

Emissies uit een innovatieve biggenstal met mestschuif en gescheiden gierafvoer

Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122002

Paria Sefeedpari, Noor Hertogh, Joost van Rooijen, Patrick van Valkengoed, André Aarnink

Rapport 1600



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Emissies uit een innovatieve biggenstal met mestschuif en gescheiden gierafvoer

Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122002

Paria Sefeedpari, Noor Hertogh, Joost van Rooijen, Patrick van Valkengoed, 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, december 2025

Rapport 1600

Sefeedpari, P., N.C. Hertogh, J.C. van Rooijen, P.H.R. van Valkengoed & A.J.A. Aarnink, 2025. *Emissies uit een innovatieve biggenstal met mestschuif en gescheiden gierafvoer; Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122002*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1600.

Samenvatting NL - Dit project richt zich op de ontwikkeling en validatie van een innovatief stalsysteem voor gespeende biggen met mestschuif en gescheiden gierafvoer (combi-scrapers). Het systeem combineert de gescheiden afvoer van urine en feces met aanvullende desinfectiemaatregelen. Tussen oktober 2024 en juli 2025 zijn in zes meetperiodes emissies van ammoniak, methaan, lachgas, geur en fijnstof gemeten bij één proefafdeling van één biggenstal volgens erkende protocollen. Het combi-scrapersysteem voor gespeende biggen laat overtuigende (bedrijfsspecifieke) emissiereducties zien voor ammoniak ($\approx 86\%$), methaan ($\approx 95\%$), lachgas ($\approx 81,5\%$) en geur ($\approx 32\%$), terwijl de resultaten voor fijnstof ($\approx 63\%$) minder eenduidig waren door meetonzekerheden. De resultaten impliceren dat dit systeem de potentie heeft om zowel het dierenwelzijn als het stalklimaat structureel te verbeteren en emissies van meerdere componenten tegelijk te reduceren.

Summary UK - This project focuses on the development and validation of an innovative housing system for weaned piglets with manure scraper and separate urine removal (combi-scrapers). The system combines separated removal of urine and faeces, with additional disinfection measures. Between October 2024 and July 2025, emissions of ammonia, methane, nitrous oxide, odour, and fine dust were measured at one experimental room on one weaned pig barn over six measurement periods following recognized protocols. The combi-scrapers system for weaned piglets demonstrated convincing (farm-specific) emission reductions in ammonia ($\approx 86\%$), methane ($\approx 95\%$), nitrous oxide ($\approx 81,5\%$) and odour ($\approx 32\%$), while the results for particulate matter ($\approx 63\%$) were less conclusive due to no clear reference value and measurement uncertainties, respectively. The findings indicate that this system has the potential to structurally improve both animal welfare and barn climate while reducing multiple emissions simultaneously.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/702963> 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.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1600

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Vooronderzoek	11
2.1 Geschatte ammoniakreductie	11
2.2 Geschatte reductie van broeikasgassen, geur en fijnstof	12
3 Materiaal en methode	13
3.1 Bedrijfssituatie en behandelingen	13
3.2 Waarnemingen en metingen	15
3.2.1 Protocollaire emissiemetingen (referentiemetingen)	15
3.2.2 Meetpunten	16
3.2.3 Ammoniak metingen	16
3.2.4 Methaan en lachgas metingen	17
3.2.5 Geurmetingen	17
3.2.6 Fijnstofmetingen	18
3.2.7 Continue metingen	19
3.2.8 Ventilatie-debiet	19
3.2.9 Kalibratie van de meetwaaiers	20
3.2.10 Overige metingen	20
3.3 Berekening van de emissies en reducties	20
3.3.1 Ammoniak, methaan en lachgas	21
3.3.2 Geur en fijnstof	22
4 Resultaten	23
4.1 Protocollaire emissiemetingen	23
4.1.1 Verdeling van meetdagen voor protocollaire emissiemetingen	23
4.1.2 Berekende emissies en reducties op basis van protocollaire emissiemetingen	24
4.2 Hokbevuiling	29
4.3 Impact van sproeien met EOW en water	29
4.4 Continue metingen	30
5 Discussie	38
5.1 Ammoniakemissie	38
5.2 Methaanemissie	39
5.3 Lachgasemissie	39
5.4 Geuremissie	40
5.5 Fijnstofemissie	40
5.6 Toepassing en robuustheid van EOW in de proefstal	41
5.7 Implicaties van de verkregen resultaten	41
5.7.1 Meetopstelling en meetcampagneperiode	41
5.7.2 Continue metingen versus protocollaire metingen	42
5.7.3 Fijnstofemissies	42

5.7.4	Ionisatiesysteem	42
5.7.5	EOW- en watersproeisysteem	42
6	Conclusies en aanbevelingen	43
	Literatuur	44
Bijlage I	Referentie emissiefactoren	47
Bijlage II	Concept Leaflet	48
Bijlage III	Zijaanzicht van de proefstal	51
Bijlage IV	Foto roostervloer achterin het hok met dichte achterrand met urinespleten	52
Bijlage V	Functies, specificaties en vereisten EOW-installatie Aquaox EA-30	53
Bijlage VI	Landbouwkundige randvoorwaarden	54
Bijlage VII	Klimaatinstellingen	55
Bijlage VIII	IJKlijnen meetwaaiers	56
Bijlage IX	Voerschema biggen	57
Bijlage X	Hokbevuilingscoreformulier	58
Bijlage XI	Metingen compleet	59
Bijlage XII	Gemiddelde emissie resultaten per protocollaire meting	60

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in een samenwerking tussen varkenshouders, de technologieontwikkelaar van het combi-scrapersysteem, Connecting Agri & Food en Wageningen Livestock Research (WLR). Het onderzochte systeem is in deze samenwerking verder ontwikkeld en verbeterd. Het onderzoek is uitgevoerd op verschillende varkensbedrijven bij verschillende categorieën varkens. In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek op één van deze bedrijven bij gespeende biggen weergegeven. Een belangrijk onderdeel van het combi-scrapersysteem is de dagelijkse mestafvoer met een mestschuif en gescheiden afvoer van urine, in combinatie met een aanvullende desinfectiemaatregel met elektrolytisch geoxideerd water (Electrolyzed Oxidizing Water; EOW). Daarnaast zijn wanden en vloeren gecoat om indringing van urine te voorkomen en een snellere afvoer te bevorderen.

Het project heeft niet alleen als doel om de emissies te beperken, maar tevens te zorgen voor een beter stalklimaat, verbeterde gezondheid van mens en dier en het produceren van gescheiden meststromen die geschikt zijn voor verdere verwerking.

De emissiemetingen zijn uitgevoerd volgens protocollaire metingen 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 metingen zijn mede mogelijk gemaakt dankzij financiële ondersteuning vanuit de Subsidierегeling 'brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen (Sbv)', gefaciliteerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Wij danken alle samenwerkende partijen hartelijk voor het in ons gestelde vertrouwen en hun bijdrage aan dit traject. Vooral dank aan 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. Verder dank aan onze collega's van het Air Quality Lab voor het uitvoeren van de emissiemetingen en bijbehorende waarnemingen op deze bedrijfslocatie en de reviewers van het rapport voor de waardevolle opmerkingen.

Wij hebben er vertrouwen in dat van deze resultaten nuttig gebruik zal worden gemaakt voor het verder verduurzamen van de varkenshouderij.

Namens het onderzoeksteam,

André Aarnink

Wageningen Livestock Research



Samenvatting

De dagelijkse mestverwijdering met schuifstelsysteem (combi-scrapers) is ontwikkeld als innovatief mestverwijderingssysteem voor varkenstallen met als doel zowel het stalklimaat te verbeteren als de emissie van schadelijke stoffen aanzienlijk te reduceren. Het systeem maakt gebruik van frequente mestafvoer (4x/dag) met een mestschuif en gescheiden, continue afvoer van urine, in combinatie met aanvullende desinfectiemaatregelen met elektrolytisch geoxideerd water (Electrolyzed Oxidizing Water; EOW). Daarnaast worden gecoate betonnen vloer- en wandelementen toegepast om indringing van urine te voorkomen en een snellere afvoer te bevorderen. Daarmee wordt ingespeeld op de steeds strengere emissie-eisen en de toenemende maatschappelijke druk om emissies van ammoniak, broeikasgassen, geur en fijnstof uit de veehouderij terug te dringen. Het systeem is in dit onderzoek geëvalueerd in een biggenstal tijdens meerdere groeiperioden (één meting per twee maanden) in de periode van oktober 2024 tot en met juli 2025. De emissiemetingen, uitgevoerd conform de geldende protocollen, bestrijken een periode van iets minder dan één jaar en waren afgestemd op de bedrijfsomstandigheden die destijds op het varkensbedrijf van toepassing waren. In dit rapport is enkel één proefafdeling op één bedrijf bemeaten, daarom wordt de term 'bedrijfsemissiefactor' gebruikt om de berekende emissies aan te duiden voor enkel dit bedrijf met het combi-scrapersysteem. Om een emissiefactor volgens protocol vast te stellen, zal het onderzochte systeem nog in biggenstallen op drie andere bedrijven moeten worden bemeaten. Voorafgaand aan de metingen zijn inschattingen gemaakt van de verwachte emissiereducties. Het doel van dit onderzoek was om vast te stellen in welke mate het systeem voldoet aan de verwachte reducties. Hieronder worden de belangrijkste bevindingen samengevat.

Ammoniakemissie (NH₃)

Voor ammoniak werd voorafgaand aan het onderzoek een reductie van ca. 89% verwacht ten opzichte van de bestaande emissiefactor van overige huisvestingssystemen voor gespeende biggen (0,69 kg per jaar per dierplaats) uit bijlage V van de Omgevingsregeling. De bedrijfsemissiefactor, berekend als het gemiddelde van de absolute emissie, is vastgesteld op $0,097 \pm 0,063$ kg NH₃ per jaar per dierplaats. De resultaten laten zien dat het combi-scrapersysteem bij dit bedrijf een reductie van 86,0% realiseert. Deze uitkomst bevestigt dat frequente mestafvoer en scheiding van urine en feces effectief zijn in het beperken van ammoniakvorming. De reductie wordt bereikt doordat de urine continu wordt afgevoerd naar een afgesloten opslag en het emitterende oppervlak gelijktijdig is verminderd, waardoor, in combinatie met desinfectie met behulp van EOW, de microbiële omzetting van ureum in de urine naar ammoniak en de gasvorming daarvan sterk worden geremd. De gemeten variaties in ammoniakemissie tijdens de groeiperiode van de biggen hangen samen met ventilatie-instellingen, groei en mestproductie van de dieren, en dagelijkse mestafvoer. Hoewel deze fluctuaties zichtbaar zijn, blijft de structurele reductie stabiel en hoog. Dit wijst erop dat het systeem effectief is onder verschillende omstandigheden.

Methaanemissie (CH₄)

Op basis van de verkregen resultaten voor methaan is een bedrijfsemissiefactor vastgesteld van $0,26 \pm 0,17$ kg CH₄ per jaar per dierplaats, wat resulteert in een emissiereductie van 95,1% ten opzichte van de referentiewaarde van 5,3 kg per jaar per dierplaats op basis van een gemiddelde jaaremmissie in gangbare biggenstallen. De metingen bevestigen de vooraf geconstateerde verwachting waarbij de bijdrage van methaanemissie uit de mest in dit systeem zeer laag is, ervan uitgaande dat het merendeel van de methaanemissie uit stallen met gespeende biggen afkomstig is van de opslag van mest. De resterende methaanemissie (5%) is, naar verwachting, afkomstig van de dieren zelf. Het snelle afvoeren van mest voorkomt anaerobe afbraakprocessen en daarmee methaanvorming in de stal. Wel blijft het van belang dat de

mest na afvoer tijdig wordt verwerkt, bijvoorbeeld door vergisting. Daarmee kan methaanvorming buiten de stal worden beperkt en tegelijkertijd duurzame energie in de vorm van biogas worden geproduceerd.

Lachgasemissie (N₂O)

Met de lage gemeten lachgasemissie ($2,98 \pm 1,1$ g per jaar per dierplaats) is in het onderzochte systeem een emissiereductie van 81,5% vastgesteld ten opzichte van de referentiewaarde uit eerder onderzoek ($16,1$ g per jaar per dierplaats). Opgemerkt dient te worden dat ondanks het hogere aardopwarmingsvermogen (GWP of Global Warming Potential) van N₂O in vergelijking met dat van CH₄ (273 versus 27 kg CO₂-eq uit IPCC (2023)) de bijdrage van N₂O aan de totale broeikasgasemissie in dit onderzochte systeem beperkt blijft, waardoor methaanemissie van varkensstallen de dominante component is en mitigatie zich vooral op CH₄ zou moeten richten. Nader onderzoek is echter noodzakelijk om lachgasemissies onder verschillende staltypen beter te begrijpen en te beheersen.

Geuremissie

Voor geur is een absolute emissie van $5,32 \pm 2,55$ OUE/s per dierplaats gemeten met een reductiepercentage van 31,9% ten opzichte van de referentie emissiefactor voor overige huisvestingssystemen bij gespeende biggen ($7,8$ OUE/s per dierplaats) uit bijlage V van de Omgevingsregeling. Voor gespeende biggen is voor het combi-scraper systeem geen verwachting uitgesproken ten aanzien van het reductiepercentage voor geur. De toepassing van frequente verwijdering van mest kan hierbij bijdragen aan een reductie van de geuremissie, doordat ophoping van organische verbindingen die geur veroorzaken wordt beperkt.

Fijnstofemissie (PM₁₀)

Tijdens twee meetrondes zijn lagere concentraties in de stal gemeten dan dat van de ingaande lucht, wat niet realistisch lijkt en mogelijk te wijten is aan beschadigde meetslangen of invloeden van lokale luchtstromen. Deze data zijn daarom buiten de berekening gelaten. Daarom is op basis van de vier geldige meetmomenten een absolute fijnstofemissie van $27,6 \pm 8,92$ vastgesteld, wat resulteerde in een berekende reductie van 62,7% ten opzichte van de bestaande emissiefactor voor overige huisvestingssystemen bij gespeende biggen ($74,0$ g per jaar per dierplaats) uit bijlage V van de Omgevingsregeling.

Samenvattend heeft het onderzochte combi-scraper systeem overtuigend aangetoond dat het in staat is zeer hoge reducties te realiseren voor drie van de belangrijkste emissies voor de veehouderij, namelijk ammoniak, methaan en lachgas. Voor geur is een duidelijke reductie waargenomen, terwijl voor fijnstof de resultaten minder eenduidig waren, met als oorzaak de meetonzekerheden. De bevindingen laten zien dat het systeem een waardevol alternatief kan zijn voor conventionele biggenstallen, met voordelen voor zowel de luchtkwaliteit in de stal, als het milieu.

1 Inleiding

Om de opwarming van de aarde te beperken tot minder dan twee graden ten opzichte van 1990 is het Klimaatakkoord van Parijs opgesteld en in 2016 ondertekend door 195 landen. Nederland heeft vervolgens eigen doelen gesteld om de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met 55% te reduceren ten opzichte van 1990 en klimaatneutraal te zijn in 2050 (Rijksoverheid, 2023). Daarnaast heeft Nederland het doel gesteld om in 2030 de uitstoot van methaan, één van de belangrijkste broeikasgassen, met 30% te verlagen ten opzichte van 2020 (Rijksoverheid, 2025). In Nederland was de land- en tuinbouw in 2021 verantwoordelijk voor 16% van de totale broeikasgasemissies, waarvan ruim de helft uit de veehouderij afkomstig was (Berkhout *et al.*, 2023; WUR, 2025a). Methaan is het belangrijkste broeikasgas in de veehouderij. Het ontstaat door het verteringsproces van het voer, vooral bij herkauwers, en uit de mest (WUR, 2025b). Om de doelen van de Nederlandse overheid en het Klimaatakkoord te behalen, zijn maatregelen beschreven voor de veehouderij, waaronder het realiseren van emissiearme en duurzame stallen. Daarnaast zijn er aangescherpte emissienormen voor ammoniakemissie uit de veehouderij opgesteld om de natuurwaarde in Natura2000-gebieden te beschermen. In 2025, 2030 en 2035 moet de depositie op respectievelijk 40%, 50% en 74% van de hectaren aan stikstofgevoelige natuur in Natura2000-gebieden onder de kritische depositiewaarden zijn gebracht (PSN, 2022).

Ammoniakreductie in de veehouderij kan behaald worden door middel van luchtwassers waarmee ammoniak en fijnstof uit de uitgaande stallucht verwijderd worden. De huidige luchtwassers hebben echter geen effect op verbetering van de luchtkwaliteit in de stal en kunnen geen methaan uit de lucht verwijderen. Door maatregelen bij de bron te nemen, kunnen emissies in de stal gereduceerd worden, waardoor de luchtkwaliteit in de stal verbetert. Dit heeft een positief effect voor dier, mens en milieu (Aarnink *et al.*, 2019). De Nederlandse overheid stimuleert brongerichte maatregelen voor het emissiearm maken van stallen door middel van de 'Subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen' (Sbv). Dit maakt het mogelijk voor veehouders en het toeleverend bedrijfsleven om te investeren in de ontwikkeling van brongerichte maatregelen in de stal en daarmee de uitstoot van ammoniak, broeikasgassen, fijnstof en geur te reduceren. 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 in dit rapport is opgestart om een innovatief systeem met dagelijkse mestverwijdering met mestschuif en gescheiden gierafvoer te onderzoeken (combi-scraper) 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 bijlage V van de Omgevingsregeling (de voormalige Rav-lijst) (RVO, 2020). Het onderzochte systeem is echter zodanig ontworpen dat aanvullende maatregelen worden toegepast om de ammoniakemissie verder te reduceren, zoals verder in dit rapport wordt toegelicht.

Dit systeem is getest op een locatie met gespeende biggen en zal in de nabije toekomst op drie andere locaties worden beproefd bij dragende zeugen, gespeende biggen en vleesvarkens. De reductiedoelstelling in de veehouderijsector richt zich niet uitsluitend op de verlaging van ammoniakemissies, maar tevens op de emissies van broeikasgassen (vooral methaan), geur en fijnstof. De Sbv-subsidiemodules eisen dat de methaanuitstoot met 50% wordt verminderd terwijl voor geur en fijnstof een reductie van 25% wordt nagestreefd (Aarnink *et al.*, 2021; Rijksoverheid, 2022).

Het onderzochte innovatieve systeem maakt gebruik van de volgende reducerende principes:

- 1) Gescheiden afvoer van mest en urine via een hellende vloer met mestschuif; De urine loopt continu af naar een afgesloten opslag en de feces worden 4x per dag met de mestschuif afgevoerd;
- 2) Tijdens elke schuifbeurt wordt minimaal 200 ml water per m² schuifoppervlak gesproeid;

-
- 3) Tijdens één schuifbeurt per dag wordt direct na schuiven een hypochloride oplossing (EOW = Electrolyzed Oxydizing Water) gespreid (200 ml/m² schuifoppervlak) om te voorkomen dat zich urease-activiteit gaat ontwikkelen op de schuifvloer;
 - 4) Coating van de schuifvloer, zodat mest en urine sneller wordt afgevoerd.

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 combi-scaper systeem bij gespeende biggen. In dit onderzoek is de varkenshouder verantwoordelijk voor de implementatie en management van het emissie-reducerende systeem. Wageningen Livestock Research (WLR) was verantwoordelijk voor het uitvoeren van de emissiemetingen, het analyseren van de tijdens de protocollaire metingen genomen luchtmonsters, en het inschatten van de te verwachten bedrijfsemissiefactor en emissiereductie van het onderzochte systeem. 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 meetlocatie, 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 onderzochte innovatieve systeem met dagelijkse mestverwijdering met mestschuif en gescheiden gierafvoer voor gespeende biggen. Het systeem verwijdert mest snel via schuiven onder het water- en mestkanaal, met een sproei-installatie, die vier keer per dag de mest uit de afdeling schuift. De schuifvloer was V-vormig waardoor deze van beide zijden in de breedte naar het midden af liep (1% helling) en was uitgevoerd met een coating. Urine stroomde continu af naar een goot in het midden van de V-vormige vloer naar een gesloten tussenopslag. Na elke schuifbeurt werd gesproeid, driemaal per dag met water en eenmaal per dag met EOW (Electrolyzed Oxidizing Water). Het water zorgde voor het wegsproeien van de mestfilm na het schuiven en de EOW zorgde voor een verminderde urease-activiteit op de schuifvloer. De afdelingswanden waren van kunststof.

2.1 Geschatte ammoniakreductie

Voor het berekenen van de ammoniakemissie en reductie ten opzichte van de bestaande emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen' van 0,69 kg NH₃ per jaar per dierplaats uit Bijlage V van de Omgevingsregeling (Bijlage I van dit rapport) is uitgegaan van drie te onderscheiden emitterende bronnen. Deze bronnen zijn: 1) de mestkanalen voor- en achterin het hok; met dichte V-vormige vloer onder de driekantsroosters achterin en voorin het hok met mestschuifstelsel en giergoot; 2) het (gietijzeren) driekantsrooster achterin het hok en het kunststofrooster voorin het hok; 3) de dichte vloer van de ligruimte.

