



Emissiereductie methaan, ammoniak en geur in varkensstallen met dagontmesting

Marith Booijen, Joost Wagenveld, Johan van Riel, Rudi de Mol, André Aarnink

Rapport 1405



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Emissiereductie methaan, ammoniak en geur in varkensstallen met dagontmesting

Marith Booijen, Joost Wagenveld, Johan van Riel, Rudi de Mol, André Aarnink

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research. De ontwikkeling en realisatie van de innovatie is gesubsidieerd door de Provincie Noord-Brabant, passende binnen de doelstellingen een alternatief op luchtwassers te ontwikkelen. De metingen en waarnemingen zijn gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Integraal Aanpakken'

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juni 2023

Rapport 1405



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Samenvatting NL

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van emissiemetingen die in het kader van de Klimaatvelop 2018 (KE 2018) zijn uitgevoerd. Hierbij is op twee varkensbedrijven volgens de case-control methode het dagontmestingsysteem van De Hoeve Innovatie getest op de emissies van methaan, ammoniak en geur bij vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen.

Het dagontmestingsysteem is een robuust systeem om methaanemissies te reduceren. Gemeten methaanreducties waren zelfs hoger dan vooraf ingeschat. De op voorhand ingeschatte ammoniak- en geurreducties zijn niet behaald vanwege, met redenen onderbouwde, aanpassingen aan het ontwerp en problemen om het volledige systeem goed te managen.

Summary UK

This report presents the results of the emission measurements that were carried out within the Klimaatvelop 2018 (KE 2018) programme. A system that removed slurry daily out of the barn was tested for the emissions of methane, ammonia and odour on two different pig farms according to the case-control principle for finishing pigs, weaner pigs and lactating sows.

The tested system is a robust system to reduce methane emissions. The measure methane reductions were even higher than pre-calculated. The pre-calculated ammonia and odour reductions have not been met, due to adaptations to the design of the systems and arising errors that occurred while managing the system.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/585141> 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, 2023

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

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	9
2 Vooronderzoek	11
2.1 Modelmatige inschatting emissies uitgangsonwerpen	11
2.1.1 Vleesvarkens	11
2.1.2 Gespeende biggen	12
2.1.3 Dragende zeugen	13
2.1.4 Kraamzeugen	15
2.1.5 Effect op overige emissies	16
2.2 Aanpassingen ontwerpen en effect op emissies	17
2.2.1 Vleesvarkens	17
2.2.2 Gespeende biggen	18
2.2.3 Dragende zeugen	18
2.2.4 Kraamzeugen	19
2.2.5 Effect aanpassingen op overige emissies	19
2.3 Effect van mestkoeling bij vleesvarkens	20
2.4 Verloop ammoniakconcentratie tijdens mestspoelen bij vleesvarkens	21
2.5 Emissiemetingen dragende zeugen	22
3 Materiaal en methoden	24
3.1 Bedrijfssituatie en behandelingen	24
3.1.1 Gemeten systeem	24
3.1.2 Spoelproces	24
3.1.3 Vleesvarkens	24
3.1.4 Gespeende biggen	28
3.1.5 Kraamzeugen	31
3.2 Waarnemingen en metingen	34
3.2.1 Protocollaire emissiemetingen	34
3.2.2 Continue metingen	36
3.2.3 Overige metingen en data	38
3.3 Data analyse	38
4 Resultaten	43
4.1 Emissies	43
4.1.1 Vleesvarkens	43
4.1.2 Gespeende biggen	46
4.1.3 Kraamzeugen	49
4.2 Vloerbevuiling	52
4.3 Verdunning met water	54
4.4 Continue emissiemetingen	55
5 Discussie	57
6 Conclusies en aanbevelingen	60
Literatuur	61
Bijlagen	63

Bijlage 1 - Praktische leerervaringen Stal van de Toekomst (informatie aangeleverd door DHI)	63
Vleesvarkens	63
Gespeende biggen	66
Dragende zeugen	68
Kraamzeugen	70
Bijlage 2 – Systeembeschrijvingen	72
Vleesvarkens	72
Gespeende biggen	74
Kraamzeugen	76
Bijlage 3 – Ventilatiegegevens	78
Bedrijf 1	78
Bedrijf 2	78
Bijlage 4 – Voergegevens	80
Bedrijf 1	80
Bedrijf 2	82
Bijlage 5 – Verdeling emissiemetingen	83
Vleesvarkens	83
Gespeende biggen	84
Kraamzeugen	84
Bijlage 6 – Metingen compleet	85
Vleesvarkens	85
Gespeende biggen	89
Kraamzeugen	93

Woord vooraf

Dit onderzoek is het resultaat van een nauwe samenwerking tussen De Hoeve Innovatie (DHI) en Wageningen Livestock Research (WLR). DHI heeft duidelijke ideeën over hoe integraal duurzame varkenshouderij er uit moet zien. Een belangrijk onderdeel daarvan is de dagelijkse verwijdering van mest uit de stal zodat deze benut kan worden voor productie van duurzame energie in een biogasinstallatie. Door dit te combineren met andere stalmaatregelen kunnen emissies van methaan, ammoniak en geur bij de bron worden gereduceerd. Dit is niet alleen goed voor het milieu (buiten de stal), maar ook voor de luchtkwaliteit in de stal en daarmee voor het welzijn en de gezondheid van de varkens. Het onderzoek is gestart met het maken van emissiearme ontwerpen. Vooral voor ammoniak leidde dit vaak tot flinke discussies, waarbij niet alleen de uiteindelijke emissiereductie van belang was maar tevens of het paste in de gehele duurzaamheidsketen, of het praktisch goed was te implementeren en of het economisch verantwoord was. Dit heeft uiteindelijk geleid tot een drietal ontwerpen voor vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen. Deze ontwerpen zijn in dit rapport beschreven en hiervan zijn de emissies volgens vastgestelde protocollen gemeten. De ontwikkeling en realisatie van de innovatieve ontwerpen alsmede een beperkt aantal metingen en waarnemingen is gesubsidieerd door de Provincie Noord-Brabant, passende binnen de doelstellingen een alternatief op luchtwassers te ontwikkelen. Het merendeel van de metingen en waarnemingen zijn gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van de Klimaatvelop/ Programma Integraal Aanpakken. Bij deze willen wij de financiers van het onderzoek bedanken. Namens de verschillende betrokken onderzoekers van WLR wil ik tevens De Hoeve Innovatie bedanken voor de goede samenwerking binnen dit onderzoek.

André Aarnink
Onderzoeker Veehouderij en Omgeving

Samenvatting

Emissies vanuit de veehouderij leveren een bijdrage aan de klimaatverandering. De Nederlandse veehouderij moet daarom zijn uitstoot van broeikasgassen terug gaan dringen. Een gas welke een belangrijke bijdrage levert aan de klimaatverandering is methaan en dit gas draagt voor ongeveer 20% bij aan het broeikas-effect. In de varkenshouderij komt het merendeel van de methaan uit de mest. In het Klimaatakkoord is vastgesteld om broeikasgassen met 49% te reduceren in 2030 en om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Om deze doelstellingen te behalen zijn innovaties in de veehouderij essentieel.

De Hoeve Innovatie (DHI) wil het stalklimaat verbeteren door het reduceren van de emissies van methaan, ammoniak en geurcomponenten bij de bron door middel van de volgende principes:

- Verkleining van het emitterend oppervlak. Dit werd bereikt door een goede hokinrichting en een optimale klimatisering, waardoor het lig- en mestgedrag van de varkens werd gestuurd naar de juiste plaatsen in het hok. Het emitterend oppervlak werd tevens verkleind door schuine wanden in het mestkanaal en toepassing van metalen driekantroosters.
- Verdunning met water. Daar waar weinig mest en urine verwacht werd terecht te komen in het hok, maar waar wel een roostervloer gewenst was om vloerbevuiling te voorkomen, werden waterkanalen of waterpannen aangebracht.
- Dagontmesting. De mest werd dagelijks weggespoeld uit de mestgoten met dagverse mest en vervolgens afgevoerd naar een gesloten opslag.

Wageningen Livestock Research (WLR) heeft emissiemetingen uitgevoerd in de periode september 2020 t/m november 2021 op 2 verschillende bedrijfslocaties met de DHI-innovaties. De metingen zijn uitgevoerd bij vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen volgens het principe van case-control metingen. Hierbij werden de emissies van een proefafdeling met het emissiearme systeem vergeleken met een vergelijkbare controleafdeling zonder dit systeem. De metingen van de emissies van ammoniak, methaan en geur zijn uitgevoerd volgens de meetprotocollen voor het vaststellen van stalemissie-factoren. Hieronder worden de gemiddelde reductiepercentages van de proef- ten opzichte van de controleafdeling en bijbehorend variatieniveau (standaard afwijking 24-uurs waarnemingen) gegeven voor respectievelijk vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen.

Vleesvarkens

Voor de methaanemissie is een reductiepercentage van $89,5\% \pm 5,7\%$ en een emissiefactor van 2,5 kg per dierplaats per jaar gevonden. Hierbij lieten de reductiepercentages tussen beide bedrijven (VV1 en VV2) weinig verschil zien (VV1 $86,1\% \pm 5,6\%$ en VV2 $92,5\% \pm 4,2\%$). De methaanreductie is tijdens de verschillende metingen in de meetperiode stabiel gebleven, waarbij weinig variatie tussen de metingen werd gevonden. Het gemiddelde reductiepercentage voor ammoniak was $53,7\% \pm 24,7\%$ met een berekende emissiefactor van 1,3 kg per dierplaats per jaar. In vergelijking tot de categorie 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav-lijst, was de gemiddelde reductie 56,8%. Tussen beide bedrijven werd een duidelijk verschil gevonden in het reductiepercentage waarbij voor VV1 een gemiddelde reductie werd gevonden van $62,7\% \pm 7,4\%$ en bij VV2 van $44,7\% \pm 31,6\%$. Voor de geuremissie werd een reductiepercentage van $28,3\% \pm 40,5\%$ en een emissiefactor van 16,5 OUE/s per dierplaats per jaar gevonden. Er was een verschil in reductiepercentage tussen de bedrijven, met een reductie van $44,2\% \pm 39,1\%$ bij VV1 en een reductie van $7,9\% \pm 39,9\%$ bij VV2.

Gespeende biggen

Voor de methaanemissie was het reductiepercentage $92,7\% \pm 13,7\%$ (BG1 $102,5\%^1 \pm 6,5\%$ en BG2 $80,0\% \pm 6,1\%$) met een emissiefactor van 0,80 kg per dierplaats per jaar. Voor de ammoniakemissie was het reductiepercentage $69,2\% \pm 42,0\%$ met een emissiefactor van 0,21 kg per dierplaats per jaar. Grote

¹ Dit komt door een hogere gemeten methaanconcentratie in de ingaande lucht, dan gemeten in de afdeling zelf. Het is mogelijk dat er tijdens het meten van de ingaande lucht in relatief stilstaande lucht is gemeten in plaats van in de luchtstroom.

verschillen zijn gevonden tussen de bedrijven (BG1 en BG2), met een reductie van $94,4\% \pm 39,9\%$ bij BG1 en $44,0\% \pm 27,6\%$ bij BG2. Naast de verschillen in reductiepercentage tussen bedrijven, daalde het reductiepercentage voor ammoniak bij BG2 over het verloop van de meetperiode van 78% naar 32%. Voor zowel de methaan- als ammoniakemissies zijn er negatieve waarden gevonden bij BG1. Voor de geuremissie was het reductiepercentage $-2,3\% \pm 103,1\%$ met een emissiefactor van $8,0 \text{ OU}_E/\text{s}$ per dierplaats per jaar. Er zijn grote verschillen tussen bedrijven gevonden, met een reductie van $39,0\% \pm 46,5\%$ bij BG1 en een reductie van $-71,5\% \pm 102,7\%$ bij BG2.

Kraamzeugen

Voor de methaanemissie is een reductiepercentage gevonden van $86,8\% \pm 8,2\%$ en een emissiefactor van $7,9 \text{ kg}$ per dierplaats per jaar. Er was verschil tussen de bedrijven (K1 en K2), met een reductie van $92,4\% \pm 3,1\%$ bij K1 en een reductie van $79,1\% \pm 4,8\%$ bij K2. De methaanreductie is tijdens de verschillende metingen in de meetperiode stabiel gebleven, waarbij weinig verschil tussen de metingen werd gevonden. Voor de ammoniakemissie was het reductiepercentage $51,0\% \pm 28,1\%$ (K1 $52,2\% \pm 30,8\%$ en K2 $49,9\% \pm 27,9\%$) met een emissiefactor van $4,1 \text{ kg}$ per dierplaats per jaar. Voor de geuremissie was de reductie $-5,4\% \pm 59,4\%$ (K1 $-1,3\% \pm 39,0\%$ & K2 $-9,6\% \pm 77,7\%$) met een emissiefactor van $29,4 \text{ OU}_E/\text{s}$ per dierplaats per jaar. De geurreductie varieerde sterk gedurende de gehele meetperiode, zowel tussen metingen als tussen bedrijven.

Voorafgaand aan dit onderzoek was de verwachting dat alle diercategorieën 90% methaanemissie uit de mest zouden weten te reduceren met dit systeem. Dit betekent een methaanreductie van ca. 80% op stalniveau, bij een veronderstelde enterische methaanproductie van ca. 10% van de referentiewaarde. Er is gevonden dat het systeem daadwerkelijk een hoge methaanreductie weet te realiseren, zelfs hoger dan verwacht, namelijk gemiddeld 89,7% voor vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen.

De ammoniakreductie is lager uitgevallen dan van te voren is ingeschat met behulp van een simpel rekenmodel. Voor vleesvarkens en gespeende biggen waren de schattingen respectievelijk 85% en 88%. Echter, vanwege redenen van duurzaamheid in de hele keten en vanwege praktische en economische redenen zijn een aantal aanpassingen gedaan waarvan de belangrijkste zijn: geringere verdunning mest in waterkanaal, geen verdunning in mestkanaal bij gespeende biggen en niet sproeien van schuine wanden bij vleesvarkens en geen koeling van de mest bij vleesvarkens en kraamzeugen. Deze aanpassingen zijn een belangrijke oorzaak van de lagere gemeten reductiepercentages.

De geurreductie is ook lager uitgevallen dan verwacht. Op basis van vrij beperkte informatie was de inschatting dat bij vleesvarkens de geuremissie met 65% zou reduceren, bij gespeende biggen met 50% en bij kraamzeugen met 60%. De metingen lieten bij vleesvarkens een gemiddelde reductie zien van 28,3%, en bij de gespeende biggen en kraamzeugen werd zelfs een negatieve reductie gevonden. Een belangrijk aspect aan deze lager uitgevallen reductie is dat het systeem aan de ene kant anders is uitgevoerd en aan de andere kant niet optimaal heeft gewerkt. Het niet optimaal functioneren gold vooral voor bedrijf 2. Bedrijf 1 liet door beter management van het systeem hogere reducties zien van ammoniak en geur dan bedrijf 2.

Geconcludeerd kan worden dat het dagontmestingsysteem een robuust systeem is om de methaanemissie te reduceren. Gemeten methaanreducties waren zelfs hoger dan vooraf ingeschat. De op voorhand ingeschatte ammoniak- en geurreducties zijn niet behaald vanwege, met redenen onderbouwde, aanpassingen aan het oorspronkelijke ontwerp en problemen om het volledige systeem goed te managen. Aanbevolen wordt om in vervolgonderzoek aandacht te besteden aan het waterkanaal, om met een geringere verdunning toch een lage ammoniakemissie uit dit kanaal te bewerkstelligen. Tevens wordt aanbevolen om dit systeem van dagontmesting volledig te automatiseren en te standaardiseren en tevens uit te rusten met een continue monitoring van de emissies, zoals in dit onderzoek al is gedaan. Daarbij moet nagedacht worden over de knoppen waaraan gedraaid kan worden om de emissies te beïnvloeden.



1 Inleiding

Emissies vanuit de veehouderij leveren een bijdrage aan de klimaatverandering. De Nederlandse veehouderij moet daarom zijn uitstoot van broeikasgassen terug gaan dringen. Een broeikasgas welke een belangrijke bijdrage levert aan de klimaatverandering is methaan en dit gas draagt voor ongeveer 20% bij aan het broeikaseffect. Het Klimaatakkoord heeft daarom de opgave gesteld om broeikasgassen met 49% te reduceren in 2030 en in 2050 klimaatneutraal te zijn. Om deze doelstellingen te behalen zijn innovaties in de veehouderij essentieel.

Daarnaast zullen er aangescherpte emissienormen worden gesteld voor ammoniak voor nieuwe en bestaande stallen. Deze aanscherping moet bijdragen aan het halen van de streefwaarde om in 2030 ten minste 75% van de hectares met stikstofgevoelige natuur in Natura 2000-gebieden onder de kritische depositiewaarden (KDW) te hebben gebracht (Brief Min. LNV aan Tweede Kamer, 15 juni 2022). In de provincie Noord-Brabant moeten nieuwe en bestaande stallen de ammoniakemissie per 1 januari 2024 met 85% reduceren. Een ammoniakreductie van 85% is te behalen met luchtwassystemen. Echter, de luchtwasser is een end-of-pipe methode, die emissies enkel uit de lucht verwijderd op het moment dat deze de stal verlaten. Hierdoor heeft dit geen effect op de concentratie in de stal en geeft het geen verbetering van de luchtkwaliteit in de dierafdelingen. Brongerichte maatregelen kunnen hiervoor een oplossing zijn, aangezien deze de emissies in de stal reduceren, waardoor concentraties vervuilende stoffen in de stal worden verlaagd en de luchtkwaliteit en daarmee de gezondheid van dier en mens wordt verbeterd.

Een goed stalklimaat is zeer belangrijk voor de gezondheid en de productie van de varkens, en voor de gezondheid en het werkplezier van de varkenshouder en zijn personeel. Een suboptimaal stalklimaat is waarschijnlijk een belangrijke oorzaak van longproblemen bij varkens (Van der Peet Schwering, 2005). Aan de slachtlijn werden bij 22,5% van de dieren afwijkingen gevonden aan borstvlies en bij 9,2% van de dieren afwijkingen aan de longen. De totale kosten hiervoor bedragen op de slachterij meer dan anderhalve euro per geslacht varken (Bondt et al., 2004). Dit betekent een directe jaarlijkse schadepost voor de Nederlandse varkenshouderij van ca. 25 M€. Daarnaast wordt een belangrijk deel van het antibioticumgebruik aangewend voor luchtwegproblemen bij de varkens en geven longproblemen vaak groeivertraging en een verhoogde voerconversie (Van der Peet Schwering, 2005). Het stalklimaat wordt ook als een belangrijke factor genoemd voor het optreden van bijtgedrag (van der Peet et al., 2016). Problemen met longgezondheid en bijtgedrag kunnen zich al voordoen tijdens de opfok van de biggen.

Via een reeks van maatregelen wil De Hoeve Innovatie (DHI) het stalklimaat verbeteren. Eén van deze maatregelen is het aanpakken van de emissies van methaan, ammoniak en geurcomponenten bij de bron door middel van een spoelsysteem, waarbij mest dagelijks uit een afdeling wordt verwijderd. De ambitie van DHI was om de ammoniakemissie via bronmaatregelen met 85% te reduceren. DHI wil hiermee aantonen dat de emissie op een varkensbedrijf ook sterk gereduceerd kan worden zonder luchtwassers, en daarmee voldoen aan het beleid van de provincie Noord-Brabant. Verder wil DHI aantonen dat een integrale aanpak noodzakelijk is. Eenzijdige focus op de ammoniakemissie kan afwenteling geven naar andere problemen (diergezondheid, geur, fijn stof, staartbijten).

In het kader van de Klimaatvelop 2018 (KE 2018) is vervolgens dit onderzoek opgestart met als doel de methaan-, ammoniak- en geuremissie vergaand bij de bron te reduceren, om emissies integraal aan te pakken en tegelijkertijd het welzijn van de dieren in de stal te verbeteren. Naast financiering via de Klimaatvelop 2018 door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, is een deel van het onderzoek gefinancierd door de provincie Noord-Brabant.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het onderzochte brongerichte emissie-reducerende systeem van DHI, welke voor elk van de varkenscategorieën is getest op twee varkensbedrijven. In dit onderzoek was DHI samen met de varkenshouders verantwoordelijk voor de implementatie en het management van het emissiearme systeem. WLR was in dit onderzoek verantwoordelijk voor het maken van inschattingen van de te verwachten emissies en voor het correct uitvoeren van de emissiemetingen. In

hoofdstuk 2 van dit rapport wordt het vooronderzoek aan het systeem beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het gebruikte systeem, de meetwijze en meetlocaties. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten en in hoofdstuk 5 worden deze resultaten bediscussieerd. In hoofdstuk 6 tenslotte worden de belangrijkste conclusies weergegeven en worden enkele aanbevelingen gedaan voor verbetering van het systeem en voor vervolgonderzoek aan het systeem.

2 Vooronderzoek

In dit hoofdstuk worden in het kort enkele resultaten weergegeven van het vooronderzoek dat is gedaan voorafgaand aan de metingen volgens het meetprotocol voor emissiefactoren (zie ook bijlage 1). Het onderzoek startte met het maken van emissiearme ontwerpen, waarbij dagontmesting, sturing van het mestgedrag en een optimaal stalklimaat belangrijke uitgangspunten waren. Deze ontwerpen zijn gemaakt door DHI in samenwerking met WLR. Op basis van deze ontwerpen heeft WLR inschattingen gemaakt van de ammoniakemissie en overige emissies die verwacht konden worden (par. 2.1). Deze ontwerpen zijn vervolgens geïmplementeerd op het bedrijf van Verhoeven in Valkenswaard. Op basis van resultaten verkregen tijdens dit vooronderzoek en praktische ervaringen is een aantal zaken aangepast waardoor het uiteindelijke ontwerp, waaraan de protocolmetingen zijn gedaan, afweek van het originele ontwerp. De inschattingen van de emissies van deze aangepaste ontwerpen zijn weergegeven in par. 2.2. In het vooronderzoek is specifiek gekeken naar het effect van mestkoeling (par. 2.3) en naar het effect van spoelen van de mest in het mestkanaal op de ammoniakemissie (par. 2.4). Daarnaast zijn in het vooronderzoek ook de emissies gemeten bij een emissiearm ontwerp voor dragende zeugen (par. 2.5). Aangezien het ontwerp niet het gewenste resultaat opleverde zijn geen protocolmetingen voor dragende zeugen uitgevoerd.

2.1 Modelmatige inschatting emissies uitgangsontwerpen

In deze paragraaf wordt een modelmatige inschatting gegeven van de ammoniakemissies die verwacht mogen worden bij de verschillende emissiearme ontwerpen met dagontmesting bij vleesvarkens, gespeende biggen, dragende zeugen en kraamzeugen. Voor deze berekening zijn verschillende uitgangspunten gehanteerd die hieronder voor de verschillende diercategorieën worden vermeld, voorafgaand aan de modelmatige inschatting van de ammoniakemissie. In de laatste sub paragraaf is ook een ruwe inschatting gemaakt van het effect op de overige emissies (broeikasgassen, geur en fijnstof).

2.1.1 Vleesvarkens

Voor vleesvarkens zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd voor de berekeningen van de ammoniakemissie uit de proefafdeling:

- Kelderemissie: 4,17 kg per m² emitterend oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012);
- Emissie vanaf metalen driekant roostervloer van 0,24 kg/jaar per dierplaats (Groenestein et al., 2014). In de proefafdeling wordt tevens een mestspleet van 80 mm toegepast en wordt de roostervloer extra doorlatend gemaakt door een andere constructie van roestvast staal. De roostervloer heeft een balkbreedte van 10 mm en een spleetbreedte van minimaal 10 mm. Hierdoor en door een betere ophanging van de balken verbetert de mestdoorlaat. De toepassing van een mestspleet en de betere constructie van RVS geeft een verwachte extra ammoniakreductie vanaf deze roostervloer van 36% (20% voor elk van beide maatregelen; als volgt berekend: $1 - 0,80 \times 0,80 = 0,36$).
- Emissie vanaf een bevuilde dichte vloer: 4,20 kg per m² emitterende oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012);
- Bevuild dichte vloeroppervlak was in een referentiehok 6,8% van het totale dichte vloeroppervlak (Aarnink et al., 2018b). Er wordt verondersteld dat de bevuiling in m²/dier bij dit emissiearme systeem gelijk is aan het hiervoor genoemde referentiehok. We veronderstellen dat het extra risico op bevuiling in het proefhok wordt gecompenseerd door een goede hokinrichting en door een goed stalklimaat te handhaven (o.a. lager ingestelde temperaturen en gebruik van vloerkoeling in de zomer);
- 10% van de geproduceerde mest (1,2 m³/jaar; 3,39 L/dag) komt in het waterkanaal terecht en de rest in het mestkanaal. In het onderzoek van Aarnink et al. (2018) kwam ca. 20% van de mest in

het waterkanaal terecht. Doordat in dit ontwerp geen koude lucht achter de hokafscheiding valt, is de verwachting dat er minder gemest zal worden boven het waterkanaal.

- De verdunningsfactor van de mest die in waterkanaal terecht komt is, naar verwachting, gemiddeld 5,4, dus 1 deel mest op 4,4 delen water. Deze verdunning wordt bereikt door aan het begin van elke vleesvarkensronde 20 cm water in het waterkanaal te zetten en door de aanname dat 10% van de wateropname van de dieren wordt vermorst in het waterkanaal. De verwachting is dat het waterkanaal halverwege het gewichtstraject van de varkens (ca. 70 kg) leeggemaakt moet worden. Hierna wordt opnieuw gestart met 20 cm water.
- Emissie vanaf schuine wanden: 4,0 kg per m² emitterende oppervlak per jaar; de schuine wand bij de dichte vloer zal naar verwachting met 17% worden bevuild met urine en de schuine wand bij de muur met 33% (Aarnink et al., 2018).
- De mest in het mestkanaal wordt gekoeld tot een temperatuur onder de 15°C. Tevens worden de schuine wanden gekoeld tot een temperatuur onder de 15°C. Mestkoeling geeft een reductie van de ammoniakemissie uit de mest van 75%. Deze reductie is gebaseerd op het effect van het koeldekstelsysteem bij vleesvarkens, zoals deze is opgenomen in de Rav-lijst. We veronderstellen een reductie van 50% van de emissie vanaf de schuine wanden door de wandkoeling.
- De schuine wanden in het mestkanaal worden elk uur gedurende de activiteitsperiode van de varkens (ca. 12 uren per dag) gesproeid met water (20% van de mestproductie; 240 L/jaar per varkensplaats). Hiermee wordt de mest met 20% verdund en daarmee de ammoniakemissie. De inschatting is dat de ammoniakemissie met 50% wordt gereduceerd door het sproeien.
- De mest in het mestkanaal wordt dagelijks weg gespoeld met verse mest. Gemiddelde mesthoogte in het mestkanaal: 13 cm.

In tabel 1 worden de emitterende oppervlakken gegeven per vleesvarken voor de emissiearme stal.

Tabel 1 Emitterende oppervlakken (m²/varken) voor de emissiearme stal (Proef) bij vleesvarkens.

Emitterende oppervlakte	Proef
Mestkanaal	0,075
Waterkanaal (voorste mestkanaal)	0,156
Schuine wanden mestkanaal	0,031
Dichte vloer	0,023

In tabel 2 worden de ammoniakemissies gegeven, in kg/jaar per dierplaats, voor de verschillende bronnen in de emissiearme stal en het reductiepercentage van deze stal ten opzichte van de emissiefactor in de Rav-lijst van de referentieafdeling in de categorie 'Overige huisvestingssystemen'.

Tabel 2 Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij vleesvarkens uit de verschillende bronnen voor de emissiearme stal (Proef).

Emissiebron	Proef	Rav-lijst Overige ¹⁾
Mestkanaal	0,06	
Waterkanaal	0,12	
Schuine wanden	0,03	
Bevuilde metalen rooster	0,15	
Bevuilde dichte vloer	0,10	
Totaal	0,46	
Emissiefactor Rav-lijst		3,00
Reductie Proef (% van factor Rav-lijst)		85%

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.1.2 Gespeende biggen

Voor gespeende biggen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd voor de berekeningen van de ammoniakemissie uit de emissiearme stal:

- Kelderemissie referentie: 2,17 kg per m² emitterend oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012);
- Kelderemissie per m² oppervlak wordt in de emissiearme stal met 70% verlaagd door de mest in de mestpan dagelijks af te voeren, tegen de avond, wanneer de dieren weinig mest meer produceren,

en deze vervolgens te vullen met dezelfde hoeveelheid water als de hoeveelheid mest die de dieren de volgende dag produceren. Belangrijke voorwaarde voor de emissiereductie is dat de mest dagelijks (vrijwel) volledig wordt afgevoerd.

- Emissie vanaf metalen driekant roostervloer van 0,030 kg/jaar (Groenestein et al., 2014). In de proefafdeling wordt tevens een mestspleet van 80 mm toegepast en wordt de roostervloer extra doorlatend gemaakt door een andere constructie van roestvast staal. De roostervloer heeft een balkbreedte van 10 mm en een spleetbreedte van minimaal 10 mm. Hierdoor en door een betere ophanging van de balken verbetert de mestdoorlaat. De toepassing van een mestspleet en de betere constructie van RVS geeft een verwachte extra ammoniakreductie vanaf deze roostervloer van 36% (20% voor elk van beide maatregelen).
- Emissie vanaf een bevuilde dichte vloer: 1,22 kg per m² emitterende oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012);
- Bevuild dichte vloeroppervlak van 3,0%. Risico op hokbevuiling wordt beperkt door een goede hokinrichting en door een goed stalklimaat te handhaven (o.a. lager ingestelde temperaturen en gebruik van vloerkoeling in de zomer);
- Er wordt verondersteld dat 10% van de mestproductie in de proefafdeling in de waterpan terecht komt (mestproductie: 0,72 kg/d per big). Aan het begin van elke ronde wordt de waterpan voor de helft gevuld met water (10 cm water). Er wordt verondersteld dat 10% van de wateropname van de dieren wordt vermorst in de waterpan. Als gevolg van deze toevoegingen wordt 1 deel mest verdund met 6,1 delen water. De verdunningsfactor wordt hiermee 7,1.

In tabel 3 worden de emitterende oppervlakken gegeven voor de referentie- en proefafdeling.

Tabel 3 Emitterende oppervlakken (m²/varken) voor de emissiearme stal (Proef) bij gespeende biggen.

