden waargenomen. Zoals aangegeven bij de beschrijving van Tabel 5, kan dit verschil worden verklaard door de lagere nauwkeurigheid van de NH_3 -sensor bij lage concentraties in de proefafdeling. Deze observatie is consistent zichtbaar in alle meetrondes, waarbij de 24-uurs meetpunten systematisch hoger liggen dan het gemiddelde van de sensordata over dezelfde periode (blauwe punten bevinden zich boven de oranje punten).



Figuur 23 Boxplots van de continu gemeten NH_3 -emissies per meetronde ($n=7$) per proef- en controleafdeling. De proefafdeling wordt in de grafiek aangeduid als 'case' en de controleafdeling als 'control'. De uiterste verticale lijnen van de boxplot geven de minimale en maximale gemeten emissies aan. De dikke verticale lijn in de box is de mediaan van de gemeten waarden, en de horizontale randen van de box geven de niveaus aan waarbinnen de 25% en 75% van de waarnemingen zich bevindt. Het oranje punt geeft het gemiddelde van de continue data gedurende een 24-uurs protocollaire meting aan en het blauwe punt geeft de gemeten waarde weer volgens de 24-uurs protocollaire meting.

5 Discussie

Het vernieuwde wroetstalconcept heeft, naast het verbeteren van het dierenwelzijn, als belangrijke doelstelling om het stalklimaat te verbeteren en de emissies te verminderen. Dit wordt gerealiseerd door middel van brongerichte maatregelen, die gericht zijn op het verminderen van ammoniak-, methaan-, lachgas-, geur- en fijnstofemissies, zodanig dat er geen luchtwasser hoeft te worden geplaatst. Hierdoor wordt zowel de werkomgeving van de veehouder als de leefomgeving van de varkens verbeterd.

5.1 Ammoniakemissie

De inschatting voorafgaand aan het onderzoek was dat met het nieuwe wroetstalsysteem voor gespeende biggen de ammoniakemissie met 79% gereduceerd kon worden ten opzichte van de referentie emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen' (Bijlage V van de Omgevingsregeling). Uit het onderzoek blijkt dat het wroetstalsysteem de ammoniakemissie voor 79,4% reduceert. Dit komt overeen met de inschatting van 79%. Echter is er tijdens dit onderzoek geen zichtbare hokbevuiling waargenomen, terwijl in de modelberekening was uitgegaan van een gemiddelde ammoniakemissie van 0,41 kg/jaar per m² strooiseloppervlakte. Het is onwaarschijnlijk dat 'niet zichtbare bevuiling' deze ammoniakemissie kan bewerkstelligen. Dit betekent dat op andere plekken de emissie hoger moet zijn geweest dan verwacht. Tijdens dit onderzoek zijn geen waarnemingen gedaan van de bevuiling van de schuifvloer, het is mogelijk dat deze meer bevuild was dan verwacht, waardoor de emissie van die bron hoger was. Het wordt daarom aanbevolen om bij volgend onderzoek de bevuiling van de schuifvloer beter in kaart te brengen. Het is daarnaast ook mogelijk dat de driekantsroosters bij biggen een hogere emissie geven dan verwacht, mede vanwege het strooiselgebruik welke door beweging van de dieren op het rooster terecht kan komen en door de smalle roosterspleten erop blijft liggen.

Daarnaast is een reductiepercentage in dit onderzoek vastgesteld van 62,9% ten opzichte van de controleafdeling. In dit onderzoek is bevonden dat de controleafdeling ook een reductie heeft ten opzichte van de waarde van Bijlage V uit de Omgevingswet (39,2%). De verminderde ammoniakemissie in de controleafdeling kan door verschillende factoren verklaard worden. Als dit is veroorzaakt door voer- en/of managementfactoren dan kan dit ook doorwerken in de proefafdeling. De voersamenstelling kan invloed hebben op de pH en het ammoniumgehalte van de mest. Management heeft bijvoorbeeld te maken met verzorging van de dieren en management van het stalklimaat. Het eerste beïnvloedt de gezondheid van de dieren, het tweede onder andere de stal- en mesttemperatuur en de bevuiling. Het is de vraag in hoeverre dit laatste doorwerkt van de controle naar de proefafdeling, aangezien de proefafdeling een heel ander klimaatsysteem heeft (onderdeel van het emissiearme systeem), waardoor managementeffecten verschillend kunnen doorwerken. Een belangrijke factor die de ammoniakemissie in de controleafdeling zou kunnen hebben beïnvloed is een onregelmatige mestsamenstelling aan het mestoppervlak op verschillende locaties in de mestkelder van de controleafdeling. In deze en vergelijkbare controleafdelingen zagen we vorming van drijfslagen met een droge korst, omdat varkens ook in een volledig roostervloerhok vaak op dezelfde plek(ken) mesten. De droge drijfslag ontstaat waar weinig tot niet wordt gemest, bijvoorbeeld rond de voerbak. Deze drijfslagvorming kan ook beïnvloed worden door de voersamenstelling. Dit zou kunnen veroorzaken dat delen van het mestoppervlak veel minder emitteren dan je zou verwachten bij een volledige menging van de mest. Drijfslagvorming werkt niet door in de proefafdeling, daarom is het belangrijk om naast de emissies gemeten in de controleafdeling ook steeds de referentiewaarden te vermelden (Bijlage I). Het wordt aanbevolen om in volgend onderzoek extra aandacht te besteden aan voornoemde invloeds-factoren.

Volgens de randvoorwaarden van de veldtest beschreven in Vonk et al. (2021) moeten er minimaal vier stallen met dieren met de sensoren bemeten worden om een veldtest uit te voeren voor sensor validatie. Echter is er tijdens dit onderzoek enkel in de proef- en controleafdeling met de sensoren gemeten. De sensoren zijn daarmee enkel gevalideerd aan de hand van de protocollaire metingen waarmee de sensordata vergeleken is. Hierbij was te zien dat de sensordata afweek van de protocollaire meting. De ammoniaksensor heeft in de proefafdeling altijd lage waarden gemeten. De ammoniaksensor gebruikt in dit onderzoek is gevoelig voor lage concentraties (<2 ppm) in emissiearme systemen. Daarom zijn deze sensoren niet geschikt voor het bepalen van

bedrijfsemissiefactoren. De ammoniakemissiewaarden van de controleafdeling toonden een grotere spreiding in vergelijking met de proefafdeling ten aanzien van de sensordata. Dit toont aan dat het dagelijks emissiepatroon van de controleafdeling tijdens de metingen minder stabiel was dan de proefafdeling. Zoals weergegeven in Figuur 22, vertoont de emissie gedurende de eerste weken van elke meetronde een stijgende trend in beide afdelingen, waarbij de fluctuaties in de controleafdeling sterker zijn. Aan het einde van de groeiperiode nemen de emissies eveneens toe. De initiële stijging kan deels worden toegeschreven aan verhoogde stress bij de biggen na de overgang naar een nieuwe omgeving en de aanpassing aan het nieuwe voer. De stijging richting het eind van de groeiperiode kan verklaard worden door de hogere mestproductie en daardoor grotere emitterende oppervlakken. In de controleafdeling betekent dit dat een kleiner deel van het mestoppervlak bestaat uit een droge korst.