Eerst zijn de afzonderlijke emissies per bron berekend en vervolgens zijn deze bij elkaar opgeteld. Om de ammoniakemissie per bron te bepalen is een algemene berekening gebruikt, deze was als volgt:

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

Waarin: E_{Bi} is de ammoniakemissie van bron i (kg per jaar per dierplaats); A_{Bi} is de emitterende oppervlakte van bron i (m² per dierplaats); $E_{m^2_{Bi}}$ is de ammoniakemissie per m² emitterende oppervlakte van bron i (kg per jaar per m², gecorrigeerd voor leegstand). De hierboven genoemde bronnen zijn: mestkanalen, roostervloeren en ligruimtes. Alleen voor de berekening van de ammoniakemissie vanaf de roostervloer werd een andere systematiek gebruikt. Hierbij werd uitgegaan van een vaste ammoniakemissie per dierplaats.

Voor de berekening van de ammoniakemissie van het innovatieve mestschuifstelsel voor gespeende biggen is uitgegaan van de volgende punten:

- Er is uitgegaan van de minimale welzijnsnormen voor het aantal dierplaatsen voor gespeende biggen tot 30 kg: 0,30 m²/dier (netto oppervlakte) (RVO, 2020)
- Voor emissies vanaf de metalen driekant roosters is uitgegaan van 0,030 kg NH₃ per jaar per dierplaats (Groenestein *et al.*, 2014). Doordat vrijwel alle mest op het metalen rooster komt, is verondersteld dat de emissie vanaf het kunststofrooster te verwaarlozen is
- Voor emissie vanaf de dichte vloer werd uitgegaan van 1,22 kg NH₃ per m² emitterend oppervlak per jaar (Aarnink *et al.*, 2012). Hierbij werd uitgegaan van 3,0% bevuild dichte vloeroppervlak bij het combi-scraper systeem, omdat de hokbevuiling beperkt werd door de hokinrichting en vloerkoeling in de zomer.
- Voor de emissie uit het mestkanaal (kelderemissie) is uitgegaan van 2,17 kg NH₃ per m² emitterend oppervlak per jaar (Aarnink *et al.*, 2012). Met het combi-scraper systeem werd naar verwachting de kelderemissie met 80% verlaagd, doordat de urine continu naar een afgesloten opslag afgevoerd werd,

en de feces vier keer per dag worden afgevoerd door middel van de mestschuif. Daarnaast werd de urinefilm na drie van de vier schuifbeurten per dag verwijderd door 200 ml water per m² vloeroppervlak te sproeien. De geschatte 80% ammoniakemissiereductie is gebaseerd op metingen die zijn uitgevoerd aan een mestbandsysteem bij vleesvarkens. Hierbij werd de kelderemissie gedurende een winterperiode naar schatting met 84% gereduceerd (Aarnink & Verstegen, 2007). De geschatte 80% ammoniakreductie van kelderemissie werd ook onderbouwd door de resultaten uit het onderzoek van (Montsma & Groenestein, 1992), welke een reductie van ammoniakemissie van 80% ten opzichte van een conventionele stal vonden bij een toepassing van een mestschuif op een gecoate vloer in een biggenstal. In het huidige combi-scraper systeem werd eenmaal per dag na schuiven met EOW gesproeid. Uit onderzoek bij melkvee van Puente-Rodríguez & Bos (2019) bleek dat de urease-activiteit hierdoor sterk beperkt werd. Daarom werd voor het combi-scraper systeem bij gespeende biggen met schuiven, continue urineafvoer, sproeien van water en EOW, een ammoniakreductie van de kelderemissie geschat van circa 90%.

In Tabel 1 worden de berekende ammoniakemissies gegeven in kg per jaar per dierplaats. Op basis van het samengestelde effect van de maatregelen, inclusief het innovatieve mestschuifstelsel, werd bij gespeende biggen een ammoniakreductie van circa 89% verwacht ten opzichte van de emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' zoals vermeld in Bijlage V van de Omgevingsregeling.

Tabel 1 *Berekende ammoniakemissie (in kg per jaar per dierplaats) bij gespeende biggen voor de proefstal, de innovatieve biggenstal met het combi-scraper systeem. Tevens is de huidige emissiefactor voor 'overige huisvestingssystemen' uit Bijlage V van de Omgevingsregeling (Bijlage I van dit rapport) opgenomen.*

Emissiebron	Emissiefactor	Proefstal
Mest- en waterkanaal		0,040
Bevuilde metalen rooster		0,030
Bevuilde dichte vloer		0,004
Totaal		0,074
Emissiefactor ¹	0,69	
Reductie proef (% van emissiefactor)		89%

¹ Emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' uit Bijlage V van de Omgevingsregeling (zie Bijlage I van dit rapport)

2.2 Geschatte reductie van broeikasgassen, geur en fijnstof

Door de feces meerdere malen per dag en de urine continu uit de afdeling af te voeren, werd verwacht dat de methaanemissie uit de mest in de afdeling tot vrijwel nul zal worden gereduceerd. Hiermee resteert uitsluitend de enterische methaan productie (circa 10%). Ten opzichte van een referentiesituatie met langdurige opslag van mest onder de roostervloer werd voor het innovatieve mestschuifstelsel een totale methaanreductie in de stal van circa 90% verwacht.

Voor gespeende biggen is er geen vergelijkingsmateriaal voor het inschatten van geurreductie met het combi-scraper systeem. Bij vleesvarkens werd een geurreductie verwacht van 60% met dagontmesting door middel van mestschuiven en sproeisysteem (Aarnink & Monteny, 2019).

Er werd geen effect verwacht op de fijnstofemissie van het innovatieve mestschuifstelsel. Er is echter een aanvullende technologie geïmplementeerd, namelijk een ionisatiesysteem met een verwachte fijnstofreductie van 30%.

3 Materiaal en methode

3.1 Bedrijfssituatie en behandelingen

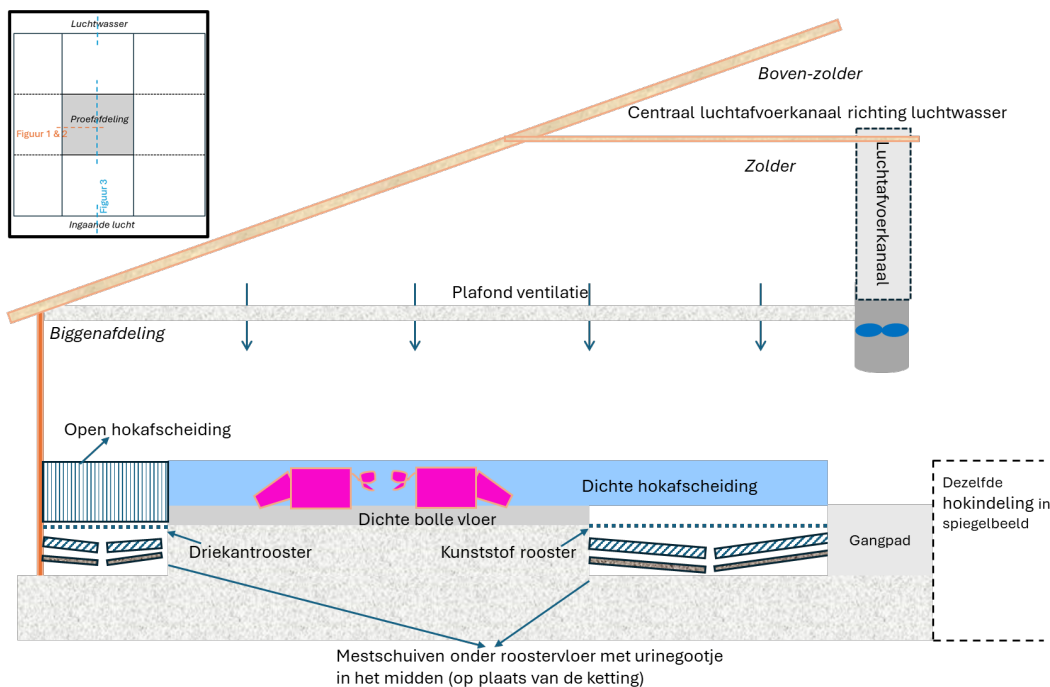
Het innovatieve systeem met dagelijkse mestverwijdering met een mestschuif en gescheiden gierafvoer is een emissiearme staltechniek die, binnen de Subsidiemodules brongerichte verduurzaming stal- en managementmaatregelen, op een viertal varkenshouderijbedrijven in gebruik is genomen onder twee aanvragen. Op de gemeten locatie is een experimentele stal voor gespeende biggen gebouwd met een mestschuif, die voldoet aan en werd beheerd volgens de bijbehorend leaflet van het systeem (Bijlage II). De stal was uitgevoerd met ondiepe mestkanalen onder de roostervloeren voor en achterin de hokken, waarin een mestschuif viermaal per dag de mest wegschoof. De vloer van het mestkanalen was V-vormig en liep aan beide zijden in de breedte naar het midden af (1% helling). Daarnaast was de vloer van de mestkanalen gecoat met transparant mesa topcoating om de urineafvoer te bevorderen en de urease-activiteit te beperken. Urine stroomde continu af via een goot (met een afschot van 0,2% over de lengte van het mestkanaal) in het midden van de V-vormige vloer en van daaruit naar een afgesloten urineopslag. Om het schuiven te vergemakkelijken en resten urine en feces te verwijderen, werd driemaal per dag na een schuifbeurt met 200 ml/m² schuifoppervlak aan water gesproeid via sproeileidingen boven beide mestkanalen. Daarnaast werd na één schuifbeurt per dag met EOW (Electrolyzed Oxydizing Water) gesproeid (200 ml/m² schuifoppervlak) om urease-activiteit op de schuifvloer te verminderen. Het EOW systeem, genaamd Aquaox EA-30 system en geleverd door Aquaox (Soest), had een productiecapaciteit van 30-40 liter per uur geëlektrolyseerd water ter plaatse met waardes voor vrij chloor van circa 500 mg/L, een Oxidation Reduction Potential (ORP) van > 800 en een pH van 6 tot 8. De overige technische specificaties en vereisten zijn weergegeven in Bijlage V. De afdelingswanden waren van kunststof en de dichte vloer in het hok was gecoat met gekleurde mesa topcoating, zodat urine en feces niet in de poriën van de vloer konden indringen. Opgemerkt dient te worden dat de onderzochte biggenstal is uitgerust met een gecombineerde luchtwasser (BWL 2009.12.V4), met een reductie van 85% voor ammoniak, 45% voor geur en 80% voor fijnstof. Er zijn echter geen metingen uitgevoerd om de daadwerkelijke efficiëntie van de luchtwasser op dit varkensbedrijf te verifiëren.

De proefstal bestond uit negen afdelingen, gerangschikt in drie rijen van elk drie afdelingen. De proefafdeling bevond zich centraal, als middelste afdeling van de tweede rij. Elke eerste twee afdelingen per rij bevatten 24 hokken (12 aan weerszijden van het gangpad), terwijl de laatste afdeling 28 hokken omvatte (14 per zijde). De proefafdeling bestond uit 24 hokken van 11,51 m², met in totaal 900 dierplaatsen (0,31 m² per big), verdeeld over 39 à 40 biggen per hok. Een zijaanzicht van de proefstal is weergegeven in Bijlage III.

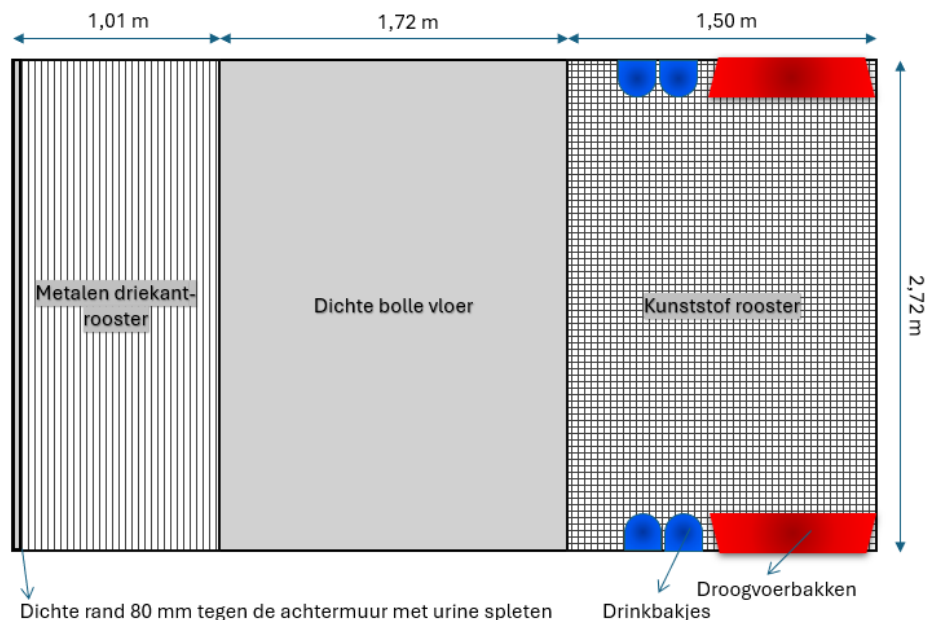
Alle eigenschappen van de proefafdeling worden verder in deze alinea beschreven en staan opgesomd in Tabel 2. De hokinrichting bestond uit 4,68 m² dichte bolle vloer. Voorin het hok bevond zich een 4,08 m² kunststof rooster (met mestspleetopeningen van 90 mm x 10 mm) met daaronder het waterkanaal met schuifstelsel. Achterin het hok bevond zich 2,75 m² gietijzeren roosters (met mestspleetopeningen van 205 mm x 9 mm) met daaronder het mestkanaal met schuifstelsel (Figuur 1 - Figuur 2). Van dit roosteroppervlak is de dragende kopzijde, zowel aan de voorzijde aansluitend aan de bolle dichte vloer, als ook aan de achterzijde aansluitend aan de achterwand de eerste 4 cm dicht (een foto hiervan is weergegeven in Bijlage IV). Aan de achterzijde is er sprake van een deels afgedichte roosterspleet met een opening van 4 cm. Deze is afgedicht met inpasbare gietijzeren strips met een doorlaatbaarheid van 25%. Elk hok had aan beide zijden van de hokafscheiding gedeeld met een volgend hok een droogvoerbak met zes vreetplaatsen (drie aan elke kant) (met een afmeting van 23 cm x 60 cm) op het kunststof rooster en daarnaast vier (twee aan elke kant) nippels met opvangbakjes eronder. De voersamenstelling is weergegeven in Bijlage IX. Voor de voerbak lag een rubberen mat van 27,5 cm x 57,5 cm en de biggen hadden onbeperkt water beschikbaar. Aan het drinkwater werd een mengsel van organische zuren toegevoegd, bestaande uit onder andere propionzuur en mierenzuur (Selko-pH, Trouw

Nutrition, Amersfoort, Nederland). Aangezien het organische zuren betreft die afgebroken worden in het lichaam is het niet de verwachting dat dit de pH van de mest beïnvloedt (Partanen & Mroz, 1999; Wang *et al.*, 2022). De voedingskenmerken van het dieet zijn opgenomen in Bijlage VIII. De hokafscheidingen waren van kunststof en volledig dicht.

De stal is voorzien van meerdere warmtewisselaars waarmee de inkomende lucht werd geconditioneerd alvorens deze via plafondventilatie de dierverblijven betrad. Door dit systeem te gebruiken werd de inkomende lucht in de koudere perioden in het jaar voorverwarmd, en in de warmere perioden terug gekoeld. Onder reguliere bedrijfsvoering betekende dit dat het afdelingsklimaat doorgaans stabiel was, wat een positief effect geeft op het lig- en mestgedrag van de biggen. De afdeling werd geventileerd via twee ventilatiekokers met dubbele diafragmaventielen en een diameter van 820 mm. Eén van de kokers was uitgerust met een meetwaaier voor het registreren van de luchtstroom. Vanuit de ventilatoren werd de uitgaande lucht via een luchtkanaal boven de afdeling naar een luchtwasser (BWL2009.12.V4) gezogen. De stal was uitgerust met een fijnstof emissie-reducerende techniek (ionisatiesysteem met koolstofborsteltjes), waarbij de ventilatielucht via een ioniserende voorziening werd geleid waardoor stofdeeltjes elektrostatisch neersloegen en het aandeel uitgestoten fijnstof (PM₁₀) gereduceerd werd. Na leegkomst van de dierverblijven zijn de ruimtes gereinigd met een schuimend inwekmiddel (MS TopFoam LC Fresh, MS Schippers, Bladel, Nederland). Vervolgens is een desinfectiemiddel op basis van gestabiliseerd waterstofperoxide toegepast (MS Megades Oxy, MS Schippers, Bladel, Nederland).



Figuur 1 Zijaanzicht biggenhok met mestschuifstelsel met linksboven in het lichtblauwe vlak aangegeven hoe deze figuur en figuur 2 en 3 zich verhouden ten aanzien van een schematisch bovenaanzicht van de stal.



Figuur 2 Bovenaanzicht biggenhok. In Figuur 1 is linksboven in het lichtblauwe vlak aangegeven hoe deze figuur zich verhoudt ten aanzien van een schematisch bovenaanzicht van de stal.

Tabel 2 Overzicht van kenmerken van de onderzochte proefafdeling van het bedrijf.

Kenmerken	Proefafdeling
Dierplaatsen	900
Afmeting afdeling (Lengte [m] x Breedte [m])	9,70 m x 32,64 m = 316,61 m ²
Aantal hokken en afmetingen hok (Lengte [m] x Breedte [m])	24 hokken van 4,23 m x 2,72 m = 11,51 m ² per hok (excl. hokafscheidingen)
Leefoppervlak (m ² per big)	0,31 m ²
Vloertype	Kunststof roostervloer (4,08 m ²) Dichte vloer (4,68 m ²) Metalen driekantroostervloer (2,75 m ²)
Mestsysteem	Mestkanaal met V-vormige vloer met mestschuif en sproeisysteem onder de roosters
Ventilatie	Mechanisch geventileerd
<ul style="list-style-type: none"> Luchtinlaat Luchtuitlaat 	Plafondventilatie waarbij de verse lucht werd aangezogen boven de afdeling en vervolgens via het plafond de afdeling betrad 2 Ventilatiekokers met diafragma klep met een diameter van 820 mm
Voersysteem	Ad libitum (6 vreetplaatsen)
Drinkwatersysteem	Ad libitum (4 drinknippels in bakjes)

3.2 Waarnemingen en metingen

3.2.1 Protocolaire emissiemetingen (referentiemetingen)

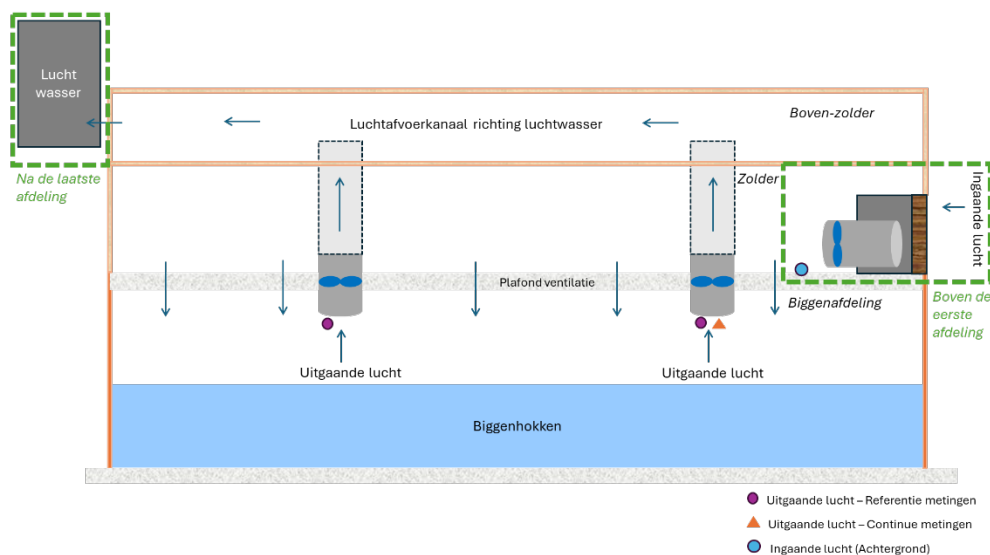
Er zijn protocolaire emissiemetingen uitgevoerd in één afdeling met gespeende biggen in de periode van oktober 2024 tot en met juli 2025. Tijdens zes meetperioden verdeeld over het jaar zijn emissies van ammoniak

(Ogink *et al.*, 2017), methaan (Groenestein *et al.*, 2011), lachgas (Mosquera *et al.*, 2010), geur (Ogink, 2011) en fijnstof (Ogink *et al.*, 2011) volgens vastgestelde meetprotocollen gemeten. Voor gespeende biggen werd een rechtlijnig toenemende emissie verwacht gedurende een ronde vanwege de groei van de biggen (Ogink *et al.*, 2017). Volgens het protocol van Ogink *et al.* (2017) dienen de metingen in opeenvolgende tweemaandelijke 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 voldaan, deze zijn weergegeven in Bijlage B van het meetprotocol (Ogink *et al.*, 2017) en Bijlage VI van dit rapport. Dit houdt onder andere in dat voor elke protocollaire meting de dierbezetting in de afdeling minimaal 90% was, de CO₂ concentratie in de afdeling lager was dan 3000 ppm en dat het uitvalpercentage niet hoger was dan 10% (Bijlage VI).