Emitterende oppervlakte	Proef
Mestkanaal/-pan	0,062
Waterpan	0,056
Dichte vloer	0,006

In tabel 4 worden de ammoniakemissies gegeven van de verschillende bronnen, in kg/jaar per dierplaats, voor de emissiearme stal en het reductiepercentage ten opzichte van de referentieafdeling in de categorie 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

Tabel 4 Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij gespeende biggen uit de verschillende bronnen voor de emissiearme stal (Proef).

Emissiebron	Proef	Rav-lijst Overige ¹⁾
Mestkanaal/-pan	0,040	
Waterpan	0,017	
Bevuilde metalen rooster	0,019	
Bevuilde dichte vloer	0,007	
Totaal	0,083	
Emissiefactor Rav-lijst		0,690
Reductie Proef (% van factor Rav-lijst)		88%

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.1.3 Dragende zeugen

Voor dragende zeugen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd voor de berekeningen van de ammoniakemissie uit de emissiearme stal:

- Emissie mestpan: 2,37 kg per m² emitterend oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012).
- Emissie vanaf betonnen roostervloer voor de referentie 1,16 kg/jaar per zeug (Aarnink et al., 2018). In de proefafdeling is er alleen een betonnen rooster boven de waterpan. Verondersteld wordt dat deze vrijwel niet wordt bevuild en de emissie vanaf de roostervloer gelijk is aan 0.
- Emissie vanaf driekant roostervloer boven de mestpan 32% van betonnen roostervloer, geëxtrapoleerd van resultaten vleesvarkens (Groenestein et al., 2014).

- In de proefafdeling wordt tevens een mestspleet van 100 mm toegepast en wordt de roostervloer extra doorlatend gemaakt door een andere constructie van roestvast staal. De roostervloer heeft een balkbreedte van 10 mm en een spleetbreedte van minimaal 10 mm. Hierdoor en door een betere opanging van de balken verbetert de mestdoorlaat. De toepassing van een mestspleet en de betere constructie van RVS geeft een verwachte extra ammoniakreductie vanaf deze roostervloer van 28% (10% voor de mestspleet en 20% door toepassing van RVS roostervloer).
- Emissie bevuild dichte vloeroppervlak voor de referentie situatie 0,60 kg/jaar per varkensplaats (Aarnink et al., 2018). Door vloervoeding en toepassing van vloerverwarming en –koeling is de bevuilding van de dichte vloer in deze emissiearme stal 60% lager. De ammoniakemissie vanaf de dichte vloer neemt met hetzelfde percentage af.
- Er wordt verondersteld dat 20% van de mest in de waterpan terecht komt (mestproductie: 5,0 kg/d per zeug). In de waterpan wordt aan het begin van elke drachtperiode 25 cm water gezet. Daarnaast wordt ca. 75 L water uit de drinknippels vermorst per ronde. Als gevolg van deze toevoegingen wordt 1 deel mest verdund met 3,3 delen water. De verdunningsfactor wordt hiermee 4,3.
- Emissie vanaf de schuine wanden in de mestpan is geëxtrapoleerd vanuit de vleesvarkens: 2,93 kg/m² per jaar. Er wordt verondersteld dat, net als bij vleesvarkens, de schuine wand bij de dichte vloer voor 17% is bevuild met urine.
- De mest in de mestpan wordt verdund met water door verspreid over de dag (tijdens de activiteitperiode van de varkens) via de schuine wanden van de mestpan water te sproeien. De totale hoeveelheid gesproeid water is gelijk aan de mestproductie van die dag. Hiermee wordt een emissiereductie uit de mestpan en vanaf de schuine wanden verwacht van 50%.
- De mest in de mestpan wordt gekoeld tot een temperatuur onder de 15°C. Mestkoeling geeft een reductie van de ammoniakemissie uit de mest in de mestpan van 75%. Deze reductie is gebaseerd op een extrapolatie van het effect van het koeldekstelsysteem bij vleesvarkens, zoals deze is opgenomen in de Rav-lijst. Tevens wordt de schuine wand van de mestpan gekoeld tot een temperatuur onder de 15°C. We veronderstellen een reductie van 50% van de emissie vanaf de schuine wanden door de wandkoeling.
- De mest in de mestpan wordt dagelijks afgelaten. Gemiddelde mesthoogte in de mestpan: 8 cm.

In tabel 5 worden de emitterende oppervlakken gegeven voor de proefafdeling.

Tabel 5 Emitterende oppervlakken (m²/varken) voor de emissiearme stal (Proef) bij dragende zeugen.

Emitterende oppervlakte	Proef
Mestkanaal/-pan	0,30
Waterpan	0,58
Schuine wanden mestpan	0,05
Dichte vloer	0,078

In tabel 6 worden de ammoniakemissies gegeven van de verschillende bronnen, in kg/jaar per dierplaats, voor de emissiearme stal en het reductiepercentage ten opzichte van de referentieafdeling in de categorie 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

Tabel 6 Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij dragende zeugen uit de verschillende bronnen voor de emissiearme stal (Proef).

Emissiebron	Proef	Rav-lijst Overige ¹⁾
Mestkanaal/-pan	0,09	
Waterpan	0,35	
Schuine wanden	0,02	
Bevuilde metalen rooster	0,27	
Bevuilde dichte vloer	0,24	
Totaal	0,97	
Emissiefactor Rav-lijst		5,50
Reductie Proef(% van factor Rav-lijst)		82%

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.1.4 Kraamzeugen

Voor kraamzeugen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd voor de berekeningen van de ammoniakemissie uit de emissiearme stal:

- Ammoniakemissie uit mestgedeelte van mestpan: 1,88 kg per m² emitterend oppervlak per jaar (Aarnink et al., 2012);
- Emissie vanaf de roostervloer, waarbij het mestgedeelte onder de zeug bestaat uit een metalen driekantrooster (10 mm spleet, 10 mm balk) en de rest van de roostervloer is gemaakt van kunststof, wordt verondersteld 0,50 kg/jaar per zeugenplaats te zijn. Dit is een extrapolatie van de ammoniakemissie bij dragende zeugen (0,33 kg/jaar), waarbij kraamzeugen meer urine produceren en er extra emissie komt van de urinelozingen van de biggen.
- Er wordt verondersteld dat in het proefhok 10% van de mest in de waterpan terecht komt (mest van zeugen en biggen; mestproductie 10 kg/d per zeug, inclusief biggen). Door de waterpan aan het begin van elke kraamperiode voor de helft (5 cm hoogte) te vullen met water (ca. 100 L/kraamhok) wordt 1 deel mest verdund met 5,7 delen water. De verdunningsfactor wordt hiermee 6,7. De emissie per m² wordt daarmee verondersteld 1/6,7 te zijn van de emissie uit het mestgedeelte.
- Emissie vanaf de schuine wanden in de mestpan is gelijk gesteld aan die voor dragende zeugen: 2,93 kg/m² per jaar. Er wordt verondersteld dat de schuine wanden van de mestpan voor 20% zijn bevuild met urine.
- De mest in de mestpan wordt gekoeld tot een temperatuur onder de 15°C. Mestkoeling geeft een reductie van de ammoniakemissie uit de mest in de mestpan van 75%. Deze reductie is gebaseerd op een extrapolatie van het effect van het koeldekstelsysteem bij vleesvarkens, zoals deze is opgenomen in de Rav-lijst. Tevens wordt de schuine wand van de mestpan gekoeld tot een temperatuur onder de 15°C. We veronderstellen een reductie van 50% van de emissie vanaf de schuine wanden door de wandkoeling.
- De mest in de mestpan wordt dagelijks afgelaten; gemiddelde mesthoogte in de mestpan: 5 cm.

In tabel 7 worden de emitterende oppervlakken gegeven voor de proefafdeling.

Tabel 7 Emitterende oppervlakken (m²/varken) voor de emissiearme stal (Proef) bij kraamzeugen.

Emitterende oppervlakte	Proef
Mestpan	0,27
Waterpan	2,18
Schuine wanden mestpan	0,09

In tabel 8 worden de ammoniakemissies gegeven, in kg/jaar per dierplaats, voor de verschillende bronnen in de emissiearme stal en vergeleken met de emissiefactor in de Rav-lijst voor de categorie 'Overige huisvestingssystemen'.

Tabel 8 Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij kraamzeugen uit de verschillende bronnen voor de emissiearme stal (Proef).

Emissiebron	Proef	Rav-lijst Overige ¹⁾
Mestpan	0,13	
Waterpan	0,61	
Schuine wanden	0,07	
Bevuilde metalen rooster	0,50	
Totaal	1,30	
Emissiefactor Rav-lijst		8,30
Reductie Proef(% van factor Rav-lijst)		84%

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.1.5 Effect op overige emissies

Emissies broeikasgassen

De methaanemissie uit de mest in de stal zal door de gecombineerde/integrale aanpak naar verwachting met ca. 90% worden gereduceerd ten opzichte van de methaanemissie die ontstaat bij langdurige mestopslag. Uit een vleesvarkensstal met langdurige opslag van mest emitteert volgens Mosquera et al. (2011a) gemiddeld 15,7 kg methaan per dierplaats per jaar. Hiervan is ca. 1,4 kg afkomstig van het varken zelf (enterisch methaan) (Monteny et al., 2006). Door de combinatie van maatregelen, zoals voorgesteld in dit ontwerp kan de methaanemissie in de vleesvarkensstal afnemen met ca. 13 kg per gemiddeld aanwezig varken per jaar. Voor de dragende zeugenstal zal de methaanemissie naar verwachting afnemen met ca. 20 kg per gemiddeld aanwezig varken per jaar ten opzichte van het referentieniveau (Mosquera et al., 2011b). Voor de stal voor gespeende biggen zal de methaanemissie naar verwachting afnemen met ca. 4 kg per gemiddeld aanwezig varken per jaar ten opzichte van het referentieniveau (Winkel et al., 2011). Voor de kraamzeugenstal zal de methaanreductie naar verwachting vergelijkbaar of hoger zijn dan voor de dragende zeugenstal.

We verwachten geen extra emissie van lachgas. Deze zal in de proefafdeling, net als in de controleafdeling, naar verwachting zeer laag zijn.

Geuremissie *Vleesvarkens*

De gemeten reductie van de geuremissie bij het huidige systeem ten opzichte van de referentie-afdeling op hetzelfde bedrijf was 52% (notitie Aarnink & Hol, 2018). In dit onderzoek werd geen mestspleet toegepast en werden de schuine wanden niet gesproeid met water. Hiermee wordt een extra geurreductie verwacht van 5% punten, dus een totale reductie van 57%. Uit onderzoek van Le et al. (2005b) blijkt dat de geuremissie met 5,8% daalt per 1°C daling van de temperatuur. Als we uitgaan van een temperatuurdaling van de mest door koeling van 5°C en we veronderstellen dat driekwart van de geuremissie uit het De Hoeve systeem uit de mestkelder komt, betekent dit een totale geurreductie van ca. 65%.

Biggen

De verwachting is dat bij biggen een vergelijkbare reductie wordt bereikt als gemeten is bij vleesvarkens (notitie Aarnink & Hol, 2018), afgerond 50% reductie.

Dragende zeugen

De verwachting is dat bij dragende zeugen, door de dagelijkse afvoer van de mest, een vergelijkbare reductie wordt bereikt als bij vleesvarkens is gemeten, dus 52% reductie. Door toepassing van een mestspleet, sproeien van de schuine wanden en mest- en wandkoeling van de mestpan, verwachten we een totale geurreductie vergelijkbaar met die van vleesvarkens van 65%.

Kraamzeugen

De verwachting is dat bij kraamzeugen een vergelijkbare reductie wordt bereikt als bij vleesvarkens is gemeten, dus 52% reductie. Door toepassing van mest- en wandkoeling van de mestpan, verwachten we een totale geurreductie van 60%.

Fijnstof

Aangezien veel stof afkomstig is van ingedroogde mestdeeltjes, kan door een goede sturing van het lig- en mestgedrag in de hokken voor vleesvarkens, gespeende biggen en dragende zeugen en door de goede mestdoorlaat van de driekant roosters, de fijnstofemissie lager zijn dan in een referentiestal. Daar staat echter tegenover dat het aandeel dichte vloer groter is, wat meer kans geeft op bevuilding en daarmee een hogere emissie van fijnstof kan geven. Vanwege deze tegengestelde effecten is het moeilijk om het totaal effect op de fijnstofemissie in te schatten. Metingen zullen dit uit moeten wijzen. Bij kraamzeugen wordt weinig verschil verwacht in fijnstofemissie tussen de proefstal en de referentiestal.

2.2 Aanpassingen ontwerpen en effect op emissies

In de volgende paragrafen is voor de verschillende diercategorieën aangegeven wat de, met redenen onderbouwde, aanpassingen zijn geweest ten opzichte van het oorspronkelijk ontwerp voordat de protocollaire emissiemetingen zijn gestart.

2.2.1 Vleesvarkens

Bij vleesvarkens zijn de volgende aanpassingen gedaan in het uitgangsontwerp voordat de protocolmetingen zijn gestart:

- De schuine wanden in het mestkanaal zijn niet gesproeid met water vanwege praktische problemen met ophoping van mest boven de sproeileiding.
- De schuine wanden en de mest in het mestkanaal zijn niet gekoeld. De belangrijkste reden hiervoor was dat dit systeem uiteindelijk niet als duurzaam werd gezien vanwege het feit dat de mest eerst gekoeld moest worden naar 15°C in de stal en vervolgens in de mestvergiftingsinstallatie weer moest worden opgewarmd naar 35°C. Dit kost veel extra energie die niet hergebruikt kon worden.
- De roestvast stalen roosters bleken niet goed te functioneren vanwege een veel slechtere mestdoorlaat dan verwacht. Daarom werden deze roosters vervangen door standaard metalen (driekant) roosters.

Bovenstaande heeft invloed op de te verwachten reductie van de ammoniakemissie. In tabel 9 is een nieuwe inschatting gemaakt van de te verwachten ammoniakemissie gebaseerd op het aangepaste ontwerp.

Tabel 9 *Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij vleesvarkens uit de verschillende bronnen voor het startontwerp (Proef start) en voor het aangepaste ontwerp (Proef aangepast) van de emissiearme stal.*

Emissiebron	Proef start	Proef aangepast	Rav-lijst Overige¹⁾
Mestkanaal	0,06	0,31	
Waterkanaal	0,12	0,12	
Schuine wanden	0,03	0,12	
Bevuilde metalen rooster	0,15	0,19	
Bevuilde dichte vloer	0,10	0,10	
Totaal	0,46	0,84	
Emissiefactor Rav-lijst			3,00
Reductie Proef (% van factor Rav-lijst)	85%	72%	

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingsystemen' in de Rav-lijst.

2.2.2 Gespeende biggen

Bij gespeende biggen zijn de volgende aanpassingen gedaan in het uitgangsontwerp voordat de protocolmetingen zijn gestart:

- Vanwege de slechte ervaringen bij de vleesvarkens met de roestvast stalen roosters werden deze vervangen door standaard metalen (driekant) roosters.
- De mestpannen zijn na elke keer aflaten van de mest niet gevuld met een hoeveelheid water gelijk aan de dagelijkse mestproductie. Er is tijdens de protocolmetingen geen water toegevoegd aan de mestpan. De belangrijkste reden is dat dit minder duurzaam werd geacht door de grote hoeveelheid benodigd water en de energie die nodig is in de biogastank om dit water op te warmen.

Bovenstaande heeft invloed op de te verwachten reductie van de ammoniakemissie. In tabel 10 is een nieuwe inschatting gemaakt van de te verwachten ammoniakemissie gebaseerd op het aangepaste ontwerp.

Tabel 10 *Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij gespeende biggen uit de verschillende bronnen voor het startontwerp (Proef start) en voor het aangepaste ontwerp (Proef aangepast) van de emissiearme stal.*

Emissiebron	Proef start	Proef aangepast	Rav-lijst Overige¹⁾
Mestkanaal/-pan	0,040	0,134	
Waterpan	0,017	0,017	
Bevuilde metalen rooster	0,019	0,024	
Bevuilde dichte vloer	0,007	0,007	
Totaal	0,083	0,182	0,690
Emissiefactor Rav-lijst	88%	74%	

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.2.3 Dragende zeugen

Bij dragende zeugen zijn de volgende aanpassingen gedaan in het uitgangsontwerp voordat de protocolmetingen zijn gestart:

- Vanwege de goede ervaringen bij de vleesvarkens is in plaats van verschillende mestpannen (5 voor 2 hokken voor ieder 6 zeugen) een mestgoot geïnstalleerd met schuine wanden.
- Gezien de (slechte) praktische ervaringen bij de vleesvarkens zijn de schuine wanden van de mestgoot niet gesproeid met water. Ook werd dit minder duurzaam geacht door de grote hoeveelheid benodigd water en de energie die nodig is in de biogastank om dit water op te warmen.
- De schuine wanden en de mest in het mestkanaal zijn niet gekoeld. De belangrijkste reden hiervoor was dat dit systeem uiteindelijk niet als duurzaam werd gezien vanwege het feit dat de mest eerst gekoeld moest worden naar 15°C in de stal en vervolgens in de mestvergistinginstallatie weer moest worden opgewarmd naar 35°C. Dit kost veel extra energie die niet hergebruikt kon worden.
- Vanwege de slechte ervaringen bij de vleesvarkens met de roestvast stalen roosters werden deze vervangen door standaard metalen (driekant) roosters.

Bovenstaande heeft behoorlijke invloed op de te verwachten reductie van de ammoniakemissie. In tabel 11 is een nieuwe inschatting gemaakt van de te verwachten ammoniakemissie gebaseerd op het aangepaste ontwerp.

Tabel 11 Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij dragende zeugen uit de verschillende bronnen voor het startontwerp (Proef start) en voor het aangepaste ontwerp (Proef aangepast) van de emissiearme stal.

Emissiebron	Proef start	Proef aangepast	Rav-lijst Overige ¹⁾
Mestkanaal/-pan	0,09	1,42	
Waterpan	0,35		
Schuine wanden	0,02	0,95	
Bevuilde betonnen rooster			
Bevuilde metalen rooster	0,27	0,33	
Bevuilde dichte vloer	0,24	0,24	
Totaal	0,97	2,95	
Emissiefactor Rav-lijst			4,20
Reductie Proef(% van factor Rav-lijst)	77%	30%	

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.2.4 Kraamzeugen

Bij kraamzeugen zijn de volgende aanpassingen gedaan in het uitgangsontwerp voordat de protocolmetingen zijn gestart:

- De mest in het mestgedeelte van de mestpan is niet gekoeld. De belangrijkste reden hiervoor was dat dit systeem uiteindelijk niet als duurzaam werd gezien vanwege het feit dat de mest eerst gekoeld moest worden naar 15°C in de stal en vervolgens in de mestvergistinginstallatie weer moest worden opgewarmd naar 35°C. Dit kost veel extra energie die niet hergebruikt kon worden.

Bovenstaande heeft invloed op de te verwachten reductie van de ammoniakemissie. In tabel 12 is een nieuwe inschatting gemaakt van de te verwachten ammoniakemissie gebaseerd op het aangepaste ontwerp.

Tabel 12 Berekende ammoniakemissies (in kg/jaar per dierplaats) bij kraamzeugen uit de verschillende bronnen voor het startontwerp (Proef start) en voor het aangepaste ontwerp (Proef aangepast) van de emissiearme stal.

Emissiebron	Proef start	Proef aangepast	Rav-lijst Overige ¹⁾
Mestpan	0,13	0,52	
Waterpan	0,61	0,61	
Schuine wanden	0,07	0,07	
Bevuilde metalen rooster	0,50	0,50	
Totaal	1,30	1,70	8,30
Emissiefactor Rav-lijst	84%	80%	

¹⁾ Emissiefactor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst.

2.2.5 Effect aanpassingen op overige emissies

Bovengenoemde aanpassingen van het ontwerp hebben naar verwachting niet veel invloed op de methaanemissie. Zo lang de mest dagelijks wordt verwijderd zal de methaanemissie uit de stal sterk worden gereduceerd. Er zal wel een effect zijn op de geuremissie, vooral als gevolg van het niet meer koelen van de mest bij vleesvarkens, dragende zeugen en kraamzeugen. Het effect op de fijnstofemissie als gevolg van de veranderingen zal naar verwachting gering zijn.

2.3 Effect van mestkoeling bij vleesvarkens

Het effect van mestkoeling bij vleesvarkens is gedurende de volgende perioden onderzocht:

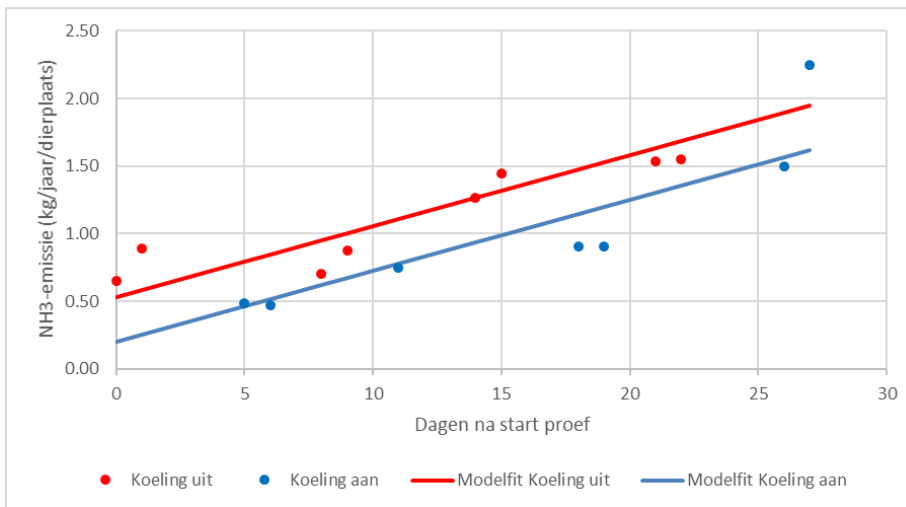
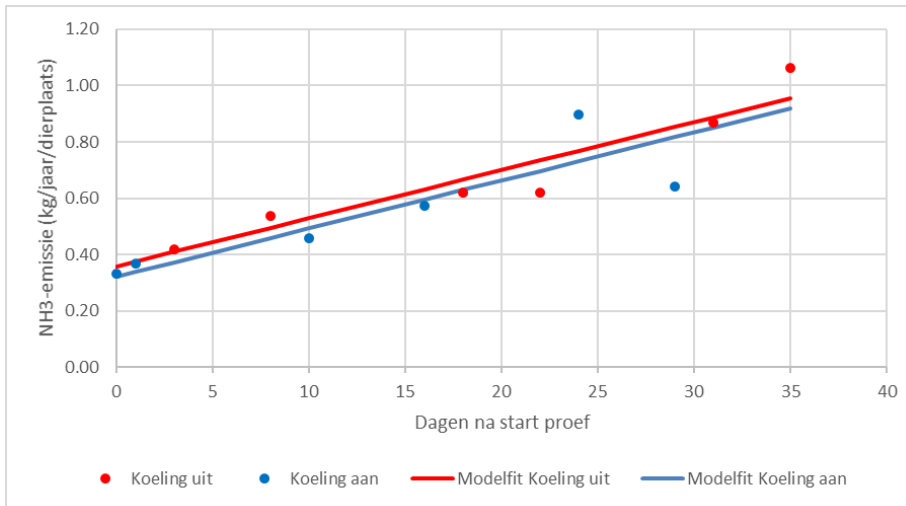
- Winterproef (15 januari t/m 19 feb. 2020); dag 1 t/m 36 na opleg vleesvarkens
- Zomerproef (19 mei t/m 15 juni 2021); dag 48 t/m 75 na opleg vleesvarkens

Tijdens de winterproef is de koeling van de schuine wanden en van de mest gedurende 3 perioden aan geweest en gedurende 3 perioden uit geweest. Aan en uit werden daarbij steeds afgewisseld waarbij de minimale periode van aan en uit tenminste 6 dagen was. Tijdens de zomerperiode is de koeling gedurende 4 perioden aan geweest en gedurende 3 perioden uit geweest. Ook deze perioden wisselden elkaar af waarbij de minimale periode van aan en uit tenminste 3 dagen was. Opgemerkt moet worden dat voor de zomerproef de capaciteit van het koelsysteem is verhoogd waardoor er gedurende de zomerproef meer gekoeld kon worden dan tijdens de winterproef. Het effect van de koeling op de ammoniakemissie uit de proefafdeling is bepaald door de ammoniakemissie van perioden met koeling te vergelijken met perioden zonder koeling. Gedurende de zomerproef is naast de ammoniakemissie tevens de oppervlaktetemperatuur gemeten van de schuine wanden en van de mest. Het effect van mestkoeling op de ammoniakemissie is geanalyseerd met het volgende statistische model:

$$E_{NH_3} = b0_i + b1 \cdot x1_i + b2 \cdot x2_i + power(dagnr_i) + \varepsilon_i$$

Waarin: E_{NH_3} is de ammoniakemissie (kg/dpl/jaar); $b0$, $b1$, $b2$ zijn regressiecoëfficiënten; $x1$ is het volg-dagnr met $dagnr = 0$ bij start koelingsproef; i is proefnr (winterproef: $i=1$; zomerproef: $i=2$); $x2$ is een dummy-variabele (geen koeling: $x2=0$; wel koeling: $x2=1$); $power(dagnr)$ is de toename van de ammoniakemissie gedurende de groeiperiode; ε is de restvariantie.

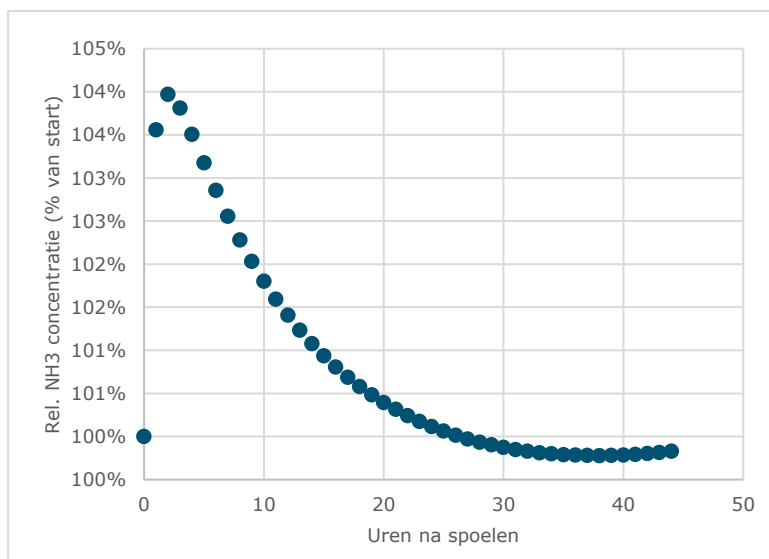
Om te corrigeren voor de toename van de ammoniakemissie tijdens de groei van de dieren is een tijdstrend geschat voor de winter- en de zomerproef (winter: 0,017 toename per dag en zomer: 0,052 toename per dag). In figuur 1 wordt het effect van mestkoeling grafisch weergegeven waarbij is gecorrigeerd voor een lineaire tijdstrend. Uit deze analyse blijkt dat tijdens de winterproef mestkoeling de ammoniakemissie met 5,9% (n.s.) verlaagde, terwijl dit in de zomerproef 25,4% was ($P < 0,05$). Er was een significant interactie-effect van proefperiode en koeling. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door het feit dat de capaciteit van het koelsysteem tijdens de winterproef onvoldoende was om de mest voldoende te koelen. Tijdens de zomerproef was de gemiddelde temperatuur van de schuine wanden in perioden zonder koeling $21,5 \pm 1,8^\circ\text{C}$ en van de oppervlakte van de mest $21,5 \pm 1,7^\circ\text{C}$; met koeling waren deze respectievelijk $17,8 \pm 1,3^\circ\text{C}$ en $19,9 \pm 2,0^\circ\text{C}$. Dit betekent een gemiddeld verschil tussen mestkoeling uit en aan van $3,6^\circ\text{C}$ voor de schuine wanden en van $1,6^\circ\text{C}$ van de oppervlakte van de mest. Theoretisch is het verwachte effect ca. 7% daling van de ammoniakemissie per $^\circ\text{C}$ verlaging van de oppervlaktetemperatuur van de mest (Aarnink & Elzing, 1998). Het gemeten effect van 25,1% is daarbij hoger dan verwacht, gezien het feit dat minder dan de helft van de ammoniakemissie, naar verwachting, uit het mestkanaal komt. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de vorming van een stabiele (koude) luchtlaag in het mestkanaal dat zich weinig mengt met de lucht boven de roostervloer waardoor transport van ammoniak uit het mestkanaal wordt afgeremd.



Figuur 1 Effect van mestkoeling op de ammoniakemissie (kg/jaar per dierplaats) bij vleesvarkens. *Figuur boven: winterperiode; Figuur onder: zomerperiode.*

2.4 Verloop ammoniakconcentratie tijdens mestspoelen bij vleesvarkens

Het mestspoelen zou tijdelijk een verhoging kunnen geven van de ammoniakemissie aangezien de wanden van het spoelkanaal extra worden bevuild met mest. Om dit te bepalen werd het verloop van de ammoniakconcentratie rond het dagelijks wegspoelen van de verse mest geanalyseerd. Dit verloop is bepaald bij vleesvarkens in de periode van oktober 2020 tot en met maart 2021. Een totaal van 175 spoelbeurten zijn hierbij geanalyseerd. Hierbij is een curve gefit, die het verloop van de NH₃-concentratie beschrijft, als functie van de tijd na spoelen. Hiervoor zijn drie parameters geschat die deze curve beschrijven: - b₁, deze regelt vooral het trage proces van lineaire stijging na het spoelen; - b₂, deze regelt vooral de snelle daling na de piek; - b₃, deze regelt vooral de snelle stijging in de allereerste fase voor de piek. Parameters b₂ en b₃ verschilden significant van 0 (b₂: p<0,001; b₃:p<0,001) en er was een indicatie van een significant verschil voor parameter b₁ (b₁: p<0,10). In figuur 2 wordt de gefitte curve voor de ammoniakconcentraties in relatie tot de tijd (uren) na spoelen weergegeven. Hieruit valt op te maken dat er een kleine verhoging is van de ammoniakemissie direct na spoelen en dat deze vervolgens heel geleidelijk weer afneemt tot het volgende moment van spoelen. Gezien het relatief geringe effect van spoelen is het te overwegen om de mest vaker weg te spoelen om daarmee de ammoniakemissie verder te reduceren, b.v. richting het eind van de vleesvarkensronde als de dieren veel mest produceren.