5.2 Methaanemissie

Voorafgaand aan dit onderzoek was de verwachting dat het onderzochte systeem voor gespeende biggen een methaanreductie van ca. 90% zou kunnen realiseren, ervan uitgaande dat bij gespeende biggen ongeveer 10% van de referentiewaarde voor methaan uit enterische (uit het dier zelf afkomstig) emissies bestaat. Dat betekent dat de verwachting was dat er geen of vrijwel geen methaan uit de mest emitteert. Dit werd ook gevonden in eerder onderzoek met dagontmesting (Sefeedpari et al, 2024). Door het direct scheiden van urine en feces, waarbij de urine continu wordt afgevoerd via een V-vormige vloer en een goot, en het meerdere keren per dag verwijderen van de feces in de proefafdeling wordt de anaerobe afbraak van organische stoffen voorkomen (Ambrose et al., 2023), waardoor methaanvorming sterk wordt beperkt. Uit de resultaten blijkt dat het systeem zelfs iets beter presteert dan verwacht, met een gemiddelde reductie van 97,8% ten opzichte van de controleafdeling. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hoge gemeten methaanemissie in de controleafdeling (8,93 kg/jaar per dierplaats). Deze is beduidend hoger dan eerder gemeten in gedeeltelijk (5,1 kg/jaar per dierplaats) en volledig roostervloer (1,3 kg/jaar per dierplaats) stallen (Winkel et al., 2011). Deze hoge emissie in de controleafdeling wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de langdurige opslag in de stal in combinatie met de relatief hoge temperaturen in de biggenstal. Het vernieuwde wroetstalsysteem voor gespeende biggen biedt daarmee een effectieve manier om methaanemissies in de stal te reduceren. Om te voorkomen dat deze methaanemissie alsnog (buiten de stal) plaatsvinden, is het belangrijk om de mest snel te verwerken. De feces, eventueel gemengd met een deel van de urine, kunnen bijvoorbeeld worden verplaatst naar een vergister om zo biogas te produceren. Met het vergisten van verse mest kan een hogere biogasopbrengst behaald worden dan bij het vergisten van mest die langdurig is opgeslagen (Casu & Verdoes, 2021; Dalby et al., 2023).

Hoewel er momenteel geen wettelijke verplichting bestaat voor methaanreductie in de varkenshouderij, toont de overheid wel intenties om de veehouders hierbij te ondersteunen om de emissie van broeikasgassen te beperken. De mogelijkheid om methaan via brongerichte maatregelen te reduceren biedt een gunstig toekomstperspectief, vooral omdat traditionele luchtwassers deze optie niet bieden.

5.3 Lachgasemissie

De lachgasemissie is tijdens dit onderzoek in de proefafdeling met 97,6% gereduceerd ten opzichte van de controleafdeling. De gemeten N_2O -emissie van de controleafdeling was aanzienlijk hoger (gem. 226 ± 58 g/jaar per dierplaats) dan de beschikbare referentiewaarden vanuit eerdere onderzoeken voor gespeende biggen met volledige roostervloer van 33 ± 20 g/jaar per dierplaats (Mosquera et al., 2021) en 4,2 g/jaar per dierplaats (Winkel et al., 2011). De gemiddelde lachgasemissie gemeten in Mosquera et al. (2021) is hoger dan de gemiddelde emissie die is gerapporteerd in het onderzoek van Winkel et al. (2011) waar metingen werden uitgevoerd bij twee biggenstallen met een volledig roostervloer en water- en mestkanalen. De gemeten verhoogde waarde in de controleafdeling van deze studie kan mogelijk worden verklaard door de korstvorming van de bovenste laag van de mest, waarbij factoren zoals zuurstof in de bovenste laag van de mest, temperatuur, het droge stofgehalte en pH van de mest een rol spelen. Daarnaast zou de gemeten verhoogde N_2O in de controleafdeling kunnen samenhangen met de relatief lage NH_3 -emissie gemeten t.o.v. de referentiewaarde van 'Overige huisvestingsystemen' voor gespeende biggen (0,69 kg/jaar per dierplaats) uit bijlage V van de Omgevingsregeling. Als verondersteld wordt dat al dit lachgas in de grenslaag tussen mest (droge korst) en lucht

is gevormd uit ammoniak en deze ammoniak anders zou zijn geëmitteerd, betekent dit dat de ammoniakemissie in de controleafdeling met 175 g/jaar per dierplaats is afgenomen (het stikstofgehalte in N_2O ($\text{N}-\text{N}_2\text{O}$) omgerekend naar een equivalente hoeveelheid in NH_3 op basis van de molecuulgewichtsverhouding van stikstof in beide verbindingen). Tellen we dit op bij de gemeten ammoniakemissie in de controleafdeling (Tabel 4), dan komen we met 600 g/jaar dicht bij de referentie ammoniakwaarde van 690 g/jaar per dierplaats. Aangezien lachgas een zeer sterk broeikasgas is, is deze conversie van ammoniak naar lachgas niet positief voor het milieu. Daarom vraagt dit fenomeen om nader onderzoek om de precieze oorzaken te begrijpen en maatregelen te kunnen nemen.

5.4 Geuremissie

Voor het vaststellen van een emissiefactor voor geur door middel van het case-control principe, zijn minimaal vier bedrijven nodig. In deze rapportage is sprake van een enkel bedrijf waarbij de geuremissie alleen in de proefafdeling is bemeten. Hierom kan er niet gesproken worden over een emissiefactor, en wordt er gesproken over een bedrijfsemissiefactor.

De geuremissie was in dit onderzoek gereduceerd met 39,2% ten opzichte van Bijlage V uit de Omgevingswet. Uit de resultaten van Booijsen et al. (2023) bleek dat vloerbevuiling mogelijk een belangrijke factor is in relatie tot de geuremissie. In dit onderzoek is geen hokbevuiling waargenomen, wat betekent dat de vloeren schoon waren, wat de reductie in geuremissie voor een deel kan verklaren. Daarnaast speelt het kleine kelderoppervlak en de gescheiden afvoer van feces en urine waarschijnlijk een rol.

In het voorafgaand onderzoek was een geuremissiereductie ingeschat van 70% voor het nieuwe wroetstalsysteem voor gespeende biggen wat niet overeen komt met de in dit onderzoek vastgestelde geurreductie van 36,9% ten opzichte van Bijlage V uit de Omgevingswet. De inschatting (hoofdstuk 2 in dit rapport) was gebaseerd op een onderzoek in een wroetstal met vleesvarkens met drie metingen in de herfst/winter periode, waarbij de reductie berekend was ten opzichte van een controleafdeling (Houwens et al., 2014). Daardoor was de inschatting van de geuremissie voor het nieuwe wroetstalsysteem voor gespeende biggen zeer indicatief waardoor de gemeten geuremissie reductie in dit onderzoek af kan wijken van de berekende inschatting. Daarnaast is door Ogink & Lens (1996) aangegeven dat geuremissies sterk kunnen variëren afhankelijk van de precieze omstandigheden waardoor de emissie per diercategorie ook sterk kunnen verschillen. Daardoor is het niet vanzelfsprekend dat hetzelfde soort systeem een vergelijkbare geurreductie geeft bij een andere diercategorie. Daarnaast was de berekende ventilatie (gem. $20,9 \pm 10,3 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dierplaats) in de proefafdeling verhoogd in vergelijking met de controleafdeling (gem. $14,1 \pm 8,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dierplaats), wat ook kan zorgen voor een verhoogde geuremissie (Le et al., 2005).

5.5 Fijnstofemissie

Voor het vaststellen van een emissiefactor voor fijnstof door middel van het case-control principe, zijn minimaal vier bedrijven nodig. In deze rapportage is sprake van een enkel bedrijf waarbij de fijnstofemissie alleen in de proefafdeling is bemeten. Hierom kan er niet gesproken worden over een emissiefactor, en wordt er gesproken over een bedrijfsemissiefactor.

Voorafgaand aan dit onderzoek was er geen reductie verwacht in fijnstofemissie voor het nieuwe wroetstalsysteem voor gespeende biggen. Echter, is er tijdens het onderzoek een negatieve reductie van -141% ten opzichte van de emissiefactor van Bijlage V uit de Omgevingswet vastgesteld. Dit betekent dat de fijnstofemissie is toegenomen met het nieuwe wroetstal concept.