3.2.2 Meetpunten

De ingaande lucht (achtergrondconcentratie) werd tijdens de protocollaire metingen bemonsterd boven het plafond van de proefafdeling en nabijgelegen afdelingen waar de lucht binnen trad (Figuur 3). Voor de protocollaire metingen is de uitgaande lucht in duplo bemonsterd bij beide afzuigpunten in de ventilatiekokers van de proefafdeling. Voor de continue metingen, van onder andere de NH₃- en CO₂-concentraties, is de uitgaande lucht bij één ventilatiekoker gemeten. Voorafgaand aan de protocollaire metingen zijn leidingen aangebracht op de bemonsteringspunten voor de in- en uitgaande lucht, om de lucht te kunnen bemonsteren.

Meetpunten in de proefstal gespeende biggen – Ospel



Figuur 3 Meetpunten van de protocollaire en continue metingen. In Figuur 1 is linksboven in het lichtblauwe vlak aangegeven hoe deze figuur zich verhoudt ten aanzien van een schematisch bovenaanzicht van de stal.

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 een kritisch capillair en drie wasflessen getrokken (Figuur 4). 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, VS) werd voor en na elke meting het debiet (volumesnelheid) gemeten en genoteerd (Figuur 4). De 24-uurs luchtmonsters werden in het laboratorium van Wageningen Livestock Research (WLR) geanalyseerd volgens de spectrofotometrische methode (Mosquera *et al.*, 2021).



Figuur 4 Meetopstelling ammoniakmetingen. Links: Wasflessen. Rechts: Flowmeter (foto's uit 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 5). De PE leidingen werden aangesloten op een vat. In dit afgesloten vat werd voor luchtbemonstering 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 5 Meetopstelling van de longzakmethode. Links: Container met 40 liter monsternamezak. Midden: Een vacuüm getrokken 40 liter monsternamezak. Rechts: pomp, monsternameleiding 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 luchtbemonstering een vacuüm

getrokken in een 40 liter zak (Figuur 6). Voordat de lucht het vat werd ingezogen werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 micrometer, Savillex® 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 (Buro Blauw in Wageningen) 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.

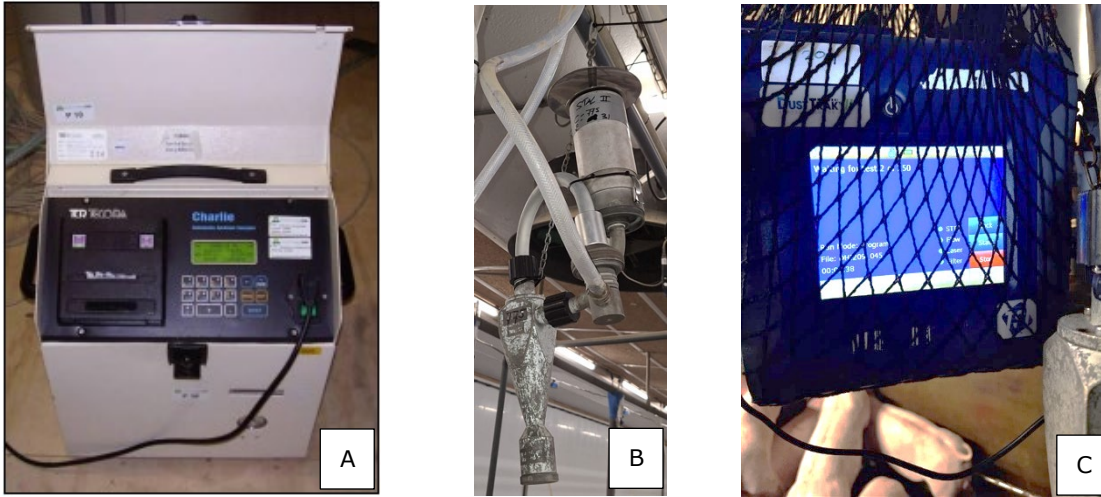


Figuur 6 Meetopstelling geurmetingen. Container met 40 liter monsternazak met aangekoppeld een Teflon leiding met een stoffilter (foto uit Groenestein et al. (2011)).

3.2.6 Fijnstofmetingen

De fijnstofconcentratie werd van de ingaande en uitgaande lucht van de proefafdeling gemeten. De lucht werd door middel van gewapende 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 7). De luchtsnelheid rond de sampler was niet hoger dan 2,0 m/s (Ogink et al., 2010). Door een geaccrediteerd bureau (Buro Blauw, Wageningen) 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.

Om inzicht te krijgen in het verloop van de fijnstofconcentratie gedurende de dag is tijdens 2 van de 6 meetperioden de fijnstof concentratie continu gemeten met een lichtverstrooiingsapparaat (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8533, TSI Inc., Shoreview, VS; luchtstroom: 1,7 L min⁻¹). De PM₁₀-concentraties zijn als twee-minutengemiddelden opgeslagen.



Figuur 7 Apparatuur voor bemonsteren van PM_{10} . A = De 'constant flow' monsternamerpomp (foto uit Mosquera et al. (2010)); B = PM_{10} cycloon constructie C – DustTrak 8533.

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 8). 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 $^{\circ}C$) en relatieve luchtvochtigheid (in %). De sensoren hingen onder een van de ventilatiekokers om de uitgaande lucht te bemeten, zoals eerder aangegeven in Figuur 3. 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 8 SlimmeStal sensor set (foto bron: Van Assendelft Fotografie).

3.2.8 Ventilatie-debiet

Klimaatinstellingen van de proefafdeling zijn weergegeven in Bijlage VI met betrekking tot temperatuurcurve en bandbreedte, ventilatie minimum en ventilatie maximum. Gedurende de meetperiode zijn de ventilatiedata continu gelogd. Deze loggegevens zijn gebruikt voor het berekenen van de emissies.

3.2.9 Kalibratie van de meetwaaiers

In de proefafdeling waren twee punten van afzuiging, waarvan één was uitgerust met een frequentielogging. Tussen 9 en 14 juli zijn er een tweetal gekalibreerde kokers met meetwaaier onder de beide bedrijfseigen kokers opgehangen. De kalibratie van de bijgeplaatste meetwaaiers werd uitgevoerd met een referentiemeetwaaier die vooraf in een windtunnel was gekalibreerd. Hierdoor konden nauwkeurige correctie-ijklijnen worden gemaakt tussen het door de computer geregistreerde ventilatiedebiet en het werkelijke ventilatiedebiet. De gekalibreerde meetventilatoren werden op de bestaande ventilatiekoker van de afdeling geplaatst, waarbij beiden dezelfde diameter hadden. De additioneel geplaatste kokers met meetwaaier hebben gedurende vijf dagen meegelopen in de normale bedrijfsvoering. Door deze meetperiode over meerdere dagen te laten lopen, konden zowel de lagere ventilatiedebieten tijdens de nacht (bij lage inkomende luchttemperaturen) als de hogere ventilatiepercentages tijdens piekmomenten overdag worden vastgelegd. Hierdoor werd een representatieve spreiding aan meetpunten verkregen voor het opstellen van een betrouwbare kalibratielij. Vervolgens werd bij de gekalibreerde meetventilator de omwentelingen per minuut (Hz) per interval geregistreerd, waarna deze data werd weggeschreven op een datalogstelsel (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS). De gemeten data werden vervolgens met behulp van een ijklijn omgerekend naar het geventileerde debiet (m³/h) en vergeleken met de door de klimaatcomputer van de varkenshouder geregistreerde debieten. Op basis van deze vergelijking werd een kalibratielij voor de ventilatie bepaald. Deze correctie-ijklijnen werden gebruikt om de door de klimaatcomputer geregistreerde hoeveelheden geventileerde lucht (m³/uur) te corrigeren naar de werkelijke hoeveelheden afgezogen lucht. De kalibratielij is weergegeven in Bijlage VIII.

3.2.10 Overige metingen

Debiet drinkwater en sproei-installatie

Debieten van drinkwater, sproeiwater en gesproeid EOW (Electrolyzed Oxidizing Water) werden via watermeters afgelezen en zowel vooraf als na een protocollaire meting genoteerd. Gedurende het gehele onderzoek is het verbruik van EOW en gewoon sproeiwater continu geregistreerd via de watermeters van de sproei-installatie. Per meetdag werd het verschil in meterstanden genoteerd en omgerekend naar het verbruik per sproeibeurt en per vierkante meter vloeroppervlak (ml/m² per 24 uur).

Hokbevuiling

Er is voor en na elke protocollaire emissiemeting hokbevuiling door mest en urine ingetekend op een schematische plattegrond van de proefafdeling. Van alle hokken van de proefafdeling werd de hokbevuiling ingetekend. Het zogenaamde hokbevuilingscoreformulier voor het intekenen van de hokbevuiling is opgenomen in Bijlage X.

Mestsamenstelling

Omdat in het combi-scrapersysteem de urine en feces onbereikbaar onder de stal werden opgeslagen, konden hiervan geen representatieve mestmonsters uit de proefafdeling worden genomen.

3.3 Berekening van de emissies en reducties

In de navolgende paragrafen worden berekeningen van emissies en reducties toegelicht. Op dit bedrijf zijn alleen metingen gedaan in een proefafdeling en is niet in een controleafdeling gemeten. Bij deze opzet zijn minimaal vier bedrijven nodig om een emissiefactor vast te stellen voor alle gassen (NH₃, CH₄, N₂O, geur) en fijnstof. Daarom wordt in dit rapport de 'bedrijfsemissiefactor' berekend op basis van de gemeten emissies, aan te duiden voor enkel dit bedrijf met nieuw combi-scrapersysteem. De berekende ammoniak, geur en fijnstof reducties worden vergeleken met de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' uit Bijlage V van de Omgevingsregeling (voormalige Rav-lijst) en de referentiewaarden uit eerder onderzoek voor methaan (5,3 CH₄ kg/dierplaats per jaar) en lachgas (16,1 N₂O kg/dierplaats per jaar) (Mosquera *et al.*, 2025) (zie Bijlage I).

3.3.1 Ammoniak, methaan en lachgas

Voor ammoniak, methaan en lachgas werden de bedrijfsemissiefactoren uitgedrukt in kg NH₃-, kg CH₄- en g N₂O per jaar per dierplaats. Hierbij werd de volgende procedure gehanteerd:

- Protocolaire duplometingen per meetmoment werden eerst gemiddeld. Als duplo's van NH₃ van een meetmoment meer dan 15% verschilden, werden de protocolaire metingen vergeleken met de continue data van de SlimmeStal sensoren. Hiervoor werd de continue data ter vergelijking gemiddeld voor dezelfde 24 uur als de protocolaire meting. Tijdens één meetronde (ronde 1) was dit het geval voor NH₃. Daarom is voor de verdere data-analyse de meetwaarde gebruikt die het dichtst lag bij de continu gemeten concentratie. Opgemerkt dient te worden dat de orde van grootte van de concentratie invloed heeft op de relatieve meetafwijking. Bij lage gemeten concentraties kan het relatieve verschil oplopen tot circa 15%. Aangezien alle gemeten duplowaarden een afwijking van minder dan 15% vertoonden, is met dit effect geen rekening gehouden.
- Er werden geen continue metingen uitgevoerd voor methaan en lachgas concentraties. Hiervoor gold ook een uitbijter test waarbij duplo's van protocolaire metingen maximaal 15% mochten afwijken. Tussen de duplowaarden is geen afwijking groter dan 15% waargenomen.

De emissies van de proefafdeling zijn vervolgens berekend uit het gemiddelde van de duploconcentraties per afzuigkoker, gevolgd door het gemiddelde van beide kokers, in combinatie met de gemeten ventilatiedebieten (Eq. 4). De gemeten concentraties in ppm werden omgerekend naar mg/m³ met omrekeningsfactoren welke weergegeven zijn in Tabel 3. Deze conversie van ppm naar mg/m³ is gebaseerd op een standaardtemperatuur van 20°C en een atmosferische druk van 1 atmosfeer. De concentraties zijn daarnaast gecorrigeerd voor de in-situ staltemperatuur op basis van de continu gemeten stal temperatuur tijdens de 24-uurs metingen volgens de ideale gaswet (Garrett, 2020).

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

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

$$E_i = (C_{out_i} - C_{in_i}) \cdot V_i \cdot \frac{(T_{standaard}+273)}{(T_{stal}+273)} \cdot 24 / 10^6 \quad (4)$$

- E_i is de emissie van methaan, ammoniak en lachgas bij meting i (kg per dag per dierplaats)
 - C_{out_i} is de gemiddelde concentratie van CH₄, NH₃ en N₂O in de uitgaande lucht (van duplo metingen en beide kokers) (mg/m³)
 - C_{in_i} is de concentratie van CH₄, NH₃ en N₂O in de inkomende lucht (mg/m³)
 - V_i is het gemiddelde ventilatie debiet (m³/uur per dierplaats)
 - $T_{standaard}$ en T_{stal} zijn respectievelijk de standaardtemperatuur en de staltemperatuur (°C)
 - 24 gedeeld door 10⁶ is een conversiefactor voor mg/uur naar kg per dag
 - i is meetrondes (1, ..., 6)
- De berekende emissie werd vervolgens vermenigvuldigd met 365 en een correctiefactor van 0,91 om te corrigeren voor een leegstandsfactor van 9% voor gespeende biggen om de emissiefactor op jaarbasis met leegstandscorrectie te berekenen (Groenestein & Aarnink (2008)).
 - De bedrijfsemissiefactor is berekend op basis van het gemiddelde van de emissiewaarden bij de proefafdeling. Dit was noodzakelijk aangezien het onderzoek betrekking had op metingen in een proefafdeling.

-
- Vervolgens is er een gemiddelde emissiereductie berekend (Eq. 5):

$$\text{Reductiepercentage} = \left[1 - \left(\frac{\text{Emissie}_{\text{Proef}}}{\text{Emissie}_{\text{Referentie}}}\right)\right] \times 100 \quad (5)$$

- Reductiepercentages werden berekend voor ammoniak, methaan en lachgas met Eq. 5 waarin: *Proef* is de bemeten proefafdeling met combi-scraper systeem en *Referentie* is de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingssystemen' uit bijlage V van de Omgevingsregeling (Bijlage I van dit rapport) voor ammoniak- en de referentiewaarden uit eerder onderzoek voor methaan- en lachgasemissies.

3.3.2 Geur en fijnstof

De bedrijfsemissiefactor voor geur werd uitgedrukt in OU_E/s per dierplaats per jaar en voor fijnstof in gram per dierplaats per jaar. De rekenregels voor de bedrijfsemissiefactor en de emissiereductie komen overeen met die voor de eerder genoemde andere gassen en worden derhalve niet opnieuw beschreven.

- Protocolaire duplometingen per meetmoment werden eerst gemiddeld. Geur en fijnstof is bij een van de kokers gemeten.
- Voor geur en fijnstof is voor het verschil in de duplometingen geen grens aangehouden van 15%, omdat, op basis van eerdere onderzoeken, voor deze metingen grotere spreidingen te verwachten zijn (Winkel *et al.*, 2024).
- De bedrijfsemissiefactor is berekend op basis van het gemiddelde van de emissiewaarden bij de proefafdeling.
- De reducties (in %) zijn bepaald op basis van een vergelijking tussen de gemiddelde bedrijfsemissiefactor en de huidige emissiefactoren voor geur en fijnstof voor gespeende biggen onder 'Overige huisvestingssystemen' uit bijlage V van de Omgevingsregeling (de voormalige Rav-lijst) (Bijlage I van dit rapport) (Eq. 5).

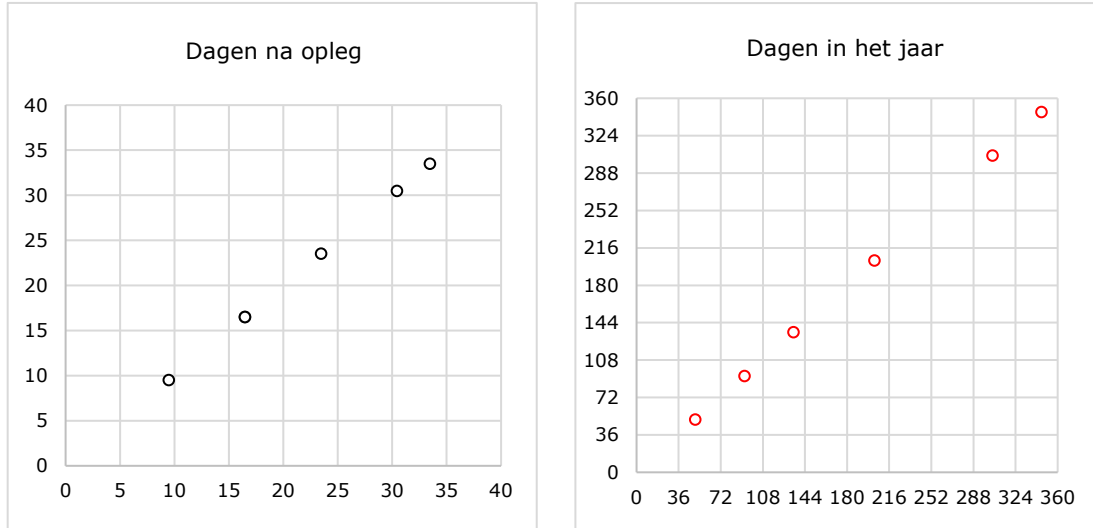
4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten gegeven van protocollaire emissiemetingen aan het combi-scrapersysteem van ammoniak, methaan, lachgas, geur en fijnstof en de berekende emissiereducties ten opzichte van referentiewaarden. In paragraaf 4.1 worden de berekende emissies en reducties (%) tijdens protocollaire metingen met de waardes welke gemeten zijn in duplo weergegeven. De gescoorde hokbevuiling wordt weergegeven in paragraaf 4.2. In paragraaf 4.3 wordt een overzicht gegeven van de toepassing van sproeien met EOW en water, en in paragraaf 4.4. worden de continu gemeten gegevens door sensoren en het verloop van ammoniakemissies weergegeven. De duplo gemeten concentraties en de kenmerken van de meetrondes (aantal dieren en diergewichten) tijdens protocollaire metingen zijn voor de proefafdeling weergegeven in Bijlage XI. De gemiddelde berekende emissies per meetronde zijn weergegeven in Bijlage XII.

4.1 Protocollaire emissiemetingen

4.1.1 Verdeling van meetdagen voor protocollaire emissiemetingen

De verdeling van de meetdagen over het jaar en de leeftijd van de biggen in het groeitraject tijdens de metingen is weergegeven in Figuur 9. In de linker figuur overlappen de meetpunten van dag 16 en 17, doordat deze betrekking hebben op verschillende diergroepen en meetmomenten (oktober 2024 en mei 2025). Deze overlap is het gevolg van planningsbeperkingen.



Figuur 9 De verdeling van de meetdagen over het jaar en over de groeiperiode van de biggen in de proefafdeling. In de linker figuur overlappen de meetpunten van dag 16 en 17.

4.1.2 Berekende emissies en reducties op basis van protocollaire emissiemetingen

De gemiddelde emissies van verschillende componenten, samen met overige stalparameters, zijn weergegeven in Tabel 4. De bedrijfsemissiefactor is daarbij berekend op basis van de gemiddelde gemeten emissie per meetdag in de proefafdeling. Aangezien er geen controleafdeling beschikbaar was, zijn de reducties vastgesteld door vergelijking met de referentiewaarden.

Voor de ammoniakemissie is een bedrijfsemissiefactor van $0,097 \pm 0,063$ kg per jaar per dierplaats gemeten. De reductiepercentage van 86,0% ten opzichte van de waarde uit Bijlage V van de Omgevingswet (de voormalige Rav-lijst) (Bijlage I) is berekend (Tabel 4). In Figuur 10 is te zien dat alle gemeten ammoniakemissies beduidend lager waren dan de referentiewaarde. De rechterfiguur (Figuur 10) laat zien dat de NH_3 emissie stijgt met de groei van de varkens.

De bedrijfsemissiefactor is $0,26 \pm 0,17$ kg CH_4 per jaar per dierplaats wat resulteerde in een reductiepercentage van de methaanemissie met 95,1% ten opzichte van de referentiewaarde van 5,3 kg per jaar per dierplaats (Tabel 4). In de proefstal is een positieve relatie vastgesteld tussen de CH_4 emissie met het aantal dagen na opleg (Figuur 11). Dit verband lijkt toegeschreven te kunnen worden aan de groei van de varkens, die leidde tot een toename van de enterische methaanproductie ((Sefeedpari *et al.*, 2024a; Hertogh *et al.*, 2025). De methaanemissie uit de mest lijkt in dit systeem zeer laag te zijn door de dagelijkse afvoer van deze mest.