Figuur 2 Effect van spoelmoment op het verloop van de ammoniakemissie waarbij het spoelmoment zelf op 100% is gezet. Op de X-as staat het aantal uren na spoelen.

2.5 Emissiemetingen dragende zeugen

Gedurende het vooronderzoek bij de dragende zeugen zijn in een periode van ca. 8 maanden vijf 24-uurs metingen verricht om de emissies van methaan, ammoniak en geur te bepalen. In tabel 13 zijn de resultaten van deze metingen weergegeven.

Tabel 13 Gemeten waarden (tussen haakjes de standaard deviatie) voor de dragende zeugen van de temperatuur (T) (°C) en relatieve luchtvochtigheid (RV) (%) van de buitenlucht, het ventilatie-debiet (m³/h per dier), de methaan- en ammoniakemissie (kg/dpl/j) en de geuremissie (OUE/s) in de proef- en controlestal op bedrijf 1.

Datum	T-buiten	RV-buiten	Ventilatie		Methaanemissie		Ammoniakemissie		Geuremissie	
			Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle	Proef	Controle
03-Jul-19	16.1	61	149	131	4.48	7.09	3.94	8.33	44.8	83.8
28-Aug-19	23.5	64	163	149	6.64	28.8	4.72	5.38	44.6	58.7
29-Okt-19	6.8	80	80	54	7.36	30.6	3.24	5.34	14.7	55.4
04-Dec-19	0.7	97	52	48	13.0	28.7	3.91	4.43	25.0	44.8
12-Feb-20	4.8	70	71	54	11.5	29.9	4.42	5.24	19.4	20.6
Gem.	10,4	74,4	103	87	8,6	25,0	4,0	5,7	29,7	52,7
Reductie tov controle ^a					61%		26%		39%	
Reductie tov Rav-lijst ^b							4%		-59%	

^a Dit is het gemiddelde van de reducties van de gepaarde waarnemingen.

^b Reductiepercentage van de gemiddelde emissie in de proefafdeling ten opzichte van de emissiefactor voor 'Overige huisvestingssystemen' in de Rav-lijst (voor ammoniak: 4,2 kg/jaar; voor geur: 18,7 OUE/s).

Uit deze tabel kan geconcludeerd worden dat de gemeten emissiereducties beduidend achterblijven ten opzichte van de verwachte emissiereducties weergegeven in par. 2.1.3 en 2.1.5 voor het oorspronkelijke ontwerp. De verwachte ammoniakreductie was 82%. Ook in vergelijking met de nieuwe inschattingen voor het aangepaste ontwerp, komt de gemeten reductie (4%) lager uit dan de ingeschatte emissiereductie (30%). Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door het volgende:

- Er was veel bevuild van de dichte vloer, veel meer dan waarbij in de berekeningen is uitgegaan.
- Er werd veel gemest op de betonnen roostervloer. Oorspronkelijk werd er van uitgegaan dat vrijwel alle mest op de metalen rooster terecht zou komen.
- Door het suboptimale mestgedrag werden de schuine wanden waarschijnlijk meer bevuild dan waar bij de berekeningen van uit is gegaan.

In par. 2.1.5 is aangegeven dat de methaanemissie uit de mest naar verwachting met ca. 90% wordt gereduceerd. Het reductiepercentage weergegeven in tabel 13 is het effect op de totale methaanemissie, dus inclusief enterisch methaan. In par. 2.1.5 wordt ook aangegeven dat de absolute methaanemissie naar verwachting met ca. 20 kg/jaar per zeug zal reduceren. Uit tabel 13 blijkt dit 16,4 kg te zijn, dus iets minder. Dit zou te maken kunnen hebben met het niet altijd volledig kunnen afvoeren van de mest in de mestgoot en het niet consequent dagelijks afvoeren van de mest. Ook kan de bijdrage van enterisch methaan bij zeugen beduidend hoger zijn als bij vleesvarkens doordat zeugenvoer meer fermenteerbare koolhydraten bevatten.

Het suboptimale mestgedrag van de zeugen, resulterend in bevuiling van de dichte vloer en bevuiling van het betonnen rooster en schuine wanden, laat zien dat de hokvorm en de hokinrichting bij de dragende zeugen nog aanpassing behoeft. Dit was de reden om de dragende zeugen niet mee te nemen in het onderzoek met de protocolmetingen.

3 Materiaal en methoden

3.1 Bedrijfssituatie en behandelingen

3.1.1 Gemeten systeem

Emissiemetingen zijn uitgevoerd naar het emissiearme stalsysteem in de periode september 2020 t/m november 2021 en werden voor de categorieën vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen uitgevoerd op 2 verschillende bedrijfslocaties volgens het principe van case-control metingen. Tijdens deze metingen zijn de concentraties methaan, ammoniak en geur volgens meetprotocollen gemeten. De emissiereducties van het te bemeten stalsysteem werden verkregen via de volgende principes:

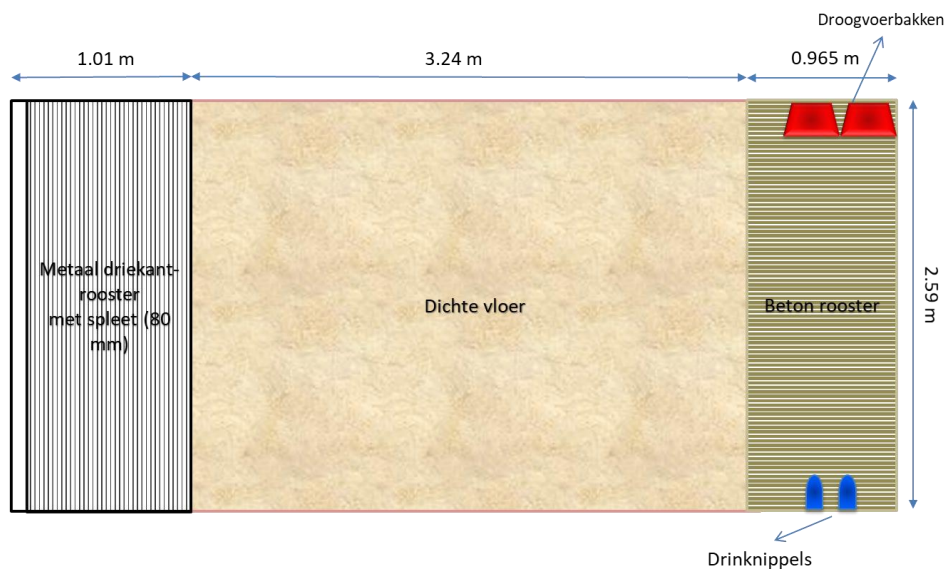
- Verkleining van het emitterend oppervlak. Dit werd bereikt door een goede hokinrichting en optimale klimatisering (voor klimaatinstellingen zie bijlage 2), waardoor het lig- en mestgedrag van de varkens werd gestuurd naar de juiste plaatsen in het hok. Op de mestplaats lagen goed doorlatende metalen driekant roosters en daaronder een mestkanaal of mestpan die gedeeltelijk bestond uit schuine wanden. Door de mest dagelijks af te voeren bleef het mestniveau laag en bleef het emitterend oppervlak, door de schuine wanden, klein.
- Verdunning met water. Daar waar weinig mest en urine verwacht werd terecht te komen in het hok, maar waar wel een roostervloer gewenst was om vloerbevuilding te voorkomen, werden waterkanalen of waterpannen aangebracht. Deze waterkanalen / waterpannen werden aan het begin van elke productieronde voorzien van een laag water, welke achterbleef na het schoonspuiten van de afdelingen. Dit water zorgde er voor dat het kleine beetje mest en urine dat hier in valt werd verdund om emissies te reduceren.
- Dagontmesting. De mest werd dagelijks weggespoeld uit de mestgoten met dagverse mest en vervolgens afgevoerd naar een gesloten opslag. Mestpannen werden dagelijks leeggezogen.

3.1.2 Spoelproces

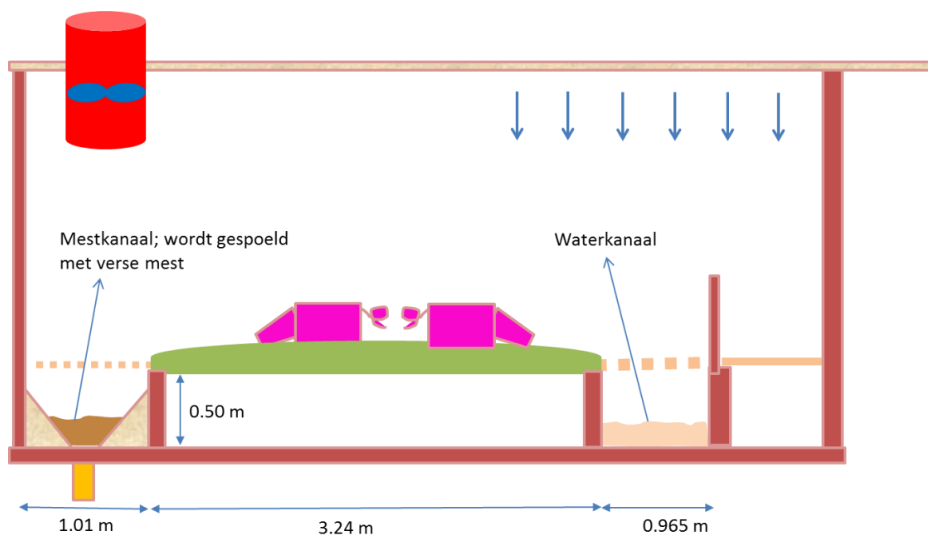
Het spoelproces in de vleesvarkensstal functioneerde door via een persleiding dagverse mest te pompen met een stroom van 16 m³ per uur. Deze mest werd (via een ventiel) aan het begin van het mestkanaal onder het rooster in de put gepompt. Deze put was uitgevoerd met een goot van polyester. De goot bevatte schuine wanden en de bodem was 20 cm vlak. De andere zijde van het mestkanaal zat aangesloten op een rioolleiding, die uitkwam in een put buiten de stal. Het spoelproces startte met een niveau van 40 cm in de put. Vervolgens werd ca. 2 m³ aan verdunde mest uit het waterkanaal hieraan toegevoegd tot een niveau van 65 cm. Na toevoeging van de verdunde mest werd dit eerst in de put gemengd en vervolgens rondgepompt. Na dit rondpompen begon het spoelproces, waarbij de inhoud van de mestgoot gedurende 10 minuten werd gespoeld. Hierna bleef de schuifafsluiter nog 10 minuten openstaan om alle mest uit de goot te laten lopen. Het spoelproces werd op bedrijf 1 door een computer aangestuurd. Op bedrijf 2 werd dit handmatig gedaan.

3.1.3 Vleesvarkens

Het proefhok had vanaf de voergang gezien eerst een betonnen rooster met daaronder een waterkanaal, een dichte betonvloer en achterin het hok een metalen driekant roostervloer met daaronder een mestkanaal met schuine wanden (Figuur 3 en 4). Boven het waterkanaal waren de droogvoerbakken en de drinknippels tegenover elkaar in de hoeken geplaatst. In het waterkanaal werd aan het begin van de ronde het gebruikte schoonmaakwater van het schoonspuiten van de afdeling gezet. Daarnaast werd hieraan water toegevoegd door vermorsing uit de drinknippels. De mest in het mestkanaal werd dagelijks weggespoeld met dagverse mest en vervolgens naar een vergister gebracht. De helling van de schuine platen in het mestkanaal was 45°.



Figuur 3 Plattegrond van het proefhok van de vleesvarkens. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.



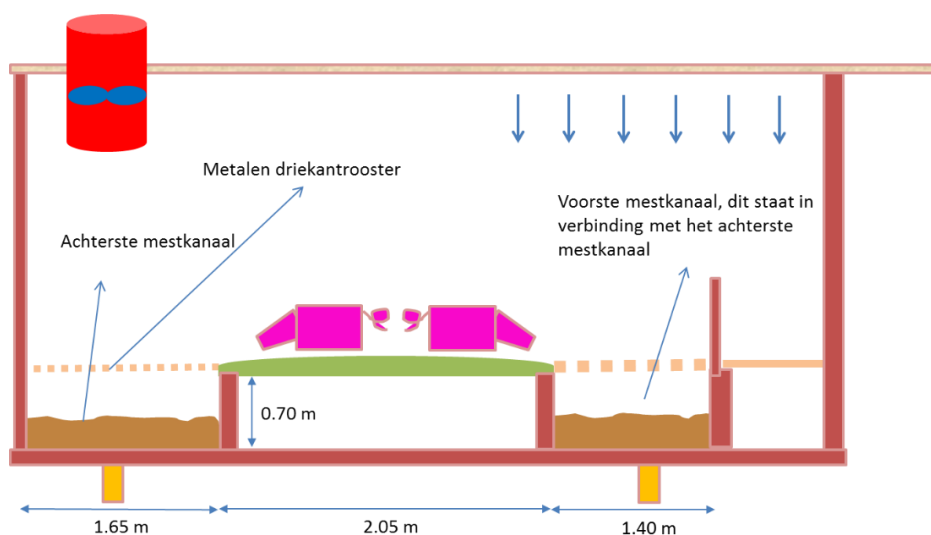
Figuur 4 Dwarsdoorsnede van het proefhok van de vleesvarkens. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.

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

Tabel 14 geeft een overzicht van de kenmerken van de vleesvarkens afdelingen en hokken van bedrijf 1 en 2. Bijlage 2 geeft de plattegronden en dwarsdoorsneden van bedrijf 2.



Figuur 5 Plattegrond van het controlehok van de vleesvarkens. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.



Figuur 6 Dwarsdoorsnede van het controlehok van de vleesvarkens. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.

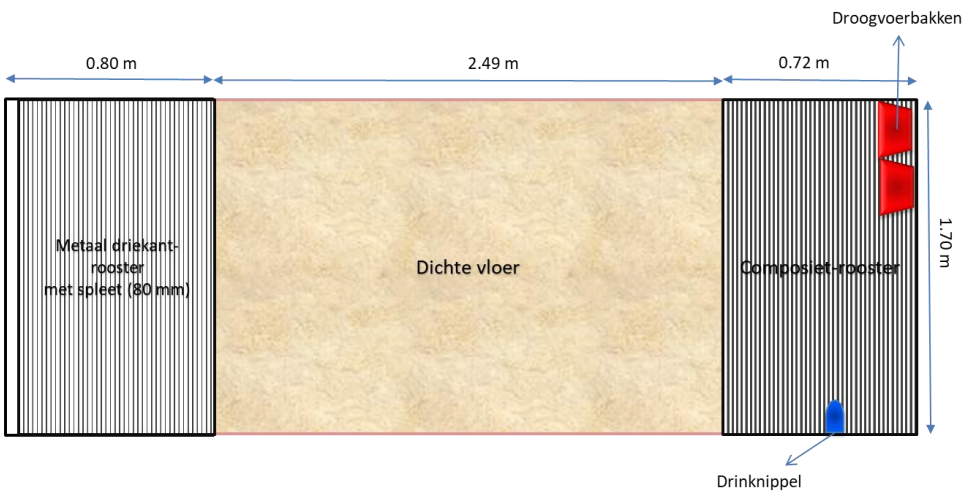
Tabel 14 Overzicht van de kenmerken van de onderzochte proef- en controleafdelingen bij vleesvarkens op bedrijf 1 en 2.

Kenmerken	Bedrijf 1		Bedrijf 2	
	Proef	Controle	Proef	Controle
Dierplaatsen	78	54	64	64
Oriëntatie van de stal	Noordoost-zuidwest	Noordoost-zuidwest	Zuidoost-noordwest	Zuidoost-noordwest
Afmeting afdeling: Lengte [m] x Breedte [m]	15,55 x 6,00	11,28 x 5,90	6,0 x 10,0	6,0 x 10,0
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	6 hokken; 5,22 x 2,59	6 hokken; 5,10 x 1,88	4 hokken; 5,15 x 2,46	4 hokken; 5,15 x 2,46
Leefoppervlak (m ² per dier)	1,0	1,0	0,80	0,80
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijke roostervloer; 1,01 x 2,59 metalen driekantrooster, 0,965 x 2,59 betonrooster, 3,24 x 2,59 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,65 x 1,88 metalen driekantrooster, 1,40 x 1,88 betonrooster, 2,05 x 1,88 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,0 x 2,46 metalen driekantrooster, 1,0 x 2,46 betonrooster, 3,15 x 2,46 dichte vloer	Gedeeltelijke roostervloer; 1,05 x 2,46 en 1,9 x 2,46 betonrooster, 3,20 x 2,46 dichte vloer
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Mestgoot met schuine wanden van 45°; 2,59 x 1,01 x 0,50 (lxbxd ¹ per hok)	Mestkelder; 1,88 x 1,65 x 0,70 en 1,88 x 1,40 x 0,70 (lxbxd per hok)	Mestgoot met schuine helling van 45°; 2,59 x 1,01 x 0,51 (lxbxd per hok)	Mestkelder; 2,46 x 1,05 x 1,20 en 2,46 x 1,90 x 1,20 (lxbxd per hok)
Mestverwijdering en frequentie	Eénmaal daags spoelen met dagverse mest	1 keer per half jaar tot een jaar	Eénmaal daags spoelen met dagverse mest	1 keer per half jaar tot een jaar
Waterkanaal (beschrijving en diepte)	Watergoot; 2,59 x 0,965 x 0,50 (lxbxd per hok)	-	Waterpan met schuine hellingen van 45°; 2,59 x 1,00 x 1,11 (lxbxd per hok)	-
Ventilatie	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Via een geperforeerd plafond	Via een geperforeerd plafond	Via de afdelingsdeur	Via de afdelingsdeur
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 50 cm	1 ventilator met een diameter van 45 cm	1 ventilator met een diameter van 50 cm	1 ventilator met een diameter van 50 cm
Voersysteem en voertijden	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinkbakje)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels)

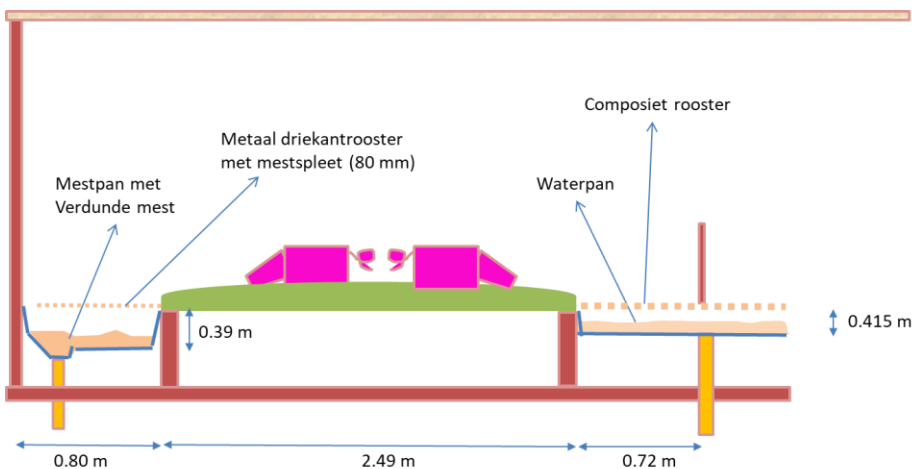
1 lxbxd = lengte x breedte x diepte.

3.1.4 Gespeende biggen

De proefhokken waren in de lengterichting langs de voergang geplaatst en hadden een composiet rooster waarop de voerbak en de drinknippels waren geplaatst met daaronder een waterpan (Figuur 7 en 8). Vervolgens had het hok een dichte betonvloer en dan een metalen driekant roostervloer met mestspleet. Hieronder was een mestpan geplaatst. De beide hokken, aan één kant van de voergang, stonden aan de kant van de waterpan tegen elkaar aan. Aan het begin van de ronde bleef het schoonmaakwater van het schoonspuiten van de afdeling in de waterpan staan.



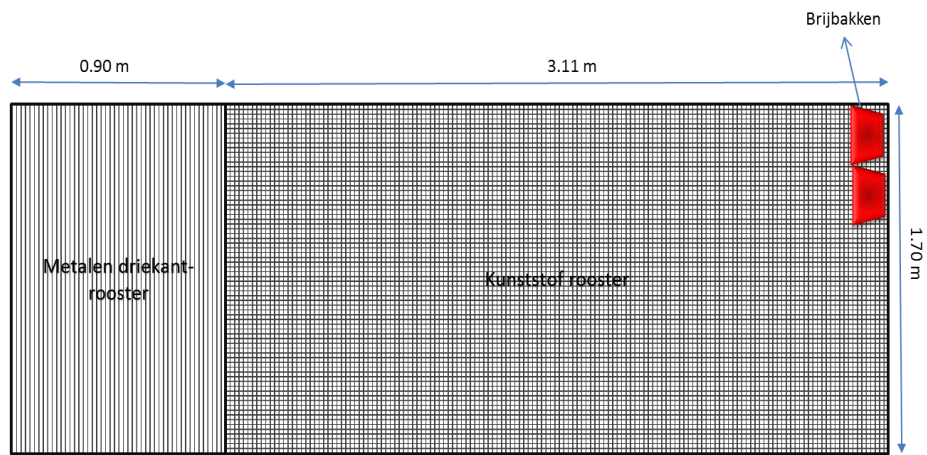
Figuur 7 Plattegrond van het proefhok van de gespeende biggen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.



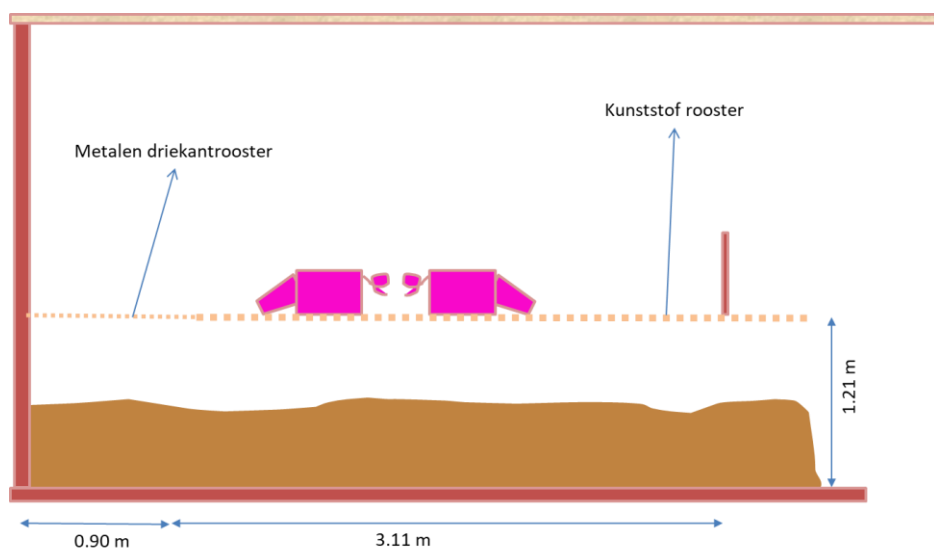
Figuur 8 Dwarsdoorsnede van het proefhok van de gespeende biggen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.

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

Tabel 15 geeft een overzicht van de kenmerken van de gespeende biggen afdelingen en hokken van bedrijf 1 en 2. Bijlage 2 geeft de plattegronden en dwarsdoorsneden van bedrijf 2.



Figuur 9 Plattegrond van het controlehok van de gespeende biggen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.



Figuur 10 Dwarsdoorsnede van het controlehok van de gespeende biggen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.

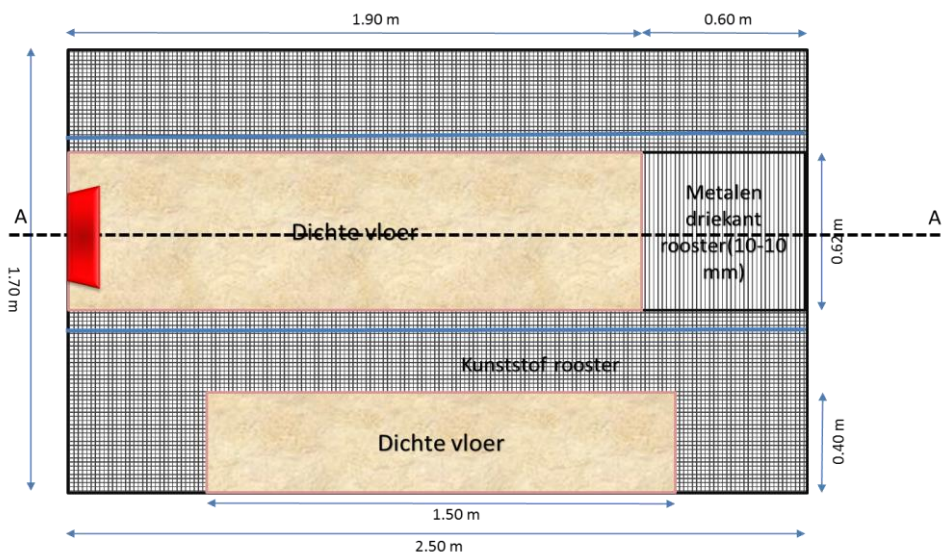
Tabel 15 Overzicht van de kenmerken van de onderzochte gespeende biggen proef- en controleafdelingen van bedrijf 1 en 2.

Kenmerken	Bedrijf 1		Bedrijf 2	
	Proef	Controle	Proef	Controle
Dierplaatsen	60	60	325	310
Oriëntatie van de stal	Noordoost-zuidwest	Noordoost-zuidwest	Zuidoost-noordwest	Zuidoost-noordwest
Afmeting afdeling:				
Lengte [m] x Breedte [m]	8,02 x 3,90	8,02 x 3,90	22,18 x 6,0	22,18 x 6,0
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	4 hokken; 4,0 x 1,70	4 hokken; 4,0 x 1,7	11 hokken; 10 hokken van 3,66 x 2,50 1 hok van 3,67 x 6,0	12 hokken; 3,66 x 2,50
Leefoppervlak (m ² per dier)	0,4	0,4	0,3	0,3
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijke roostervloer; metalen driekantrooster 0,80 x 1,70, composietrooster 0,72 x 1,70, dichte vloer 2,49 x 1,70	Gehele roostervloer; metalen driekantrooster 0,90 x 1,70, kunststofrooster 3,11 x 1,70	Gedeeltelijke roostervloer; metalen driekantrooster 0,90 x 2,50, composietrooster 0,50 x 2,50, dichte vloer 2,49 x 1,70	Gehele roostervloer; kunststofrooster 3,66 x 2,50
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Mestpan; 1,70 x 0,80 x 0,39 (lxbxd per hok)	Mestkelder; 4,01 x 1,70 x 1,21 (lxbxd per hok)	Mestpan; 2,50 x 0,90 x 0,382 (lxbxd per hok)	Mestkelder; 3,66 x 2,50 x 1,00 (lxbxd per hok)
Mestverwijdering en frequentie	Eénmaal daags onder vacuüm	1 keer per half jaar tot een jaar	Eénmaal daags onder vacuüm	1 keer per half jaar tot een jaar
Waterkanaal (beschrijving en diepte)	1,70 x 0,415 x 0,72 (lxbxd per hok)	-	Waterpan; 2,50 x 0,50 x 0,405 (lxbxd per hok)	-
Ventilatie	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Via de roostervloer van de voergang	Via de roostervloer van de voergang	Via een geperforeerd plafond	Via een geperforeerd plafond
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 35 cm	1 ventilator met een diameter van 35 cm	1 ventilator met een diameter van 56 cm	1 ventilator met een diameter van 56 cm
Voersysteem en voertijden	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (droogvoerbak)	Onbeperkt (brijbak)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels met morsbakje)	Onbeperkt (drinknippels)	Onbeperkt (drinknippels in brijbak)

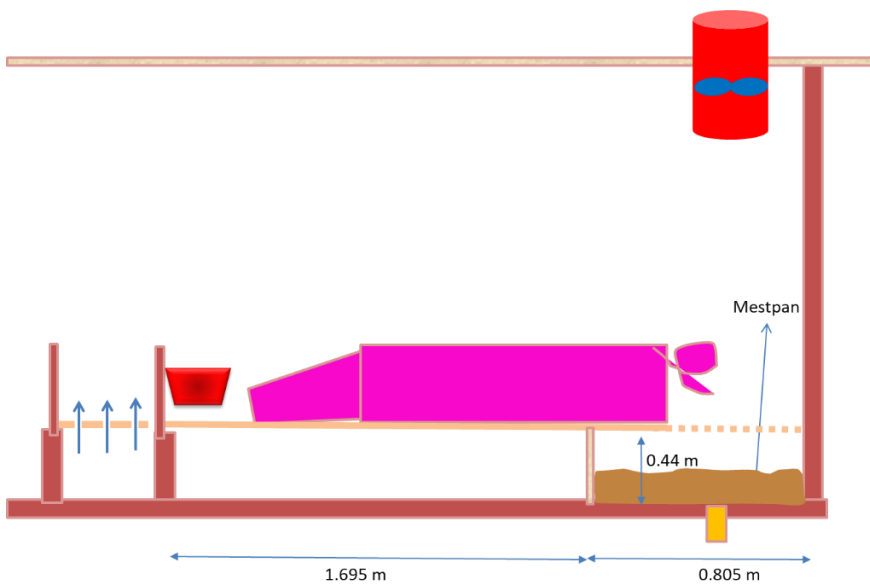
3.1.5 Kraamzeugen

Het proefhok had één grote mestpan die uit 3 gescheiden onderdelen bestond (Figuur 11 en 12). Twee onderdelen bestreken de zijkanten, waar de biggen verbleven en één gedeelte achter de zeug dat verdiept was voor opvang van de mest van de zeug. Onder de zeug was de vloer dicht, tevens was een deel van de biggenruimte dicht (lignest biggen). Onder de dichte gedeelten kon geen mest komen, behalve dat de dichte vloer onder de zeug iets doorliep over het verdiepte gedeelte van de mestpan. De gedeelten van de pan onder de biggen was ondiep en hier werd water ingezet voor opvang van de geringe hoeveelheden mest van de biggen (en een klein deel van de zeugenmest). De roostervloer achter de zeug was een metalen driekant rooster. De rest van de roostervloer was van kunststof.