In varkensstallen is stof voornamelijk afkomstig van huidschilfers, haren, voer, ingedroogde mest en urine, maar ook strooisel (Aarnink et al., 2011). In het wroetstalsysteem werden de hokken ingestrooid met strooisel om een wroetmogelijkheid voor de biggen te faciliteren. In de inschatting (hoofdstuk 2 in dit rapport) werd benoemd dat in dit nieuwe wroetstalsysteem het strooisel droog blijft, omdat deze niet vermengd wordt met feces en urine. Tijdens de metingen is geen hokbevuiling vastgesteld, wat het niet vermengen van het strooisel met feces en urine onderbouwt. Hierdoor is het strooisel mogelijk meer gaan verstoffen, wat de verhoogde gemeten fijnstof kan verklaren. Het verstoffen van het strooisel kan zoveel mogelijk beperkt worden door deze regelmatig aan te

vullen en stofarm zaagsel te gebruiken. Echter is met dit onderzoek vastgesteld dat de fijnstofemissie in dit wroetstalsysteem niet gereduceerd en mogelijk verhoogd wordt ondanks de installatie van ionisatielampen.

5.6 Vergelijking van systeemkenmerken tussen proef- en controleafdeling

Bij de vergelijking tussen de proef- en controleafdelingen in een case-control-opstelling voor gespeende biggen, zijn enkele systeemverschillen geïdentificeerd:

- Het aantal dierplaatsen per hok en de grootte van de hokken in de proef- en controleafdelingen waren niet gelijk. De oppervlakte per dier was echter vrijwel gelijk, wat van belang is gezien het directe verband met ammoniakemissie.
- De verschillen in vloertype, mestafvoer en ventilatiesysteem maken onderdeel uit van het emissiearme systeem en behoren dus tot de onderzochte interventie. In de proefafdeling werd een ventilatiesysteem toegepast waarbij verse lucht via een spouw de afdeling binnenkomt, terwijl in de controleafdeling de luchtinlaat plaatsvond via een grondventilatiekanaal bij de voergang.
- Wat betreft voer- en drinkwatersystemen was het voersysteem identiek in beide afdelingen; het drinkwatersysteem week echter af doordat in de controleafdeling bakjes onder de nippels aanwezig waren die het morsen uit de drinknippels beperkt.

De verschillen tussen afdelingen die niet tot het emissiearme systeem behoren – met name het aantal dieren per hok en het drinkwatersysteem – worden geacht slechts een beperkte invloed te hebben op de gemeten emissies.

6 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzochte wroetstalsysteem, een innovatieve vorm van brongerichte emissiearme huisvesting, waarbij mest en urine direct worden gescheiden en strooisel een centrale rol speelt in het bevorderen van dierenwelzijn, toont overtuigende potentie als geïntegreerde maatregel voor emissiereductie in de varkenshouderij.

Op basis van protocollaire metingen in een case-control opzet zijn reducties vastgesteld voor ammoniak (62,9% t.o.v. controle en $79,4\% \pm \text{SD}$ ten opzichte van de waarde van Bijlage V uit de Omgevingswet), methaan (gemiddeld $97,8\% \pm \text{SD}$), en lachgas ($97,6\% \pm \text{SD}$). Deze resultaten bevestigen dat directe mestscheiding en frequente verwijdering van feces effectief zijn in het beperken van microbiële afbraakprocessen die leiden tot emissies van methaan en lachgas. Voor ammoniakreductie is in dit systeem het kleine emitterende oppervlak gecombineerd met de gescheiden afvoer van urine en feces van belang, dat is bewerkstelligd door een goede sturing van het lig- en mestgedrag van de biggen. Een opvallend aandachtspunt binnen dit onderzoek is de relatief lage gemeten NH_3 emissie in de controleafdeling ($0,42 \text{ kg NH}_3$ per dierplaats per jaar), vergeleken met de emissiewaarde voor standaardhuisvesting van gespeende biggen zoals vermeld in bijlage V van de Omgevingsregeling ($0,69 \text{ kg NH}_3$ per dierplaats per jaar). In deze controleafdeling is echter een hogere N_2O -emissie waargenomen. Een mogelijke verklaring hiervoor is de vorming van een drijfslag op mest, die de afgifte van ammoniak kan beperken, maar gelijktijdig de omstandigheden kan bevorderen voor microbiële processen die tot verhoogde N_2O -emissies leiden. In tegenstelling tot voer- en managementeffecten die zowel in de controle- als in de proefafdeling kunnen doorwerken, komt deze drijfslagvorming alleen in de controleafdeling voor.

De geuremissie wordt minder gereduceerd dan van tevoren ingeschat op basis van eerdere metingen in vleesvarkensstallen, wat mogelijk verklaard kan worden door verschillen in ventilatie en diercategorie. De toegenomen fijnstofemissie (-141% reductie ten opzichte van de waardes van Bijlage V uit de Omgevingswet (Bijlage I in dit rapport)) is een punt van zorg en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het gebruik van droog, los strooisel dat bij kan dragen aan stofvorming. Dit zou verminderd kunnen worden door beter strooiselmanagement (af en toe verversen) en door gebruik te maken van stof-arm materiaal.

Hoewel de gereduceerde lachgasemissie positief lijkt, dient de hoge lachgasemissie in de controleafdeling nader onderzocht te worden. Factoren zoals mestkorstvorming en bijbehorende fysisch-chemische processen kunnen hierin een verklarende rol spelen.

Samenvattend laat het vernieuwde wroetstalsysteem zien dat substantiële reducties van broeikasgassen en ammoniak haalbaar zijn zonder inzet van luchtwassers. Het systeem draagt bij aan meerdere duurzaamheidsdoelen binnen de veehouderij. Een punt van aandacht is de verhoogde fijnstofemissie.

Literatuur

- Aarnink, A. J. A. Schrama, J. W., Heetkamp, M. J., Stefanowska, J. & Huynh, T. T. T. (2006). Temperature and body weight affect fouling of pig pens. *Journal of Animal Science*, 84:2224-22231.
- Aarnink, A. J. A., Cambra-López, M., Lai, H. T. L., & Ogink, N. W. M. (2011). Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Rapport 452, Wageningen UR Livestock Research.
- Aarnink, A.J.A., Vermeer, H. M., & Ploegaert, J.P.M. (2012). Ammoniakemissiearme verharde uitlopen voor varkens. Rapport 625. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. 30 p.
- Aarnink, A., De Groot, J., & Ogink, N. (2019). Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen UR Livestock Research.
- Aarnink, A.J.A., de Groot, J., Booijen, M. (2021). Analyse beschikbare technieken voor integrale emissiereductie in varkensstallen. Rapport 1332, Wageningen UR Livestock Research.
- Ambrose, H.W., Dalby, F. R., Feilberg, A., & Kofoed, M.V.W. (2023). Additives and methods for the mitigation of methane emission from stored liquid manure. *Biosystems Engineering* 229: 206-245. ISSN 1537-5110.
- Berkhout, P. ., Meulen, H. van der., & Ramaekers, P. (2023). Staat van Landbouw, Natuur en Voedsel: editie 2023. Wageningen Economic Research.
- Booijen, M., Wagensveld, J., van Riel, J., de Mol, R., & Aarnink, A. (2023). Emissiereductie methaan, ammoniak en geur in varkensstallen met dagontmesting. Rapport 1405, Wageningen UR Livestock Research.
- Casu, F., & Verdoes, N. (2021). Circulaire inzet digestaat: berekening NPKC flows voor varkensmest en digestaat bij het varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie. Wageningen UR 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).
- Dalby, F. R., Hansen, M. J., Guldborg, L. B., Hafker, S. D., & Feilberg, A. (2023). Simple management changes drastically reduce pig house methane emission in combined experimental and modeling study. *Environmental Sciences Technology* 57(9):3990-4002.
- Groenestein, C.M. & Aarnink, A. J. 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.
- Groenestein, C.M., Mosquera, J., & Ogink, N. (2011). Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 493, Wageningen UR Livestock Research.
- Groenestein, C.M., Aarnink, A.J.A., & Ogink, N.W.M. (2014). Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen. Rapport 786, Wageningen UR Livestock Research.
- Houwers, H.W.J., De Greef, K.H., Aarnink, A.J.A. (2014). Ammoniakemissie-arme wroetstal voor vleesvarkens. Rapport 751, Wageningen UR Livestock Research, 28 p.
- Le, P., Aarnink, A., Ogink, N. W., & Verstegen, M. (2005). Effects of environmental factors on odor emission from pig manure. *Transactions of the ASAE* 48(2):757-765.
- Mosquera, J. Groenestein, C. M., Ogink, N. W. M. (2010). Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Rapport 494, Wageningen UR Livestock Research.
- Mosquera, J., Hol, J. M. G., Winkel, A., Lovink, E., Ogink, N. W. M., Aarnink, A. J. A. (2011). Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens= Dust emission from animal houses: growing and finishing pigs. Rapport 292, Wageningen UR Livestock Research.
- Mosquera Losada, J., Groenestein, C. M., Ogink, N. W. M., & Aarnink, A. J. A. (2012). Evaluation of the CO2 mass balance method to calculate ventilation rates from mechanically ventilated livestock buildings. In *ASABE - 9th International Livestock Environment Symposium 2012, ILES 2012* (pp. 116-122)
- Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, J.P.M. Ploegaert, & N.W.M. Ogink, (2021). Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020, 2022. Openbaar Rapport 1377, Wageningen Livestock Research.