De bedrijfsemissiefactor voor lachgas is bepaald op $2,98 \pm 1,71$ g N_2O per dierplaats per jaar, wat resulteerde in een reductiepercentage van 81,5% ten opzichte van de referentiewaarden voor een biggenstal met gedeeltelijk roostervloer (16,1 g per jaar per dierplaats) (Tabel 4). Tussen de N_2O emissie en het aantal dagen na opleg van de varkens werd een positieve relatie waargenomen (rechter grafiek in Figuur 12).

Met betrekking tot de geuremissie is een bedrijfsemissiefactor van $5,32 \pm 2,55$ OU_E/s per dierplaats berekend wat resulteerde in een reductiepercentage van 31,9% ten opzichte van de referentiewaarde uit Bijlage V van de Omgevingswet (7,8 OU_E/s per dierplaats) (Tabel 4). In oktober (R1) en april (R4) is een hogere geuremissie gemeten vergelijkbaar met de referentiewaarde uit Bijlage V van de Omgevingswet (Bijlage I) (Figuur 13). In de rechter grafiek is voor de geurconcentratie geen relatie waargenomen met het aantal dagen na het opleggen van de biggen.

De berekende bedrijfsemissiefactor voor fijnstof bedraagt $27,6 \pm 8,92$ g per dierplaats per jaar, wat resulteert in een reductie van 62,7% ten opzichte van de referentiewaarde volgens Bijlage V van de Omgevingswet (74,0 g per dierplaats per jaar) (Tabel 4). In Figuur 14 is een positief verband tussen fijnstofemissie en dagen na opleg weergegeven

De klimaatgegevens laten zien dat de gemiddelde temperatuur in de proefafdeling $28,4 \pm 0,51^\circ\text{C}$ was; de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid $59,2 \pm 7,43\%$ en de gemiddelde ventilatie $5,97 \pm 2,20$ m^3/uur per dierplaats (Tabel 4).

Tabel 4 Gemiddelden, met standaard deviaties tussen metingen tussen haakjes, van de gemeten temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (%), ventilatie (m³ per uur per dierplaats (dpl.)), emissies van ammoniak en methaan in (kg per jaar per dpl.), lachgas en fijnstof in (g per jaar per dpl.) en geur in (OU_E per seconde per dpl.) in de proefafdeling, de berekende bedrijfsemissiefactor en de reductie percentages t.o.v. de emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen van Bijlage V uit de Omgevingswet voor ammoniak, geur en fijnstof en t.o.v. de referentiewaarden uit eerder onderzoek voor methaan en lachgas van het mestschuif systeem voor gespeende biggen.

Component	Gemiddelde (SD)	n	Minimum	Maximum	Reductie t.o.v. referentiewaarde ¹ (%)	Bedrijfsemissiefactor
Temperatuur (°C) ²	28,4 (0,51)	6	23,4	31,8	-	-
Relatieve luchtvochtigheid (%) ²	59,2 (7,43)	6	52,4	70,9	-	-
Ventilatie (m ³ /uur per dpl.)	5,97 (2,20)	6	0,90	19,0	-	-
NH ₃ (kg/jaar per dpl.)	0,097 (0,063)	6	0,042	0,20	86,0%	0,097
CH ₄ (kg/jaar per dpl.)	0,26 (0,17)	6	0,09	0,56	95,1%	0,26
N ₂ O (g/jaar per dpl.)	2,98 (1,71)	6	1,34	5,38	81,5%	2,98
Geur (OU _E /s per dpl.)	5,32 (2,55)	6	2,58	8,80	31,9%	5,32
Fijnstof (g/jaar per dpl.) ³	27,6 (8,92)	4	17,7	42,1	62,7%	27,6

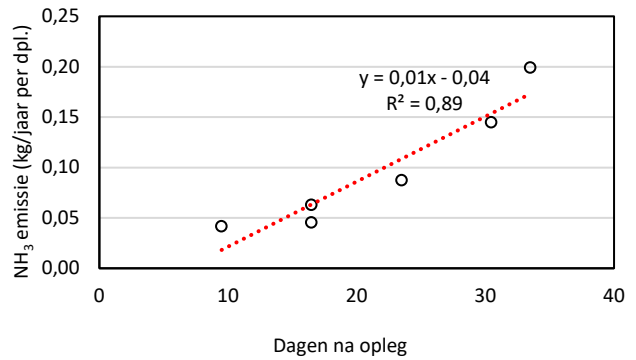
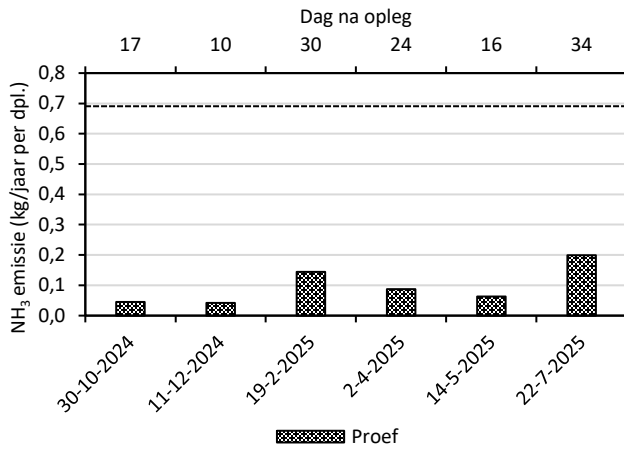
* n = aantal metingen

* dpl. = dierplaats

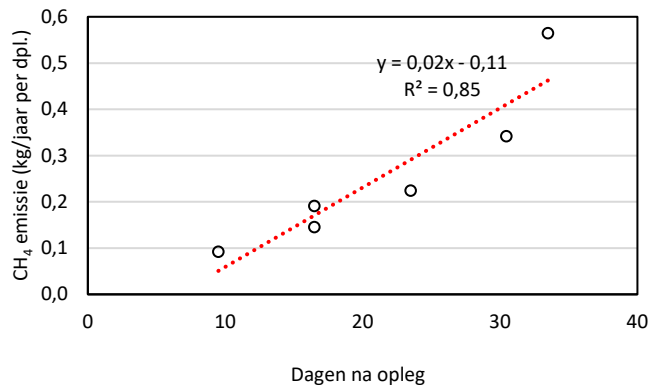
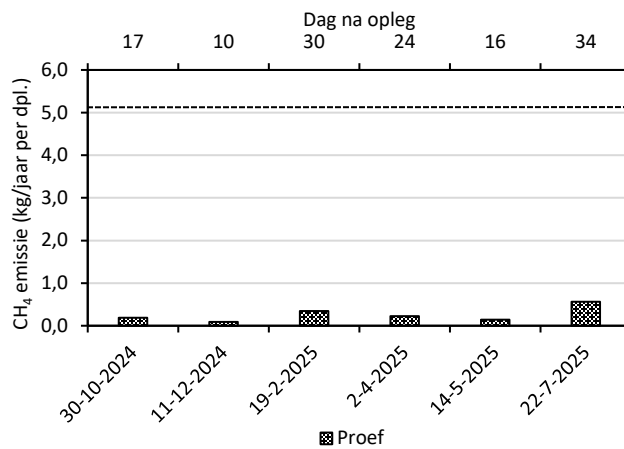
¹ Referentiewaarde = de waarde van Bijlage V uit de Omgevingswet voor ammoniak, geur en fijnstof en de referentiewaarden uit eerder onderzoek voor methaan en lachgas (Bijlage I uit dit rapport) [NH₃ = 0,69 kg/jaar per dpl.; CH₄ = 5,3 kg/jaar per dpl.; N₂O = 16,1 g/jaar per dpl.; Geur = 7,8 OU_E/s per dpl. ; Fijnstof = 74,0 g/jaar per dpl.]

² Uurgemiddelde ± SD gebaseerd op continue sensordata. Voor andere resultaten zijn de dagelijkse gemiddelden van de 24-uursmetingen weergegeven.

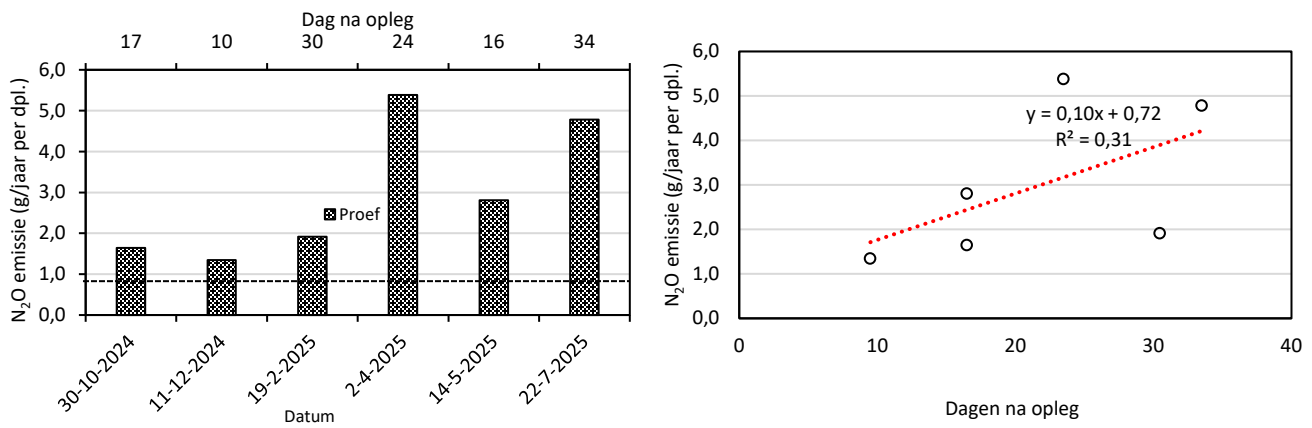
³ Van de zes geplande meetrondes waren slechts twee protocollaire metingen (R1 en R2) en twee continue metingen (R5 en R6) betrouwbaar en bruikbaar. De overige meetrondes zijn buiten beschouwing gelaten.



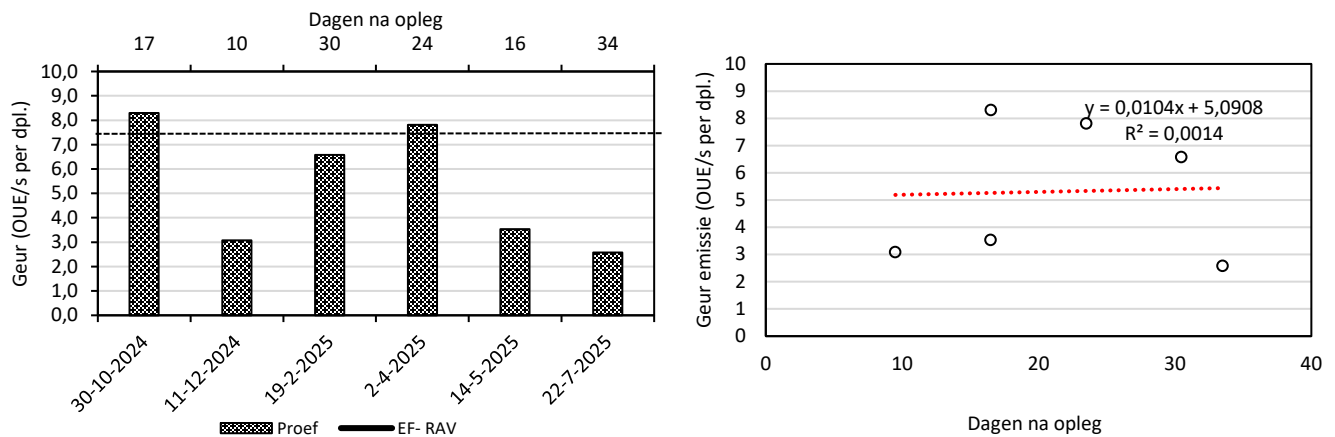
Figuur 10 Ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. De as boven de grafiek geeft de leeftijd in dagen vanaf opleg weer. De stippellijn geeft de emissiefactor uit Bijlage V van de Omgevingswet (de voormalige Rav-lijst) voor 'Overige huisvestingssystemen' weer (bijlage I). De figuur rechts toont de relatie tussen de NH₃ emissie en de dagen na opleg in de groeiperiode.



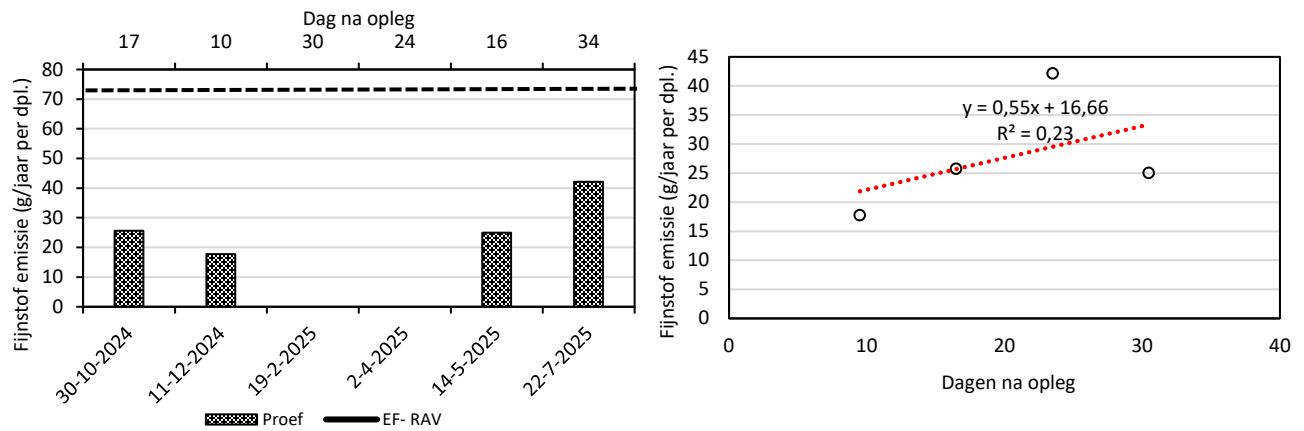
Figuur 11 Methaanemissie (kg per jaar per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. De as boven de grafiek geeft de leeftijd in dagen vanaf opleg weer. De stippellijn geeft de referentiewaarde uit eerder onderzoek voor biggen in een gedeeltelijk roostervloerstal weer (bijlage I). De figuur rechts toont de relatie tussen de CH₄ emissie en de dagen na opleg in de groeiperiode.



Figuur 12 Lachgasemissie (kg per jaar per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. De as boven de grafiek geeft de leeftijd in dagen vanaf opleg weer. De stippellijn geeft de referentiewaarde uit eerder onderzoek voor biggen in een gedeeltelijk roostervloerstal weer (bijlage I). De figuur rechts toont de relatie tussen de N₂O emissie en de dagen na opleg in de groeiperiode.



Figuur 13 Geuremissie (OUE per seconde per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. De as boven de grafiek geeft de leeftijd in dagen vanaf opleg weer. De stippellijn geeft de emissiefactor uit Bijlage V van de Omgevingswet (de voormalige Rav-lijst) voor 'Overige huisvestingssystemen' weer (bijlage I). De figuur rechts toont de relatie tussen de geuremissie en de dagen na opleg in de groeiperiode.



Figuur 14 Fijnstofemissie (g/ jaar per dierplaats) van de gemeten proefafdeling weergegeven per protocollaire meting. Boven de grafiek is met als de leeftijd in de dag vanaf opleg weergegeven. De stippellijn geeft de emissiefactor uit Bijlage V van de Omgevingswet (de voormalige Rav-lijst) voor 'Overige huisvestingssystemen' weer (bijlage I). De figuur rechts toont de relatie tussen de fijnstofemissie en de dagen na opleg in de groeiperiode. Twee meetrondes (R3 en R5) zijn mislukt. De laatste twee metingen zijn gebaseerd op de continu gemeten fijnstofconcentraties met de DustTrak.

4.2 Hokbevuiling

Tijdens alle zes meetrondes is er geen bevuiling van de dichte vloer met urine waargenomen. Het mestgedrag op de roostervloer was tijdens alle protocollaire metingen grotendeels vergelijkbaar: in alle hokken werd achterin, tegen de achterwand, enige bevuiling met feces waargenomen. Dit algemene beeld van bevuiling is ingetekend in het hokbevuilingsscoreformulier van Bijlage X.

4.3 Impact van sproeien met EOW en water

De doorrekening van de inzet van EOW en water naar verbruik per m² per 24 uur en per sproeibeurt zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 EOW en water verbruik per m² putvloeroppervlak per 24 uur en per sproeibeurt tijdens het onderzoek.

Referentiemeting	Periode	Verbruik EOW (ml/m ² /24u)*	Verbruik water (ml/m ² /24u)	Verbruik water (ml/m ² /sproeibeurt)
R1	22-11-2024 - 23-11-2024	165	432	144
	23-11-2024 - 09-12-2024	192	338	113
R2	09-12-2024 - 10-12-2024	198	379	126
	10-12-2024 - 19-02-2025	144	174	58
R3	19-02-2025 - 20-02-2025	258	566	189
	20-02-2025 - 02-04-2025	40	125	42
R4	02-04-2025 - 03-04-2025	221	383	128
	03-04-2025 - 14-05-2025	171	253	84
R5	14-05-2025 - 15-05-2025	210	570	190
	15-05-2025 - 09-07-2025	113	318	106
	09-07-2025 - 14-07-2025	93	540	180
	14-07-2025 - 22-07-2025	169	508	169
R6	22-07-2025 - 23-07-2025	143	579	193
Gem. gehele onderzoeksperiode (SD)		163 (58)	397 (153)	132 (51)
Gem. referentiemetingen (SD)		199 (41)	485 (97)	162 (32)

Gem. = gemiddelde; SD = standaard deviatie

* EOW wordt eenmaal per dag toegediend. Het verbruik in ml/m²/24u komt daarmee overeen met het verbruik per sproeibeurt.

Uit Tabel 5 blijkt dat het gemiddelde verbruik van EOW over de gehele onderzoeksperiode 163 ± 58 ml/m² per 24 uur bedroeg. Omdat EOW slechts eenmaal per dag werd toegepast, komt dit verbruik overeen met het verbruik per sproeibeurt. Het verbruik van gewoon sproeiwater lag gemiddeld op 397 ± 51 ml/m² per 24 uur, verdeeld over drie sproeibeurten per dag. Omgerekend naar individuele sproeibeurten is dit gemiddeld 132 ml/m² per sproeibeurt.

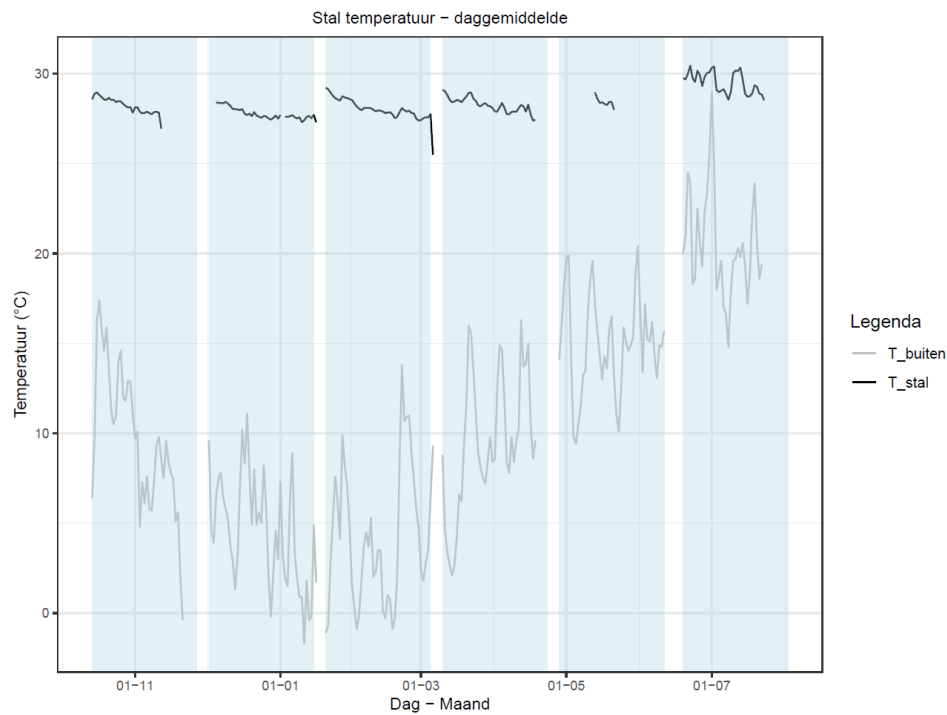
Wanneer wordt gekeken naar de afzonderlijke referentiemetingen (R1 t/m R6), ligt het gemiddelde verbruik van EOW hoger (199 ± 41 ml/m² per 24 uur) en het waterverbruik eveneens hoger (485 ± 97 ml/m² per 24 uur; 162 ± 32 ml/m² per sproeibeurt). Dit verschil komt doordat tijdens referentiemetingen de installaties doorgaans consistent en zonder storingen hebben gedraaid, terwijl in de gehele onderzoeksperiode variaties en enkele onderbrekingen zijn voorgekomen. De variatie in geregistreerde hoeveelheden hangt samen met de bedrijfsvoering en robuustheid van het systeem, waar in de discussie nader op wordt ingegaan.