Aan het begin van de ronde bleef het schoonmaakwater van het schoonspuiten van de afdeling in het watergedeelte staan. De mestpan onder de zeug had aan de zijkanten schuine wanden onder een hoek van 60° met de vloer. De voor- en achterkant van de mestpan hadden rechte wanden. De mest in de mestpan werd dagelijks afgelaten.



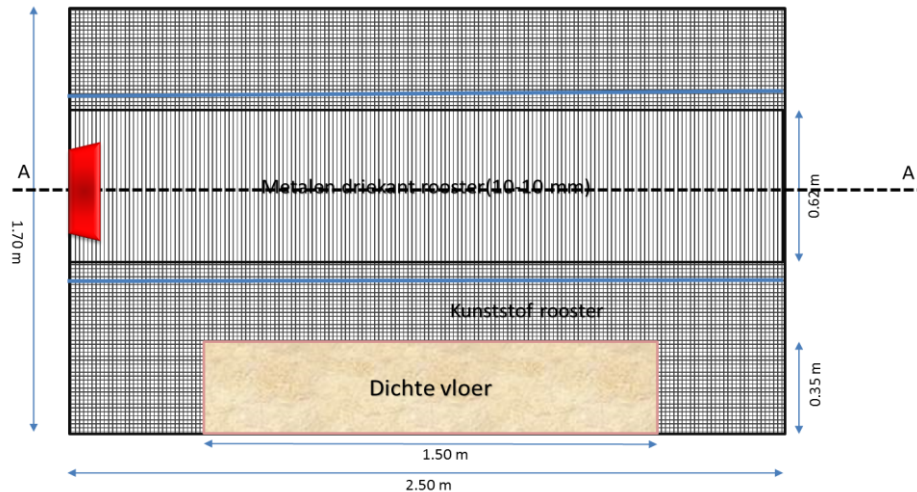
Figuur 11 Plattegrond van het proefhok van de kraamzeugen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.



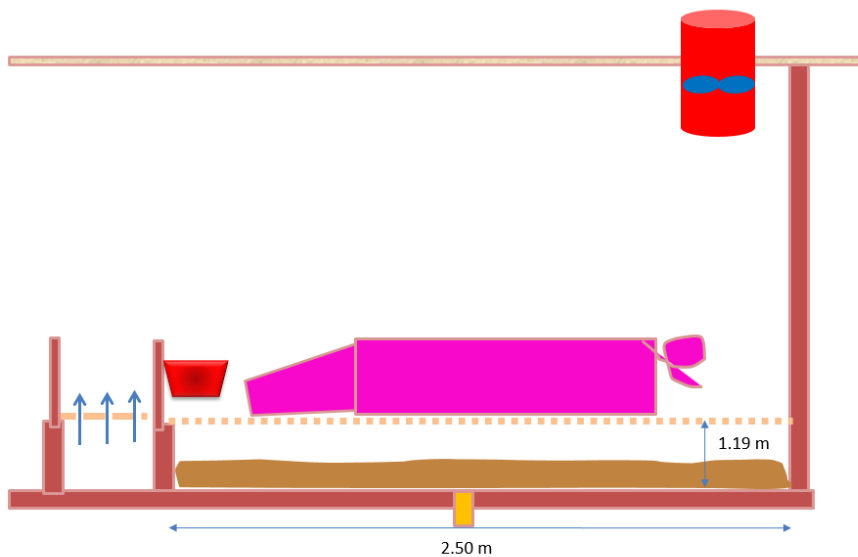
Figuur 12 Dwarsdoorsnede van het proefhok van de kraamzeugen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.

Het controlehok was vergelijkbaar met het proefhok, alleen was de mestkelder niet uitgevoerd met mest- en waterpannen en was de vloer onder de zeug een volledig metalen rooster (Figuur 13 en 14). Het referentiehok was een volledig onderkelderd hok.

Tabel 16 geeft een overzicht van de kenmerken van de kraamzeugen afdelingen en hokken van bedrijf 1 en 2. Bijlage 2 geeft de plattegronden en dwarsdoorsneden van bedrijf 2.



Figuur 13 Plattegrond van het controlehok van de kraamzeugen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.



Figuur 14 Dwarsdoorsnede van het controlehok van de kraamzeugen. De weergegeven maten komen overeen met het hok op bedrijf 1.

Tabel 16 Overzicht van de kenmerken van de onderzochte kraamzeugen proef- en controleafdelingen van bedrijf 1 en 2.

Kenmerken	Bedrijf 1		Bedrijf 2	
	Proef	Controle	Proef	Controle
Dierplaatsen	10	10	8	8
Oriëntatie van de stal	Noordoost-zuidwest	Noordoost-zuidwest	Zuidoost-noordwest	Zuidoost-noordwest
Afmeting afdeling: Lengte [m] x Breedte [m]	8,5 x 6,0	8,5 x 6,0	7,34 x 5,57	7,34 x 5,57
Aantal hokken en afmetingen hok (lengte [m] x breedte [m])	10 hokken; 2,50 x 1,70	10 hokken; 2,50 x 1,70	8 hokken; 2,40 x 1,84	8 hokken; 2,40 x 1,84
Leefoppervlak (m ² per dier)	1,55 (zeug)	1,55 (zeug)	1,44 (zeug)	1,44 (zeug)
Beschrijving leefoppervlak (dichte vloer, roostervloer,...)	Gedeeltelijk roostervloer; driekantrooster 0,60 x 0,62, dichte vloer 1,78 m ² , kunststofrooster 2,1 m ²	Gedeeltelijk roostervloer; driekantrooster 0,62 x 1,70, dichte vloer 0,35 x 1,50, kunststofrooster 2,67 m ²	Gedeeltelijk roostervloer; driekantrooster 0,60 x 0,755, dichte vloer 2,19 m ² , kunststofrooster 1,77 m ²	Gedeeltelijk roostervloer; driekantrooster 0,60 x 0,755, gietijzeren rooster 1,53 x 0,60, dichte vloer 0,82 m ² , kunststofrooster 1,77 m ²
Mestkelder (beschrijving en diepte)	Mestpan achter de zeug; 0.805 x 0.62 x 0.44	Mestpan; 2,50 x 1,70 x 1,19	Mestpan achter de zeug; 0.755 x 0.60 x 0.41	Mestkelder; 2,4 x 1,84 x 1,28
Mestverwijdering en frequentie	Eénmaal daags onder vacuüm	1 keer per half jaar tot een jaar	Eénmaal daags onder vacuüm	1 keer per half jaar tot een jaar
Waterkanaal (beschrijving en diepte)	Waterpan onder de biggen; 2,7 m ² en 0,215 m diep	-	Waterpan onder de biggen; 2,98 m ² en 0,21 m diep	-
Ventilatie	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd	Mechanisch geventileerd
Luchtinlaat	Via roostervloer van voergang	Via roostervloer van voergang	Via geperforeerd plafond	Via geperforeerd plafond
Luchtuitlaat	1 ventilator met een diameter van 35 cm	1 ventilator met een diameter van 35 cm	1 ventilator met een diameter van 40 cm	1 ventilator met een diameter van 40 cm
Voersysteem en voertijden	Beperkt (brijbak)	Beperkt (brijbak)	Beperkt (brijbak)	Beperkt (brijbak)
Drinkwatersysteem en drinktijden	Onbeperkt (drinknippels in de trog en voor de biggen)	Onbeperkt (drinknippels in de trog en voor de biggen)	Onbeperkt (drinknippels in de trog en voor de biggen)	Onbeperkt (drinknippels in de trog en voor de biggen)

3.2 Waarnemingen en metingen

3.2.1 Protocollaire emissiemetingen

De protocollaire emissiemetingen werden uitgevoerd in de periode september 2020 t/m november 2021 op 2 verschillende bedrijfslocaties per diercategorie volgens het principe van case-control metingen. Tijdens deze metingen zijn de emissies van ammoniak, methaan en geur bepaald volgens vastgestelde meetprotocollen, zoals beschreven in Groenestein et al. (2011), Ogink et al. (2017) en Ogink (2011). Deze emissies werden per bedrijf gelijktijdig bepaald in een proef- en controleafdeling gedurende 6 meetperioden verspreid over het jaar. De gemeten controleafdelingen waren gebaseerd op de categorie "Overige huisvesting". De proef- en controleafdelingen waren vergelijkbaar t.a.v. voer- en ventilatiemanagement en drinkwatervoorziening. De dieren in de proef- en controleafdelingen bevonden zich in dezelfde fase van de productiecyclus.

Voor vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen werd een rechtlijnig toenemend emissiepatroon verwacht (Ogink et al., 2017), waar vervolgens de verdeling van de protocollaire emissiemetingen op uitgevoerd is. Hiervoor geldt als aanvullende eis dat binnen elke bedrijfslocatie de metingen zodanig werden verdeeld dat de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de productieperiode viel. De metingen in het tweede deel van de productieperiode dienden gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld. Het meetschema in het onderzoek werd dusdanig opgesteld dat met voornoemde eisen rekening werd gehouden. Echter, is hier niet volledig aan voldaan vanwege de beschikbaarheid op het bedrijf. Zie bijlage 5 voor een overzicht van de verdeling van de emissiemetingen per diercategorie.

Methaanmetingen

Om de methaanconcentratie in de in- en uitgaande lucht te bepalen werd de in- en uitgaande lucht continu bemonsterd in duplo door middel van de zogenaamde longzakmethode (Groenestein et al., 2011) (Figuur 15). De achtergrondconcentratie werd gemeten op een punt in de luchtstroom waar lucht de afdeling binnen kwam (ingående lucht) en de uitgaande lucht werd bemonsterd in de ventilatorkoker. Voor de luchtbemonstering werd een vacuüm getrokken 40 liter zak in een afgesloten container geplaatst. Voor de meting werden Teflon leidingen op dit vat en de zak aangesloten, waarna er met een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota ,VS) met een bekende luchtstroom (0,020 l/min) onderdruk in de container werd aangebracht waardoor een luchtmonster in de zak gezogen werd. Deze metingen werden gedurende 24 uur uitgevoerd. De genomen monsters werden vervolgens in een laboratorium volgens de gaschromatografie methode.



Figuur 15 Meetopstelling voor de methaanmetingen. Links: Container met 40 liter monsternazak. Midden: Een vacuüm getrokken 40 liter monsternazak. Rechts: pomp, monsternazakleiding en kritische openingen, geplaatst in een roestvrijstalen container voor bescherming).

Ammoniakmetingen

De ammoniakconcentraties werden in zowel de ingaande als de uitgaande lucht in duplo volgens protocol gemeten (Ogink et al., 2017). In deze meetmethode werd een luchtmonster, met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota ,VS), door kritisch capillairen en drie opvangflessen getrokken onder een bekende luchtsnelheid (Figuur 16). De eerste opvangfles (gevuld met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) was voor het opvangen van de ammonium. De tweede fles (gevuld met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) ving de ammonium op welke, door verzadiging, niet in de eerste fles opgevangen werd. De derde opvangfles (leeg) werd gebruikt als opvangfles voor het vocht welke zich mogelijk had gevormd tijdens de meting, zodat deze de pomp niet kon bereiken. De achtergrondconcentratie werd gemeten op een punt in de luchtstroom waar lucht de afdeling binnen kwam (ingaande lucht). De luchtsnelheid werd voor en na elke meting gemeten met behulp van een gekalibreerde flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). De genomen monsters werden vervolgens in een laboratorium volgens de spectrometrie methode geanalyseerd (Mosquera et al., 2019).



Figuur 16 Meetopstelling voor ammoniakmetingen. Links: Wasflessen. Rechts: Flowmeter

Geurmetingen

De geurconcentraties werden vanuit de uitgaande lucht in duplo volgens protocol gemeten door middel van de longzakmethode (Ogink, 2011). Tijdens deze methode werd een vacuüm getrokken 40 liter zak in een afgesloten container geplaatst (Figuur 17). Tijdens een meting werden Teflon leidingen op dit vat en de zak aangesloten, waarna er met een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota ,VS) met een bekende luchtstroom (0,4 l/min) onderdruk in de container werd aangebracht waardoor een luchtmonster in de zak gezogen werd. Voordat het luchtmonster in de luchtzak gezogen werd, werd deze eerst door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 μ m, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). Deze geurmetingen werden gedurende twee uur uitgevoerd, tussen 10:00 en 12:00. De geurmonsters werden vervolgens binnen 24 uren geanalyseerd door een geurlaboratorium geaccrediteerd voor het uitvoeren van geuranalyses volgens EN13725.



Figuur 17 Meetopstelling voor de geurmetingen. Container met 40 liter monsternamezak. Aangekoppeld zit een Teflon leiding met een stoffilter.

3.2.2 Continue metingen

Naast de protocollaire emissiemetingen zijn er ook continue metingen uitgevoerd. Deze continue metingen werden gedaan voor methaan, ammoniak, koolstofdioxide, temperatuur, luchtvochtigheid en het ventilatiedebiet. Aan de hand van deze metingen konden dagpatronen inzichtelijk gemaakt worden.

Methaan- en koolstofdioxideconcentratie

De methaan- en koolstofdioxideconcentratie in de ventilatielucht van de afdelingen, werd op bedrijf 1 continu gemeten door middel van een ABB monitor (ABB-Uras26, ABB, Duitsland) (Figuur 18). De uitgaande concentraties werden elk uur gemeten voor zowel de proef- als controleafdelingen. De data werd vervolgens weggeschreven op een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS), welke van afstand uit te lezen was.

Op bedrijf 2 werden de koolstofdioxideconcentraties gemeten met behulp van een Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252 (Vaisala GmbH, Duitsland). Dit is een NDIR (Non-Dispersive Infrared) sensor welke in een meetbuis is geplaatst. Door deze meetbuis werd de uitgaande bemonsterde stallucht van de afdeling geleid, waaruit de sensor deze lucht kon bemonsteren. De concentraties op de verschillende meetplekken werden voor elke afdeling elke 5 minuten gemeten. De data werd vervolgens weggeschreven op een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS).



Figuur 18 Meetapparatuur voor methaan en koolstofdioxide. Links: Datalogstelsysteem. Midden: ABB monitor. Rechts: Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252.

Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht werd op bedrijf 1 continu gemeten met behulp van een NO_x monitor met convertor (Figuur 19) (Mosquera et al., 2002). De convertor zorgde voor omzetting van NH₃ in NO bij 775°C. Vervolgens werd de NO concentratie gemeten met een monitor gebaseerd op het principe van chemoluminescentie. De concentraties op de verschillende meetplekken werden voor elke afdeling elk uur gemeten. De data werd vervolgens weggeschreven op een datalogstelsysteem (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS), welke van afstand uit te lezen was.

Op bedrijf 2 werden de ammoniakconcentraties continu gemeten met behulp van een Dräger Polytron® 8000 sensor (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Duitsland). Dit is een elektrochemische sensor welke in een meetbuis is geplaatst. Door deze meetbuis werd de uitgaande bemonsterde stallucht van de afdeling geleid, waaraan de sensor werd blootgesteld. De concentraties op de verschillende meetplekken werden voor elke afdeling elke 5 minuten gemeten. De data werd vervolgens weggeschreven.



Figuur 19 Meetapparatuur voor ammoniak. Links: NOx monitor. Rechts: Dräger Polytron® 8000 sensor.

Temperatuur en luchtvochtigheid

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) werden gemeten in de verschillende afdelingen bij de ventilatiekokers door middel van een sensor (Vaisala HMP60; Vaisala GmbH, Duitsland) (Figuur 20). Deze data werd opgeslagen op een datalogstelsel (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS).



Figuur 20 Meetapparatuur voor temperatuur en luchtvochtigheid.

Ventilatiedebiet

Alle afdelingen werden mechanisch geventileerd door middel van een automatisch gestuurde klimaatcomputer. Doordat de ventilator zorgt voor enige onderdruk in de afdeling, werd er voor gezorgd dat alle lucht via de ventilatiekoker de afdeling verliet. Het daadwerkelijke ventilatiedebiet werd vervolgens gemeten met een meetventilator in de ventilatiekoker met dezelfde diameter als de ventilator. Elke omwenteling van de meetventilator gaf een aantal pulsen en dit aantal werd continu gelogd door de klimaatcomputer van de varkenshouder.

Daarnaast zijn enkele ventilatoren gekalibreerd met behulp van gekalibreerde meetventilatoren. Deze kalibraties zijn als volgt uitgevoerd:

1. Een gekalibreerde meetventilator werd op de bestaande ventilatiekoker in de afdeling geplaatst. Beide hadden dezelfde diameter.
2. Via de klimaatcomputer werd de ventilatiehoeveelheid op verschillende percentages van hoeveelheid geventileerde lucht in een afdeling gezet, waarna de gekalibreerde meetventilator de gemeten omwentelingen per minuut (Hz) per interval wegschreef op een datalogstelsel (CR1000X; Campbell Scientific Inc., Logan, VS).
3. Deze gemeten data is vervolgens met behulp van een ijklijn omgerekend naar het geventileerd debiet (m³/h) en vergeleken met de weggeschreven debieten vanuit de klimaatcomputer van de varkenshouder. Hieruit is een kalibratielijn voor de ventilatie bepaald.

3.2.3 Overige metingen en data

Algemene gegevens

Naast de metingen van emissies zijn gedurende de meetperiode de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal aanwezige dieren in de afdeling
- Leeftijd van de dieren (aantal dagen in de productieronde)
- Klimaatgegevens (bijlage 3)
- Voergegevens (bijlage 4)

Water- en mestkanalen

Na elke protocolmeting zijn de temperaturen van het water in het waterkanaal en de mest uit het mestkanaal of mestkelder opgemeten met behulp van een handheld thermometer (Stanley STH-77365 IR Thermometer). Tegelijkertijd zijn de hoogtes gemeten van de hoeveelheid water en mest, welke na een meting in de kanalen en kelder stonden. Daarnaast zijn er monsters genomen vanuit het water- en mestkanaal, en de mestkelder. Deze monsters zijn vervolgens in een laboratorium geanalyseerd op de hoeveelheid totaalstikstof (g/kg), ammonium-stikstof (g/kg), de pH en droge stof (g/kg).

Hokbevuiling

Na elke protocolmeting is de mate van hokbevuiling vastgelegd door het percentage van de dichte betonnen vloer dat bevochtigd was met urine vast te leggen. Bevuiling van mest werd niet meegenomen, aangezien voor ammoniakemissie alleen het met urine bevuilde oppervlak van de vloer van belang is.

3.3 Data analyse

Methaan

De emissiefactor voor methaan is volgens de case-control methode berekend. Methaan is uitgedrukt in kg CH₄/dierplaats per jaar, en is als volgt berekend:

- De duplo concentratiemetingen zijn eerst gemiddeld voor verdere berekening. Echter, wanneer duplo's meer dan 15% van elkaar verschillen zijn deze metingen vergeleken met de continue data van de methaan- en koolstofdioxide-sensoren om de juiste meting te bepalen. Wanneer het verschil tussen de protocolmeting en de sensor meting binnen een verschil van 15% viel, is deze als de juiste meetwaarde aangenomen en gebruikt in de verdere analyse. Wanneer beide metingen niet overeenkwamen, is de meting uit de dataset verwijderd.
- Voor beide bedrijven (j=1, 2) werd vervolgens per meetdag (i=1, 2, ..., 6) de emissie van methaan E_{ij} (kg/dierplaats per dag) berekend op basis van de methaanconcentraties van de uitgaande lucht C_{uitij} en de ingaande lucht C_{inij}, (beide in mg/m³), het gemiddeld ventilatiedebiet V_{ij} (m³/dierplaats per dag) en de dichtheid van methaan om de concentratie (ppm) om te rekenen naar mg/m³). Vervolgens werd dit vermenigvuldigd met 24 en met 365, en 10⁻⁶ om de kg methaanemissie per dierplaats per jaar te berekenen:

$$E_{ij} = (C_{uitij} - C_{inij}) \cdot 0,667 \cdot V_{ij} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 10^{-6}$$

- Deze emissiewaarde is vervolgens vermenigvuldigd met een leegstandsfactor behorende bij de betreffende diercategorie (Tabel 16), waarna per meetdag de reductie is berekend als:

$$Reductie = 1 - (Emissie\ proef / Emissie\ controle)$$

- Op de reducties is per meting een uitbijtertest uitgevoerd om te bepalen of een gepaarde meting beschouwd moest worden als een uitbijter. Hiervoor is gebruik gemaakt van drie maal de standaarddeviatie, waarbij:

$$\text{Ondergrens} = \text{Gemiddelde reductie} - (3 * SD)$$

$$\text{Bovengrens} = \text{Gemiddelde reductie} + (3 * SD)$$

- Wanneer een meting buiten deze grenzen viel, werd deze beschouwd als uitbijter en is deze verwijderd uit de dataset (Tabel 17).
- Vervolgens is de emissiefactor voor de proef- en de controle-stal berekend door het gemiddelde te berekenen van deze dagemissies².

Ammoniak

De emissiefactor voor ammoniak is volgens de case-control methode berekend. Ammoniak is uitgedrukt in kg NH₃/dierplaats per jaar, en is als volgt berekend:

- De duplo concentratiemetingen zijn eerst gemiddeld voor verdere berekening. Echter, wanneer duplo's meer dan 15% van elkaar verschillen zijn deze metingen vergeleken met de continue data van de ammoniaksensoren om de juiste meting te bepalen. Wanneer het verschil tussen de protocolmeting en de sensor binnen een 15% verschil viel, is deze als de juiste meetwaarde aangenomen. Wanneer beide metingen niet overeenkwamen, is de meting uit de dataset verwijderd.
- Voor beide bedrijven (j=1, 2) werd vervolgens per meetdag (i=1, 2, ..., 6) de emissie van ammoniak E_{ij} (kg/dierplaats per dag) berekend op basis van de ammoniakconcentraties van de uitgaande lucht C_{uitij} en de ingaande lucht C_{inij}, (beide in mg/m³), het gemiddeld ventilatiedebiet V_{ij} (m³/dierplaats per dag) en de dichtheid van ammoniak om de concentratie (ppm) om te rekenen naar mg/m³). Vervolgens werd dit vermenigvuldigd met 24 en met 365, en gedeeld door 10⁶ om de kg ammoniakemissie per dierplaats per jaar te berekenen:

$$E_{ij} = (C_{uitij} - C_{inij}) \cdot 0,71 \cdot V_{ij} \cdot 24 \cdot 365/10^6$$

- Deze emissiewaarde is vervolgens vermenigvuldigd met een leegstandsfactor behorende bij de betreffende diercategorie (Tabel 16)), waarna per meetdag de reductie is berekend door:

$$\text{Reductie} = 1 - (\text{Emissie proef} / \text{Emissie controle})$$

- Op de reducties is per meting een uitbijtertest uitgevoerd om te bepalen of een gepaarde meting beschouwd moest worden als een uitbijter. Hiervoor is gebruik gemaakt van drie maal de standaarddeviatie, waarbij:

$$\text{Ondergrens} = \text{Gemiddelde reductie} - (3 * SD)$$

$$\text{Bovengrens} = \text{Gemiddelde reductie} + (3 * SD)$$

- Wanneer een meting buiten deze grenzen viel, werd deze beschouwd als uitbijter en is deze verwijderd uit de dataset (Tabel 17).
- Vervolgens is er een gemiddelde emissie berekend van de reducties per bedrijf, waarna een gemiddeld reducties over beide bedrijven is berekend.

² De reductie wordt in het geval van methaan niet vermenigvuldigd met een de Rav-emissiefactor voor 'Overige huisvestingsystemen', omdat deze voor methaan nog niet vastgesteld is.

- De emissiefactor is vervolgens berekend met dit reductiepercentage en de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav lijst voor de desbetreffende diercategorie:

$$\text{Emissiefactor} = \text{Bestaande Emissiefactor} \cdot (1 - \text{Reductie})$$

Vleesvarkens

De berekening van de emissiefactor voor ammoniak is voor de vleesvarkens anders berekend. Deze berekening is aangepast vanwege de verschillen met de 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav lijst en de controle afdeling op bedrijf 1. Hierdoor is er gerekend met een lagere bestaande emissiefactor van 2,5 in plaats van 3,0 kg/dierplaats per jaar. De emissiefactor is als volgt berekend:

- Voor beide bedrijven ($j=1, 2$) werd per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) de emissie van ammoniak E_{ij} (kg/dierplaats per dag) berekend op basis van de ammoniakconcentraties van de uitgaande lucht $C_{\text{uit}ij}$ en de ingaande lucht $C_{\text{in}ij}$, (beide in kg/m^3), het gemiddeld ventilatiedebiet V_{ij} ($\text{m}^3/\text{dierplaats per dag}$) en de dichtheid van ammoniak. Vervolgens werd dit vermenigvuldigd met 24 en met 365, en gedeeld door 10^6 om de kg ammoniakemissie per dierplaats per jaar te berekenen:

$$E_{ij} = (C_{\text{uit}ij} - C_{\text{in}ij}) \cdot 0,71 \cdot V_{ij} \cdot 24 \cdot 365/10^6$$

- Deze emissiewaarde is vervolgens vermenigvuldigd met een leegstandsfactor behorende bij de betreffende diercategorie (Tabel 16).
- Vervolgens is er een gemiddelde emissie berekend van de dagemissies per bedrijf per proef- en controle afdeling. Hieruit is per bedrijf de reductie berekend:

$$\text{Reductie} = 1 - (\text{Emissie Proef}/\text{Emissie Controle})$$

- Voor bedrijf 1 is een emissiefactor berekend met dit reductiepercentage en de aangepaste emissiefactor van 2,5 kg/dierplaats per jaar:

$$\text{Emissiefactor} = 2,5 \cdot (1 - \text{Reductie})$$

- Vervolgens is een emissiefactor voor bedrijf 2 berekend met dit reductiepercentage en de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav lijst:

$$\text{Emissiefactor} = \text{Bestaande Emissiefactor} \cdot (1 - \text{Reductie})$$

- Een uiteindelijke emissiefactor is hierna berekend door een gemiddelde te berekenen van de emissiefactoren van de twee bedrijven. Met behulp van deze emissiefactor is een overall reductiepercentage van het emissie reducerend systeem t.o.v. de Rav-emissiefactor voor 'Overige huisvestingsystemen' (3,0 kg/dierplaats per jaar):

$$\text{Reductie} = 1 - (\text{Emissiefactor}/3,0)$$

Tabel 16 Leegstandsfactoren per diercategorie (Groenestein and Aarnink, 2008).

Diercategorie	Leegstandsfactor
Vleesvarkens	0,97
Gespeende biggen	0,91
Kraamzeugen	0,89
Dragende zeugen	0,97

Geur

De emissiefactor voor geur is volgens de case-control methode berekend. Geur is uitgedrukt in OU_E/s per dierplaats, en is als volgt berekend:

- Van de duplometingen werd in eerste instantie een gemiddelde concentratie berekend. Voor beide bedrijven ($j=1, 2$) werd vervolgens per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) de emissie van geur aangeduid als E_{ij} , uitgedrukt als OU_E/s per dierplaats, berekend op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet V_{ij} (m^3/uur per dierplaats) en de geurconcentraties C_{ij} (OU_E/m^3) van de uitgaande stallucht:

$$E_{ij} = V_{ij} \cdot C_{uitij} / 3600$$

- Vervolgens is er per dagemissie E_{ij} de logaritmische waarden berekend van de afzonderlijke emissiewaarden met de functie $\ln(\text{emissie})$. Van deze waarden is de gemiddelde \ln -waarde per meetlocatie bepaald, waarna het gemiddelde van de twee beide bedrijven gezamenlijk is berekend op \ln -schaal. Van dit gemiddelde is vervolgens de inverse bepaald per proef- en controle afdeling voor de uitdrukking op originele schaal via de exponentiele functie $f(x) = e^x$.
- Hieruit is de reductie berekend:

$$\text{Reductie} = 1 - (\text{Inverse Proef} / \text{Inverse Controle})$$

- Op de reductie is per meting een uitbijtertest uitgevoerd om te bepalen of een gepaarde meting beschouwd moest worden als een uitbijter. Hiervoor is gebruik gemaakt van drie maal de standaarddeviatie, waarbij:

$$\text{Ondergrens} = \text{Gemiddelde reductie} - (3 * SD)$$

$$\text{Bovengrens} = \text{Gemiddelde reductie} + (3 * SD)$$

- Wanneer een meting buiten deze grenzen viel, werd deze beschouwd als uitbijter en is deze verwijderd uit de dataset (Tabel 17).
- De emissiefactor is vervolgens berekend met deze reductie en de bestaande emissiefactor van 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav lijst voor de desbetreffende diercategorie:

$$\text{Emissiefactor} = \text{Bestaande Emissiefactor} \cdot (1 - \text{Reductie})$$

Uitbijters

Tabel 17 geeft een overzicht van de afgekeurde duplometingen, uitbijters en afgekeurde metingen volgens de hierboven genoemde criteria.

Tabel 17 Afgekeurde metingen en duplo's aangegeven per meting, diercategorie en gemeten gas.

	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6
Vleesvarkens						
Methaan		Enkele meting controle afdeling op bedrijf 2 ¹	Enkele meting controle afdeling op bedrijf 1 ¹		Enkele meting proefafdeling op bedrijf 2 ¹	
Ammoniak	Meting op bedrijf 1 niet gebruikt ²	Enkele meting proefafdeling op bedrijf 2 ¹			Enkele meting proefafdeling op bedrijf 1 ¹	
Gespeende biggen						
Methaan	Meting op bedrijf 2 niet gebruikt ²	Meting op bedrijf 1 niet gebruikt ²				
Ammoniak						
Kraamzeugen						
Methaan	Enkele meting proefafdeling op bedrijf 2 ¹	Enkele meting op bedrijf 2 ¹	Meting op bedrijf 1 niet gebruikt ²	Enkele meting op bedrijf 2 ¹	Enkele meting op bedrijf 2 ¹	
Ammoniak	Meting op bedrijf 1 niet gebruikt ¹		Enkele meting proefafdeling op bedrijf 2 ¹			Meting op bedrijf 2 niet gebruikt ¹

¹ Verschil in duplo's

² Resultaat afgekeurd

Verdunningsfactor

Om na te gaan in welke mate mest en urine verdund is in het waterkanaal van het systeem, is de verdunningsfactor berekend. De verdunningsfactor is berekend door middel van onderstaande formule:

$$\text{Verdunningsfactor} = 1 / (\text{Gem. ammonium stikstof} / \text{Gem. ammonium stikstof mestkanaal})$$

4 Resultaten

Dit hoofdstuk geeft de resultaten van dit onderzoek. Paragraaf 4.1 geeft de gemeten emissies vanuit de officiële gebruikte metingen per diercategorie en per bedrijf. De gehele set met duplometingen en de verdeling over het jaar en de productiecurve zijn terug te vinden in bijlage 5 en 6. Paragraaf 4.2 geeft de gemeten emissie weer tijdens het spoelen van het systeem. Paragraaf 4.3 geeft resultaten van de vloerbevuiling in combinatie met de ammoniakemissie. Paragraaf 4.4 geeft resultaten over de verdunning in het waterkanaal en paragraaf 4.5 geeft een overzicht van continu gemeten emissies.