- NEN-EN 12341. (1998). Luchtkwaliteit – bepaling van de pm 10 fractie van zwevend stof – referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N., & Lens, P. (1996). Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1999:2001-2014. Van der Peet, G., Kluivers-Poodt, M., Dirx-Kuijken, N., van der Peet-Schwering, C., Binnendijk, G., Ursinus, W., & Bolhuis, J. 2016. Houden van varkens met een intacte staart: invulling van stap 1 van de Verlaring van Dalfsen: demonstratieproject, praktijknetwerk en internationale samenwerking. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., Hofschreuder, P., Aarnink, A. J. A. (2010). Protocol voor meting fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Rapport 134, Wageningen UR Livestock Research.
- Ogink, N. (2011). Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010= Protocol for the measurement of odour emissions from housings in animal production. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.
- Ogink, N., Mosquera, J., & Hol, J. M. G. (2017). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a= Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2013a. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Heetkamp, M. J. W., & Aarnink, A. J. A. (2008). Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008. Provincie Noord-Brabant. (2022). Beschikking op verzoek om toepassing van de hardheidsclausule IOV voor de Ommezwancksedijk 13 te Deurne. Provinciaal Blad Nr. 9694. www.brabant.nl/be-
- PSN (Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering). (2022). Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering 2022-2035. 99 p, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Rijksoverheid (2022). Nationale Methaanstrategie. <https://cdn.nieuweoogst.nu/public/file/212213.pdf>
- Rijksoverheid. (2023). Klimaatakkoord. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatverandering-beperken#:~:text=In%202030%20wil%20Nederland%20volgens,er%20netto%20geen%20uitstoot%20meer.>
- Rijksoverheid (2025). Uitstoot methaan verlagen. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatverandering-beperken/uitstoot-methaan-verlagen>
- RVO (2020). Welzijnseisen voor varkens. http://www.infomil.nl/contents/pages/22613/bb_94-06-038_v2.pdf
- Sefeedpari, 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* 14 (6): 964.
- Vonk, J., van Dinther, D., Mosquera, J., & Ogink, N. W. M. (2021). Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH3 en CH4 uit veehouderijen. Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies. Rapport 1285, Wageningen Livestock Research.
- Winkel, A., Mosquera, J., Hol, J.M.G., Van Hattum, T.G., Lovink, E., Ogink, N.W.M., & Aarnink, A.J.A. (2011). Fijnstofemissie uit stallen: biggen. Rapport 293, herziene versie. Rapport 292, herziene versie, Wageningen Livestock Research.
- Winkel, A., Brusselman, E., Hensen, A., Otten, G., Vonk, J., Laanen, L., Verfaillie, A., van Dinther, D., Mosquera, J., & Ogink, N. (2024). Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen: Guidelines for determination of emissions from livestock barns. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1470). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/646830>
- WUR (Wageningen University & Research). (2025a). Broeikasgassen uit vee. [https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/livestock-research/themas/klimaatlimmeveehouderij.htm#:~:text=Marion\)%20de%20Vries-,Broeikasgassen%20uit%20vee,of%20koolstofdiioxide%20\(CO2\).](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/livestock-research/themas/klimaatlimmeveehouderij.htm#:~:text=Marion)%20de%20Vries-,Broeikasgassen%20uit%20vee,of%20koolstofdiioxide%20(CO2).)

WUR (Wageningen University & Research). (2025b). Klimaat en veehouderij: praktische innovaties voor minder uitstoot van broeikasgassen. <https://www.wur.nl/nl/show-longread/klimaat-en-veehouderij-innovaties-die-uitstoot-beperken.htm>

Zhao, Y., Aarnink, A. J. A., Hofschreuder, P., & Groot Koerkamp, P. W. G. (2009). Evaluation of an impaction and a cyclone pre-separator for sampling high PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in livestock houses. *Journal of Aerosol Science* 40 (10), p 868-878.

Bijlage I Emissiefactoren categorie 'Overige huisvestingsystemen' van de voormalige Rav-lijst (nu: Bijlage V uit de Omgevingswet)

Component	Gespeende biggen
NH ₃ (kg/jaar per dpl)	0,69
Fijnstof (g/jaar per dpl)	74,0
Geur (OUE/s per dpl)	7,8

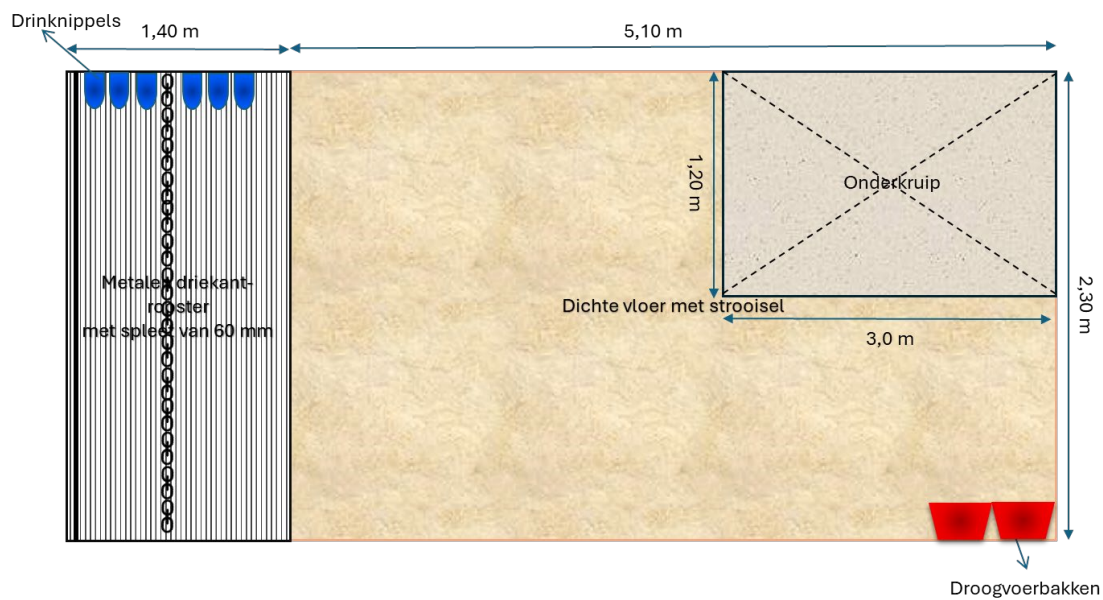
Bron: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2025-07-12#BijlageV>