4.4 Continue metingen

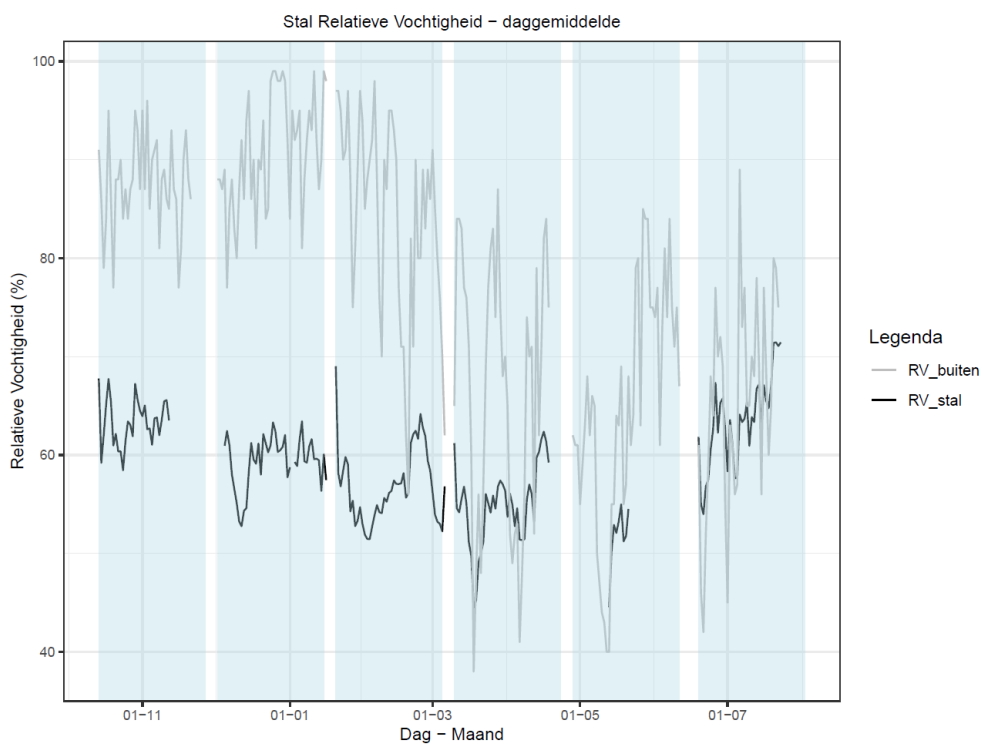
In deze paragraaf is het overzicht van de door sensoren gemeten parameters (NH_3 , CO_2 , ventilatie, temperatuur en relatieve vochtigheid) gedurende de gehele meetperiode (14/10/2024 – 23/07/2025) weergegeven. Het doel van het continu monitoren van de concentraties (NH_3 en CO_2) en de ammoniakemissie is inzicht te krijgen in het verloop en de ontwikkeling van de emissie in dit systeem. De temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid zijn met sensoren geregistreerd, waarbij het gemiddelde over de 24-uurs meetdagen is berekend en gebruikt voor de data-analyse van dit rapport. In Tabel 6 zijn de gemeten CO_2 - en NH_3 concentratie en de NH_3 emissie van alle zes protocollaire metingen vergeleken met de continue metingen.

De uurgemiddelde temperatuur op de dagen van de protocollaire metingen was $28,4 \pm 0,51^\circ\text{C}$, zoals weergegeven in Tabel 4. De uurgemiddelde temperatuur gedurende de gehele meetperiode in de proefafdeling was $28,3 \pm 0,81^\circ\text{C}$. Gedurende de gehele meetperiode was de minimumtemperatuur in de stal $15,5^\circ\text{C}$ in maart en de maximumtemperatuur $31,8^\circ\text{C}$ in juni 2025. Het verloop van de temperatuur zowel in de stallen als buiten zijn weergegeven in Figuur 15. De onderbrekingen in de figuur duiden op momenten van leegstand tussen biggenrondes. Tijdens de vijfde meetronde ontbreken sensorgegevens als gevolg van storingen.

De uurgemiddelde relatieve luchtvochtigheid op de dagen van de protocollaire metingen in de proefafdeling was $59,2 \pm 7,43\%$ (Tabel 4). De uurgemiddelde relatieve luchtvochtigheid gedurende de gehele meetperiode in de proefafdeling was $58,7 \pm 6,25\%$. Gedurende de gehele meetperiode was de minimum relatieve luchtvochtigheid in de stal $40,3\%$ in mei en de maximum relatieve luchtvochtigheid $81,6\%$ in juli 2025. Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid van zowel in de stal als buiten zijn weergegeven in Figuur 16.



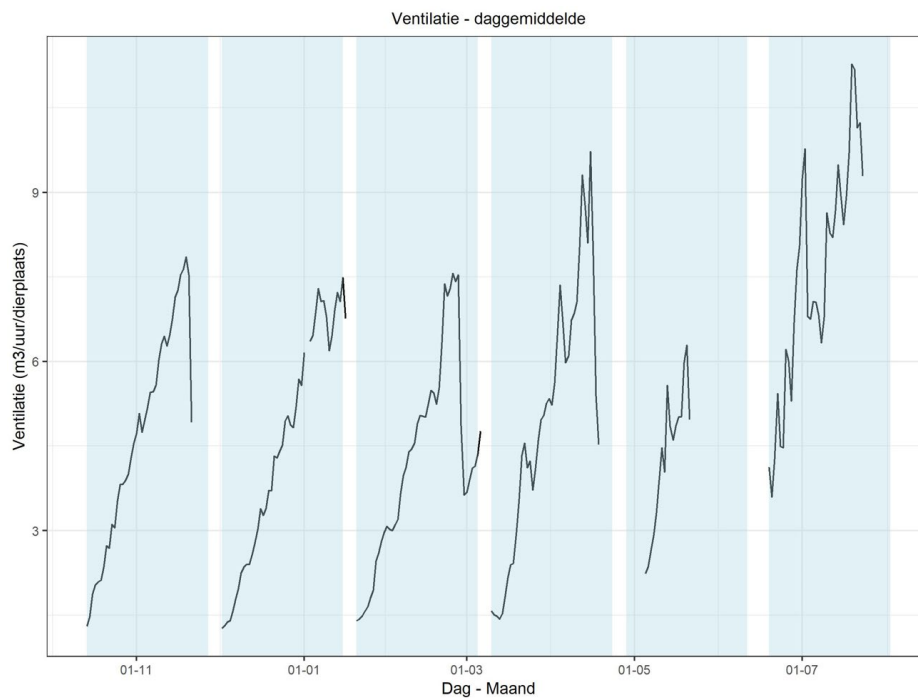
Figuur 15 Daggemiddelde verloop van temperatuur gedurende de meetperiode in de proefafdeling en buiten. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden.



aan.

Figuur 16 Daggemiddelde verloop van relatieve luchtvochtigheid gedurende de meetperiode in de proefafdeling, en buiten. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

De gemeten ventilatie (zie Tabel 4) gedurende de gehele meetperiode was gemiddeld $5,03 \pm 2,34 \text{ m}^3$ per uur per dierplaats, met een minimum van $0,33 \text{ m}^3$ per uur per dierplaats en een maximum van $14,7 \text{ m}^3$ per uur per dierplaats. De gemiddelde ventilatiedebiet op de dagen van de protocollaire metingen was $5,97 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dierplaats. Het verloop van de berekende ventilatie gedurende de hele meetperiode is weergegeven in Figuur 17. De onderbrekingen in de grafiek duiden op momenten van leegstand tussen biggenrondes.



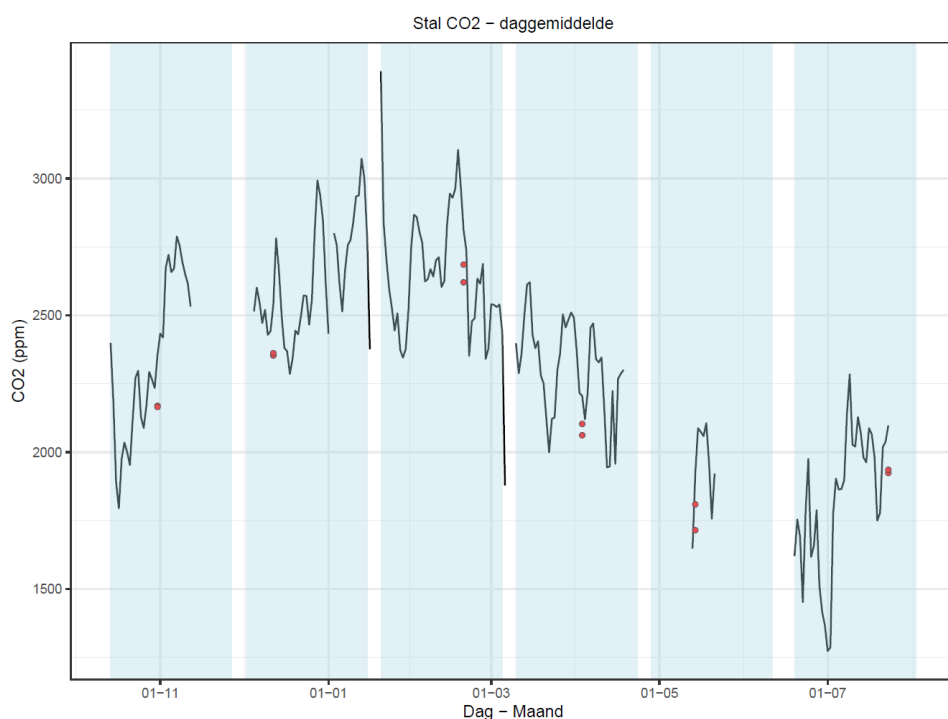
Figuur 17 Daggemiddelde verloop van gemeten ventilatie (m^3/uur per dierplaats) gedurende de meetperiode in de proefafdeling. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

In Tabel 6 worden de CO_2 en NH_3 concentraties en ammoniakemissies weergegeven van alle zes metingen, voor zowel de protocollaire metingen als de continue metingen. Deze tabel toont de gemiddelde concentratie van beide ventilatiekokers. De volledige meetgegevens zijn opgenomen in Bijlage XI.

Het verloop van de continue CO_2 concentratie gedurende alle meetperiodes is weergegeven in Figuur 18. De continu gemeten CO_2 concentratie komt over alle meetrondes gemiddeld uit op $2304 \pm 346 \text{ ppm}$. Dit ligt iets hoger dan de gemiddelde CO_2 concentratie die is gemeten met de protocollaire methode ($2159 \pm 316 \text{ ppm}$). Voor CO_2 bedraagt het relatieve verschil tussen de twee methoden ongeveer 6,7%, wat ruim binnen de gangbare afwijking van 15% valt die doorgaans als acceptabel wordt beschouwd bij dit type metingen.

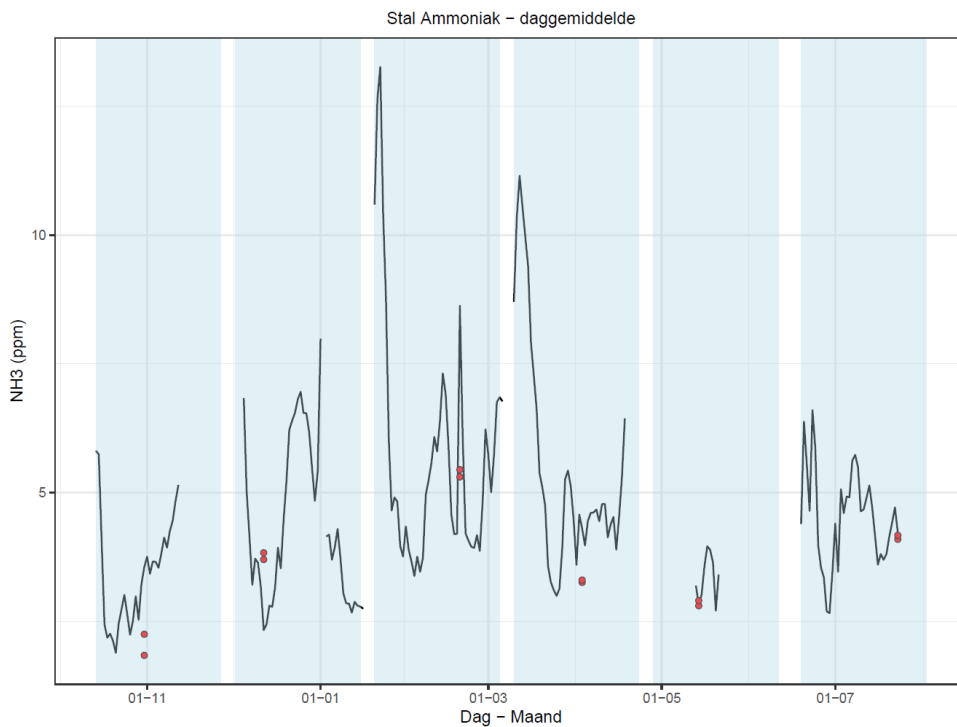
Tabel 6 Gemiddelde CO₂ en NH₃ concentratie, en NH₃ emissie per meting, gemeten met de protocollaire metingen en continu gemeten door sensoren op de meetdag voor de proefafdeling.

Component	CO ₂ concentratie (ppm)		NH ₃ concentratie (ppm)		NH ₃ emissie (kg/jaar per dpl.)	
	Referentie	Continu	Referentie	Continu	Referentie	Continu
R1	2167	2276	2,25	3,32	0,045	0,091
R2	2357	2468	3,77	2,70	0,042	0,039
R3	2653	2883	5,37	8,47	0,145	0,301
R4	2083	2275	3,28	4,92	0,087	0,179
R5	1762	1952	2,85	2,71	0,063	0,080
R6	1930	1969	4,13	4,12	0,199	0,265
Gem. (SD)	2159 (316)	2304 (346)	3,61 (1,09)	4,37 (2,18)	0,097 (0,063)	0,159 (0,11)



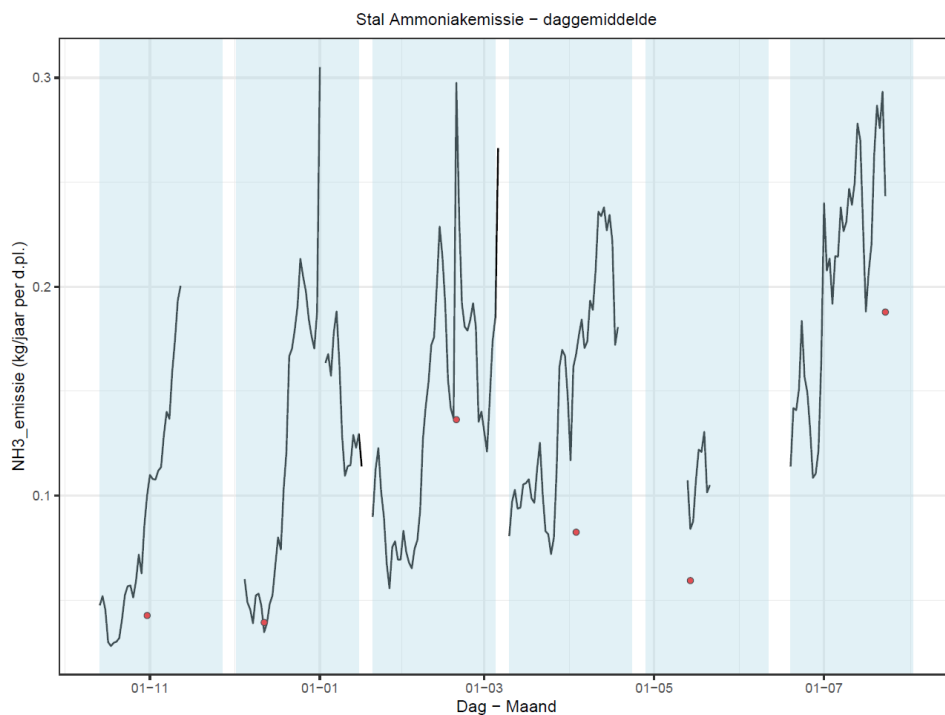
Figuur 18 Daggemiddelde continue CO₂ concentraties gedurende de gehele meetperiode. De protocollaire metingen van de CO₂ concentraties in duplo zijn weergegeven met de rode punten. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

Het verloop van de continue NH₃ concentraties gedurende alle meetperiodes voor de proefafdeling is weergegeven in Figuur 19. Continu gemeten NH₃ concentratie komt van alle meetrondes gemiddeld uit op 4,37 ± 2,18 ppm en van de protocollaire metingen gemiddeld uit op 3,61 ± 1,09 ppm. Dit duidt op een afwijking van ongeveer 20%. De grotere afwijking van de NH₃ sensor ten opzichte van de CO₂ sensor kan worden verklaard door de lagere absolute NH₃ concentraties. NH₃ sensoren vertonen vaak hogere relatieve afwijkingen dan CO₂ sensoren, vooral bij lage concentraties (von Jasmund *et al.*, 2022).



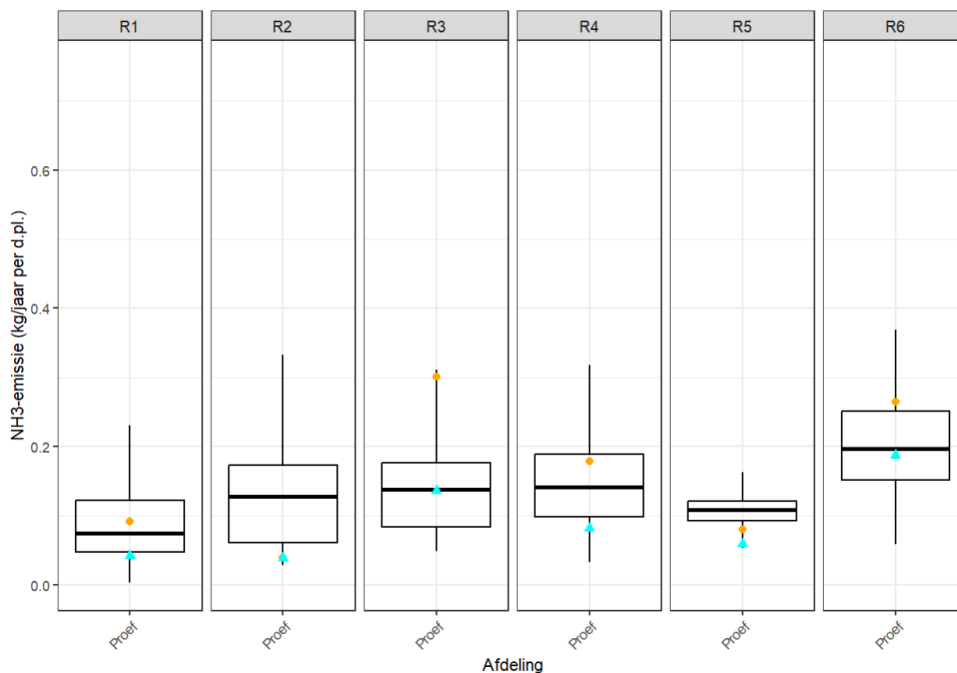
Figuur 19 Daggemiddelde continue NH₃ concentraties gedurende de gehele meetperiode. Protocolaire metingen van NH₃ concentraties in duplo zijn weergegeven met de rode punten. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

De gemiddelde NH₃ emissie per dierplaats kwam op $0,159 \pm 0,11$ kg per jaar bij gebruik van continue meetdata. Bij de protocolaire metingen lag deze gemiddeld lager, namelijk $0,097 \pm 0,063$ kg per jaar. Deze afwijking tussen de continue- en de protocolaire ammoniakemissie kan zowel worden veroorzaakt door verschillen in gemeten uitlaatconcentraties. Het verloop van de emissie is weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20 Daggemiddelde continue NH_3 emissies gedurende de gehele meetperiode. Protocolaire metingen van NH_3 emissies in duplo zijn weergegeven met de rode punten. De blauwe balken in de grafieken geven de begin- en einddatum van de gemeten groeiperioden aan.