4.1 Emissies

De resultaten van de protocollaire emissiemetingen voor de vleesvarkens (bedrijf 1: VV1, bedrijf 2: VV2), gespeende biggen (bedrijf 1: BG1, bedrijf 2: BG2) en kraamzeugen (bedrijf 1: K1, bedrijf 2: K2) zijn weergegeven in de volgende paragrafen. Het aantal metingen en de verdeling van deze metingen over het jaar zijn terug te vinden in bijlage 2.

4.1.1 Vleesvarkens

Voor de methaanemissie is een reductiepercentage van $89,5\% \pm 5,7\%$ en een emissiefactor van 2,5 kg per dierplaats per jaar gevonden (Tabel 18). De absolute emissie voor de controle afdeling was 23,4 kg per dierplaats per jaar (VV1 22,0 kg/dpl/jr en VV2 24,9 kg/dpl/jr). De gemiddelde reductiepercentages (\pm s.d.) van beide bedrijven lieten weinig verschil zien (VV1 $86,1\% \pm 5,6\%$ en VV2 $92,5\% \pm 4,2\%$). De methaanreductie is tijdens de verschillende metingen in de meetperiode stabiel gebleven, waarbij relatief geringe variatie tussen de metingen gevonden is (Figuur 21).

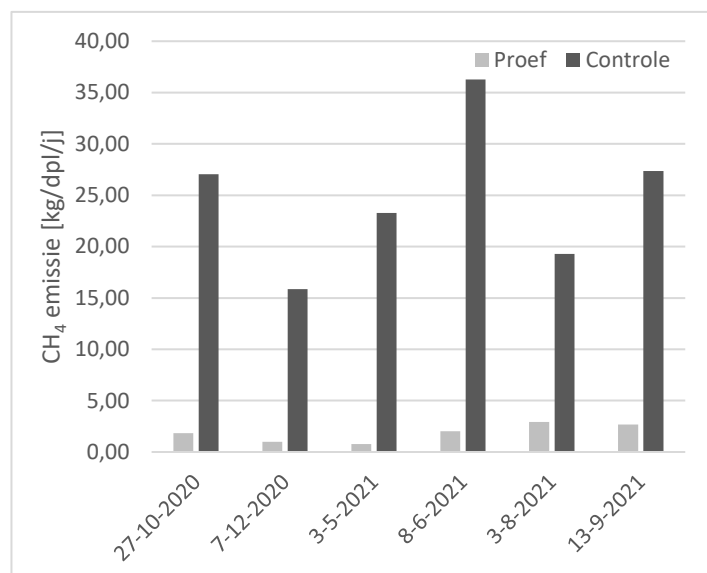
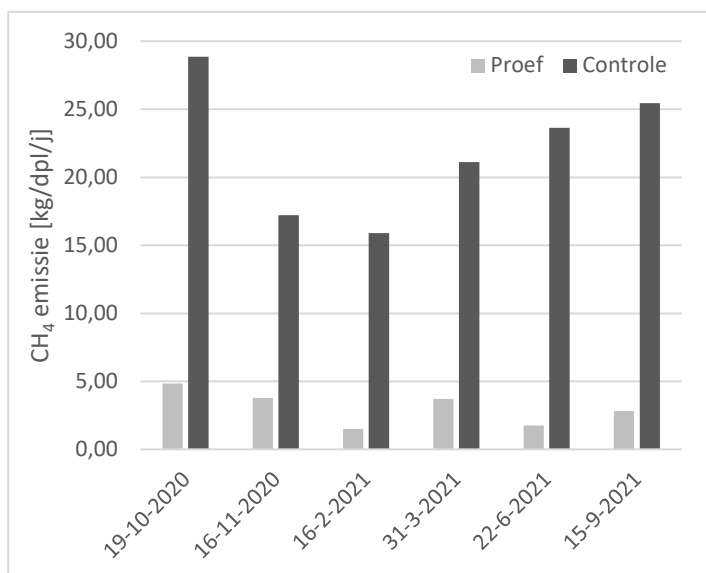
Het gemiddelde reductiepercentage voor beide bedrijven was $53,7\% \pm 24,7\%$ voor ammoniak met een emissiefactor van 1,3 kg per dierplaats per jaar. Wanneer deze overall emissie wordt vergeleken met de categorie 'Overige huisvestingsystemen' van de Rav-lijst, is er een gemiddelde reductie van 56,8%. Tussen beide bedrijven is een duidelijk verschil gevonden in het reductiepercentage waarbij voor VV1 een gemiddelde reductie werd gevonden van $62,7\% \pm 7,4\%$ en bij VV2 van $44,7\% \pm 31,6\%$. De ammoniakemissie verschilde over de tijd, waarbij het reductiepercentage tijdens de metingen in mei, juni en september 2021 lager is dan eerdere metingen (Figuur 22). Deze metingen zijn allemaal uitgevoerd bij VV2. Tijdens die metingen werd een temperatuur in de afdeling gemeten van $23,8^{\circ}\text{C}$, $25,6^{\circ}\text{C}$ en $23,7^{\circ}\text{C}$. Bij de overige metingen is een gemiddelde afdelingstemperatuur gemeten van $21,7^{\circ}\text{C}$. Daarnaast werd op deze dagen een oppervlaktetemperatuur van de mest gemeten van $26,4^{\circ}\text{C}$, $29,0^{\circ}\text{C}$ en $29,6^{\circ}\text{C}$, terwijl bij de overige metingen een gemiddelde temperatuur van $23,3^{\circ}\text{C}$ gemeten is.

Voor de geuremissie was het reductiepercentage $28,3\% \pm 40,5\%$ met een emissiefactor van 16,5 OU_E/s per dierplaats per jaar. Er was een verschil in reductiepercentage tussen de bedrijven, met een reductie van $44,2\% \pm 39,1\%$ bij VV1 en een reductie van $7,9\% \pm 39,9\%$ bij VV2. De geuremissie verschilde gedurende de gehele meetperiode (Figuur 23), zowel tussen metingen als tussen bedrijven. Hogere geuremissies zijn te zien in de proefafdelingen bij de metingen in september, zowel bij VV1 als VV2. De temperatuur in de proefafdeling was $23,7^{\circ}\text{C}$ en $23,3^{\circ}\text{C}$. De temperatuur van de mest was $29,6^{\circ}\text{C}$ en $28,0^{\circ}\text{C}$.

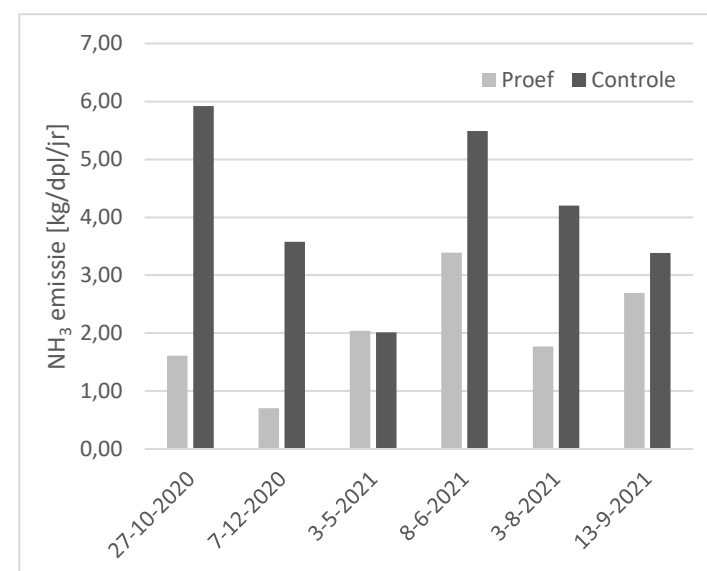
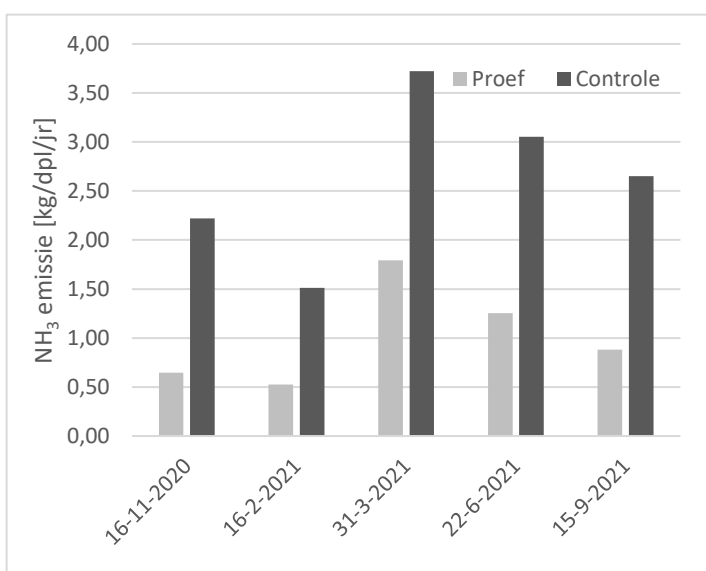
Klimaatgegevens laten zien dat de gemiddelde temperatuur in de proefafdeling $2,8^{\circ}\text{C}$ hoger lag bij VV2 in vergelijking met VV1.

Tabel 18 Gemiddelde waarden (tussen haakjes de standaard deviatie) voor de vleesvarkens van de temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (%), ventilatiedebiet (m³/h), de methaan- en ammoniakemissie (kg/dpl/j) en de geuremissie (OU_E/s). Alle variabelen zijn opgesplitst per bedrijf (VV1 en VV2) en vervolgens weergegeven als totaal. Per bedrijf en als totaal zijn de reductiepercentages gegeven tussen proef en controle, en is de uiteindelijke emissiefactor gegeven.

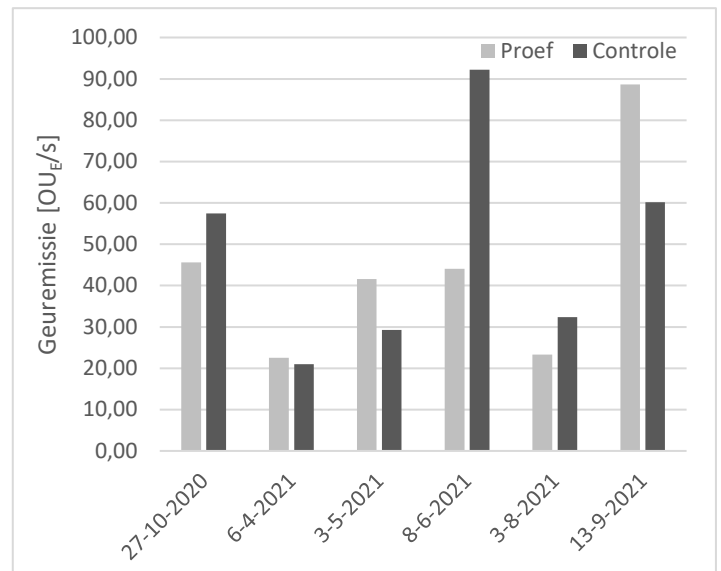
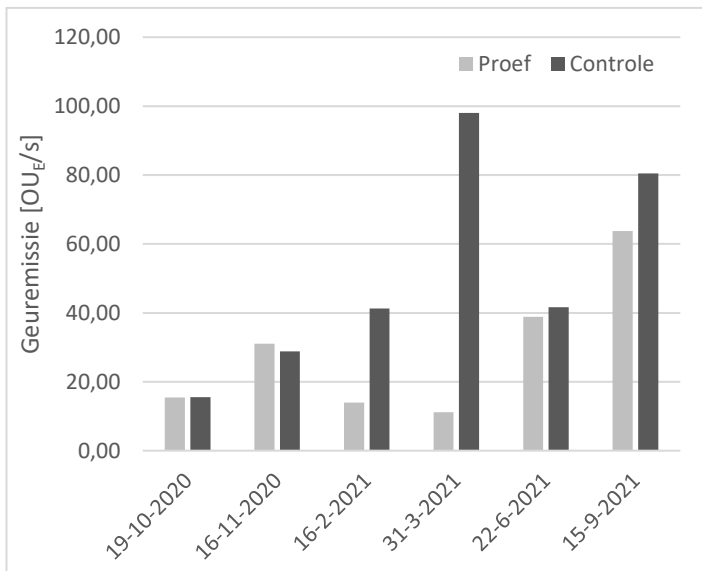
Component	VV1			VV2			Totaal			Emissiefactor	
	Proef	Controle	Reductie	Proef	Controle	Reductie	Proef	Controle	Reductie		Reductie t.o.v. Rav
Temperatuur	21,3 (1,7)	23,4 (0,67)	-	23,1 (2,00)	23,8 (1,8)	-	22,2 (2,0)	23,6 (1,3)	-	-	-
Relatieve luchtvochtigheid	67,3 (5,9)	66,8 (5,4)	-	61,2 (5,4)	68,8 (3,9)	-	64,3 (6,3)	67,8 (4,6)	-	-	-
Ventilatiedebiet	42,5 (7,3)	39,2 (18,4)	-	35,5 (11,7)	34,3 (11,4)	-	39,0 (10,0)	36,8 (14,8)	-	-	-
Methaan (kg/dpl/j)	3,1 (1,3)	22,0 (5,0)	86,1% (5,6%)	1,9 (0,87)	24,9 (7,2)	92,5% (4,2%)	2,5 (1,2)	23,4 (6,1)	89,5% (5,7%)	-	2,5
Ammoniak (kg/dpl/j)	1,0 (0,51)	2,63 (0,83)	62,7% (7,4%)	2,0 (0,93)	4,1 (1,4)	44,7% (31,6%)	1,6 (0,90)	3,4 (1,4)	53,7% (24,7%)	56,8%	1,3
Geur (OU _E /s)/dpl	23,8 (20,2)	42,7 (31,7)	44,2% (39,1%)	39,6 (24,0)	43,0 (26,5)	7,9% (39,9%)	30,7 (22,6)	42,9 (27,9)	28,3% (40,5%)	-	16,5



Figuur 21 Methaanemissie (kg/dpl/j) van de gemeten proef- en controle afdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: VV1. Rechts: VV2.



Figuur 22 Ammoniakemissie (kg/dpl/jr) van de gemeten proef- en controle afdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: VV1. Rechts: VV2.



Figuur 23 Geuremissie (OU_E/s)/dpl van de gemeten proef- en controle afdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: VV1. Rechts: VV2.

4.1.2 Gespeende biggen

Voor de methaanemissie was het reductiepercentage $92,7\% \pm 13,7\%$ (BG1 $102,5\% \pm 6,5\%$ en BG2 $80,0\% \pm 6,1\%$) met een emissiefactor van 0,80 kg per dierplaats per jaar (Tabel 19). De absolute emissie voor de controle afdeling was 10,9 kg per dierplaats per jaar (BG1 12,3 kg/dpl/jr en BG2 9,6 kg/dpl/jr).

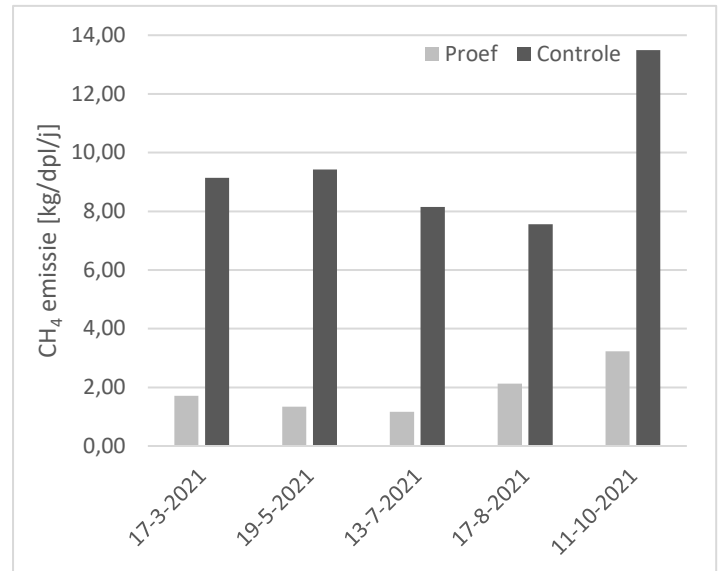
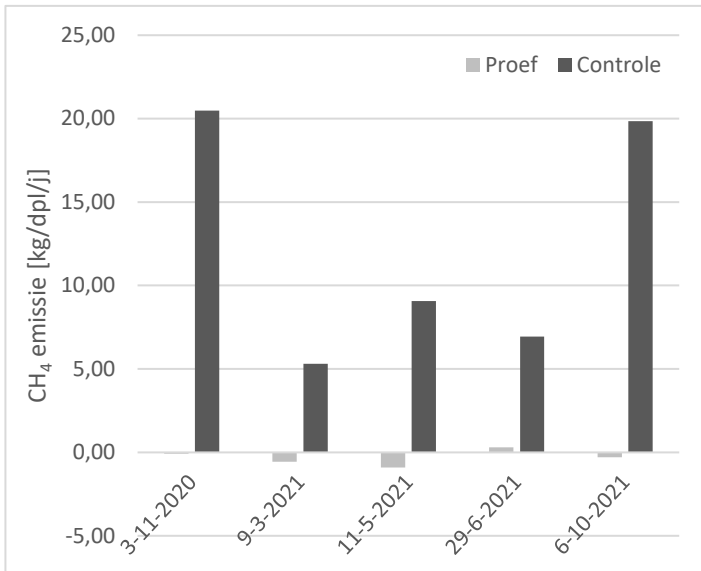
Voor de ammoniakemissie was het reductiepercentage $69,2\% \pm 42,0\%$ met een emissiefactor van 0,21 kg per dierplaats per jaar. Grote verschillen zijn gevonden tussen de bedrijven, met een reductie van $94,4\% \pm 39,9\%$ bij BG1 en $44,0\% \pm 27,6\%$ bij BG2. Naast de verschillen in reductiepercentage tussen bedrijven, daalde het reductiepercentage voor ammoniak bij BG2 over het verloop van de meetperiode van 78% naar 32%. Voor zowel de methaan- als ammoniakemissies zijn er negatieve waarden gevonden bij BG1 (Figuur 24 en 25).

BG2 had hogere ammoniakemissies tijdens de metingen in mei, juli, augustus en oktober, waarbij de emissie in juli hoger was in de proefafdeling dan in de controleafdeling. Tijdens deze meting is er een ammoniumgehalte van 4,3 g/kg in zowel de waterpan als de mestpan gevonden. De oppervlaktetemperatuur van de vloeistof in het waterkanaal was op die dag $31,3^{\circ}\text{C}$ en de temperatuur in de mestpan $31,7^{\circ}\text{C}$. De oppervlaktetemperatuur van de mest in de controle afdeling was $30,1^{\circ}\text{C}$.

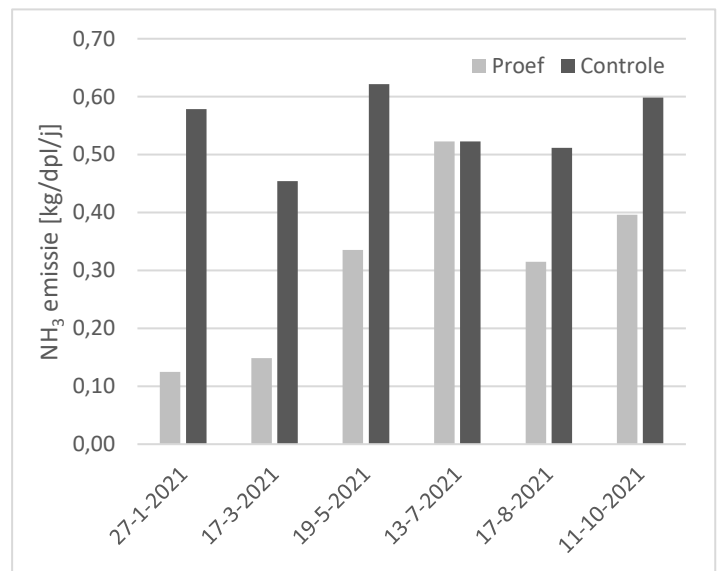
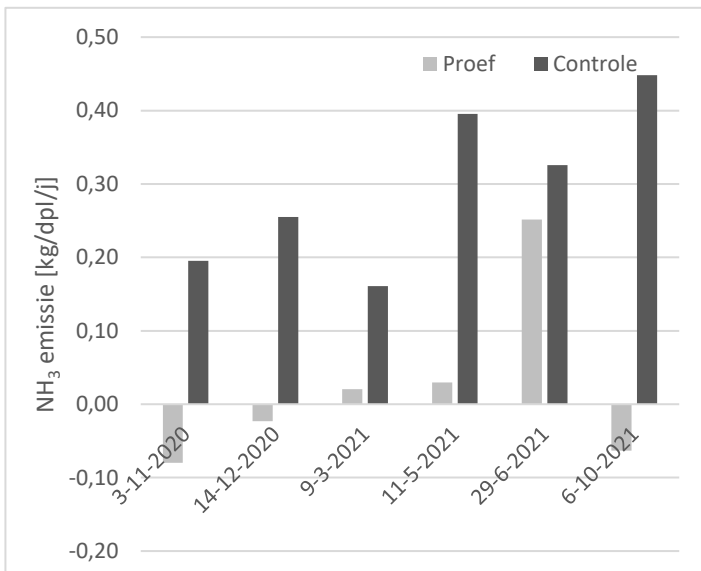
Voor de geuremissie was het reductiepercentage $-2,3\% \pm 103,1\%$ met een emissiefactor van 8,0 OU_E/s per dierplaats per jaar. Er zijn grote verschillen tussen bedrijven gevonden, met een reductie van $39,0\% \pm 46,5\%$ bij BG1 en een reductie van $-71,5\% \pm 102,7\%$ bij BG2. De geuremissie verschilde gedurende de gehele meetperiode (Figuur 26), zowel tussen metingen als tussen bedrijven. De controleafdeling bij BG2 had bij vier metingen een lagere geuremissie dan de proefafdeling. De temperatuurmetingen van de mest laten zien dat de gemiddelde mesttemperatuur in de proefafdeling van BG2 $5,3^{\circ}\text{C}$ hoger lag dan in de proefafdeling van BG1.

Tabel 19 Gemiddelde waarden (tussen haakjes de standaard deviatie) voor de gespeende biggen van de temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (%), ventilatiedebiet (m³/h), de methaan- en ammoniakemissie (kg/dpl/j) en de geuremissie (OU_E/s). Alle variabelen zijn opgesplitst per bedrijf (BG1 en BG2) en vervolgens weergegeven als totaal. Per bedrijf en als totaal zijn de reductiepercentages gegeven tussen proef en controle, en is de uiteindelijke emissiefactor weergegeven.

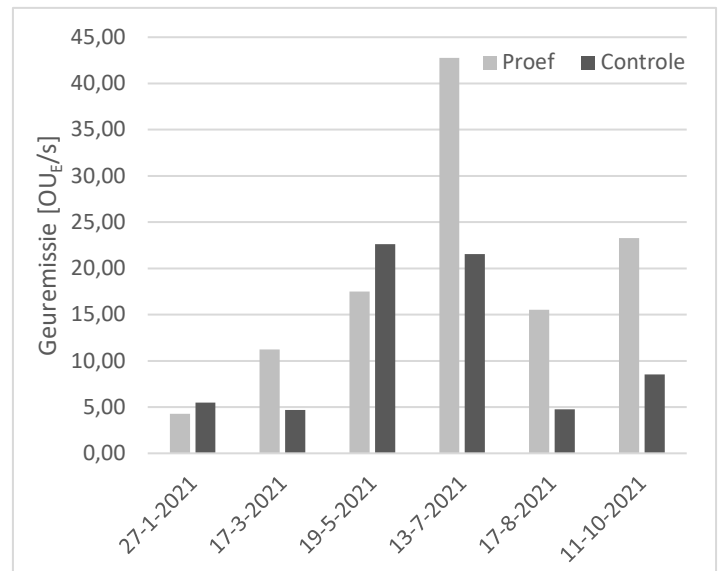
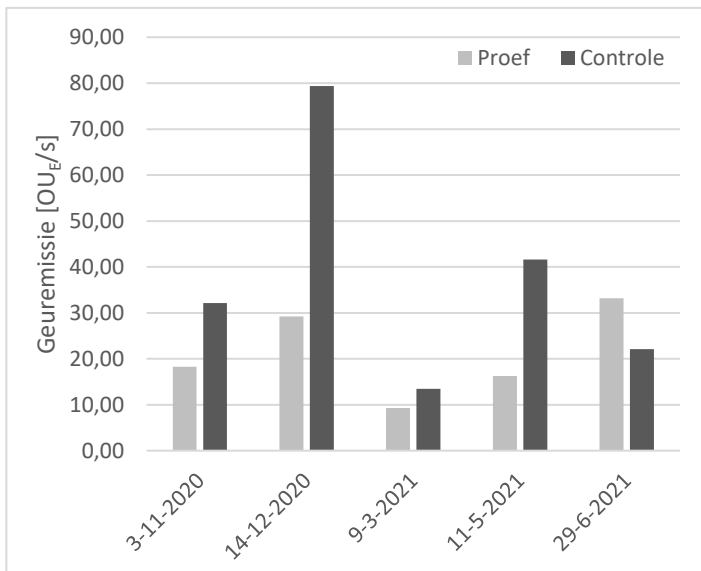
Component	BG1			BG2			Totaal			Emissiefactor
	Proef	Controle	Reductie	Proef	Controle	Reductie	Proef	Controle	Reductie	
Temperatuur	26,4 (1,4)	27,3 (1,1)	-	26,2 (0,51)	26,3 (0,56)	-	26,3 (1,0)	26,8 (0,99)	-	-
Relatieve luchtvochtigheid	60,1 (3,7)	60,9 (3,8)	-	65,1 (5,6)	67,7 (5,3)	-	62,6 (5,2)	64,3 (5,6)	-	-
Ventilatiedebiet	14,0 (4,8)	14,5 (6,7)	-	7,3 (3,9)	6,5 (4,1)	-	10,7 (5,5)	10,5 (6,8)	-	-
Methaan (kg/dpl/j)	-0,31 (0,46)	12,3 (7,3)	102,5% (6,5%)	1,9 (0,82)	9,6 (2,3)	80,0% (6,1%)	0,80 (1,3)	10,9 (5,3)	92,7% (13,7%)	0,80
Ammoniak (kg/dpl/j)	0,02 (0,12)	0,30 (0,11)	94,4% (39,9%)	0,31 (0,15)	0,55 (0,06)	44,0% (27,6%)	0,16 (0,20)	0,42 (0,16)	69,2% (42,0%)	0,21
Geur (OU _E /s)/dpl	19,3 (9,8)	31,6 (25,6)	39,0% (46,5%)	15,3 (13,2)	8,9 (8,5)	-71,5% (102,7%)	17,2 (11,3)	16,8 (22,1)	-2,3% (103,1%)	8,0



Figuur 24 Methaanemissie (kg/dpl/j) van de gemeten proef- en controle afdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: BG1. Rechts: BG2.



Figuur 25 Ammoniakemissie (kg/dpl/j) van de gemeten proef- en controle afdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: BG1. Rechts: BG2.



Figuur 26 Geuremissie (OU_E/s)/dpl van de gemeten proef- en controle afdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: BG1. Rechts: BG2.

4.1.3 Kraamzeugen

Voor de methaanemissie was het reductiepercentage $86,8\% \pm 8,2\%$ met een emissiefactor van 7,9 kg per dierplaats per jaar (Tabel 20). De absolute emissie voor de controle afdeling was 59,9 kg per dierplaats per jaar (K1 69,4 kg/dpl/jr en K2 50,4 kg/dpl/jr). Er was verschil in reductiepercentage tussen de bedrijven, met een reductie van $92,4\% \pm 3,1\%$ bij K1 en een reductie van $79,1\% \pm 4,8\%$ bij K2. De methaanreductie is tijdens de verschillende metingen in de meetperiode stabiel gebleven, waarbij weinig verschil tussen de metingen gevonden is (Figuur 27).

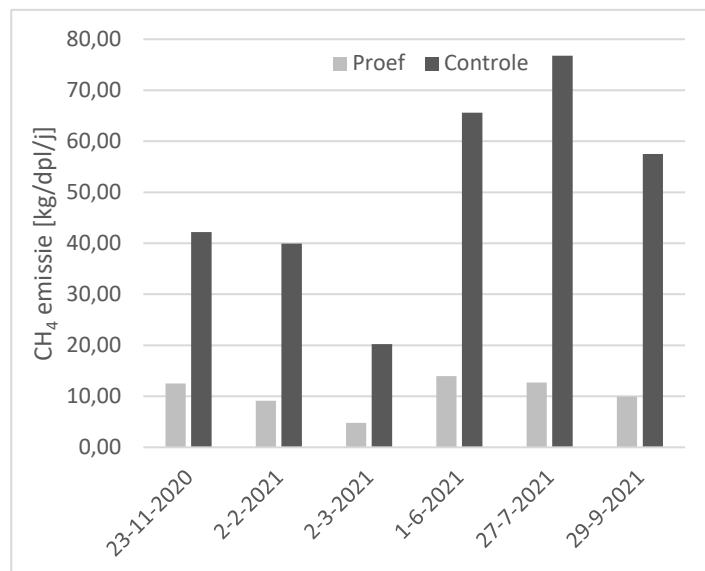
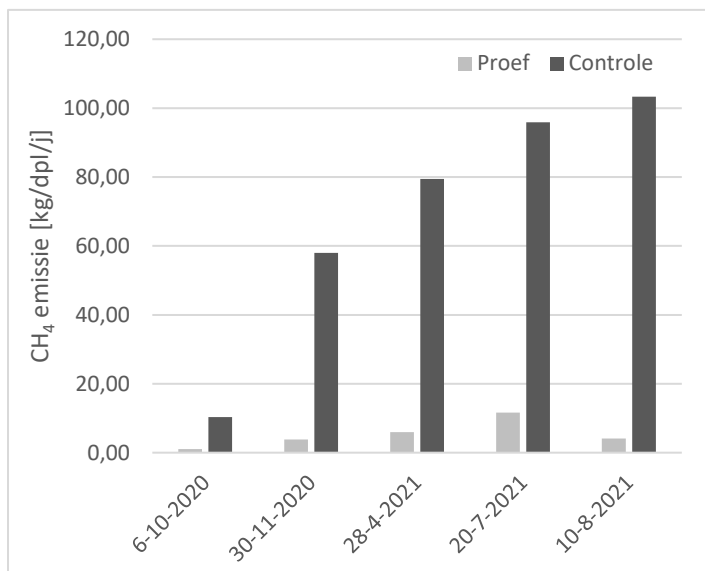
Voor de ammoniakemissie was het reductiepercentage $51,0\% \pm 28,1\%$ (K1 $52,2\% \pm 30,8\%$ en K2 $49,9\% \pm 27,9\%$) met een emissiefactor van 4,1 kg per dierplaats per jaar. Bij K1 is bij een meting in april voorgekomen dat de proefafdeling een hogere ammoniakemissie had dan de controleafdeling (7,0 kg/dpl/j vs 6,4 kg/dpl/j) en hierdoor een negatief reductiepercentage van $-9,6\%$ (Figuur 28). Deze meting is uitgevoerd aan het eind van de ronde. Bij een meting aan het eind van de ronde bij K2 werd een reductiepercentage van 17,4% behaald (5,6 kg/dpl/j vs 6,8 kg/dpl/j).