Bijlage II Leaflet wroetstal 2.0 gespeende biggen

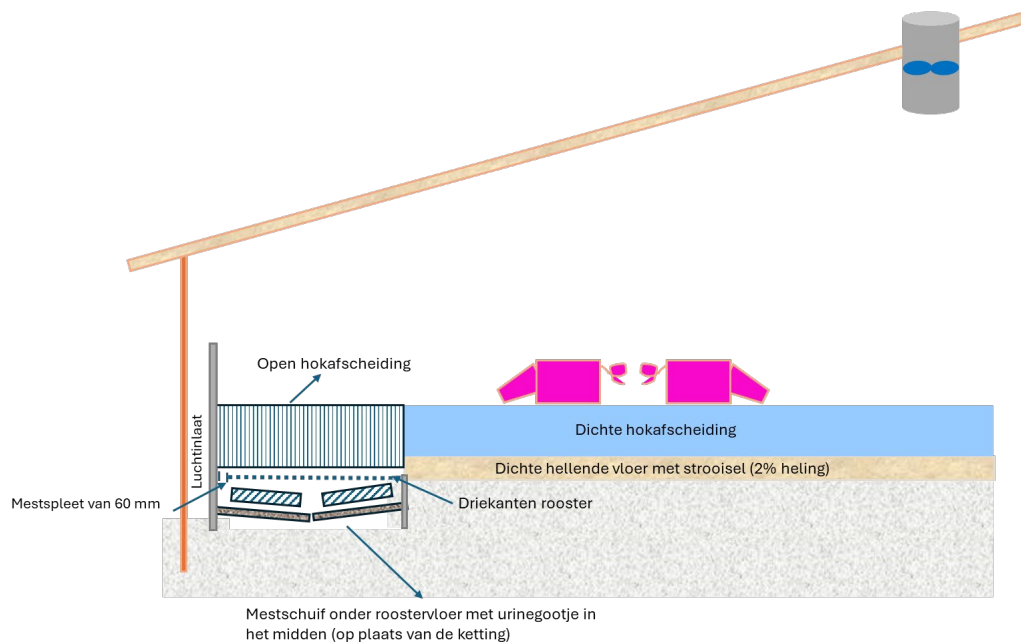
Nummer systeem	OW ...	
Naam systeem	Wroetstal 2.0 Gespeende biggen	
Diercategorie	Gespeende biggen	
Systeembeschrijving van	juli 2025	
Werkingsprincipe	Ammoniakemissiebeperking is gebaseerd op het verkleinen van het emitterend mestkelderoppervlak in combinatie met het scheiden van de mest op een V-vormig hellende vloer onder een metalen driekant roostervloer.	
DE TECHNISCHE UITVOERING VAN HET SYSTEEM; BOUWKUNDIG		
	Onderdeel	Uitvoeringseis
1a	Hokken	De lengte / breedte verhouding van het hok is minimaal 2.
1b		Het hok heeft een lange dichte hellende vloer met een minimale helling van 2% naar de roostervloer.
1c		De roostervloer is een metalen driekant roostervloer met een doorlaat van tenminste 50%. Deze ligt vlak t.o.v. de dichte vloer. Tegen de achterwand van het hok heeft de roostervloer een spleet van 60 mm.
1d		De droogvoerbakken worden op de dichte vloer geplaatst, bij voorkeur voor in het hok (bij de voergang).
1e		De drinkbakjes of -nippels worden boven de roostervloer geplaatst waarbij tenminste één hoek en bij voorkeur beide hoeken van de mestruimte vrijgelaten worden om te mesten.
1f		De hokafscheiding bij de dichte vloer is tenminste voor de onderste helft dicht. De hokafscheiding bij de roostervloer is helemaal open.
1g		
2a	Mestafvoer	De mest en urine valt op een V-vormige vloer die glad is afgewerkt en van een coating is voorzien. De mestvloer heeft in de breedte een minimale helling van 2.5%. Een helling in de lengterichting is niet vereist, maar een lichte helling wordt wel aanbevolen. In het midden zit een giergoot.
2b		De urine wordt continu afgevoerd via de giergoot. De feces met strooisel worden met een schuif afgevoerd.
2c		De V-vormige mestschuif heeft een rubberen strip om de vaste mest (vrijwel) volledig af te voeren.
2d		
3a	Opslag urine en feces	De urine wordt opgeslagen in een afgesloten opslag, waarbij gassen wel kunnen ontwijken via een waterslot of overdrukventiel.
3b		De feces met strooisel worden opgeslagen in een afgedekte mestopslag, zodat er geen regen bij kan komen.
4a	Ventilatiesysteem	De lucht wordt via onderdruk in de stal aangevoerd via grondbuizen die onder of naast de stal liggen. De door de grondbuizen geconditioneerde lucht wordt via beide zijwanden in de stal gebracht (bij de mestruimte)

		op een hoogte van ca. 1,6 m. Met behulp van een klep kan de lucht meer of minder ver het hok in worden geleid.
4b		Er is een onderkruip aanwezig waar de biggen gedurende tenminste één week met z'n allen onder kunnen liggen, dit betekent minimaal 0,08 m ² per big. De klep is scharnierbaar en te bedienen vanaf de controlegang, zodat de hoeveelheid warmte die vastgehouden wordt, op een eenvoudige manier geregeld kan worden.

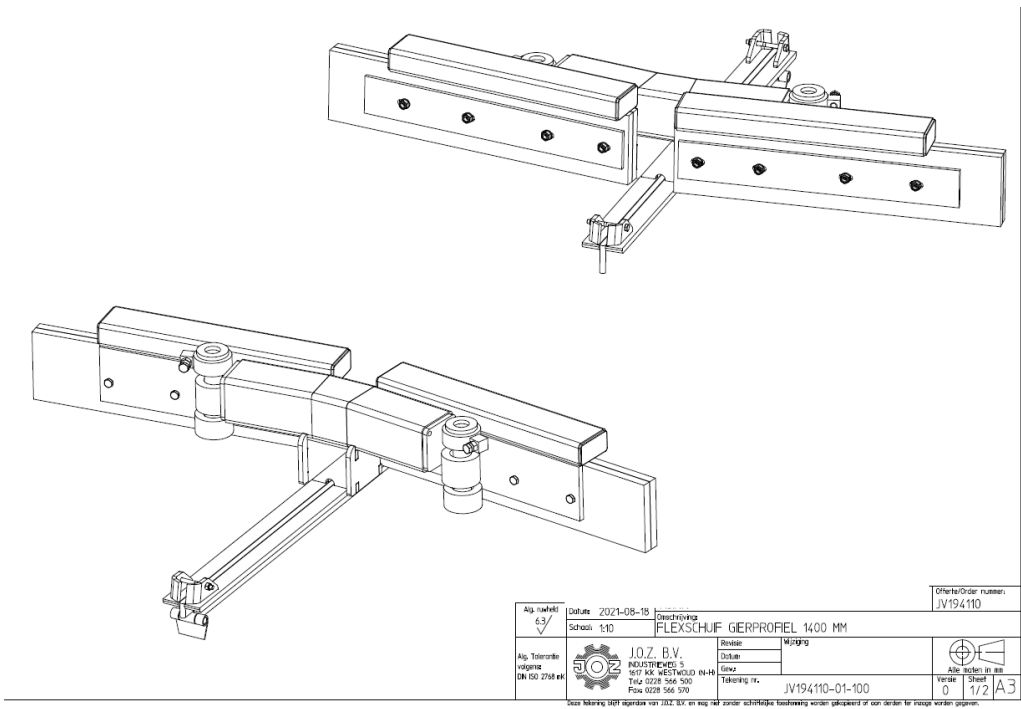
HET GEBRUIK VAN HET SYSTEEM		
	Onderdeel	Gebruikseis
a1	Hokken	Bij opleg wordt minimaal 5 L strooisel (zaagsel of kort stro) per big verstrekt.
a2		Dagelijks wordt bevuilding van het strooisel verwijderd.
a3		Na de eerste week, worden de hokken minimaal 3x per week ingestrooid. Gemiddeld over de groeiperiode wordt per week 5 L strooisel (zaagsel of kort stro) per big verstrekt.
a4		De netto hokoppervlakte per big is minimaal 0,40 m ² per dier.
a5		In elk hok liggen maximaal 35 biggen.
b1	Mestschuif	De feces en strooisel worden tenminste 8x per dag afgevoerd met de schuif.
b2		
c1	Ventilatie	De ventilatiecapaciteit voldoet aan de adviezen van het Klimaatplatform Varkens (d.d. juli 2025). Dat betekent een capaciteit van minimaal 25 m ³ /uur per big.
c2		Om het mestgedrag vanaf het begin goed te sturen, wordt de begintemperatuur ventilatie lager ingesteld dan het advies van het Klimaatplatform Varkens; gedurende de eerste week ca. 22°C, waarna deze geleidelijk afloopt naar 20°C op 3 weken en 19°C op 6 weken. De toepassing van onderkruipen maakt dit mogelijk zonder effect op diergezondheid.
d		
e		
Emissiefactor		... kg NH ₃ per jaar per dierplaats.
Verwijzing meetrapport		