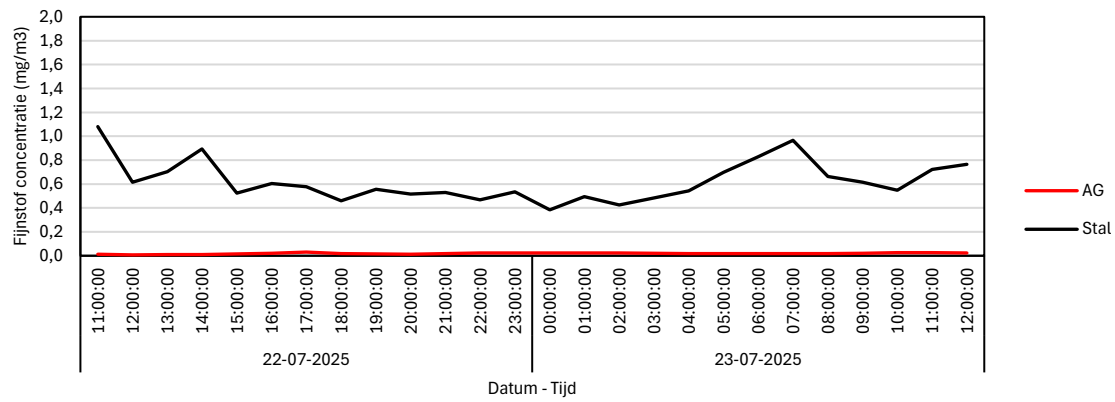
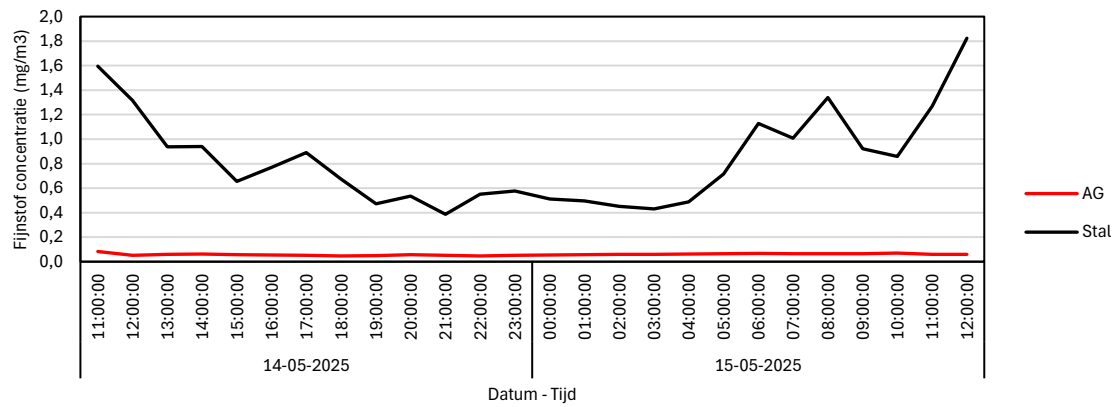
De gemiddelde continu gemeten NH_3 emissies tijdens de 24-uurs metingen en de met de protocolaire metingen gemeten NH_3 emissies zijn per ronde (R1 t/m R6) weergegeven in Figuur 21. Een boxplot geeft de spreiding van de meetwaarden weer door middel van spreiding en de mediaan. De box toont het interkwartielbereik (IQR) (de middelste 50% van de waarden). De verticale lijnen (whiskers) tonen de spreiding buiten het IQR. De NH_3 -emissie ligt over het algemeen laag, tussen 0,05 en 0,2 kg NH_3 per jaar per dierplaats. Er is enige variatie tussen rondes, maar geen sterke trend omhoog of omlaag. R5 vertoont de laagste mediane emissie, terwijl R3 en R6 iets hogere waarden laten zien. De spreiding (lengte van de whiskers) is soms groot (bijv. R3, R6), wat wijst op variatie tussen meetmomenten of omstandigheden binnen die ronde. Bovendien kan de storing van de EOW en het sproeien van water deze variatie gedeeltelijk verklaren, aangezien de emissies tijdens de storingen zijn toegenomen (zie paragraaf 5.6). De blauwe driehoek (gemiddelde van meetpunten op dagen van protocolaire metingen) ligt onder het gemiddelde van de door sensoren gemeten emissies in de meeste rondes, wat overeenkomt met een systeem waarin af en toe hogere emissiewaarden voorkomen, maar de meeste metingen laag blijven. De boxplot laat zien dat de emissiegegevens een hoge variabiliteit vertonen en scheef verdeeld zijn. Hierdoor geeft de gemiddelde emissie geen goed beeld van de typische omstandigheden, omdat deze wordt beïnvloed door incidentele pieken. De mediaan, die minder gevoelig is voor uitschieters, vormt in dit geval een betrouwbaardere maat voor de centrale tendens.



Figuur 21 Boxplots van de continu gemeten NH_3 -emissies per meetronde ($n = 6$). 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 (dus 50% van de sensordata bevinden zich in de box). De oranje cirkel geeft het gemiddelde van de continue data gedurende een 24-uurs protocollaire meting aan en de blauwe driehoek geeft de gemeten waarde weer volgens de 24-uurs protocollaire meting.

Om inzicht te krijgen in het dagverloop van de fijnstofconcentratie is deze continu gedurende 24 uur gemeten tijdens twee meetdagen (tegelijk met R5 en R6). Figuur 22 toont het verloop van de fijnstofconcentratie, zowel in de stal als in de ingaande lucht tijdens deze twee rondes. In deze periodewaren geen geldige fijnstofwaarden uit de protocollaire metingen beschikbaar, waardoor vergelijking met de puntmetingen niet mogelijk was. De gemiddelde concentratie over deze twee dagen komt echter goed overeen met de protocollaire metingen van R1 en R2. De gemiddelde fijnstofconcentratie tijdens deze twee meetrondes bedroeg $0,73 \text{ mg/m}^3$ in de uitgaande lucht en $0,04 \text{ mg/m}^3$ in de ingaande lucht.

Tijdens de vijfde meetronde, 16 dagen na opleg, vertoonde de fijnstofconcentratie grotere schommelingen. Bij de zesde meetronde, 34 dagen na opleg, waren de concentraties iets stabielere en lager dan in de beginfase van de groeiperiode. Stijgingen in fijnstofconcentraties in biggenstallen hangen samen met verhoogde dieractiviteit, met name tijdens voermomenten. Beweging van de dieren en het uitdelen van droogvoer leiden tot resuspensie van stofdeeltjes, wat resulteert in tijdelijke pieken in de fijnstofemissie (Shen *et al.*, 2019).



Figuur 22 Uurgemiddelde continue PM₁₀-concentratie gemeten met de DustTrak tijdens de vijfde meetronde (14–15 mei 2025, boven) en de zesde meetronde (22–23 juli 2025, onder). AG: Achtergrond; Stal: Uitgaande stallucht.

5 Discussie

Het combi-scrapersysteem heeft als doel om het klimaat in de stal te verbeteren voor zowel de biggen als de varkenshouder, en emissies uit de stal te verminderen. Dit wordt gerealiseerd door middel van brongerichte maatregelen welke gericht zijn op het verminderen van ammoniak-, methaan-, lachgas-, geur- en fijnstofemissies. In dit hoofdstuk worden de verkregen resultaten geanalyseerd en de belangrijkste bevindingen van het onderzochte systeem besproken.

5.1 Ammoniakemissie

De inschatting voorafgaand aan het onderzoek was dat met deze innovatieve biggenstal met dagelijkse mestverwijdering met mestschuif en gescheiden gierafvoer (hier aangeduid als het combi-scrapersysteem), de ammoniakemissie met 89% gereduceerd kon worden ten opzichte van de referentie emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen' (Bijlage V van de Omgevingsregeling). Uit de metingen blijkt dat dit systeem de ammoniakemissie met 86,0% reduceert. Dit impliceert dat het systeem voor wat betreft ammoniakreductie aan de verwachtingen heeft voldaan. Vergelijkbare studies naar innovatieve mestverwijderingssystemen en gescheiden gierafvoer bevestigen dat frequente mestafvoer en scheiding van urine en feces de ammoniakvorming aanzienlijk beperken. Onderzoek van Aarnink *et al.* (2021) liet zien dat systemen met dagelijkse mestafvoer en urine/feces-scheiding reducties tot 85–92% kunnen bereiken, afhankelijk van stalontwerp en ventilatie. Dit suggereert dat het combi-scrapersysteem binnen de geobserveerde reductiepercentages valt. Uit andere studies blijkt dat de ammoniak- en methaanemissie met meer dan 85%, en in sommige gevallen zelfs tot 95%, kan worden verminderd (Lachance *et al.*, 2005; Predicala *et al.*, 2007; Brown, 2018). Uit een eerder onderzoek is gebleken dat dagelijkse mestverwijdering met spoeling (zogenaamde dagontmesting) voor gespeende biggen, toegepast met combinatie van maatregelen zoals verkleining van emissieoppervlak door schuine wanden en verdunning van de mest (die in het voorkanaal terechtkomt) met water, kan leiden tot een ammoniakreductie van circa 86% (Sefeedpari *et al.*, 2024b). Uit een recent onderzoek in een vernieuwde wroetstal voor gespeende biggen met bronmaatregelen blijkt dat scheiding van urine en feces onder de roostervloer, waarbij de urine continu wegloopt via een hellende vloer en giergoot en de feces regelmatig worden afgeschoven in combinatie met een relatief kleine mestruimte, heeft geleid tot een vermindering van de ammoniakemissie met ca. 74% t.o.v. de referentie emissie factor voor de categorie overige huisvestingssystemen van bijlage V van de Omgevingsregeling (Hertogh *et al.*, 2025). In die studie werd echter geen EOW toegepast en was de hokinrichting niet identiek en vergelijkbaar met dat van het huidige onderzochte systeem.

De ammoniakreductie in dit systeem wordt bereikt doordat feces en urine snel en gescheiden uit de stal worden afgevoerd en het emitterende oppervlak van mest met lucht wordt verminderd. Daarnaast draagt de integratie van EOW, waarbij gebruik wordt gemaakt van actieve chloorsoorten voor desinfectie, bij aan het onderbreken van de microbiële processen die verantwoordelijk zijn voor ammoniakproductie (Zhang *et al.*, 2025). Bovendien kan de storing van de EOW en het water sproeien deels verklaren waarom deze emissiestijging tijdens de storingen is toegenomen (zie paragraaf 5.6). Voor toekomstige toepassingen wordt aanbevolen om continue debietlogging op de sproeileidingen te installeren en de geïnstalleerde watermeters periodiek te verifiëren of te kalibreren.

De resultaten suggereren dat de NH₃ emissie toeneemt met de groei van de varkens. Toename kan worden verklaard door meerdere factoren die elkaar beïnvloeden. Ten eerste spelen variaties in ventilatieniveaus een belangrijke rol: doordat het ventilatiedebiet afhankelijk is van de temperatuur vertonen de gemeten emissies duidelijke pieken en dalen. Daarnaast neemt de mestproductie toe naarmate de biggen groeien, wat tevens kan leiden tot meer ammoniakvorming. Omgevingscondities zoals hogere temperaturen versnellen de microbiële

afbraakprocessen en de emissiesnelheden verhogen daarmee de emissie. Ook het meerdere keren per dag afvoeren van de mest met de mestschuif kan schommelingen veroorzaken in het verloop van de ammoniakemissie gedurende een dag: emissies lopen op vlak vóór het verwijderen en dalen erna. Tot slot kunnen meetfouten van de sensor bij lage concentraties bijdragen aan kleine meetfluctuaties. De variaties in ammoniakemissies binnen en tussen dagen zijn het resultaat van een samenspel van ventilatie, groei en activiteit van de dieren, mestafvoer, omgevingsfactoren en meetonzekerheden.

De toepassing van het huidige brongerichte systeem voor emissiereductie heeft een duidelijk positief effect op de luchtkwaliteit en kan daarmee bijdragen aan het verminderen van gezondheidsrisico's voor de luchtwegen van zowel de dieren als de stalmedewerkers. Door de vermindering van schadelijke gassen worden mogelijke ademhalingsproblemen en stress bij dieren beperkt, terwijl de werkomstandigheden voor personeel veiliger en gezonder worden (Vermeer & de Greef, 2024).

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 afkomstige) emissies bestaat. Dat betekent dat de verwachting was dat bij vier keer per dag de feces te verwijderen er vrijwel geen methaan uit de mest in de stal emitteert. De gemeten bedrijfsemissiefactor was $0,26 \pm 0,17$ kg per jaar per dierplaats. De gemeten methaanreductie van 95,1% met dit systeem is berekend door vergelijking met de referentiewaarde uit eerder onderzoek in reguliere Nederlandse biggenstallen met gedeeltelijk roostervloer en langdurige mestopslag (5,3 kg per jaar per dierplaats) (Mosquera *et al.*, 2025). Vergelijkbare reducties zijn waargenomen in eerder onderzoek waarbij dagontmesting is toegepast en feces en urine in biggenstallen direct zijn gescheiden en frequent verwijderd (Sefeedpari *et al.*, 2024b; Hertogh *et al.*, 2025).

In systemen met mestschuiven, waarbij urine continu wordt afgevoerd naar een afgesloten opslag en de feces viermaal per dag via een hellende vloer met mestschuif frequent worden verwijderd, wordt anaerobe afbraak van organische stoffen voorkomen (Ambrose *et al.*, 2023), waardoor methaanvorming sterk wordt beperkt. Om te voorkomen dat deze methaanemissie alsnog (buiten de stal) plaatsvindt, is het belangrijk om de mest snel te verwerken. De feces, eventueel gemengd met een deel van de urine, kunnen bijvoorbeeld worden afgevoerd naar een (mono-)mestvergister 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 (Dalby *et al.*, 2023).

5.3 Lachgasemissie

In dit onderzoek is een bedrijfsemissiefactor van $2,98 \pm 1,71$ g per jaar per dierplaats met een reductie van 81,5% vastgesteld voor de lachgasemissie in een biggenstal met gedeeltelijk roostervloer. De referentiewaarde van de N₂O-emissie was $16,1 \pm 15,6$ g per jaar per dierplaats voor een gangbare biggenstal met gedeeltelijk roostervloer (Mosquera *et al.*, 2025). In het onderzoek van Mosquera *et al.* (2021) was de gemiddelde lachgasemissie bij een biggenstal met een gedeeltelijk roostervloer hoger dan de hierboven vermelde waarde, namelijk 34 ± 14 g N₂O per dierplaats per jaar. In een eerder onderzoek van Winkel *et al.* (2010) is daarentegen een gemiddelde jaaremmissie van $0,9 \pm 0,9$ g N₂O per dierplaats per jaar gemeten in een vergelijkbare, gangbare biggenstal. Ten opzichte van de referentiewaarde van Winkel *et al.* (2010) zou met dit systeem een negatieve reductie worden behaald (-231%). De oorzaak van de aanzienlijke verschillen en de hoge standaarddeviatie tussen de resultaten van eerdere studies is tot op heden niet bekend. Bij twee biggenstallen met volledige roostervloer en water- en mestkanalen, is in het onderzoek van Winkel *et al.* (2010) een gemiddelde emissie van $5,3 \pm 2,5$ g N₂O per dierplaats per jaar gemeten, en in het rapport van Mosquera *et al.* (2021), 33 ± 20 g per jaar per dierplaats. Vergelijkbare bevindingen zijn gerapporteerd in een studie waarin een lagere en stabielere lachgasemissie is waargenomen in varkensstallen met gedeeltelijk roostervloer in vergelijking met stallen met

volledig roostervloer (Philippe & Nicks, 2015). Deze resultaten suggereren dat het type vloer en mestmanagement in de stal invloed kan hebben op de emissie van lachgas. Op basis van deze variatie in de literatuur vergeleken met de gemeten N₂O-emissies in deze studie, wordt aanbevolen om meer onderzoek te doen naar de N₂O-emissies van verschillende staltypen.

Gezien de absoluut gemeten emissies van methaan (0,26 kg CH₄ per jaar per dierplaats) en lachgas (2,98 g N₂O per jaar per dierplaats), en ondanks het hogere aardopwarmingsvermogen (GWP of Global Warming Potential) van N₂O ten opzichte van CH₄ (respectievelijk 273 en 27 kg CO₂-eq (IPCC, 2023)), resulteerde de lage absolute N₂O-emissie in dit systeem in een beperkte bijdrage van N₂O aan de totale broeikasgasemissie (uitgedrukt in CO₂-equivalenten) vergeleken met die van methaan. Dit geeft aan dat methaan de dominante broeikasgascomponent in het systeem blijft en dat mitigerende maatregelen zich in de eerste plaats zouden moeten richten op verdere reductie van CH₄-emissies uit mestafvoer en -opslag.

5.4 Geuremissie

In deze studie is voor de geuremissie een reductie van 31,9% vastgesteld, met een absolute emissiefactor van $5,32 \pm 2,55$ OU_E/s per dierplaats, ten opzichte van de referentiewaarde uit Bijlage V van de Omgevingswet (7,8 OU_E/s per dierplaats). De toepassing van frequente verwijdering van mest kan hierbij bijdragen aan een reductie van de geuremissie, doordat ophoping van organische verbindingen die geur veroorzaken wordt beperkt (Liu *et al.*, 2014). Het is belangrijk op te merken dat het verwachte geurreductiepercentage van 60% gebaseerd is op modelschattingen voor vleesvarkens met dagontmesting door middel van mestschuiven en sproeisysteem. Vergelijkbare studies om deze resultaten te toetsen zijn niet gevonden.

5.5 Fijnstofemissie

Voorafgaand aan dit onderzoek werd er geen effect verwacht in fijnstofemissie voor het innovatieve mestschuifstelsel. In deze studie is voor de fijnstofemissie een absolute emissie van 27,6 g per jaar per dierplaats en een reductiepercentage van 62,7% vastgesteld ten opzichte van de referentiewaarde uit Bijlage V van de Omgevingswet (74,0 g per dierplaats per jaar). Gedurende de meetperiode was een ionisatiesysteem met koolstofborsteltjes aanwezig en operationeel. Het specifieke effect van de ionisatielamp is in deze studie niet afzonderlijk onderzocht. Dit komt doordat er geen effect op de fijnstofemissie van het innovatieve mestschuifstelsel werd verwacht. Het grootste deel van het fijnstof in varkensstallen is afkomstig van opgedroogde mest op de vloer en huidschilfers, die de grootste bijdrage leveren, gevolgd door voer en eventueel strooisel (Cambra-López *et al.*, 2011). Fijnstofemissie uit de mestput wordt niet verwacht, omdat de mest daar overwegend vochtig is.

Tijdens twee metingen is in de proefafdeling een lagere PM₁₀ concentratie gemeten dan de achtergrondconcentratie (zie Bijlage X), wat niet conform verwachting is. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn beschadigde meetslangen welke leidden tot lekkage, die zowel hogere als lagere meetwaarden kunnen veroorzaken. Door het ontbreken van geldige metingen zijn de betreffende meetwaarden niet meegenomen in de berekening van de bedrijfsemissiefactor. De continue concentraties gemeten met de DustTrak (R5; 16 dagen na opleg) vertoonde grotere schommelingen dan bij de tweede meetronde (R6; 34 dagen na opleg), waarin de waarden stabiel en lager waren. De gemiddelde fijnstofconcentratie tijdens deze twee meetrondes bedroeg 0,73 mg/m³ in de uitgaande lucht en 0,04 mg/m³ in de ingaande lucht. Ter vergelijking rapporteert Winkel *et al.* (2015) een gemiddelde fijnstofconcentratie van 0,99 mg/m³ en emissiewaarde van 83,0 g per jaar per dierplaats bij gespeende biggen met gedeeltelijk roostervloer. Het patroon van de concentraties komt overeen met eerder onderzoek waarin is aangetoond dat jongere biggen door hogere activiteit en onregelmatige mestconsistentie meer fijnstof genereren (Yang *et al.*, 2022).

5.6 Toepassing en robuustheid van EOW in de proefstal

Tijdens de meetperiode werd het sproeien van Electrolysed Oxidizing Water (EOW) éénmaal per dag toegepast als onderdeel van het mestverwijderingssysteem. Het doel hiervan was het beperken van de urease-activiteit op het vloeroppervlak en daarmee de potentiële vorming van ammoniak. Uit de geregistreerde debieten (Tabel 5) blijkt dat het verbruik van EOW gedurende de meetperiode sterk varieerde, met een groot verschil tussen het waterverbruik en het EOW-verbruik. Tijdens de protocollaire metingen (R1 t/m R6) lag het EOW-verbruik gemiddeld hoger (199 ± 41 ml/m² per 24 u), hetgeen erop duidt dat het sproeisysteem in deze perioden consistentier of met minder storingen functioneerde.

De variatie in geregistreerde hoeveelheden laat zien dat de technische werking van het systeem niet constant was gedurende het onderzoeksjaar. Een duidelijke afwijking is zichtbaar in de periode van 20 februari tot 2 april 2025, waarin zowel het verbruik van EOW als dat van sproeiwater sterk daalde. Dit wijst op een algemene storing in het sproei- of schuifstelsysteem, waardoor gedurende deze periode beide vloeistoffen in beperkte mate zijn toegepast.

Daarnaast is in de periode van 9 tot 14 juli 2025 een specifiek verval in het verbruik van EOW waargenomen (93 ml/m² per 24 u), terwijl het waterverbruik in dezelfde periode juist op een hoog niveau bleef (540 ml/m² per 24 u). Deze discrepantie duidt op een storing die enkel de EOW-installatie betrof, waarschijnlijk veroorzaakt door uitval van de sproeipomp.