Voor de geuremissie was de reductie $-5,4\% \pm 59,4\%$ (K1 $-1,3\% \pm 39,0\%$ & K2 $-9,6\% \pm 77,7\%$) met een emissiefactor van 29,4 OU_E/s per dierplaats per jaar. De geurreductie verschilde gedurende de gehele meetperiode (Figuur 29), zowel tussen metingen als tussen bedrijven.

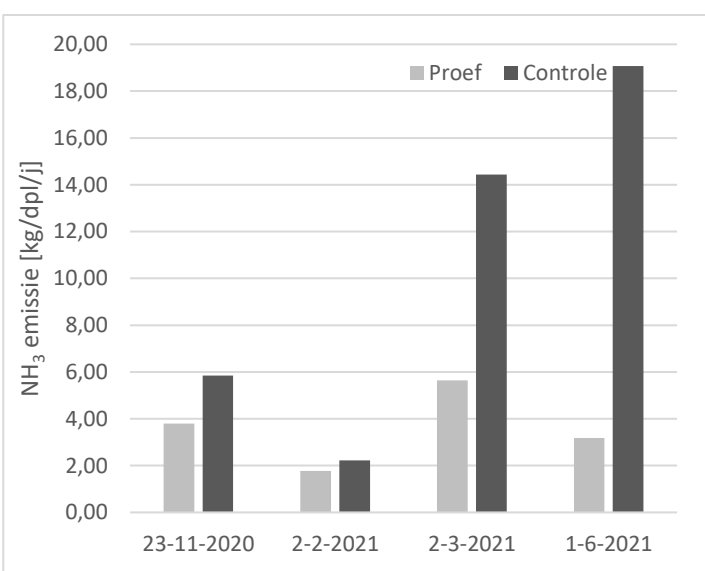
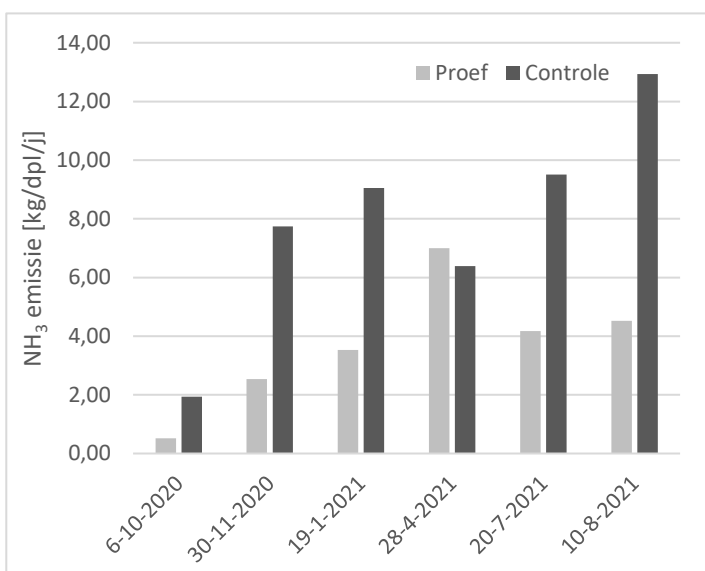
Klimaatgegevens laten zien dat er een lagere gemiddelde temperatuur in de afdelingen was bij K2 in vergelijking met K1 ($27,9^{\circ}\text{C}$ vs $24,7^{\circ}\text{C}$ en $27,1^{\circ}\text{C}$ vs $24,2^{\circ}\text{C}$).

Tabel 20 Gemiddelde waarden (tussen haakjes de standaard deviatie) voor de kraamzeugen van de temperatuur (°C), relatieve luchtvochtigheid (%), ventilatiedebiet (m³/h), de methaan- en ammoniakemissie (kg/dpl/j) en de geuremissie (OU_E/s). Alle variabelen zijn opgesplitst per bedrijf (K1 en K2) en vervolgens weergegeven als totaal. Per bedrijf en als totaal zijn de reductiepercentages gegeven tussen proef en controle, en is de uiteindelijke emissiefactor weergegeven.

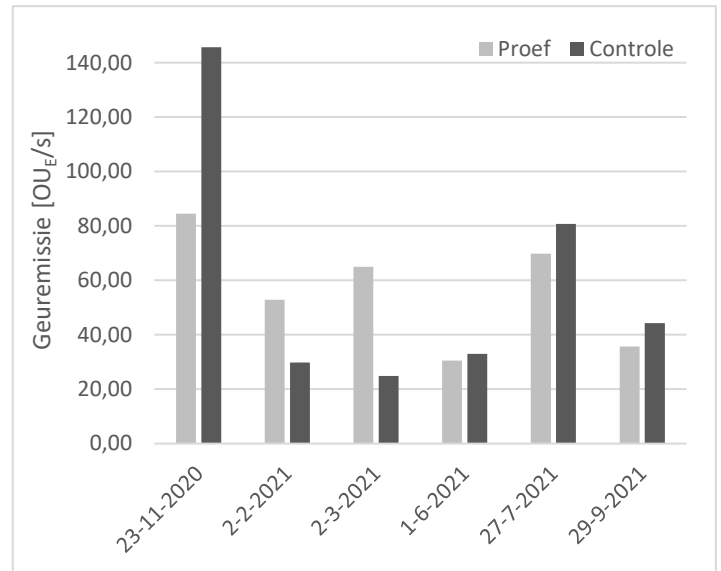
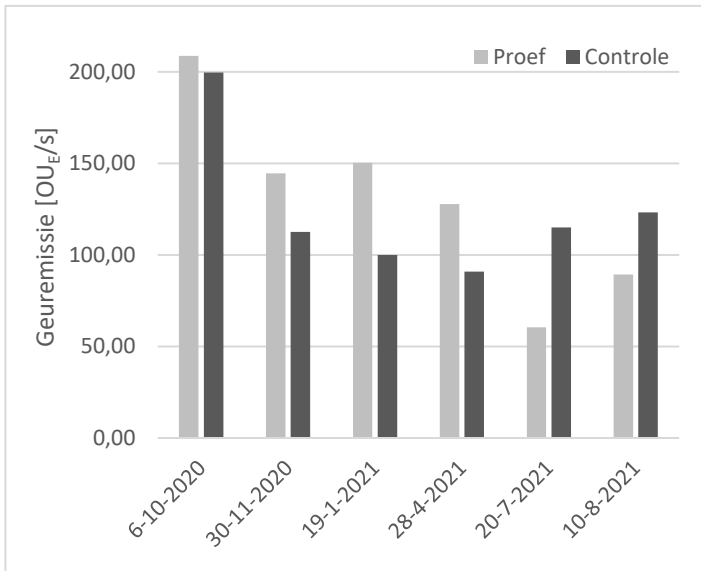
Component	K1			K2			Totaal			Emissiefactor
	Proef	Controle	Reductie	Proef	Controle	Reductie	Proef	Controle	Reductie	
Temperatuur	27,9 (1,4)	27,1 (1,4)	-	24,7 (1,8)	24,2 (2,0)	-	26,3 (2,3)	25,6 (2,3)	-	-
Relatieve luchtvochtigheid	52,4 (6,4)	59,5 (6,3)	-	63,6 (11,1)	70,2 (9,7)	-	58,0 (10,4)	64,9 (9,6)	-	-
Ventilatiedebiet	133,5 (66,1)	116,3 (61,8)	-	115,8 (57,8)	139,1 (72,6)	-	124,7 (59,9)	127,7 (65,4)	-	-
Methaan (kg/dpl/j)	5,3 (4,0)	69,4 (37,3)	92,4% (3,1%)	10,5 (3,3)	50,4 (20,3)	79,1% (4,8%)	7,9 (4,4)	59,9 (29,4)	86,8% (8,2%)	7,9
Ammoniak (kg/dpl/j)	3,7 (2,2)	7,9 (3,7)	52,2% (30,8%)	3,6 (1,6)	10,4 (7,7)	49,9% (27,9%)	3,7 (1,9)	9,2 (5,4)	51,0% (28,1%)	4,1
Geur (OU _E /s)/dpl	121,0 (51,6)	119,4 (39,0)	-1,3% (39,0%)	53,0 (20,8)	48,3 (46,7)	-9,6% (77,7%)	80,0 (53,8)	76,0 (52,8)	-5,4% (59,4%)	29,4



Figuur 27 Methaanemissie (kg/dpl/j) van de gemeten proef- en controleafdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: K1. Rechts: K2.



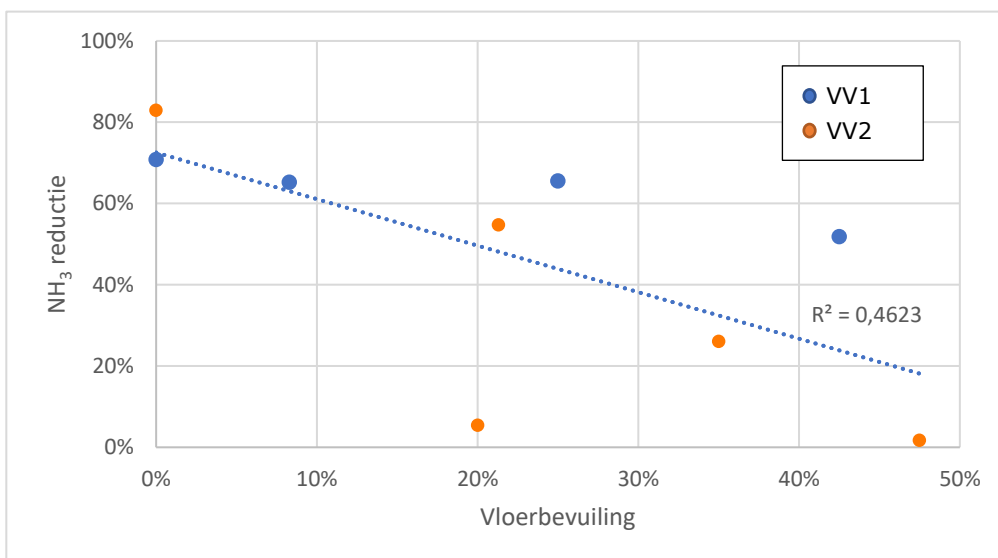
Figuur 28 Ammoniakemissie (kg/dpl/j) van de gemeten proef- en controleafdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: K1. Rechts: K2.



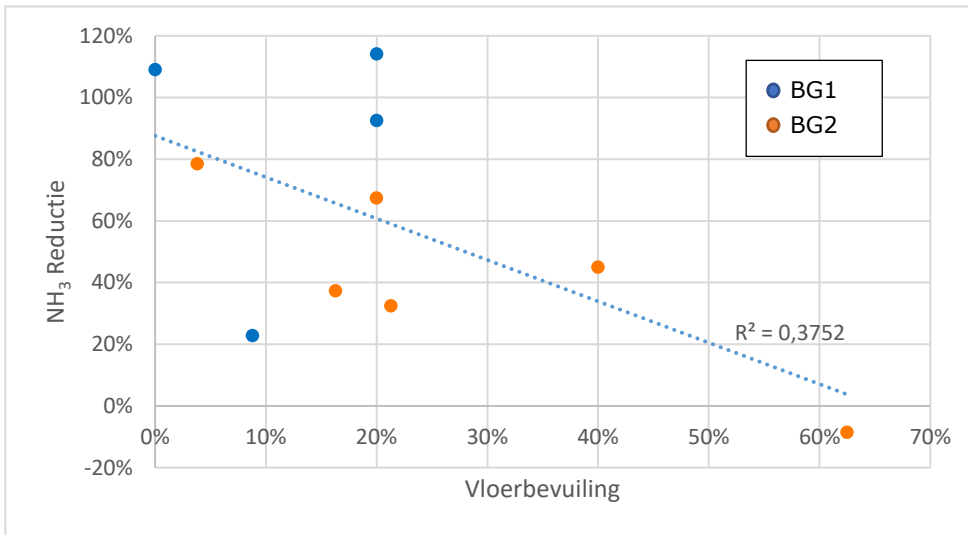
Figuur 29 Geuremissie (OU_E/s)/dpl van de gemeten proef- en controleafdeling weergegeven per gebruikte protocolmeting. Links: K1. Rechts: K2.

4.2 Vloerbevuiling

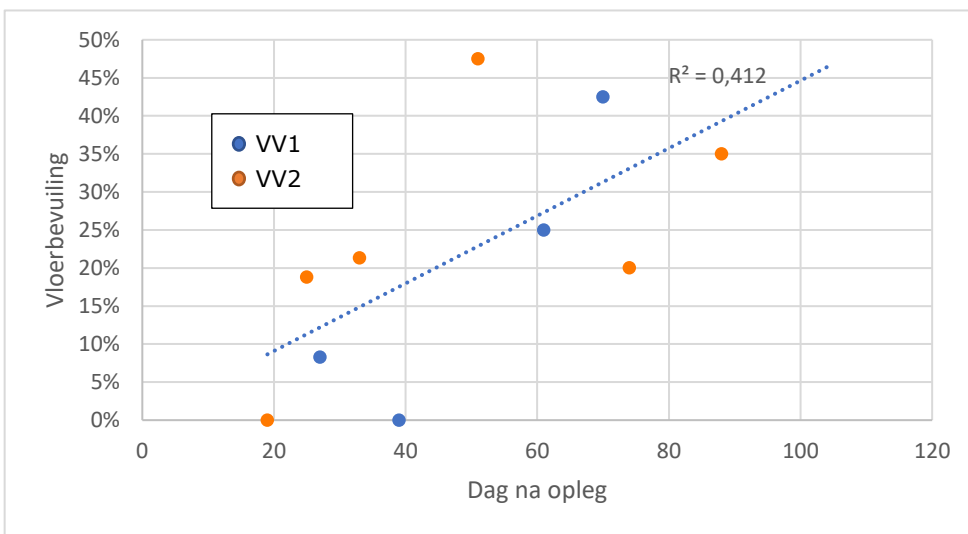
De vloerbevuiling (percentage van het dichte vloeroppervlak bevuild met urine) is gescoord bij zowel de vleesvarkens als gespeende biggen (Figuur 30 en 31). Beide figuren laten een afname zien in reductie van ammoniak bij een oplopend percentage vloerbevuiling. Bij de vleesvarkens is bij 47,5% vloerbevuiling een ammoniakreductie van 1,7%. Bij de gespeende biggen is een negatieve reductie van -8,5% bij een vloerbevuiling van 62,5%. Hogere vloerbevuilingpercentages werden gescoord in warmere maanden gedurende het jaar (mei - september). Opgemerkt moet worden dat het effect zoals getoond in deze grafieken waarschijnlijk niet alleen werd veroorzaakt door vloerbevuiling maar ook door andere verschillen die verstrengeld waren met vloerbevuiling. Bedrijf 2 had bijvoorbeeld meer vloerbevuiling, maar o.a. ook een geringere verdunning van het waterkanaal. Daarnaast loopt de vloerbevuiling op met de dag na opleg voor zowel vleesvarkens als gespeende biggen (Figuur 32 en 33).



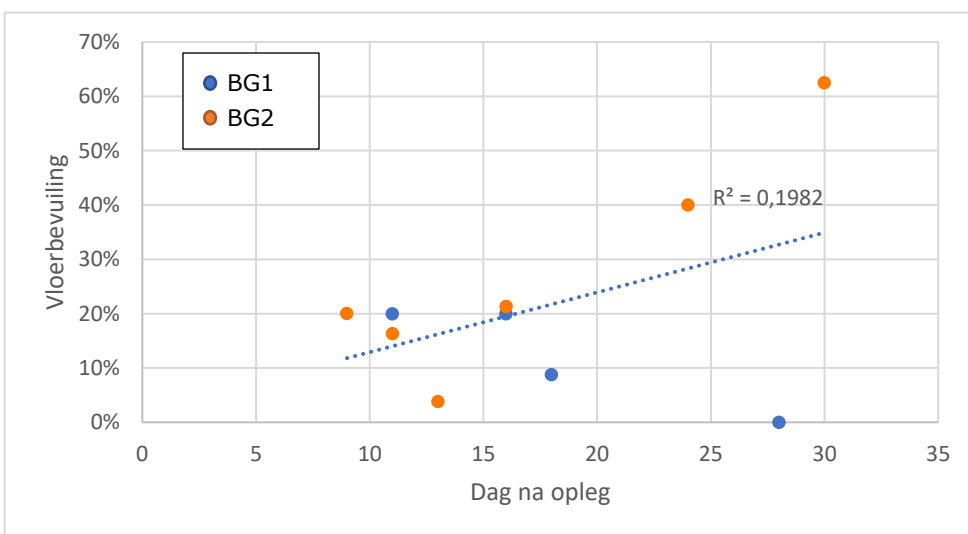
Figuur 30 De relatie tussen vloerbevuiling (%) in de proefafdeling van de vleesvarkens en het reductiepercentage van ammoniak



Figuur 31 De relatie tussen vloerbevuiling (%) in de proefafdeling van de gespeende biggen en het reductiepercentage van ammoniak



Figuur 32 De relatie tussen vloerbevuiling (%) in de proefafdeling van de vleesvarkens en de dag na opleg in de afdeling.



Figuur 33 De relatie tussen vloerbevuiling (%) in de proefafdeling van de gespeende biggen en de dag na opleg in de afdeling.

4.3 Verdunning met water

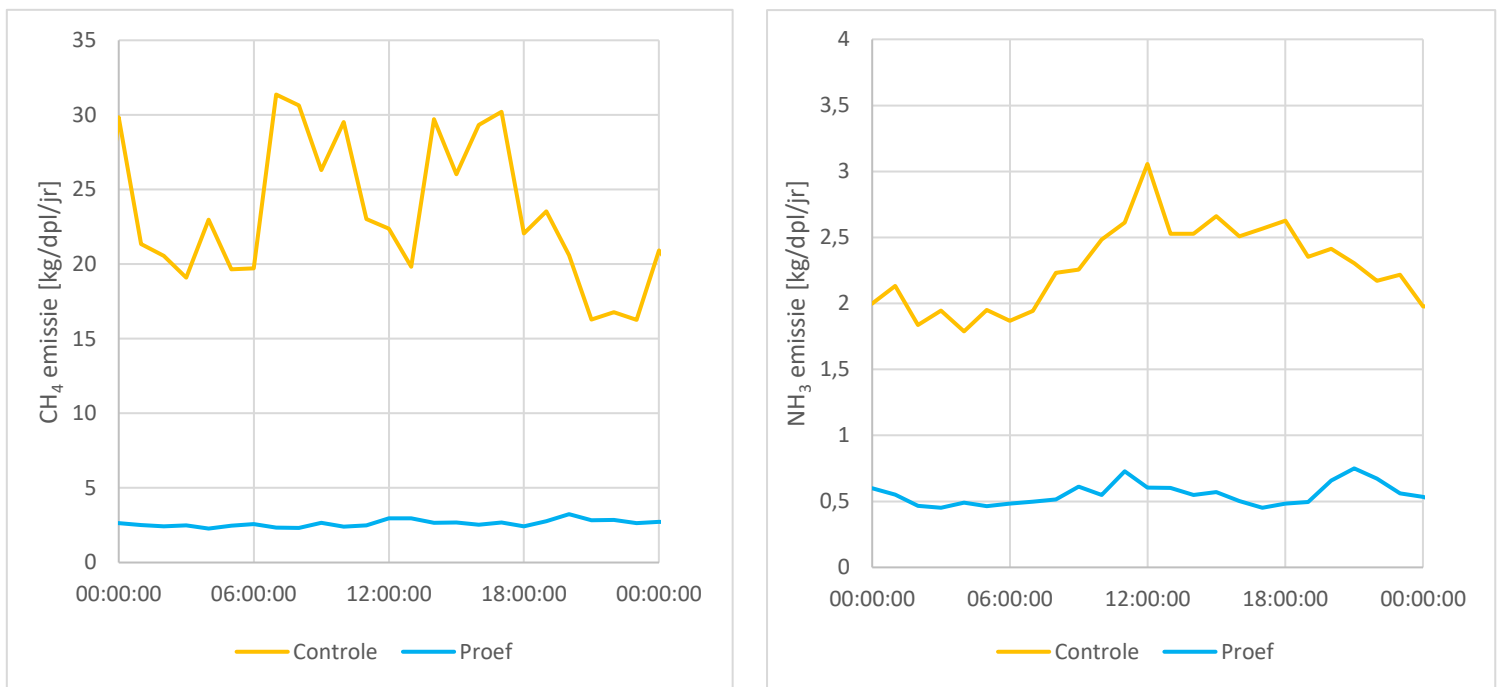
In tabel 21 worden de gemiddelde ammoniumgehalten en pH's gegeven voor het water en de mest in de goten en pannen. Daarnaast wordt de berekende verdunningsfactor gegeven vanuit het waterkanaal. De gemiddeld berekende verdunningsfactor bij de vleesvarkens was 1,5 en bij de gespeende biggen 1,1. Bij deze diercategorieën is hierdoor weinig tot geen verdunning toegepast. Bij de kraamzeugen was er een verdunningsfactor van 2,8.

Tabel 21 Gemiddelde ammoniumgehalten (g/kg) en pH in het waterkanaal en mestgoot/mestpan, en de verdunningsfactor vanuit het waterkanaal per diercategorie.

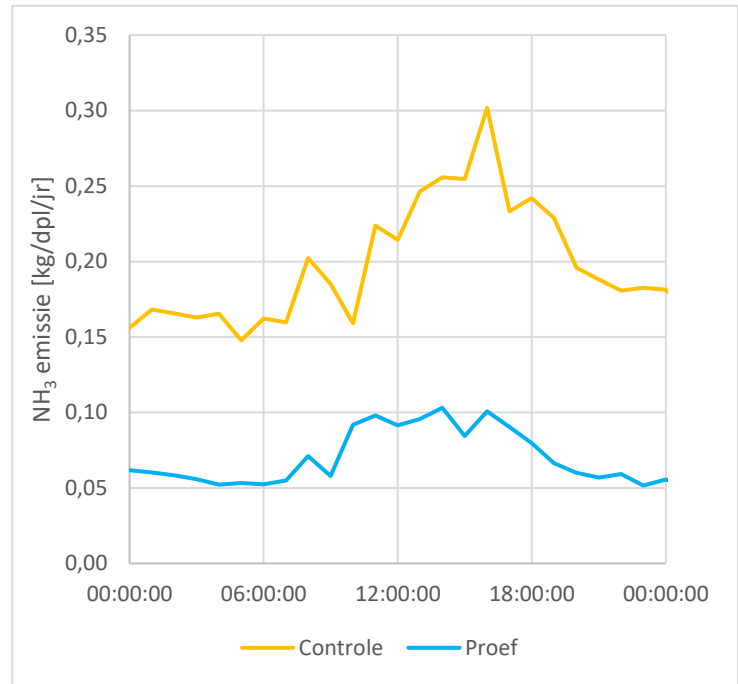
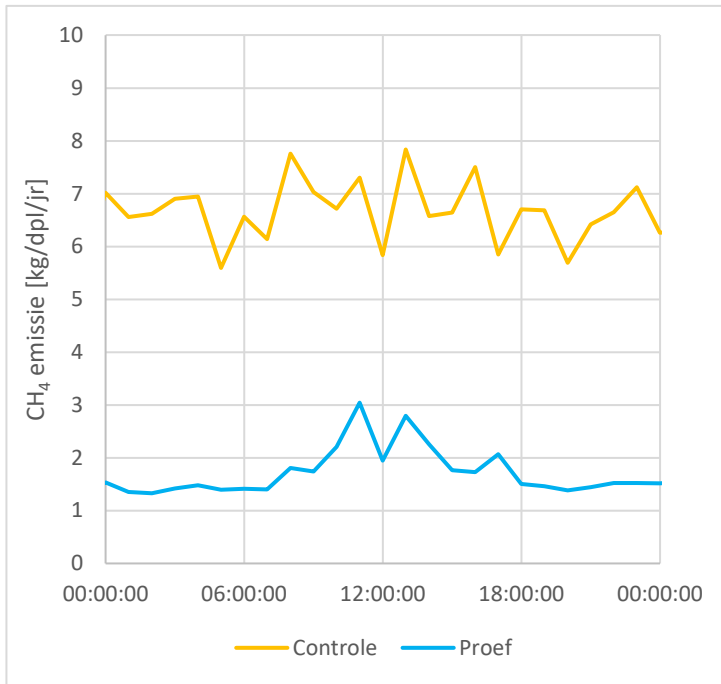
	Ammoniumgehalte		Verdunningsfactor	pH	
	Waterkanaal	Mestgoot/pan		Waterkanaal	Mestgoot
Vleesvarkens	2,9	4,2	1,5	7,0	7,7
Gespeende biggen	2,1	2,1	1,1	5,9	6,4
Kraamzeugen	0,5	1,6	2,8	7,6	8,0

4.4 Continue emissiemetingen

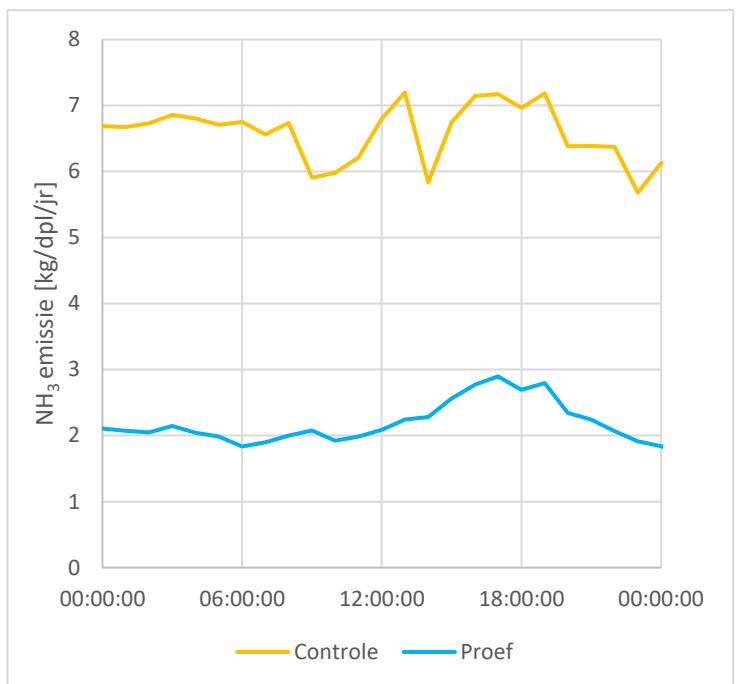
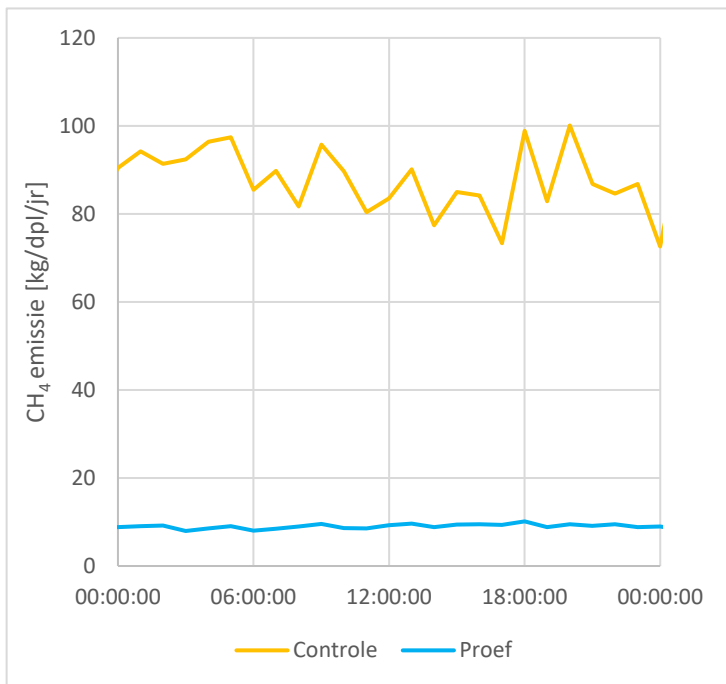
Tijdens de gehele meetperiode zijn de concentraties van methaan en ammoniak continu gemeten. Figuur 34 t/m 36 geven uurgemiddelden weer van de methaan- en ammoniakemissies van de verschillende diercategorieën. Deze figuren geven voorbeelden dagverlopen van gemeten emissies op één dag. De sensoren zijn gebruikt om dagelijks inzicht te krijgen in de concentraties en emissies, zodat fouten van het systeem inzichtelijk gemaakt konden worden en deze hersteld konden worden. Daarnaast zijn dagpatronen inzichtelijk gemaakt om piekmomenten binnen een dag in beeld te krijgen. De dagpatronen van de methaan- en ammoniakemissie laten bij de proefafdeling een grotendeels stabiele lijn zien in vergelijking met de controleafdeling. De controleafdeling laat meer binnen-dag-variatie in emissies zien.



Figuur 34 Uurgemiddelden van de continu gemeten methaanemissie (kg/dpl/jr)(links) en ammoniakemissie (kg/dpl/jr)(rechts) bij de controle- en proefafdeling van de vleesvarkens. Weergegeven is een dagverloop van de emissie op één dag. Deze emissies zijn gemeten op 15-08-2021 op bedrijf 1, op dag 24 in de productieronde.