Figuur 1. Plattegrond biggenhok in de Wroetstal 2.0



Figuur 2. Dwarsdoorsnede van de Wroetstal 2.0.

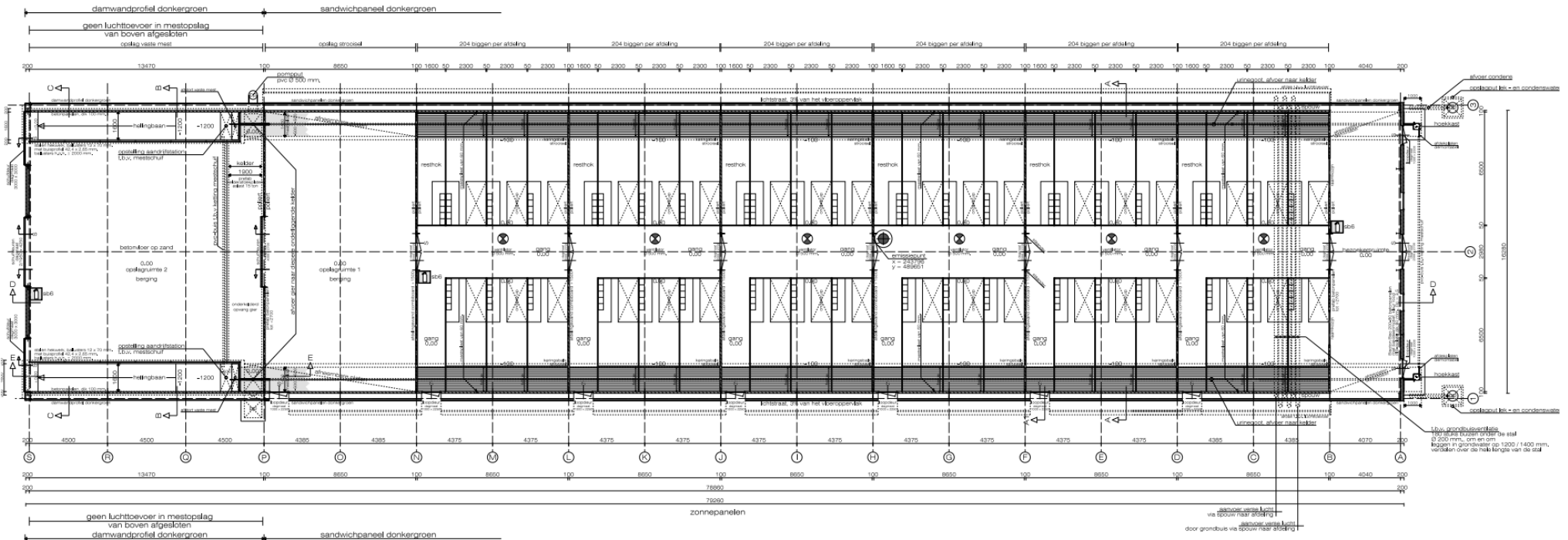


Figuur 3. Detailtekening van de mestschuif.

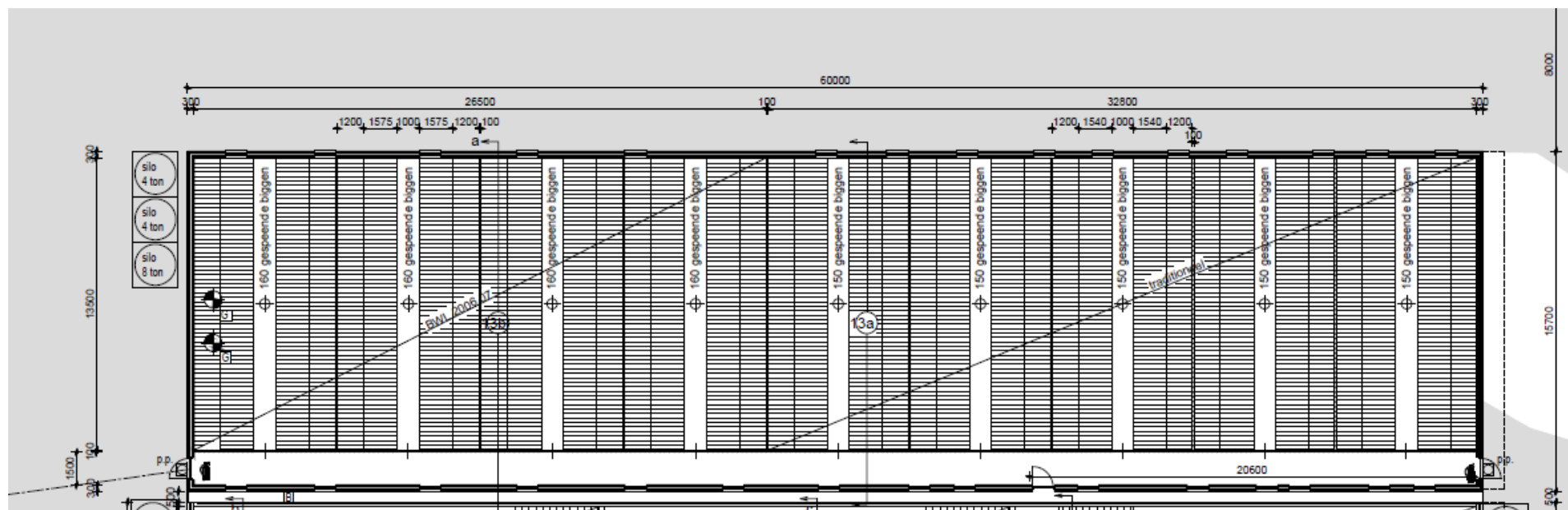
Bijlage III Voerschema biggen voor de proef en controleafdeling

Gespeende biggen (tot 25 kg)		
Nutriënten	t/m 1,5 week na spenen	t/m 7 weken na spenen
Ruw as	5,5	4,7
Ruw eiwit	16,7	15,9
Ruw vet	4,4	3
Ruwe celstof	4,4	4,8
Lysine	1,27	1,11
methionine	0,43	0,38
Calcium (totaal)	0,57	0,6
Fosfor (totaal)	0,52	0,43
Natrium	0,23	0,18