Binnen het onderzoek werd geen formele storingsregistratie bijgehouden, maar uit praktijkwaarnemingen blijkt dat dergelijke onderbrekingen incidenteel voorkwamen. De meest voorkomende problemen betroffen het tijdelijk uitvallen van het schuifproces of het niet functioneren van de sproeipomp. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn de oxiderende en potentieel corrosieve werking van EOW op metalen onderdelen van de pomp, of elektrische storingen in de besturing. Wat betreft het minimale tijdsbestek voor reparatie van de EOW-installatie, wordt aanbevolen onderhoud aan het systeem uit te voeren binnen 100 uur / 4 dagen (Puente-Rodríguez & Bos, 2019).

Omdat de EOW-toepassing een integraal onderdeel vormt van het emissiearme systeem, heeft de betrouwbaarheid van dit component direct invloed op de robuustheid van de techniek als geheel. Storingen of afwijkende sproeifrequenties kunnen leiden tot verschillen in urease-activiteit en daarmee tot variatie in de gemeten emissies. Deze operationele variatie benadrukt de noodzaak voor aanvullend onderzoek om de uiteindelijke emissiefactoren beter te kunnen interpreteren in relatie tot het functioneren van het EOW-systeem.

De resultaten laten zien dat het systeem technisch uitvoerbaar is, maar dat aandacht voor materiaalkeuze, onderhoud en bedrijfszekerheid van de EOW-voorziening essentieel is om de beoogde emissiereductie structureel te kunnen realiseren. In vervolgonderzoek of praktijksituaties verdient het aanbeveling om storingen systematisch te registreren en de relatie tussen EOW-dosering, urease-activiteit en emissieprestaties nader te kwantificeren.

5.7 Implicaties van de verkregen resultaten

5.7.1 Meetopstelling en meetcampagneperiode

Deze studie beschrijft de resultaten van metingen die tussen oktober 2024 en juli 2025 zijn uitgevoerd in één proefafdeling van één bedrijf. De meetperiode was korter dan één jaar, aangezien het bedrijf werd verkocht en de metingen vóór de overdracht moesten worden afgerond.

Bovendien is er geen Case-Control-opstelling gebruikt. De planning van de metingen was afhankelijk van de leeftijd en beschikbaarheid van de biggenpopulatie, wat een vergelijking met een identieke controlegroep bemoeilijkte. Om representatieve gegevens te verkrijgen is daarom gekozen om de metingen te beperken tot

één proefafdeling. Om een officiële emissiefactor te verkrijgen zullen vergelijkbare systemen op drie andere bedrijven moeten worden onderzocht.

Door deze beperkingen kon geen standaardemissiefactor worden vastgesteld op basis van de verkregen resultaten. De gemiddelde gemeten emissies per emissiecomponent worden daarom beschouwd als bedrijfsspecifieke emissiefactoren. De berekende reductiepercentages zijn afgeleid op basis van referentiewaarden uit de RAV-lijst (voor NH₃, fijnstof en geur) of uit eerder onderzoek (voor CH₄ en N₂O).

5.7.2 Continue metingen versus protocollaire metingen

De continue metingen zijn gebruikt om het verloop en de ontwikkeling van emissies in de tijd te beschrijven. Deze gegevens zijn niet gebruikt voor het vaststellen van de bedrijfsspecifieke emissiefactor, waarvoor uitsluitend de volgens het meetprotocol vastgestelde referentiewaarden zijn gehanteerd. De sensormetingen hadden een indicatief karakter en dienden ter monitoring van het emissiepatroon. Er is geen standaardkalibratie uitgevoerd, aangezien de sensoren primair bedoeld waren voor trendanalyse. Verschillen tussen sensor- en protocollaire metingen worden verder toegelicht in de hoofdstukken Resultaten en Discussie.

5.7.3 Fijnstofemissies

Tijdens de meetcampagne zijn in enkele meetrondes onbetrouwbare fijnstofmetingen vastgesteld, hoofdzakelijk door beschadiging van de meetslangen. In de laatste twee meetrondes zijn indicatieve metingen uitgevoerd met een DustTrak instrument. Deze gegevens zijn, na verificatie met de protocollaire metingen, opgenomen in de uiteindelijke analyse. Vanwege de inconsistentie in meetmethoden en de beperkte dataset is de interpretatie van de fijnstofresultaten voorzichtig en indicatief.

5.7.4 Ionisatiesysteem

Het ionisatiesysteem maakt integraal deel uit van het onderzochte stalsysteem en is daarom niet afzonderlijk geëvalueerd op zijn bijdrage aan de fijnstofreductie. Verwacht wordt dat het toegepaste mestschuifstelsel geen invloed heeft op de fijnstofemissie. De productie van fijnstof is echter een multifactorieel proces, dat mede wordt beïnvloed door dieractiviteit, voedertijden, en de aanwezigheid van mestresten op vloeren of kelderwanden. Daarom is in deze studie het gecombineerde effect onderzocht.

5.7.5 EOW- en watersproeisysteem

De toepassing van het EOW- en watersproeisysteem beïnvloedt de gemeten emissieresultaten direct. Variaties in sproeifrequentie of technische storingen kunnen leiden tot verschillen in urease-activiteit en daarmee tot variatie in de gemeten emissies. Bij de interpretatie van de uiteindelijke emissiefactoren dient daarom rekening te worden gehouden met deze operationele variatie. Verdere monitoring van de systeembetrouwbaarheid is wenselijk om de robuustheid van deze techniek in de praktijk beter te kunnen beoordelen.

6 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzochte combi-scrapersysteem, waarbij frequente mestverwijdering (4 keer per dag) wordt gecombineerd met urine afvoer en aanvullende maatregelen voor emissiereductie bij de bron, blijkt effectief in het reduceren van emissies in dit onderzoek:

- Ammoniakemissie: Een reductie van 86,0% ten opzichte van de referentiewaarde uit Bijlage V van de Omgevingswet is gemeten. De reductie is vergelijkbaar met wat vooraf werd verwacht. Deze hoge reductie kan worden verklaard door snelle en gescheiden afvoer van feces en urine, een verkleind emitterend oppervlak, coating van schuifvloeren, sproeien met water na elke schuifbeurt en vertraging van de ureumomzetting naar ammoniak door desinfectie met EOW. De toepassing van EOW- en het watersproeien beïnvloeden direct de emissieresultaten, omdat storingen of variaties in de werking kunnen leiden tot verschillen in gemeten emissies. Aanvullend onderzoek is daarom nodig om de invloed van deze operationele variatie beter te begrijpen. De emissiereducties dragen tevens bij aan een betere luchtkwaliteit in de stal.
- Methaanemissie: Het systeem beperkt de methaanvorming aanzienlijk (circa 95% reductie), vergelijkbaar met andere studies over dagontmesting en frequente verwijdering van mest. Anaerobe afbraak wordt beperkt, waardoor methaanemissies in de stal laag blijven. Om emissies verderop in de keten te voorkomen, wordt aanbevolen om verse mest snel te verwerken, bijvoorbeeld door transport naar een mono-vergister of toepassing van andere mestverwerkingstechnieken.
- Lachgasemissie: De N₂O emissie is relatief laag gemeten, namelijk 2,98 g per dierplaats per jaar, wat overeenkomt met een reductie van 81,5%.
- Geuremissie: Een reductie van 35,7% is gemeten. De toepassing van frequente verwijdering van mest kan bijdragen aan een reductie van de geuremissie, doordat de vorming van organische verbindingen die geur veroorzaken wordt beperkt.
- Fijnstofemissie: Op basis van vier meetrondes is een PM₁₀ reductie van 62,7% vastgesteld, waarbij twee metingen met een continu meetapparaat (DustTrak) zijn uitgevoerd als gevolg van de kapotte slangen van de protocollaire metingen. Deze reductie kan waarschijnlijk voornamelijk worden verklaard door het gebruik van het ionisatiesysteem.

Kortom, het combi-scrapersysteem toont een hoge efficiëntie in het reduceren van ammoniak-, methaan en lachgasemissies en geeft tevens een reductie van de geuremissie en fijnstof. Voor fijnstofemissies is het van belang om verdere optimalisaties door te voeren en de emissies nauwkeurig te blijven monitoren. Concluderend kan worden gesteld dat de implementatie van het innovatieve combi-scrapersysteem kan bijdragen aan een duurzamere en gezondere varkenshouderij.

Literatuur

- Aarnink, A., de Groot, J., Booijen, M., 2021. Analyse beschikbare technieken voor integrale emissiereductie in varkensstallen. Wageningen Livestock Research
- Aarnink, A., de Groot, J., Ogink, N., 2019. Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen Livestock Research
- Aarnink, A., Monteny, G.J., 2019. Inschatting van de ammoniak- en geur-emissie uit een vleesvarkensstal met dagontmesting via mestschuiven met sproeisysteem en gescheiden gierafvoer. In: notitie, v. (Ed.)
- Aarnink, A.J.A., Vermeer, H., Ploegaert, J., 2012. Ammoniakemissiearme verharde uitlopen voor varkens= Outside, hardened yards with low ammonia emissions for pigs. Wageningen UR Livestock Research
- Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A., 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science* 109, 194-203.
- Ambrose, H.W., Dalby, F.R., Feilberg, A., Kofoed, M.V., 2023. Additives and methods for the mitigation of methane emission from stored liquid manure. *biosystems engineering* 229, 209-245.
- Berkhout, P., Van der Meulen, H., Ramaekers, P., 2023. Staat van Landbouw, Natuur en Voedsel: Editie 2023. Wageningen Economic Research.
- Brown, J.T., 2018. Evaluation of a solid-liquid manure separation operation. University of Missouri-Columbia
- Cambra-López, M., Hermosilla, T., Lai, H.T., Aarnink, A.J.A., Ogink, N., 2011. Particulate matter emitted from poultry and pig houses: source identification and quantification. *Transactions of the ASABE* 54, 629-642.
- Dalby, F.R., Hansen, M.J., Guldborg, L.B., Hafner, S.D., Feilberg, A., 2023. Simple management changes drastically reduce pig house methane emission in combined experimental and modeling study. *Environmental Science & Technology* 57, 3990-4002.
- Garrett, S.L., 2020. Ideal gas laws. *Understanding Acoustics: An Experimentalist's View of Sound and Vibration*. Springer, pp. 333-356.
- Groenestein, C., Aarnink, A., Ogink, N., 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen. Advies herberekening op basis van welzijnseisen. *Livestock Research Rapport 786*.
- Groenestein, C.M., Losada, J.M., Ogink, N., 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010= Measurement protocol for methane emission from housing systems in livestock production 2010. Wageningen UR Livestock Research
- Groenestein, K., Aarnink, A., 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808. Animal Science Group van Wageningen UR. Intern rapport 200808.
- Hertogh, N., Sefeedpari, P., van Rooijen, J., Goselink, Y., Aarnink, A., 2025. Emissies uit een vernieuwde wroetstal voor gespeende biggen: Resultaten metingen fase 2 Sbv projectnr. 2122012. Wageningen Livestock Research
- IPCC, 2023. The Indigenous World 2023: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In: Denmark, I. (Ed.)
- Lachance, I., Godbout, S., Lemay, S., Larouche, J.-P., Pouliot, F., 2005. Separation of Pig Manure Under Slats: to Reduce Releases in the Environment! , 2005 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1
- Liu, Z., Powers, W., Mukhtar, S., 2014. A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities. *Applied Engineering in Agriculture* 30, 477-492.
- Montsma, H., Groenestein, C.M., 1992. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen. Biggenopfokstal met frequente en restloze mestverwijdering. DLO-rapport 92-1001
- Mosquera, J., Goselink, Y., van Valkengoed, P., Hol, J., 2025. Stalemissie van ammoniak, methaan, lachgas, geur en PM10: Resultaten van praktijkmetingen in stallen voor jongvee, blankvleeskalveren, rosé vleeskalveren, geiten, biggen, vleesvarkens en dragende zeugen.
- Mosquera, J., Hol, J., Winkel, A., Lovink, E., Ogink, N., Aarnink, A., 2010. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens= Dust emission from animal houses: growing and finishing pigs. In: 292), R.W.U.L.R.N. (Ed.). Wageningen UR Livestock Research

-
- Mosquera, J., van Dooren, H., Hol, J., Ploegaert, J., Ogink, N., 2021. Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Wageningen 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. Wageningen UR Livestock Research
- Ogink, N., Hofschreuder, P., Aarnink, A.J.A., 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research
- Ogink, N., Mosquera, J., Hol, J., 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a = Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2013a. Wageningen Livestock Research rapport; 1032. Wageningen UR Livestock Research
- Partanen, K.H., Mroz, Z., 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. Nutrition research reviews 12, 117-145.
- Philippe, F.-X., Nicks, B., 2015. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. Agriculture, Ecosystems & Environment 199, 10-25.
- Predicala, B.Z., Cortus, E.L., Lemay, S.P., Laguë, C., 2007. Effectiveness of a manure scraper system for reducing concentrations of hydrogen sulfide and ammonia in a swine grower-finisher room. Transactions of the ASABE 50, 999-1006.
- PSN, 2022. (Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering). Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering 2022-2035. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
- Puente-Rodríguez, D., Bos, A., 2019. Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20): Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie. Wageningen Livestock Research
- Rijksoverheid, 2022. Nationale Methaanstrategie. <https://cdn.nieuweoogst.nu/public/file/212213.pdf> 1-10-20251-10-2025
- Rijksoverheid, 2023. Klimaatakkoord. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatverandering-beperken#:~:text=In%202030%20wil%20Nederland%20volgens,er%20netto%20geen%20uitstoot%20meer%20in%202025>
- Rijksoverheid, 2025. Uitstoot methaan verlagen. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatverandering-beperken/uitstoot-methaan-verlagen1-10-20251-10-2025>
- 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., 2024a. Model Adaptation and Validation for Estimating Methane and Ammonia Emissions from Fattening Pig Houses: Effect of Manure Management System. Animals 14, 964.
- Sefeedpari, P., Wagensveld, J., Booijen, M., van Bussel, A.-M., Aarnink, A., 2024b. Verminderen van methaanemissie uit varkensstallen door dagontmesting: methaan- en ammoniakemissies bij vleesvarkens en gespeende biggen. Wageningen Livestock Research
- Shen, D., Wu, S., Li, Z., Tang, Q., Dai, P., Li, Y., Li, C., 2019. Distribution and physicochemical properties of particulate matter in swine confinement barns. Environmental Pollution 250, 746-753.
- Vermeer, H., de Greef, K., 2024. Effecten van ammoniak (NH₃) op gezondheid en welzijn van varkens. Wageningen Livestock Research
- van Jasmund, N., Schmithausen, A.J., Krommweh, M.S., Trimborn, M., Boeker, P., Büscher, W., 2022. Assessment of ammonia sensors and photoacoustic measurement systems using a gas calibration unit. Computers and Electronics in Agriculture 194, 106744.
- Wang, H., Long, W., Chadwick, D., Zhang, X., Zhang, S., Piao, X., Hou, Y., 2022. Dietary acidifiers as an alternative to antibiotics for promoting pig growth performance: A systematic review and meta-analysis. Animal Feed Science and Technology 289, 115320.
- 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. Emissions & Manure Valorisation, WIAS. Wageningen Livestock Research, p. Rapport 1470

-
- Winkel, A., Mosquera, J., Hol, J., van Hattum, T., Lovink, E., Ogink, N., Aarnink, A., 2010. (herziene versie januari 2011) Fijnstofemissie uit stallen: biggen. Lelystad: WUR. Wageningen Livestock Research
- Winkel, A., Mosquera, J., Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W., Aarnink, A.J., 2015. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 111, 202-212.
- WUR, 2025a. Broeikasgassen uit vee. Wageningen University & Research1-10-20251-10-2025
- WUR, 2025b. Klimaat en veehouderij: praktische innovaties voor minder uitstoot van broeikasgassen. Wageningen University & Research1-10-20251-10-2025
- Yang, X., Haleem, N., Osabutey, A., Cen, Z., Albert, K.L., Autenrieth, D., 2022. Particulate matter in swine barns: A comprehensive review. *Atmosphere* 13, 490.
- Zhang, J., Puente-Rodríguez, D., Bos, B., Ogink, N., Aarnink, A., 2025. Inhibiting urease activity to reduce ammonia emissions from dairy houses through application of disinfectants on different floor types. *Biosystems Engineering* 257, 104217.
- Zhao, Y., Aarnink, A.J., Hofschreuder, P., Koerkamp, P.W.G., 2009. Evaluation of an impaction and a cyclone pre-separator for sampling high PM10 and PM2.5 concentrations in livestock houses. *Journal of Aerosol Science* 40, 868-878.

Bijlage I Referentie emissiefactoren

Component	Gespeende biggen (gedeeltelijk roostervloer)
NH ₃ (kg/jaar per dpl.) ¹	0,69
Fijnstof (g/jaar per dpl.) ¹	74
Geur (OU _E /s per dpl.) ¹	7,8
CH ₄ (kg/jaar per dpl.) ²	5,3
N ₂ O (g/jaar per dpl.) ²	16,1

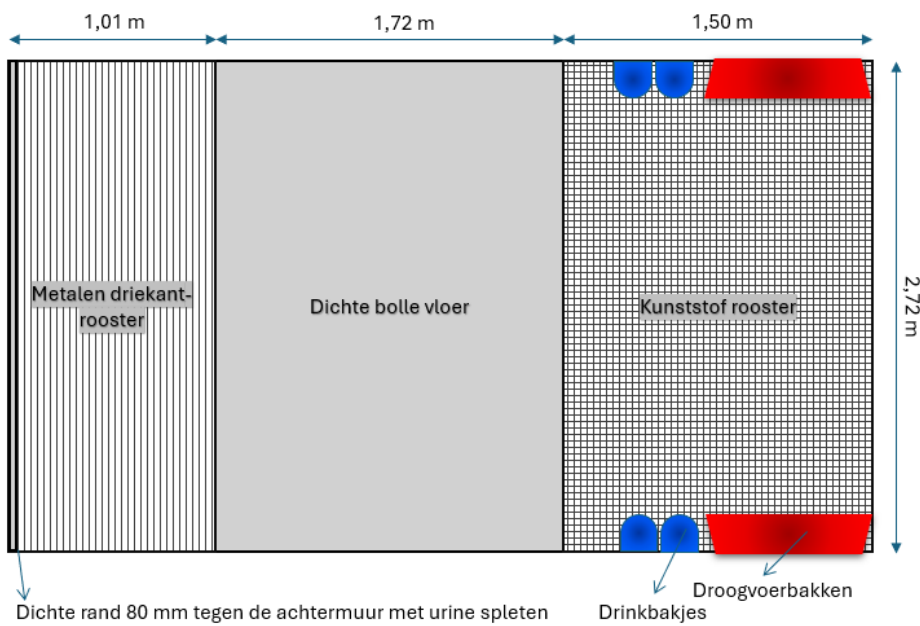
¹ Bron: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2025-07-12#BijlageV>

² Bron: Mosquera et al., 2025

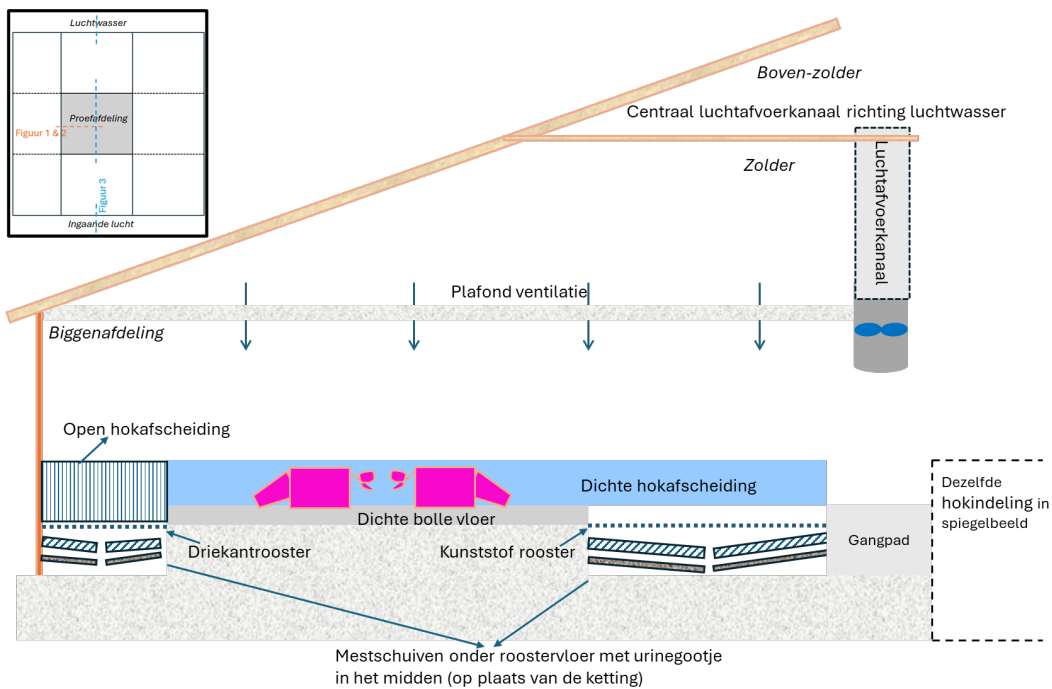
Bijlage II Concept Leaflet

Nummer systeem	OW ...	
Naam systeem	Combi-scraper	
Diercategorie	Gespeende biggen	
Systeembeschrijving van	November 2025	
Werkingsprincipe	Ammoniakemissiebeperking is gebaseerd op het frequent en gescheiden afvoeren van feces en urine in combinatie met sproeien met water en EOW en coating van de schuifvloer.	
DE TECHNISCHE UITVOERING VAN HET SYSTEEM; BOUWKUNDIG		
	Onderdeel	Uitvoeringseis
1a	Hokken	De lengte / breedte verhouding van het hok is minimaal 1,5 en bij voorkeur minimaal 2.
1b		Het hok heeft een bolle of een hellende dichte vloer. De roostervloer in het hok is een metalen of een gietijzeren driekantrooster. Daar waar weinig wordt gemest mogen kunststofroosters worden toegepast. Bij een bolle vloer is dit boven het 'waterkanaal' en bij een hellende vloer is dit aan de dichte vloer zijde.
2a	Mestafvoer	De mest en urine vallen op een V-vormige vloer die glad is afgewerkt en van een coating is voorzien (transparant mesa topcoating). De mestvloer heeft in de breedte een minimale helling van 5 graden. Er is een lichte helling in de lengterichting (ca. 0,2%). In het midden van de V-vormige vloer zit een giergoot.
2b		De urine wordt continu afgevoerd via de giergoot. De feces worden met een schuif afgevoerd.
2c		De V-vormige mestschuif heeft een rubberen strip om de vaste mest (vrijwel) volledig af te voeren.
2d		De mestkanalen zijn voorzien van een sproeileiding over de gehele lengte van alle mestkanalen. Hiermee kan zowel water als Electrolyzed Oxidizing Water (EOW) worden gespreid.
3	Opslag urine en feces	De urine en feces worden opgeslagen in afgesloten opslagen, waarbij gassen wel kunnen ontwijken via een waterslot of overdrukventiel.
4	EOW-installatie	De EOW-installatie heeft een productiecapaciteit van minimaal 200 ml/m ² schuifoppervlak per dag. Het EOW heeft de volgende karakteristieken: vrij chloor gehalte van circa 500 mg/L, een Oxidation Reduction Potential (ORP) van > 800 en een pH van 6 tot 8.
HET GEBRUIK VAN HET SYSTEEM		
	Onderdeel	Gebruikseis
a	Hokken	Hokken hebben minimaal 40% dichte vloer.
b	Mestschuif	De feces worden tenminste 4x per dag afgevoerd met de schuif.
c	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.