Figuur 35 Uur gemiddelden van de continu gemeten methaanemissie (kg/dpl/j)(links) en ammoniakemissie (kg/dpl/j)(rechts) bij de controle- en proefafdeling van de gespeende biggen. Weergegeven is een dagverloop van de emissie op één dag. Deze emissies zijn gemeten op 15-03-2021 op bedrijf 1, op dag 18 in de productieronde.



Figuur 36 Uurgemiddelden van de continu gemeten methaanemissie (kg/dpl/j)(links) en ammoniakemissie (kg/dpl/j)(rechts) bij de controle- en proefafdeling van de kraamzeugen. Weergegeven is een dagverloop van de emissie op één dag. Deze emissies zijn gemeten op 24-05-2021 op bedrijf 1, op dag 10 in de productieronde.

5 Discussie

In het onderzochte systeem met dagontmesting is een belangrijke doelstelling om het stalklimaat te verbeteren via brongerichte maatregelen om de emissies van zowel methaan, ammoniak en geur te reduceren, zodat de werkomgeving van de veehouder en de leefomgeving van de varkens sterk wordt verbeterd. Het was tegelijkertijd de doelstelling om te voldoen aan de ammoniakreductie eisen gesteld door de provincie Noord-Brabant.

Methaanemissie

Voorafgaand aan dit onderzoek was de verwachting dat alle diercategorieën 90% methaanemissie uit de mest zouden weten te reduceren met dit systeem. Dit betekent een methaanreductie van ca. 80% op stalniveau, bij een veronderstelde enterische methaanproductie van ca. 10% van de referentiewaarde. Er is aangetoond dat het systeem daadwerkelijk een hoge methaanreductie weet te realiseren, zelfs hoger dan verwacht, namelijk gemiddeld 89,7% voor vleesvarkens, gespeende biggen en kraamzeugen. Door het dagelijks verwijderen van de mest kan de anaerobe omzetting van organische stof in de mest niet plaatsvinden (Mosquera et al., 2012), waardoor methaan niet de mogelijkheid krijgt om zich te vormen. De methaanproductie in de afdeling is hierdoor met dit systeem relatief simpel terug te dringen en deze productie kan verplaatst worden naar een vergister. Vanuit een integraal perspectief geeft dit voordelen, aangezien deze mest vervolgens weer gebruikt kan worden voor de omzetting naar biogas (Casu and Verdoes, 2021). Het is momenteel geen wettelijk vereiste in de varkenshouderij om methaan te reduceren. Vanuit de overheid is nu wel de intentie om broeikasgassen integraal terug te dringen en veehouders hiervoor mogelijkheden te bieden. De mogelijkheid om methaan via deze brongerichte maatregel te reduceren is dus een positieve ontwikkeling als toekomstperspectief, aangezien luchtwassers deze mogelijkheid niet bieden.

Ammoniakemissie

De ammoniakreductie is lager uitgevallen dan van tevoren is berekend aan de hand van modellen (Aarnink et al., 2018a). Er was met het model berekend dat de ammoniakreductie voor vleesvarkens en gespeende biggen op respectievelijk 85% en 88% uit zou komen. Echter, zoals in par. 2.2 is aangegeven zijn er een aantal, met redenen onderbouwde, aanpassingen gedaan waarvan de belangrijkste zijn: geen mestkoeling bij vleesvarkens en kraamzeugen, geen verdunning van de mest in het mestkanaal bij gespeende biggen en niet sproeien van schuine wanden bij vleesvarkens. Dit heeft in een daling in reductiepercentage geresulteerd. Voor deze aangepaste ontwerpen werden modelmatige ammoniak-reducties berekend van 72% bij vleesvarkens en 74% bij gespeende biggen. De gemiddeld gemeten reducties van 52% voor vleesvarkens en 60% voor gespeende biggen liggen hier nog ruim onder. Dit werd waarschijnlijk vooral veroorzaakt door een geringere verdunning van de mest in het waterkanaal bij vleesvarkens en in de waterpan bij de gespeende biggen dan in eerste instantie vanuit is gegaan. Uit de resultaten blijkt dat de uiteindelijke verdunningsfactor bij vleesvarkens gemiddeld 1,5 was en bij gespeende biggen 1,1, terwijl gerekend was met een verdunningsfactor van respectievelijk 5,4 en 7,1. Dit verschil werd waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat er alleen schoonmaakwater aan het waterkanaal werd toegevoegd en dat is veel minder dan de beoogde 20 cm bij vleesvarkens en 10 cm bij gespeende biggen. Daarnaast kon bij de vleesvarkens het waterkanaal niet goed worden schoongespoeld waardoor mest en voerresten zich ophoopten in dit kanaal. Bevuilde kanalen kunnen vervolgens in een volgende ronde zorgen voor meer ammoniakemissie, omdat de verdunningsgraad minder is en deze verdunning van belang is om de ammoniakemissie te reduceren (Aarnink et al., 2010). Het is daarom van belang om aandacht te besteden aan het schoonspuiten of spoelen van deze kanalen om de ammoniakemissie uit de waterkanalen te beperken. De verdunningsfactor zou ook beïnvloed kunnen zijn door een geringere vermorsing van drinkwater dan de 10% waarmee is gerekend.

Ook bij kraamzeugen was de gemeten ammoniakreductie (51%) beduidend geringer dan berekend voor het oorspronkelijke ontwerp (84%) en voor het aangepaste ontwerp (80%). Ook hier bleek tijdens de protocolmetingen dat de verdunning van de mest in het watergedeelte van de mestpan uiteindelijk veel minder was dan in eerste instantie gepland (2,8 vs. 6,7). Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door één van

de twee of beide volgende redenen: - er werd tijdens de start van de ronde minder water in de waterpan gezet dan de 5 cm die in het startontwerp was opgenomen; - er kwam meer mest in de waterpan dan de 10% waar vanuit is gegaan (mest van zeugen en biggen). Door het grote emitterende oppervlak van het watergedeelte van de mestpan heeft dit een belangrijk effect op de ammoniakemissie.

Bij vleesvarkens zat bedrijf 1 op een gemiddelde reductie van 63% en bedrijf 2 van 52%. Dit verschil tussen bedrijven lijkt vooral veroorzaakt te zijn door een verschil in bevuilding van de dichte vloer. Bevuilding van de dichte vloer in varkenshokken kan een belangrijke storende factor zijn om voldoende ammoniakreductie te bereiken. Tijdens dit onderzoek zijn er hoge vloerbevuilingspercentages gescoord in de warmere maanden van mei t/m september, vooral op bedrijf 2, wat vervolgens tot lagere ammoniakreducties heeft geleid. De dieren op bedrijf VV2 leken meer beïnvloed te worden door de hoge temperaturen buiten de stal. De afdelingstemperatuur in de stal was gemiddeld ook hoger bij VV2 dan VV1 (gem. 1,7°C hoger). De dieren op VV2 lieten hierdoor sneller een ongewenst mestgedrag zien, waarbij er op de relatief koele roosters werd gelegen en gemest werd op de dichte vloer. VV2 had hierdoor meer bevuilding van de dichte vloer en dit heeft geresulteerd in twee lage reductiepercentages tijdens de zomerperiode.

Management van het systeem is een belangrijke factor. Er zijn verschillen in ammoniakreductie gevonden tussen BG1 en BG2. Dit is te verklaren door een onjuist gebruik van het systeem, waarbij niet werd gespoeld, en er geen water in de mestpan werd geplaatst en de mest ingedroogd raakte. De mest kon hierdoor niet goed weggezogen worden, waardoor mest achterbleef en er problemen in het gebruik van het systeem zijn ontstaan. Daarnaast ondervond bedrijf 1 storingen in de automatiseringsketen, waardoor spoelen niet altijd dagelijks plaatsvond. Daarnaast is de uitvoering van het hok van belang. Bij de gespeende biggen waren de hokken in de lengte gesitueerd langs de voergang. Dit resulteerde erin dat wanneer de veehouder de afdeling binnen kwam de dieren vervolgens richting de muur vluchtten. Hier bevond zich ook een gedeelte dichte vloer, waarop vervolgens gemest en geürineerd werd.

Op BG2 heeft deze verkeerde hokuitvoering er ook voor gezorgd dat de dieren het waterkanaal als mestplek hebben gebruikt. Hierdoor is een tweede mestkanaal ontstaan, welke niet gespoeld werd en voor een hogere emissie heeft gezorgd.

Opgevallen is dat er negatieve emissies zijn gemeten bij BG1. Dit komt door een hogere gemeten ammoniakconcentratie in de ingaande lucht, dan gemeten in de afdeling zelf. Het is mogelijk dat er tijdens het meten van de ingaande lucht in relatief stilstaande lucht is gemeten in plaats van in de luchtstroom.

Geuremissie

De geurreductie is voor alle diercategorieën lager uitgevallen dan verwacht. Vanuit modelberekeningen was berekend dat de vleesvarkens 65% geuremissie zouden reduceren, de gespeende biggen 52% en kraamzeugen 60%. Echter, was er bij de vleesvarkens een reductie van 28,3% en bij de gespeende biggen en kraamzeugen een negatieve reductie. Een belangrijk aspect aan deze lager uitgevallen reductie, is dat het systeem aan de ene kant anders is uitgevoerd en aan de andere kant niet optimaal heeft gewerkt (zie hiervoor bij ammoniakemissie). Daarnaast waren er ook grote verschillen tussen bedrijven. Die verschillen waren vooral terug te voeren op verschillen in management waardoor er meer bevuilding optrad van de dichte vloeren op bedrijf 2 ten opzichte van bedrijf 1. Uit de resultaten lijkt de conclusie te kunnen worden getrokken dat vloerbevuiling ook een belangrijke factor is bij de vorming van geur. Ogink and Lens (1996) vonden bij gebruik van een spoelgotensysteem een verhoogde geuremissie tijdens het spoelen van de mestgoten. Tijdens een spoelduur van tien minuten was de geuremissie met een factor van 55 tot 60 gestegen in verhouding met de voorafgaande emissie. Daarnaast hebben (Le et al., 2005a) aangetoond dat de geuremissie toeneemt bij een hogere temperatuur en ventilatie. Een hogere temperatuur zorgt voor vorming van meer componenten die bijdragen aan de geuremissie. Mol and Ogink (2004) toonden dit aan door de bovenste laag van de mest af te koelen waardoor een reductie in geuremissie werd verkregen. In dit onderzoek werden ook lagere geurreducties gemeten wanneer de temperatuur in de afdeling hoger was dan gemiddeld en wanneer er hogere mesttemperaturen gemeten zijn.

Ogink and Lens (1996) geven ook aan dat geur een lastige component is en dat de emissie per diercategorie kan verschillen. Hierdoor is het niet vanzelfsprekend dat hetzelfde systeem de geuremissie bij verschillende diercategorieën op eenzelfde manier reduceert. Daarnaast is er bij K2 mest en urine onder de dichte platen onder de zeugen terecht gekomen. Dit kan ook gezorgd hebben voor extra geuremissie in de afdeling.

Perspectief

In dit onderzoek zijn de verwachtingen voor methaanreductie meer dan waargemaakt. Waar een reductie van ca. 80% op stalniveau werd verwacht (reductie van 90% uit de mest), werd een reductie van ca. 90% gemeten. Dit betekent dat er vrijwel geen methaan uit de mest emitteert wanneer de mest dagelijks wordt verwijderd. De methaanemissie zou in de stal misschien nog iets meer gereduceerd kunnen worden, vooral bij vleesvarkens, wanneer het waterkanaal regelmatig schoongemaakt kan worden. Dit zou na elke ronde gedaan kunnen worden tijdens het schoonspuiten van de afdeling, maar dan moeten wel de roosters verwijderd kunnen worden. Een andere mogelijkheid is om het waterkanaal te vervangen door een watergoot die goed gespoeld kan worden. Deze watergoot zou dan bijvoorbeeld éénmaal per maand of vaker schoongespoeld kunnen worden waarna er weer een laagje water in wordt gezet.

De verwachtingen ten aanzien van ammoniakreductie zijn niet waargemaakt. De belangrijkste redenen hiervoor waren:

- Om praktische redenen (sproeien van de schuine wanden) en economische redenen gecombineerd met duurzaamheidsredenen (geringere verdunning met water; geen koeling van de mest die later in de biovergister weer verwarmd moet worden) zijn de oorspronkelijke ontwerpen aangepast waardoor geringere ammoniakreducties verwacht mochten worden.
- Het systeem vergt veel van het management van de varkenshouder. Het dagelijks spoelproces, gecombineerd met het voldoende verdunnen van de mest bij de start van een ronde en het voorkomen van vloerbevuilding door het realiseren van een optimaal stalklimaat, vergen veel vakmanschap en motivatie van de varkenshouder. Dit verschil in management was duidelijk zichtbaar tussen de bedrijven 1 en 2 in dit onderzoek. De resultaten laten daardoor ook duidelijke verschillen zien in emissiereductie.

Het eerste punt is weloverwogen gedaan. Dit betekent echter ook dat de verwachtingen bijgesteld moeten worden of dat er andere manieren gevonden moeten worden om de ammoniakemissie te beperken. Minder water in het waterkanaal zou gecompenseerd kunnen worden door van dit waterkanaal een watergoot te maken met schuine wanden die regelmatig wordt afgelaten en gespoeld, waarna er weer een klein laagje water in wordt gezet. Alternatieven voor koeling en verdunning van mest in het mestkanaal zijn er (nog) niet.

Het tweede punt is minstens zo belangrijk. Om de invloed van management te beperken is het belangrijk dat alle processen zoveel mogelijk worden geautomatiseerd en gestandaardiseerd. Dit geldt zowel voor het dagelijkse spoelproces als voor het leeglaten, spoelen en met water vullen van het waterkanaal. Tevens dienen er duidelijke richtlijnen te komen voor het klimatiseren van de stal. Deze richtlijnen moeten beschrijven welke klimaatinstellingen (begintemperatuur ventilatie; min. en max. ventilatie; bandbreedte) gehanteerd moeten worden en wanneer koelsystemen worden ingeschakeld (b.v. verdampingskoeling van de ingaande lucht en/of koeling van de ligvloer).

De samenwerkingspartner binnen dit project, De Hoeve Innovatie (DHI), is sterk voorstander van het online monitoren en kunnen bijsturen van de emissies uit de stal. Het continu online monitoren van de emissies in stallen komt al dichtbij, dit geldt vooral voor ammoniak en (in iets mindere mate) methaan. Naast monitoring is het ook van belang dat de varkenshouder knoppen heeft om aan te draaien om de emissies te beïnvloeden. Voor ammoniak kan verdunning met water een belangrijke knop zijn om aan te draaien. Dit water zou van boven op de roostervloer gespreeid kunnen worden, zodat niet alleen de mest in de mestkelder wordt verdund maar tevens de emissie vanaf het rooster wordt beperkt. Een andere knop zou kunnen zijn de samenstelling van het voer. Door eiwitverlaging in combinatie met toevoeging van limiterende aminozuren en/of door toevoeging van benzoëzuur kan de ammoniakemissie worden beperkt. Dit brengt wel hogere kosten van het voer met zich mee.

6 Conclusies en aanbevelingen

Het dagontmestingsysteem is een robuust systeem om methaanemissies te reduceren. Gemeten methaanreducties waren zelfs hoger dan vooraf ingeschat. De op voorhand ingeschatte ammoniak- en geurreducties zijn niet behaald vanwege, met redenen onderbouwde, aanpassingen aan het ontwerp en problemen om het volledige systeem goed te managen. De aanpassingen zijn weloverwogen gedaan waardoor de te behalen ammoniakreductie bij optimaal functioneren lager zal zijn dan de in eerste instantie beoogde 85%. Vooral het waterkanaal kan aangepast worden om met een geringere verdunning toch een lage ammoniakemissie uit dit kanaal te bewerkstelligen. Aanbevolen wordt om hier verder onderzoek aan te doen.

Een goed management heeft niet alleen betrekking op de mest maar ook op het lig- en mestpatroon van de varkens. Een hoofdzaak hierbij is dat de hokinrichting en het klimaat optimaal moeten zijn om het mestgedrag te sturen. Uit dit onderzoek blijkt dat vloerbevuiling de reductie van ammoniak door het spoelsysteem teniet kan doen.

De geuremissie wordt net als ammoniak minder gereduceerd dan van tevoren ingeschat. De achtergrond hiervan is waarschijnlijk dezelfde als die voor ammoniak.

Om het management te ondersteunen wordt aanbevolen om dit systeem volledig te automatiseren en te standaardiseren en tevens uit te rusten met een continue monitoring van de emissies, zoals in dit onderzoek al gedaan. Daarbij moet nagedacht worden over de knoppen waaraan gedraaid kan worden om de emissies te beïnvloeden. Voorbeelden van knoppen zijn: - toevoegen van meer of minder water om met name de ammoniakemissie te beperken; - aanpassing van de samenstelling van het voer.

Literatuur

- Aarnink, A., L. van de Pas, C. van der Peet-Schwering, A. Hol, G. Binnendijk, P. Le Dinh, S. Hafner, and N. Ogink. 2018a. Rekentool voor het bepalen van de effecten van voer-en management-maatregelen op de ammoniakemissie bij varkens: ontwikkeling en validatie.
- Aarnink, A. J. A., M. Smits, and I. Vermeij. 2010. Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen= Reduction of ammonia emission from houses for growing-finishing pigs by combined measures, Wageningen UR Livestock Research.
- Aarnink, A. J. A., P. A. Van de Pas, C. M. C. Van der Peet-Schwering, A. Hol, G. P. Binnendijk, P. Le Dinh, S. D. Hafner, and N. W. M. Ogink. 2018b. Rekentool voor het bepalen van de effecten van voer- en management-maatregelen op de ammoniakemissie bij varkens: ontwikkeling en validatie, Wageningen Livestock Research, rapport (in druk), Wageningen.
- Aarnink, A. J. A., H. M. Vermeer, and J. P. M. Ploegaert. 2012. Ammoniakemissiearme verharde uitlopen voor varkens. Rapport 625, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Bondt, N., D. Van den Elzen, R. Hoste, C. Van Wagenberg, I. Vermeij, and B. Van der Fels. 2004. Terugdringen van slachtafwijkingen in de varkensketen, Landbouw Economisch Instituut (LEI), Den Haag.
- Casu, F., and N. Verdoes. 2021. Circulaire inzet digestaat: berekening NPKC flows voor varkensmest en digestaat bij het varkensbedrijf van De Hoeve Innovatie, Wageningen Livestock Research.
- Groenestein, Mosquera, and Ogink. 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. . Rapport 493, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands
- Groenestein, C. M., A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen Wageningen UR Livestock Research, rapport 786.
- Groenestein, K., and A. Aarnink. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808. Animal Science Group van Wageningen UR. Intern rapport 200808
- Le, P., A. Aarnink, N. W. Ogink, and M. Verstegen. 2005a. Effects of environmental factors on odor emission from pig manure. Transactions of the ASAE 48(2):757-765.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink, N. W. M. Ogink, and M. W. A. Verstegen. 2005b. Effects of Environmental Factors on Odor Emission from Pig Manure. Transactions of the ASAE 48(2):757-765.
- Mol, G., and N. Ogink. 2004. The effect of two ammonia-emission-reducing pig housing systems on odour emission. Water Science and Technology 50(4):335-340.
- Monteny, G. J., A. Bannink, and D. Chadwick. 2006. Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. Agriculture Ecosystems & Environment 112:163-170.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J. W. Erisman, E. Mulder, C. E. Van 't Klooster, N. Ogink, D. Swierstra, and N. Verdoes. 2002. Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij. 2002-12, Instituut voor Milieu- en Agritechniek, rapport 2002-12, Wageningen.
- Mosquera, J., J. Hol, and C. M. Groenestein. 2012. Emissies uit de biologische veehouderij: processen en factoren. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.
- Mosquera, J., J. M. G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011a. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Rapport 292, herziene versie, Livestock Research, Rapport 292, herziene versie, Lelystad.
- Mosquera, J., J. M. G. Hol, A. Winkel, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011b. Fijnstofemissie uit stallen: dragende zeugen. Rapport 292, herziene versie, Livestock Research, Rapport 294, herziene versie, Lelystad.
- Mosquera, J., J. Ploegaert, and G. Kupers. 2019. Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems: Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research, Wageningen Livestock Research.
- Ogink. 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010= Protocol for the measurement of odour emissions from housings in animal production. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.

-
- Ogink, Mosquera, and Hol. 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a= Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2013a. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.
- Ogink, N., and P. Lens. 1996. Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1999:2001-2014.
- van der Peet, G., M. Kluivers-Poodt, N. Dirx-Kuijken, C. van der Peet-Schwering, G. Binnendijk, W. Ursinus, and J. Bolhuis. 2016. Houden van varkens met een intacte staart: invulling van stap 1 van de Verklaring van Dalfsen: demonstratieproject, praktijknetwerk en internationale samenwerking. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research.
- Van der Peet Schwering, C. M. C. 2005. Pleuritis op vleesvarkensbedrijven, Animal Sciences Group, Divisie Veehouderij, Lelystad.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. M. G. Hol, T. G. Van Hattum, E. Lovink, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011. Fijnstofemissie uit stallen: biggen. Rapport 292, herziene versie, Livestock Research, Rapport 293, herziene versie, Lelystad.

Bijlagen

Bijlage 1 - Praktische leerervaringen Stal van de Toekomst (informatie aangeleverd door DHI)

Vleesvarkens

Vorbereidingsfase

- Modelberekening is gemaakt i.s.m. WUR, DHI, werkgroep meten&data. Dit riep meer vragen op dan verwacht en kostte meer tijd.
- Opstellen en aanvragen emissiefactoren incl. meetprogramma, door Monteny Advies, DHI en WUR. 11 aanvragen ingediend incl tekeningen. Veel vragen gekregen vanuit TAC, deze allen beantwoord incl. detailtekeningen.

Ontwikkelingsfase

- In de testfase bleek teveel mest zich op te hopen wat leidde tot hogere emissie. Daarom is gespoeld met dunnere mest. De opgehoopte lagen zijn verwijderd.
- Schoon water als spoelmedium: dikke mest werd onvoldoende uit het kanaal gedrukt. Bovendien is het toevoegen van schoon water niet integraal: watervervuiling, verdunde mest (toename mestvolume).
- Inzet dunne fractie digestaat als spoelmedium: werking vergelijkbaar met schoon water maar ammoniumgehalte is te hoog waardoor effect op emissie.
- Inzet van mengsel waterkanaal+dagverse versneden mest: viscositeit is hoger waardoor dikke mest wel verwijderd wordt. Na metingen bleek het een kleine piek in emissie te geven, die waarschijnlijk acceptabel is.
- De afmetingen en technische specificaties van het mestkanaal hebben invloed op de mestuitstroom en bevulling van het kanaal. Hier is ervaring mee opgedaan. De lengte van het mestkanaal heeft een maximum.
- Ook de afmetingen, lengte, druk en nalooptijden van de leidingen hebben invloed op het ontmesten. Dit is mede afhankelijk van de bedrijfsopzet, heeft in de ontwikkelfase invloed gehad op het dagelijks ontmesten.
- Vergister na de mestput: dagverse mest heeft een positief effect op de hoeveelheid gas die vrijkomt. Echter als de vergister storing heeft kan de dagontmesting de mest niet kwijt. Dat heeft effect gehad op de ontmestingsfrequentie. In de praktijk zou een grotere tussenopslag een oplossing zijn.
- De eerste versie van de roosters op het mestkanaal lieten de mest onvoldoende door, daarom zijn driekantroosters geïnstalleerd.
- Hokbevuiling is een belangrijke emissiefactor die niet alleen afhankelijk is van de hokinrichting. Factoren zijn: groepsgrootte (grotere groep meer bevuiling), gezondheidsstatus (mestconsistentie), klimaatinstellingen, voersamenstelling, management. Met alle factoren is praktijkervaring opgedaan.
- Waterkanaal verdunnen met water: enige verdunning via lekwater van de drinknippels (die daardoor ook hygiënisch blijven) is acceptabel maar op grote schaal schoon (drink) water toevoegen is niet wenselijk. (vervuiling van drinkwater, verdunning van mest en verhoging mestvolume).
- In het waterkanaal vormde zich een bezinklaag (obv vierkant betonnen kanaal). Emissies liepen mede daardoor op. Schoonspoelen was niet goed haalbaar. Voor de toekomst wordt een goot geadviseerd.
- Besproeien schuine mestkanaalwanden: dit zorgde voor meer vervuiling doordat mest meer bleef hangen op het systeem. Daardoor hogere emissie. Dit is vervallen in de leaflet.
- Koelen van mestwanden zodat mest < 15 ° blijft: emissie reductie is aanwezig maar beperkt. Er gaat wel veel energie in het koelen zitten, terwijl de mest naar de vergister gaat (dagelijks) en daar weer opgewarmd wordt. Om die reden niet integraal.
- Tussentijdse activiteiten:
 - o Opstellen aanvraag voorlopige emissie factor (Monteny Advies, DHI, WUR)
 - o Vragen beantwoorden, bijeenkomsten met RVO en TAC
 - o Werkgroep meten & Data: periodieke bijeenkomsten om bij te praten over interpretatie van meetgegevens en tussentijdse analyses
 - o Adviesraad: afstemming met opdrachtgevers waaronder ministerie

- WUR metingen: protocollen voor interpretatie en selectie van data ontbraken nog. Integratie van alle data zoals hokbevuiling, mest temperatuur etc. om tot één conclusie te komen was enigszins beperkt.

Verschillen tussen referentie en proefafdelingen op de twee bedrijven

VV1		
Kenmerken	Proef afdeling	Referentie afdeling
Aantal hokken per afdeling	6	6
Aantal dieren in hok	13	9
Hokoppervlakte	13,49 m ²	9,4 m ²
Lengte - breedte verhouding	2,05:1	2,71: 1
Klimaatinstellingen temperatuur	22 - 20	23 - 21
Genetica	Door overschakeling wisselend	Door overschakeling wisselend
VV2		
Kenmerken	Proef afdeling	Referentie afdeling
Aantal hokken per afdeling	4	4
Aantal dieren in hok	16	16
Hokoppervlakte	12,8	12,8
Lengte - breedte verhouding	2,0 : 1	2,06 : 1
Klimaatinstellingen	Temp: 24 - 22	Temp: 24 - 22
Genetica	Door overschakeling wisselend	Door overschakeling wisselend
Verschillen tussen de bedrijven		
Kenmerken	VV1	VV2
Gezondheidsstatus vleesvarkens:	Dierdagdosering: 0	Dierdagdosering: 5,0
	Uitval: 1,4	Uitval: 3,2
	Slachtafwijkingen: laag	Slachtafwijkingen: hoog
Gezondheidsstatus gespeende biggen:	DDD: 0	DDD: 6,8
	Uitval: 2,3	Uitval: 3,3
Voerregiem- hokbevuiling	Constante samenstelling	Variabele samenstelling
Kraamperiode:	36 dagen	29 dagen
Oppervlakte per dier:	1,0 m ²	0,8 m ²
Ventilatie systeem	Plafond	Deur
Systeemervaring varkenshouder	Veel	Weinig

Optimalisatiepunten waarmee de emissie verder gereduceerd kan worden

- Automatisering
 - o Spoelproces mestkanaal tot 2x per dag
 - o Spoelproces waterkanaal in gootvorm (o.b.v. vastgestelde frequentie)
 - o Borging van besturing
- Sturen mestgedrag
 - o Vloerconditionering
 - o Klimaatinstellingen
 - o Voersamenstelling
- Monitoring
 - o Real time terugkoppeling van o.a. temperatuur, ventilatie, CO₂ en NH₃ om snel managementaanpassingen door te kunnen voeren
- Management ondersteuning

-
- Vanuit fokkerijorganisatie, voeding, gezondheid

Gespeende biggen

Vorbereidingsfase

- Modelberekening is gemaakt ism WUR, DHI, werkgroep meten&data. Basis van de emissiebepalingen was verkleining van het mestoppervlak, verdunning met water en dagontmesting.
- Op basis van bestaande stallen is uitgegaan van een afdeling met controlegang in het midden en luchtinlaat via de controlegang.
- Criteria waar binnen het hokontwerp moest blijven (i.v.m. verschillen op de bedrijven) zijn:
 - o Lengte breedte verhouding 2:1 tot max 4:1 maar breedte minimaal 1,5 m
 - o 60% dichte vloer met koeling en verwarming
 - o Waterkanaal met composiet rooster en gescheiden voer- en waterverstrekking, daaronder een pan, emitterend oppervlak max 0.064 m² per big
 - o Mestkanaal met rvs rooster en mestspleet, daaronder een pan, emitterend oppervlak max 0.072m² per big
 - o Luchtuitlaat boven het mestkanaal
 - o Geautomatiseerde toe- en afvoer van water en mest m.u.v. afvoer van de waterpan (per ronde)
- Opstellen en aanvragen emissiefactoren incl. meetprogramma, door Monteny Advies, DHI en WUR voor 4 bedrijven. Dit met bedrijfsspecifieke tekeningen.

Ontwikkelingsfase

- In de opzet is uitgegaan van de case-control methode voor metingen.
- De installatiefase heeft lang geduurd voor vier verschillende locaties, vanwege praktische vertragingen. Bovendien moet minimaal één ronde afgerond zijn voor de metingen konden starten. Daarnaast diende de meetinstallaties gereed te zijn.
- Corona heeft voor vertraging gezorgd door uitstel van werkzaamheden en gebrek aan materialen.
- In het ontwerp van de proefafdelingen was op één bedrijf gekozen voor een grote groep van 45 dieren. Bij ingebruikname bleek dat de hokbevuiling te groot was. Door o.a. hokverrijking is geprobeerd hier verbetering in aan te brengen, zonder goed resultaat.
- Pannen inbouwen in bestaande stallen (zeker grote pannen) is gecompliceerd omdat hoeken en muren niet precies recht zijn. De pannen moeten goed recht liggen i.v.m. verdeling van de vloeistof/mest.
- Bij kleine groepen is de dagelijkse mestproductie te laag waardoor dagelijks verwijderen met een vacuüm niet altijd lukt.
- De verdeling van het verdunningswater was niet altijd goed i.v.m. installatie van de pannen.
- Lucht van de vacuümpomp zorgt voor een geurpiek.
- Als alternatief op de pannen zijn er pannen met schuine wanden ontwikkeld. Mest kan er makkelijker uit en het mestoppervlak is kleiner. Dit zorgde voor reducties.
- De RVS roosters bleken geen betere mestdoorlaatbaarheid te hebben, vandaar dat overgestapt is op driekantroosters op 3 bedrijven.
- Fijnstofreductie heeft niet plaatsgevonden door toepassing van het systeem, daarom zijn die metingen gestopt.
- De data van de real time metingen zijn door De Hoeve Innovatie gebruikt om na te gaan welk effect de aanpassingen hadden op de ammoniakemissie. Daarnaast zijn deze inzichten gebruikt om intensief op te volgen welke effecten managementaanpassingen hadden. Dit op hoofdlijnen, aangezien het geen apart opgezet onderzoek was.
- Bij de biggen had de ingaande lucht bij een aantal meetmomenten een hogere concentratie ammoniak dan de uitgaande lucht. Tijdens het onderzoek was onvoldoende duidelijk wat de oorzaak was, met aanvullende indicatieve metingen is hier achteraf een verklaring voor gezocht.
- De metingen zijn niet allemaal bij de juiste leeftijd dieren uitgevoerd.