Bijlage IV Plattegrond proefstal



Bijlage V Plattegrond controlestal



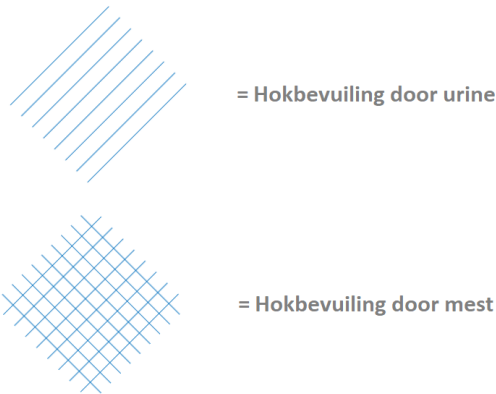
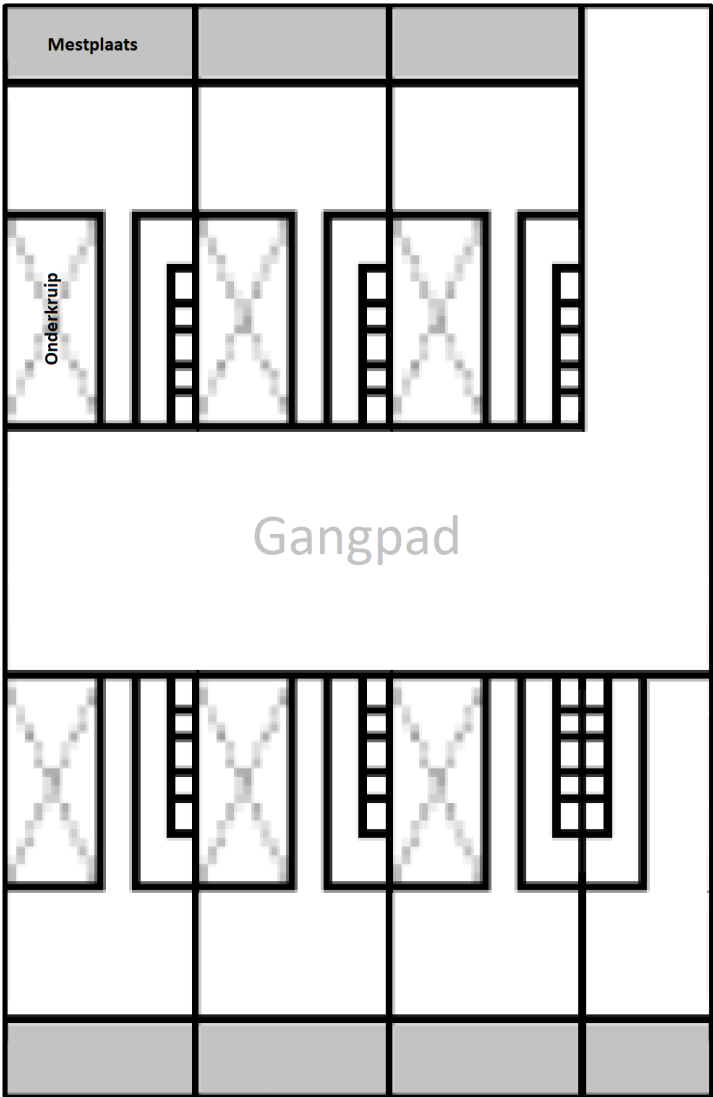
Bijlage VI Landbouwkundige randvoorwaarden

Landbouwkundige randvoorwaarden			
Code:	Categorie:	Subcategorie:	Datum:
B3	Varkenshouderij gangbaar	Biggenopfok (gespeende biggen)	December 2010
Huisvesting	Biggen van ca 4 weken leeftijd (8 kg) tot ca 25 kg worden in biggenopfokhokken gehouden. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. De afdeling moet minstens één ronde gebruikt zijn voor de huisvesting van gespeende biggen.		
Klimaat	De biggen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.		
Voeding	Voeding gebeurt volgens CVB-normen. Minimaal 160 g RE/EW. Registratie van voersamenstelling en –hoeveelheid is noodzakelijk. Waterversprekking gebeurt onbeperkt. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine.		
Productie	De groei van de biggen is in het traject 7 - 25 kg minstens 350 g/dag.		
Gezondheid en hygiëne	De biggen krijgen standaard veterinaire zorg. Het percentage uitval mag niet hoger zijn dan 10% per ronde. Registratie van reinigingstijdstippen en middelen is vereist evenals een schatting van de hoeveelheid verbruikt water inclusief het restant in de mestput. Ook registratie van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestput is voorwaarde.		
Aantal dieren	Het minimum aantal dieren in de te meten afdeling is 40, gelijk aan het maximum aantal dieren per hok. De bezetting moet tijdens ieder moment van de meting minstens 90% zijn.		
Registratie	<i>Per opfokperiode van 5 tot 7 weken:</i> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - schatting van de hoeveelheid verbruikt schoonmaakwater inclusief het restant in de mestput. - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - veterinaire behandelingen op koppelniveau - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen		

Bijlage VII Klimaatinstellingen proef en controleafdeling

	Dag nr.	Temperatuur (°C)	Minimale ventilatie (%)	Maximale ventilatie (%)
Proefafdeling	Dag 1	22,0	3	50
	Dag 7	21,0	4	50
	Dag 21	20,0	5	100
	Dag 42	19,0	6	100
				Bandbreedte = 5
Controleafdeling	Dag 1	27,0	8	50
	Dag 10	25,0	10	60
	Dag 20	23,0	16	100
	Dag 40	22,0	18	100
				Bandbreedte = 5

Bijlage VIII Hokbevuilingsscoreformulier



Bijlage IX Metingen compleet proefafdeling

Datum	30-10-2023	5-2-2024	16-4-2024	27-5-2024	3-7-2024	28-8-2024	16-12-2024
Meting	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Aantal dieren	200	200	201	192	200	200	200
Diergewichten, dag begin	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Diergewichten, eind productieronde	30,8	29,9	24,9	28,7	27,8	32,4	29,2
Dagen na opleg op de meet dag	11	19	26	25	6	13	32
CH4 concentratie [ppm]	5,13 ; 5,16	4,57 ; 4,63	4,72 ; 4,75	4,22 ; 4,24	4,30 ; 4,28	4,06 ; 4,04	5,14 ; 5,06
CH4 concentratie Ingaand [ppm]	2,42 ; 2,43	2,80 ; 2,82	2,39 ; 2,36	2,66 ; 2,65	2,59 ; 2,57	2,64 ; 2,67	2,96 ; 2,97
CO2 Concentratie [ppm]	1477 ; 1490	1931 ; 1915	1552 ; 1585	1146 ; 1163	842 ; 841	937 ; 935	1965 ; 1927
CO2 concentratie Ingaand [ppm]	440 ; 441	451 ; 451	439 ; 438	446 ; 437	427 ; 429	515 ; 523	452 ; 449
N2O Concentratie [ppm]	0,39 ; 0,41	0,37 ; 0,38	0,41 ; 0,42	0,39 ; 0,39	0,39 ; 0,39	0,40 ; 0,40	0,41 ; 0,40
N2O concentratie Ingaand [ppm]	0,39 ; 0,39	0,37 ; 0,37	0,39 ; 0,39	0,35 ; 0,37	0,40 ; 0,39	0,37 ; 0,36	0,38 ; 0,38
NH3 concentratie [ppm]	1,50 ; 1,48	2,25 ; 2,13	1,74 ; 1,71	1,38 ; 1,39	0,97 ; 0,99	0,85 ; 0,84	1,64 ; 1,69
NH3 concentratie Ingaand [ppm]	0,05 ; 0,05	0,06 ; 0,06	0,07 ; 0,08	0,06 ; 0,08	0,17 ; 0,09	0,07 ; 0,06	0,05 ; 0,09
Fijnstof concentratie [mg/m3]	1,84 ; 1,77	1,70 ; 1,70	2,16 ; 2,03	1,09 ; 1,17	0,62 ; 0,66	0,57 ; 0,58	1,01 ; 1,08
Fijnstof concentratie Ingaand [mg/m3]	0,01 ; 0,01	0,02 ; 0,01	0,01 ; 0,01	0,01 ; 0,01	0,01 ; 0,01	0,01 ; 0,02	0,05 ; 0,01
Geur concentratie [ouE/m3]	1564 ; 1425	1379 ; 1907	897 ; 1296	1020 ; 1653	304 ; 301	559 ; 798	877 ; 1182
Dag in de productieronde	11	19	26	25	6	13	32
Ventilatie [m3/uur/dier]	13,2	10,7	15,4	28,0	33,5	34,3	12,5
Temperatuur [°C]	22,2	21,6	21,5	22,6	21,7	24,5	22,3
Luchtvochtigheid [%]	69,5	76,8	60,2	67,8	68,8	71,7	67,4
Tempratuur buiten [°C]	11,1	10,1	6,6	14,8	14,8	20,2	9,2
Luchtvochtigheid buiten [%]	92,5	82,5	85,5	80,0	75,0	78,0	87,0