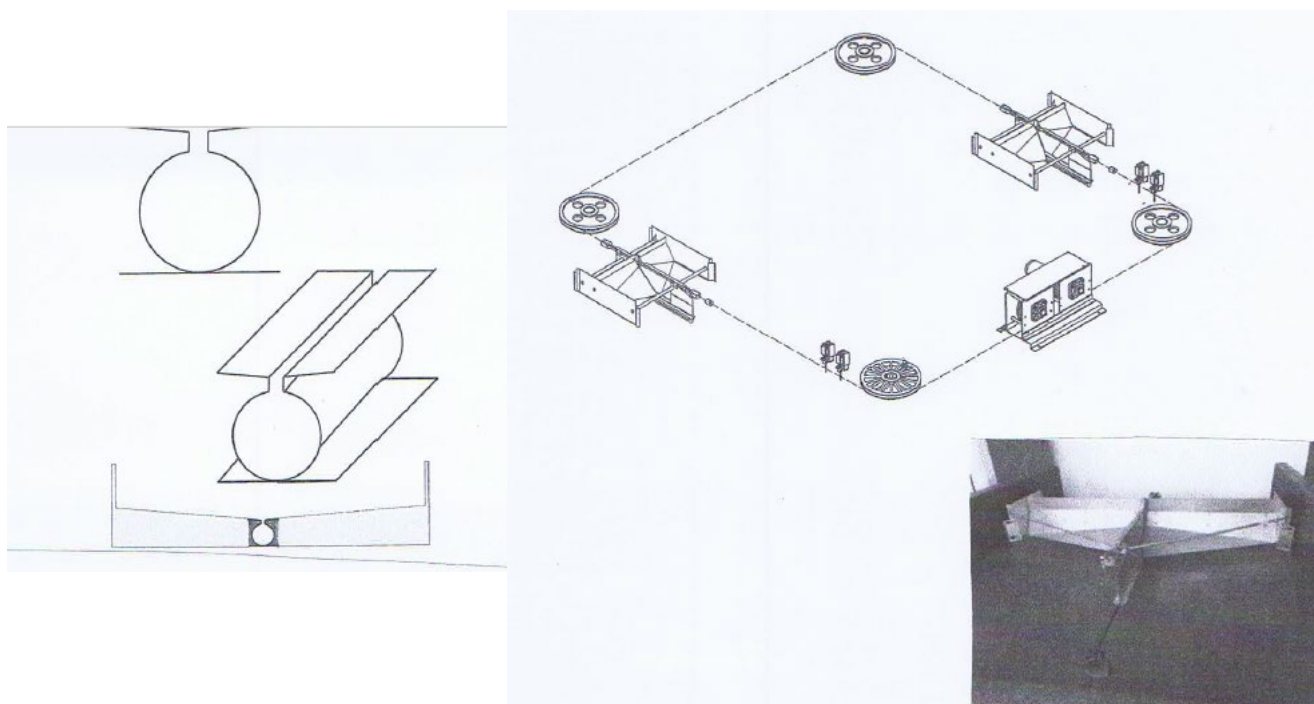
d1	EOW-installatie	Na elke schuifbeurt wordt minimaal 200 ml water per m ² schuifoppervlak gespreid. Eénmaal per dag wordt dit water vervangen door dezelfde hoeveelheid EOW.
d2		De EOW parameters (vrij chloor gehalte, ORP waarde en pH) worden minimaal 1x/week gecontroleerd en de gemeten waarden worden genoteerd in een logboek.
Emissiefactor		... kg NH ₃ per jaar per dierplaats.
Verwijzing meetrapport		



Figuur II.1 Plattegrond biggenhok met een combi-scaper.



Figuur II.2 Dwarsdoorsnede van een biggenhok met een combi-scaper.



Figuur II.3 Detailtekeningen van het mestschuifstelsel, met links de giergoot waarin de kabel loopt, rechtsboven het rondgaande kabelstelsel, en rechts de mestschuif.

Bijlage IV Foto roostervloer achterin het hok met dichte achterrand met urinespleten



Bijlage V Functies, specificaties en vereisten EOW-installatie Aquaox EA-30

Main Features	Model	Aquaox EA-30
Electrolyzed Water (EW) production (L/H)		30-40
Free Chlorine (HOCL + OCL) (mg/L)		~ 500
Oxidation Reduction Potential (ORP)		> 800
EC- depending on Free Available Chlorine (FAC)		< 10
pH		6-8
Alkaline water (L/H)		1-10
Oxidation Reduction Potential (ORP)		> - 800
Technical Specifications and Requirements	Model	Aquaox EA-30
Water Supply (L/H)		50
Water Pressure (bar)		2.5
Water Hardness (CaCO ₃ /ppm)		< 17
Salt Consumption (gr/L)		~ 5
Electrical Current (V)		110-230
A		10-14
Power Consumption Max (kW)		1,6
Power Consumption ~ (kW)		0,9
Room ventilation (m ³ /H)		> 50
Ambient temperature min/max (°C)		5-35

Bron: <https://aquaox.nl/products/aquaox-ea-30/>

Bijlage VI Landbouwkundige randvoorwaarden

Landbouwkundige randvoorwaarden			
<i>Code:</i> B3	<i>Categorie:</i> Varkenshouderij gangbaar	<i>Subcategorie:</i> Biggenopfok (gespeende biggen)	<i>Datum:</i> 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. Waterverstrekking 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> <ul style="list-style-type: none"> - 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 		

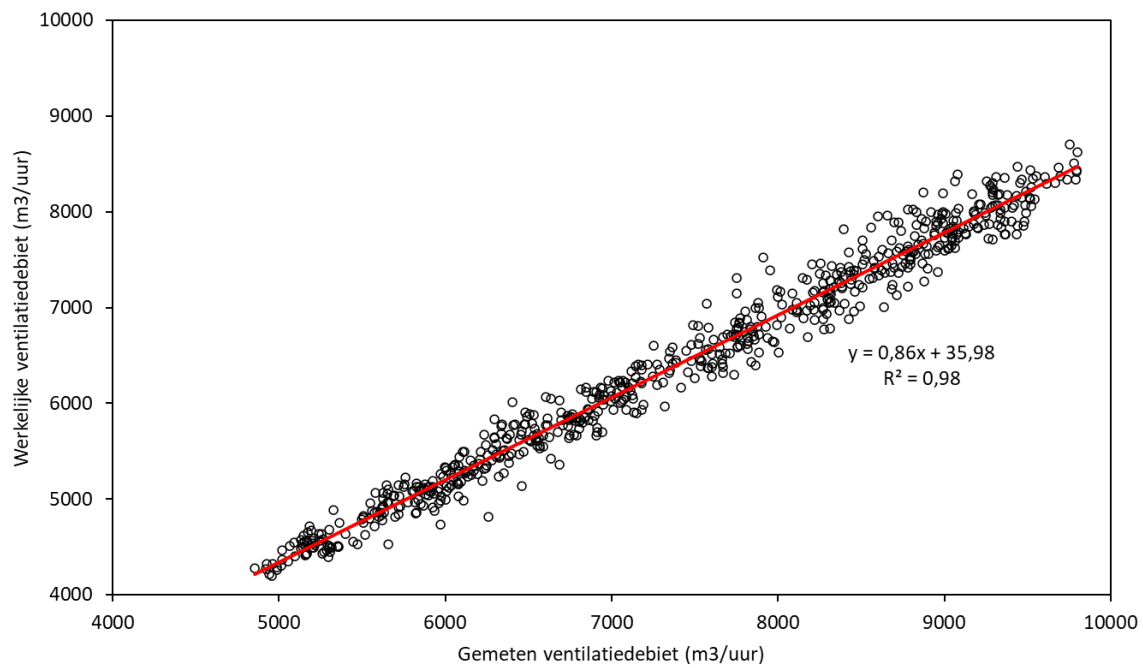
Bijlage VII Klimaatinstellingen

Dag nummer	Groeicurve diergewicht (kg)	Setpoint temperatuur (° C)	Minimale ventilatie (%)	Maximale ventilatie (%)
Dag 1	7	28,0	2	30
Dag 9	11	27,0	3	35
Dag 16	15	26,5	5	45
Dag 23	18	26,0	7	55
Dag 44	20	25,0	12	72

Bandbreedte = 6,0 °C

De maximale ventilatie bij 100% ventilatie is 17.264 m³/uur

Bijlage VIII IJklijnen meetwaaiers



Bijlage IX Voerschema biggen

Gespeende biggen (tot 25 kg)			
Nutriënten (% ds)	Dag 0 t/m dag 24 na spenen	Dag 25 t/m dag 31 na spenen	Dag 32 t/m dag 44
Ruw as	5,9	5,5	6,1
Ruw eiwit	17,2	17,2	14,0
Ruw vet	4,4	3,3	3,2
Ruwe celstof	4,9	4,4	5,5
Lysine	1,20	1,12	1,04
Methionine	0,47	0,44	0,36
Calcium (totaal)	0,68	0,70	0,77
Fosfor (totaal)	0,51	0,47	0,46
Natrium	0,20	0,22	0,28

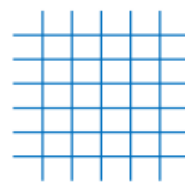
Bijlage X Hokbevuilingscoreformulier



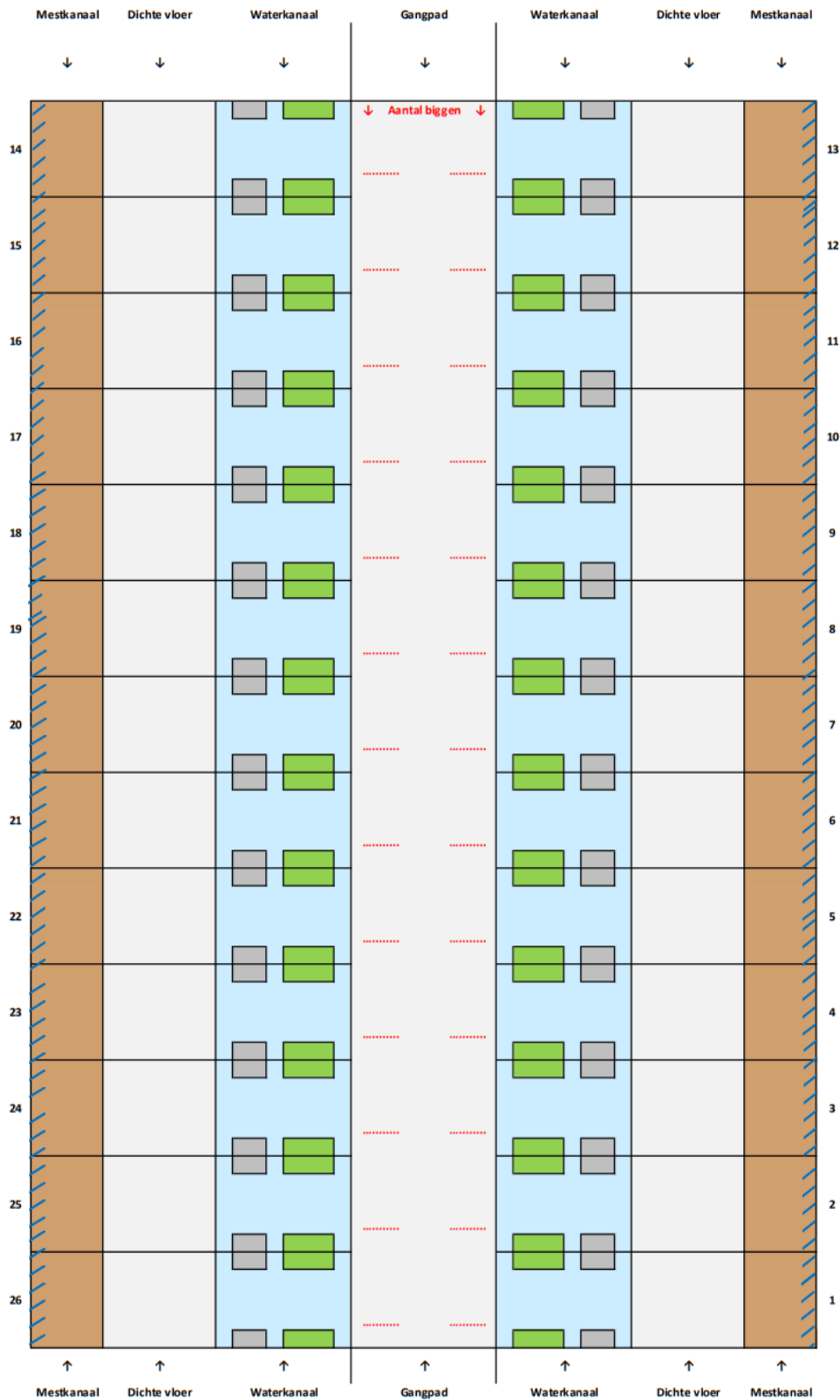
→ Hokbevuiling door **FECES**



→ Hokbevuiling door **URINE**



→ Hokbevuiling door **FECES** gemengd met **URINE**



Bijlage XI Metingen compleet

Datum	30/10/2024	11/12/2024	19/02/2025	02/04/2025	14/05/2025	22/07/2025
Meting	1	2	3	4	5	6
Aantal dieren	899	840	788	819	730	657
CH ₄ concentratie [ppm] - Voorste koker	13,16 ; 13,29	10,96 ; 11,21	17,07 ; 17,02	12,20 ; 12,11	8,70 ; 9,14	13,79 ; 13,93
CH ₄ concentratie [ppm] - Achterste koker	13,68 ; 13,55	11,86 ; 12,15	14,07 ; 14,74	9,94 ; 9,80	9,19 ; 9,84	15,23 ; 14,98
CH ₄ concentratie Ingaand [ppm]	3,76 ; 3,78	2,93 ; 2,77	2,38 ; 2,40	2,47 ; 2,44	2,45 ; 2,44	2,31 ; 2,32
CO ₂ concentratie [ppm] - Voorste koker	2166 ; 2168	2351 ; 2361	2720 ; 2747	2166 ; 2126	1741 ; 1819	1866 ; 1886
CO ₂ concentratie [ppm] - Achterste koker	2172 ; 2162	2356 ; 2363	2521 ; 2624	2040 ; 1998	1690 ; 1800	1983 ; 1986
CO ₂ concentratie Ingaand [ppm]	525 ; 530	491 ; 492	475 ; 470	470 ; 467	458 ; 455	436 ; 436
N ₂ O concentratie [ppm] - Voorste koker	0,40 ; 0,41	0,42 ; 0,43	0,41 ; 0,44	0,45 ; 0,45	0,43 ; 0,42	0,41 ; 0,41
N ₂ O concentratie [ppm] - Achterste koker	0,41 ; 0,40	0,42 ; 0,42	0,42 ; 0,43	0,42 ; 0,42	0,43 ; 0,42	0,43 ; 0,42
N ₂ O concentratie Ingaand [ppm]	0,37 ; 0,38	0,38 ; 0,37	0,39 ; 0,40	0,36 ; 0,36	0,38 ; 0,37	0,39 ; 0,37
NH ₃ concentratie [ppm] - Voorste koker	1,67 ; 1,68	3,04 ; 2,83	6,71 ; 6,80	4,08 ; 4,35	2,46 ; 2,54	3,36 ; 3,45
NH ₃ concentratie [ppm] - Achterste koker	2,83 ; 1,99*	4,62 ; 4,57	3,90 ; 4,09	2,43 ; 2,25	3,15 ; 3,26	4,82 ; 4,89
NH ₃ concentratie Ingaand [ppm]	0,09 ; 0,12	0,06 ; 0,06	0,04 ; 0,07	0,12 ; 0,14	0,07 ; 0,11	0,08 ; 0,11
Fijnstof concentratie [mg/m ³]	0,882 ; 0,881	1,143 ; 1,127	0,033 ; 0,033**	0,0014 ; 0,0014**	0,0014 ; 0,0014**	- ; -
Fijnstof concentratie Ingaand [mg/m ³]	0,016 ; 0,018	0,018 ; 0,019	0,572 ; 0,581**	0,053 ; 0,053**	0,028 ; 0,027**	- ; -
Geur concentratie [OU _E /m ³]	11500 ; 4393	5170 ; 6866	6108 ; 3272	1372 ; 10848	2654 ; 5305	198 ; 2165
Dag in de productieronde	17	10	30	24	16	34
Ventilatie [m ³ /uur/dier]	3,83	2,04	4,95	5,06	4,15	9,01
Temperatuur [°C]	27,8	28,1	27,7	28,0	28,5	28,8
Luchtvochtigheid [%]	65,3	52,4	57,9	56,3	52,4	70,5
Temperatuur buiten [°C]	12,9	3,7	2,0	12,6	15,7	19,4
Luchtvochtigheid buiten [%]	93,0	87,0	56,0	52,0	55,0	75,0

* Vanwege een relatieve afwijking van meer dan 15% is de waarde die het dichtst bij de continu gemeten concentratie (3,26 ppm) lag gebruikt voor de verdere analyse binnen een vergelijkbare meetperiode en de gemeten waarde (1,99 ppm) door de protocolmeting werd niet opgenomen.

** Onbetrouwbare meetresultaten vanwege meetomstandigheden

Bijlage XII Gemiddelde emissie resultaten per protocollaire meting

Meetronde	Datum	Dagen na opleg	EMISSIES					
			Ventilatie	CH ₄ -emissie	N ₂ O-emissie	NH ₃ -emissie	Fijnstof-emissie	Geur
			[m ³ /uur per dpl]	[kg/jaar per dpl]	[g/jaar per dpl]	[kg/jaar per dpl]	[g/jaar per dpl]	[OU _E /s per dpl]
R1	30/10/2024	17	3,83	0,19	1,64	0,045	25,7	8,30
R2	11/12/2024	10	2,04	0,09	1,34	0,042	17,7	3,08
R3	19/02/2025	30	4,95	0,34	1,91	0,145	-*	6,58
R4	02/04/2025	24	5,06	0,22	5,38	0,087	-*	7,81
R5	14/05/2025	16	4,15	0,14	2,81	0,063	24,9**	3,54
R6	22/07/2025	34	9,01	0,56	4,78	0,199	42,1**	2,58
Gem.			4,84	0,26	2,98	0,097	27,6	5,32

dpl. = dierplaats

* In geldige en ontbrekende meting vanwege beschadigde meetslangen.

** De gemeten waarden zijn vervangen door gegevens van de DustTrak vanwege beschadigde meetslangen.

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.