* alle ventilatiewaarden zijn geschat door middel van de CO2-massabalans methode

Bijlage X Metingen compleet controleafdeling

Datum	30-10-2023	5-2-2024	16-4-2024	27-5-2024	3-7-2024	28-8-2024	16-12-2024
Meting	1	2	3	4	5	6	7
Aantal dieren	166	175	165	171	165	176	165
diergewichten, dag begin	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
diergewichten, eind productieronde	30,8	28,2	22,8	28,7	28,2	28,7	29,2
Dagen na opleg op de meet dag	4	32	19	18	13	20	25
CH4 concentratie [ppm]	2999 ; 282	158,95 ; 151	192 ; 191	86 ; 86	167 ; 173	- ; 59	163 ; 162
CH4 concentratie Ingaand [ppm]	2,42 ; 2,43	2,80 ; 2,82	2,39 ; 2,36	2,66 ; 2,65	2,59 ; 2,57	2,64 ; 2,67	2,96 ; 2,97
CO2 Concentratie [ppm]	3364 ; 3188	2193 ; 2112	2712 ; 2695	1458 ; 1437	1826 ; 1888	0,0 ; 1142	2486 ; 2481
CO2 concentratie Ingaand [ppm]	440 ; 441	451 ; 451	440 ; 438	446 ; 438	427 ; 429	515 ; 523	452 ; 449
N2O Concentratie [ppm]	2,68 ; 2,49	1,15 ; 1,09	2,56 ; 2,50	1,22 ; 1,20	1,86 ; 1,91	- ; 1,11	1,82 ; 1,85
N2O concentratie Ingaand [ppm]	0,39 ; 0,39	0,37 ; 0,37	0,39 ; 0,39	0,35 ; 0,37	0,40 ; 0,39	0,37 ; 0,36	0,38 ; 0,38
NH3 concentratie [ppm]	17,6 ; 17,4	3,55 ; 3,52	8,34 ; 9,07	4,42 ; 4,01	9,31 ; 9,31	2,92 ; 2,83	4,17 ; 4,42
NH3 concentratie Ingaand [ppm]	0,05 ; 0,05	0,06 ; 0,06	0,07 ; 0,08	0,06 ; 0,08	0,17 ; 0,09	0,07 ; 0,06	0,05 ; 0,09
Fijnstof concentratie [mg/m3]	-	-	-	-	-	-	-
Fijnstof concentratie Ingaand [mg/m3]	-	-	-	-	-	-	-
Geur concentratie [ouE/m3]	-	-	-	-	-	-	-
Dag in de productieronde	4	32	19	18	13	20	25
Ventilatie [m3/uur/dier]	5,9	12,0	7,6	19,0	10,9	28,0	9,2
Temperatuur [°C]	26,1	25,9	24,3	25,8	26,0	27,5	24,8
Luchtvochtigheid [%]	85,6	60,7	74,7	66,9	74,5	70,9	74,9
Tempratuur buiten [°C]	11,1	10,1	6,6	14,8	14,8	20,2	9,2
Luchtvochtigheid buiten [%]	92,5	82,5	85,5	80,0	75,0	78,0	87,0

Bijlage XI Gemiddelde emissie resultaten per protocollaire meting voor de proefafdeling

Meting	Datum	Dagen na opleg	EMISSIONS							REDUCTIE POTENTIEEL (t.o.v controleafd.)			REDUCTIE POTENTIEEL (t.o.v Bijlage V *)		
			T_stal	RV_stal	CH ₄ -emissie	N ₂ O-emissie	NH ₃ -emissie	Fijnstof-emissie	Geur	CH ₄ -emissie	N ₂ O-emissie	NH ₃ -emissie	NH ₃ -emissie	Fijnstof-emissie	Geur
			[°C]	[%]	[kg/jaar per dpl]	[g/jaar per dpl]	[kg/jaar per dpl]	[g/jaar per dpl]	[OUE/s per dpl]	%	%	%	%	%	%
M1	30-10-2023	11	22,2	69,5	0,19	3,10	0,11	187,5	4,98	97,9%	98,4%	81,9%	84,6%	-153,3%	36,2%
M2	5-2-2024	19	21,6	76,8	0,10	1,00	0,13	143,2	4,45	99,0%	99,3%	49,1%	81,5%	-93,5%	43,0%
M3	16-4-2024	26	21,5	60,2	0,19	6,35	0,14	255,9	4,29	97,5%	97,4%	61,7%	79,2%	-245,8%	45,1%
M4	27-5-2024	25	22,6	67,8	0,22	11,46	0,20	237,7	9,07	97,5%	95,3%	57,6%	71,5%	-221,2%	-16,3%
M5	3-7-2024	6	21,7	68,8	0,30	-1,22	0,16	168,3	2,56	96,9%	100,5%	71,7%	76,8%	-127,4%	67,2%
M6	28-8-2024	13	24,5	71,7	0,25	16,79	0,15	151,2	5,88	97,2%	94,9%	68,7%	78,5%	-104,3%	24,7%
M7	16-12-2024	32	22,3	67,4	0,14	5,03	0,11	102,5	3,26	98,2%	97,5%	49,9%	83,8%	-38,5%	58,2%
Gem.			22,3	68,9	0,20	6,07	0,14	178,0	4,92	97,8%	97,6%	62,9%	79,4%	-140,6%	36,9%

* Bijlage V = Bijlage V uit de Omgevingswet met emissiefactoren in de categorie 'Overige huisvestingsystemen': NH₃ [kg/jaar per dpl] = 0,69; Fijnstof [g/jaar per dpl] = 74,0; Geur [OUE/s per dpl] = 7,8

Bijlage XII Gemiddelde emissie resultaten per protocollaire meting voor de controleafdeling

Meting	Datum	Dagen na opleg	EMISSIONS				REDUCTIE POTENTIEEL (t.o.v. Bijlage V*)	
			T_stal	RV_stal	CH ₄ -emissie	N ₂ O-emissie	NH ₃ -emissie	NH ₃ -emissie
			[°C]	[%]	[kg/jaar per dpl]	[g/jaar per dpl]	[kg/jaar per dpl]	%
M1	30-10-2023	4	26,1	85,6	9,13	191,4	0,59	15,0%
M2	5-2-2024	32	25,9	60,7	10,36	140,7	0,25	63,6%
M3	16-4-2024	19	24,3	74,7	7,71	240,8	0,37	45,8%
M4	27-5-2024	18	25,8	66,9	8,80	245,1	0,46	32,7%
M5	3-7-2024	13	26,0	74,5	9,72	237,5	0,57	18,0%
M6	28-8-2024	20	27,5	70,9	8,94	326,4	0,47	31,2%
M7	16-12-2024	25	24,8	74,9	7,90	198,6	0,22	67,8%
Gem.			25,8	72,6	8,93	225,8	0,42	39,2%

* Bijlage V = Bijlage V uit de Omgevingswet met emissiefactoren in de categorie 'Overige huisvestingsystemen': NH₃ [kg/jaar per dpl] = 0,69; Fijnstof [g/jaar per dpl] = 74,0; Geur [OUE/s per dpl] = 7,8

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.