Verschillen tussen referentie en proefafdelingen op de twee bedrijven

BG1		
Kenmerken	Referentie afdeling	Proef afdeling
Aantal dieren in hok	15	15
Hokoppervlakte	6,4 m ²	6,4 m ²
Lengte - breedte verhouding	2,6 : 1	2,6 : 1
Klimaatinstellingen temp.	28-24	26-22

Genetica	Gemengd door overschakeling	Gemengd door overschakeling
BG2		
Kenmerken	Referentie afdeling	Proef afdeling
Aantal dieren in hok	22	45
Hokoppervlakte	9,1975	18,395
Lengte - breedte verhouding	1,47 : 1	2,94 : 1
Klimaatinstellingen temp.	28-24	28-24
Genetica	Gemengd door overschakeling	Gemengd door overschakeling
Verschillen tussen de bedrijven		
Kenmerken	BG1	BG2
Gezondheidsstatus gespeende biggen:	DDD: 0	DDD: 18,4
	Uitval: 1,0	Uitval: 2,3
Gezondheidsproblemen:	Nauwelijks	Door wisselende conditie zeugen (oorzaak voer) variabele bigkwaliteit
Kraamperiode (dagen):	38.1	26.9
Gemiddeld opleggewicht:	11 kg	7 kg
Speenperiode (weken):	5	7
Voerregiem:	Constate samenstelling	Wisselende samenstelling
Voorkomen hokbevuiling:	Kennis aanwezig plus mogelijkheid om voer aan te passen	Weinig kennis en ondersteuning plus geen invloed op voersamenstelling
Emissiesysteem referentieafdeling	D.1.1.100	D.1.1.3.2.
Ventilatie systeem	Plafond	Plafond met centrale afzuiging
Systeemervaring varkenshouder	Veel	Beperkt

Optimalisatiepunten waarmee de emissie verder gereduceerd kan worden

- Proces aanpassingen
 - o Gotensysteem i.p.v. pannen
- Automatisering
 - o Spoelproces mestgoot (aanvang 1 keer per 2 dagen daarna 1x per dag)
 - o Spoelproces watergoot (o.b.v. vastgestelde frequentie)
 - o Borging van besturing
- Sturen mestgedrag
 - o Aantal dieren per hok
 - o Vloerconditionering
 - o Klimaatinstellingen
 - o Voersamenstelling
- Monitoring
 - o Real time terugkoppeling van o.a. temperatuur, ventilatie, CO₂ en NH₃ om snel managementaanpassingen door te kunnen voeren
- Management ondersteuning
 - o Vanuit fokkerijorganisatie, voeding, gezondheid

Dragende zeugen

Vorbereidingsfase

- In het kader van stalrenovatie is uitgegaan van het huisvesten van dragende zeugen (waarbij in dit document hieronder ook de guste zeugen vallen) in kleine weekgroepen. Daardoor is periodiek reinigen haalbaar aangezien de huisvesting ook leeg komt.
- Modelberekening is gemaakt ism WUR, DHI, werkgroep meten&data. De basis is verkleining mestoppervlak, verdunning van waterkanaal, dagontmesting van het mestkanaal, koeling van de mest.
- Opstellen en aanvragen emissiefactoren incl. meetprogramma, door Monteny Advies, DHI en WUR. 2 aanvragen ingediend incl. tekeningen, bedrijfsspecifiek omdat er verschillen zijn tussen de bedrijven. Verschillen zoals hokvorm, oppervlak, aantal dieren, locatie en uitvoering mestkanalen.

Ontwikkelingsfase

- Bij dragende zeugen is het voorkomen van hokbevuiling de meest belangrijke factor gebleken. Bevuiling van de hokken en dieren geeft verhoogde emissie terwijl dit bij zeugen een uitdaging is.
- Door de lengte opstelling op basis van de bestaande situatie was de hokbevuiling hoog. Bij een test met een diepte opstelling bleek de hokbevuiling minder maar alsnog behoorlijk.
- Hokbevuiling lijkt minder bij opfokzeugen, die gewend zijn het mestgedrag zelf te sturen.
- Op basis van berekeningen door WUR waarbij rekening werd gehouden met de gevonden hokbevuiling in combinatie met de continue meetwaarden, is besloten de officiële WUR metingen te stoppen. Reductie is onvoldoende en er waren nog geen ideeën voor een concrete aanpassing/verbetering.
- Er zijn vier protocolmetingen uitgevoerd tijdens de ontwikkelfase.

Verschillen tussen referentie en proefafdelingen op de twee bedrijven

DG1		
Kenmerken	Referentie afdeling	Proef afdeling
Aant. dieren (zeugen) in hok	6	5
Hokoppervlakte	16,03	14,6
Aantal hokken per afdeling	4	4
Klimaatinstellingen	Gelijk	Gelijk
Genetica	Gemengd vanwege eigen aanfok	Gemengd vanwege eigen aanfok
DG2		
Kenmerken	Referentie afdeling	Proef afdeling
Aant. dieren (zeugen) in hok	5	7
Hokoppervlakte	12,85	15,88
Aantal hokken per afdeling	4	22
Klimaatinstellingen	Gelijk	Gelijk
Genetica	Gelijk	Gelijk
Verschillen tussen de bedrijven		
Kenmerken	DG1	DG2
Gezondheidsstatus zeugen:	DDD: 0	DDD: 3,9
	Vervangings%: 53,6	Vervangings%: 51,6
Gezondheidsproblemen:	Geen	Conditie zeugen wisselend waardoor verschil in bigkwaliteit groot is (oorzaak: voer)
Voerregiem:	Constante samenstelling	Wisselende samenstelling

Voorkomen hokbevuiling:	Kennis aanwezig plus mogelijkheid om voer aan te passen	Weinig kennis en ondersteuning plus geen invloed op voersamenstelling
Emissiesysteem referentieafdeling	D.1.3.100	D.1.3.11
Ventilatie systeem	Voerpad	Voerpad met centrale afzuiging
Ervaring	Veel	beperkt

Optimalisatiepunten waarmee de emissie verder gereduceerd kan worden

- Hokbevuiling is het grootste struikelblok voor dragende zeugen.
- Het opstarten met jonge dieren die goed mestgedrag hebben kan mogelijk een betere situatie opleveren. Mogelijk (of juist) in combinatie met vrijloopkraamhokken.
- De hokken kunnen het beste in de diepte gesitueerd worden.
- Aantal dieren per hok

Kraamzeugen

Vorbereidingsfase

- Modelberekening is gemaakt ism WUR, DHI, werkgroep meten&data. Basis van mestpannen reduceert al 65% ammoniak. Aanvullingen in de vorm van verdere verkleining mestoppervlak, mest opvangen in een dieper deel wat dagelijks ontmestbaar is, koelen van de mest en verdunnen in het waterkanaal.
- Opstellen en aanvragen emissiefactoren incl. meetprogramma, door Monteny Advies, DHI en WUR, voor 3 locaties. Dit was per bedrijf i.v.m. bedrijfsspecifieke situaties zoals locatie van de afdelingen, grootte, aantal dieren, ventilatie, hokvorm etc.

Ontwikkelingsfase

- Periode van installaties en aanpassingen op de vier locaties en installeren van de meetvoorzieningen.
- Vertraging door beperkte werkzaamheden van wege Corona en gebrek aan materialen.
- Installatie van koelunit op een klein oppervlak op de mestpan bleek gecompliceerd en te duur. Bovendien waren er twijfels over de effectiviteit van de maatregel door de TAC van RVO, daarom is hiervan af gezien.
- Dagelijks verwijderen van de mest, via een vacuüm met pomp, zou mogelijk moeten zijn.
- Door bij aanvang 85 liter water in het waterdeel te zetten in combinatie met morswater van de drinknippel, was de verwachting dat de verdunning voldoende was om het weglaten van de koeling te compenseren.
- De watertoevoer (t.b.v. verdunning), afsluiters, aansturing etc. zit allemaal onder de roosters. Dit is een lastig te bereiken plek voor onderhoud en vervanging.
- Inbouwen in bestaande stallen waarin hoeken en muren niet precies recht zijn is een uitdaging, zeker omdat de mestpan goed recht moet liggen.
- Lucht van de vacuümpomp veroorzaakt geurpieken.
- De ontwikkelde rvs-roosters bleken geen betere doorlaatbaarheid te hebben en zijn vervangen door driekantroosters.
- Er is geen voorlopige emissiefactor aangevraagd voor kraamzeugen omdat er reeds een systeem beschikbaar is op de RAV lijst met reductie van 85% ammoniak en met het oog op vrijloopkraamhokken in de toekomst. De metingen zijn wel doorgezet met name vanwege de geurfactor.
- Bij van der Zanden zijn de meetwaaiers niet gekalibreerd.
- Geurmetingen zijn via case-control uitgevoerd op 2 locaties, terwijl het (nog) verplicht is dit op 4 locaties te meten. Daarnaast zijn de achtergrondconcentraties niet gemeten.

Verschillen tussen referentie en proefafdelingen op de bedrijven

K1		
Kenmerken	Referentie afdeling	Proef afdeling
Aant. dieren (zeugen) in afdeling	10	10
Hokoppervlakte	4,42	4,42
Klimaatinstellingen temp.	23-20	23-20
Genetica	Gemengd i.v.m. eigen aanfok	Gemengd i.v.m. eigen aanfok
K2		
Kenmerken	Referentie afdeling	Proef afdeling
Aant. dieren (zeugen) in afdeling	8	8
Hokoppervlakte	4,75	4,75
Klimaatinstellingen temp.	28-24	28-24
Genetische achtergrond	Gemengd	Gemengd
Verschillen tussen de bedrijven		
Kenmerken	K1	K2
Gezondheidsstatus zeugen:	DDD: 0	DDD: 3,9

	Vervangings%: 53,6	Vervangings%: 51,6
Gezondheidsproblemen:	Geen	Wisselende conditie bij de zeugen (oorzaak voer) waardoor variërende bigkwaliteit
Kraamperiode:	38,1 dagen	26,5 dagen
Opleggewicht gemiddeld:	11 kilo	7 kilo
Voerregiem:	Constate samenstelling	Wisselende samenstelling
Emissiesysteem referentieafdeling	D.1.2.100	D.1.2.15
Ventilatie systeem	Controlegang met centrale afzuiging	Controlegang met centrale afzuiging
Ervaring	Veel	beperkt

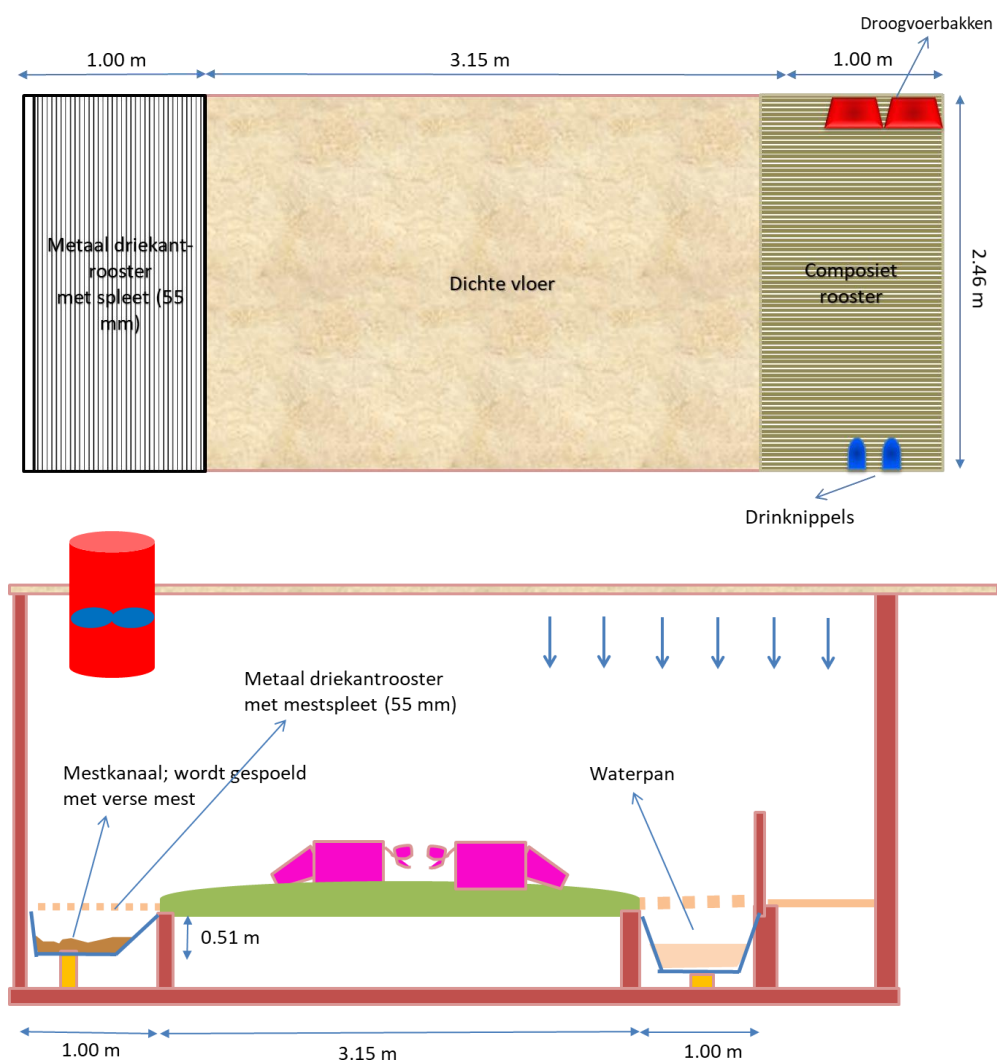
Optimalisatiepunten waarmee de emissie verder gereduceerd kan worden

- Als uitgangspunt verder werken aan een vrijloopkraamhok met dagontmesting
- Techniek:
 - o Goten in plaats van pannen
- Automatisering
 - o Spoelproces mestgoot 1x per dag
 - o Spoelproces watergoot (o.b.v. vastgestelde frequentie)
 - o Borging van besturing
- Sturen mestgedrag
 - o Vloerconditionering
 - o Klimaatinstellingen
 - o Voersamenstelling
- Monitoring
 - o Real time terugkoppeling van o.a. temperatuur, ventilatie, CO₂ en NH₃ om snel managementaanpassingen door te kunnen voeren
- Management ondersteuning
 - o Vanuit fokkerijorganisatie, voeding, gezondheid

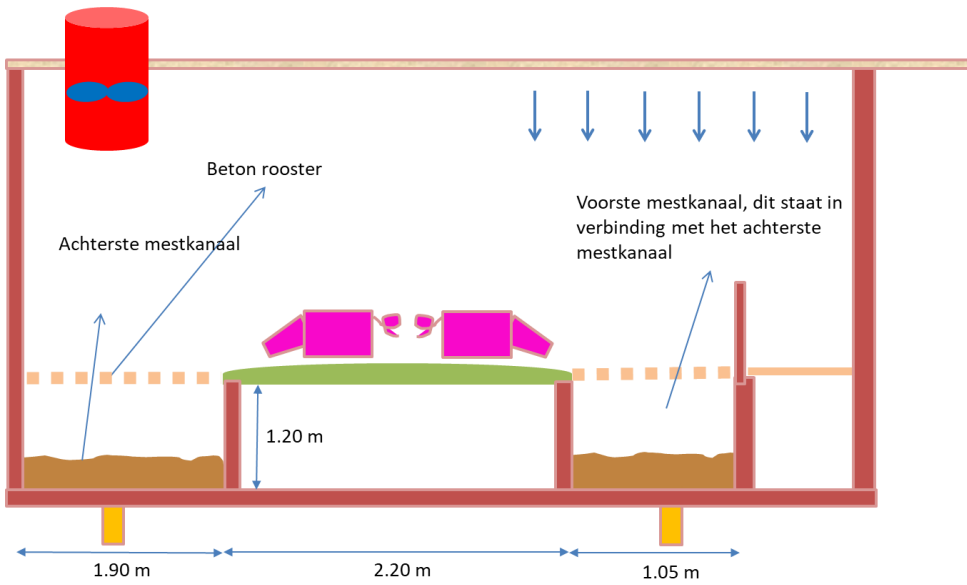
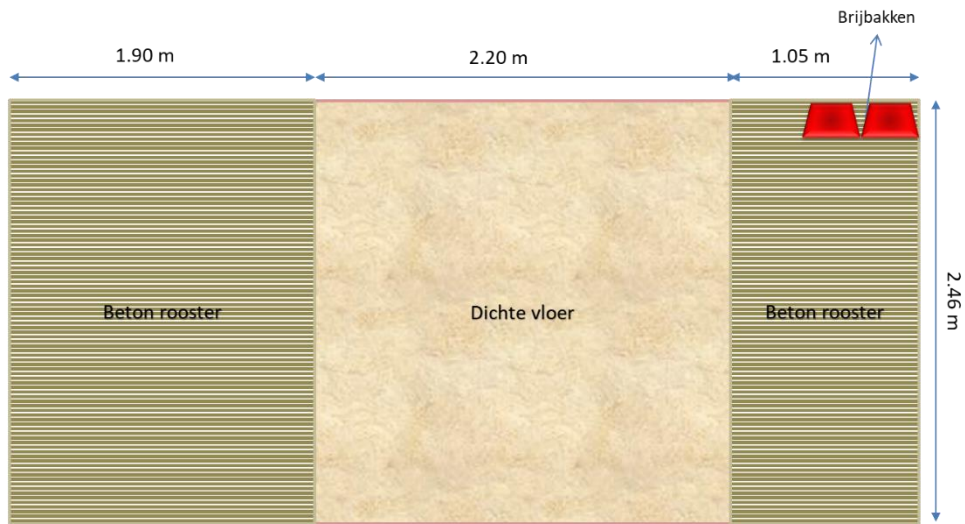
Bijlage 2 – Systeembeschrijvingen

Vleesvarkens

VV2 – Proefafdeling

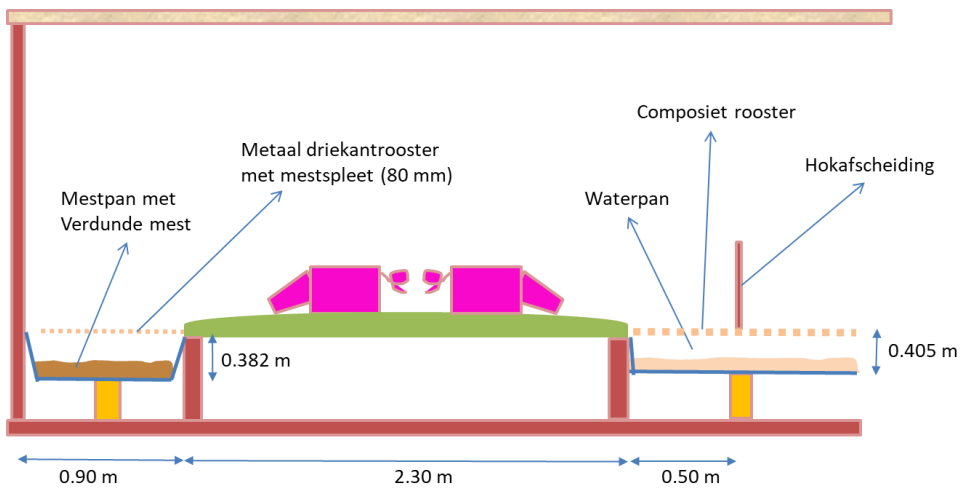
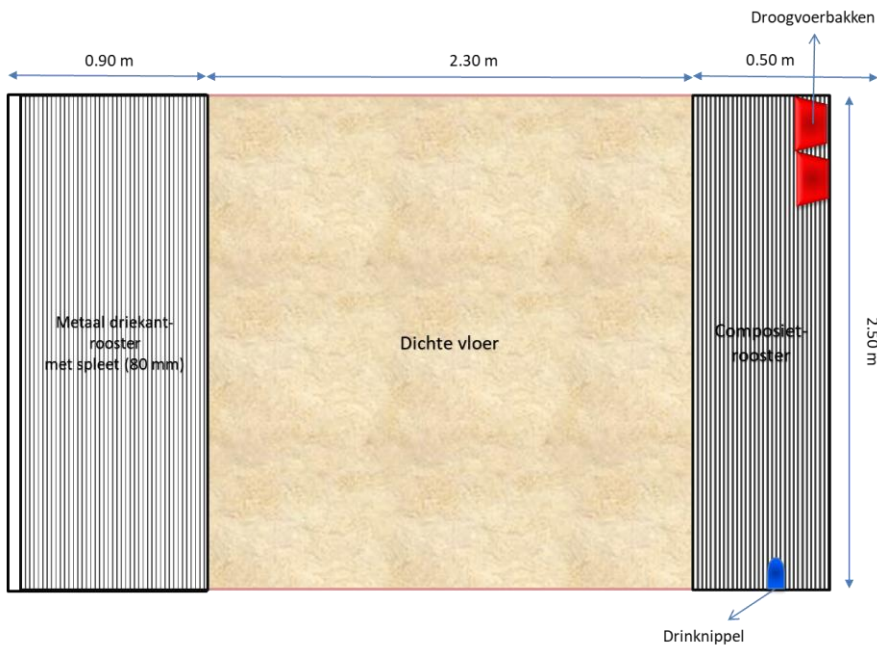


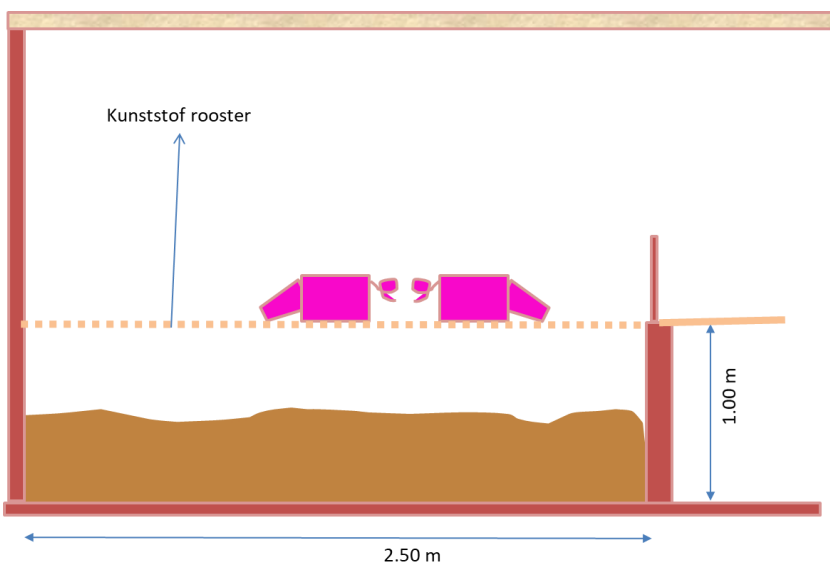
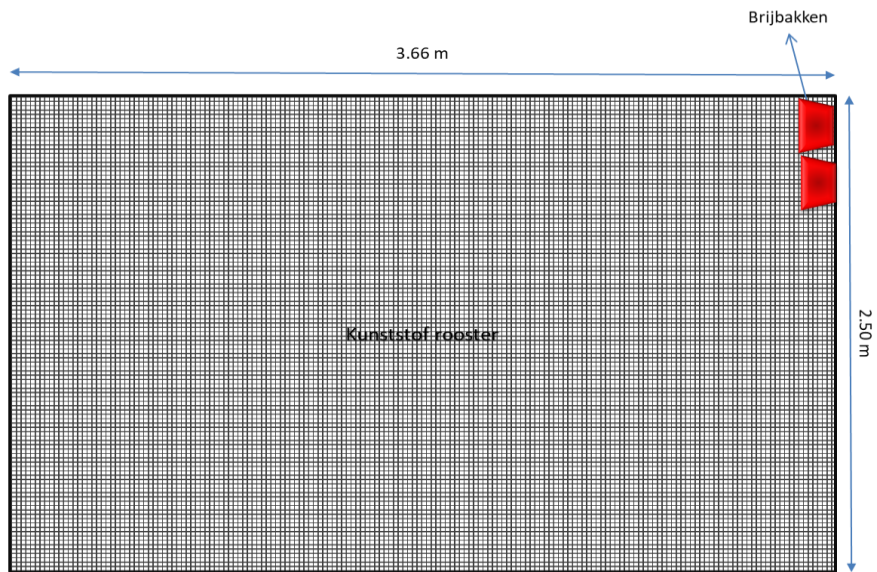
VV2 – Referentie afdeling



Gespeende biggen

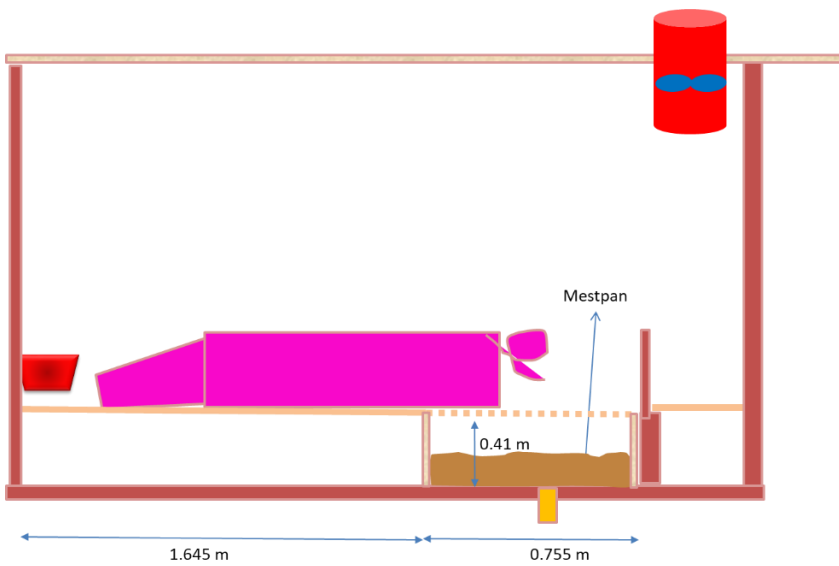
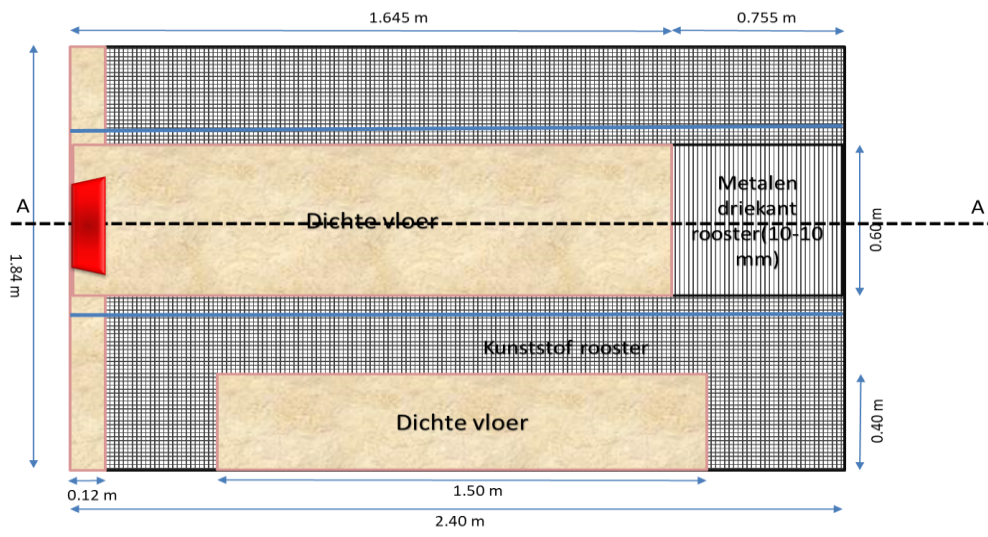
BG2 – Proefafdeling



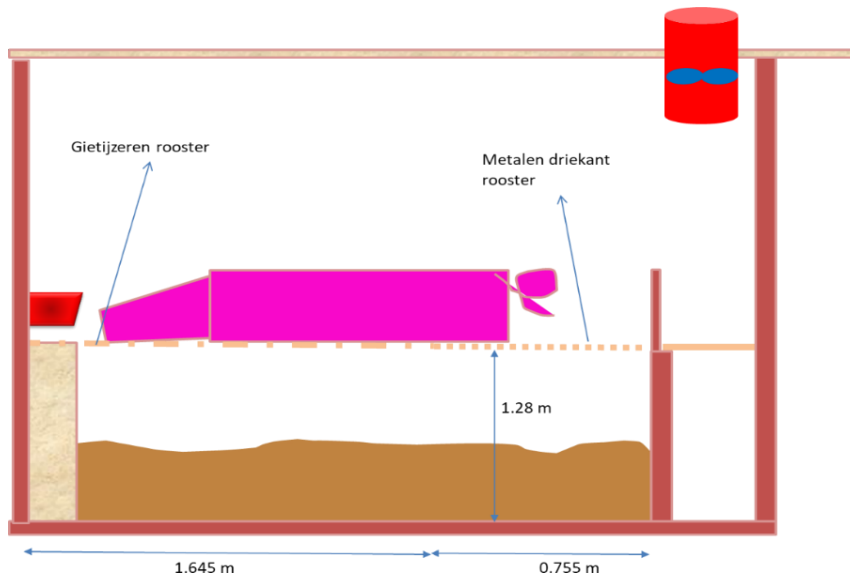
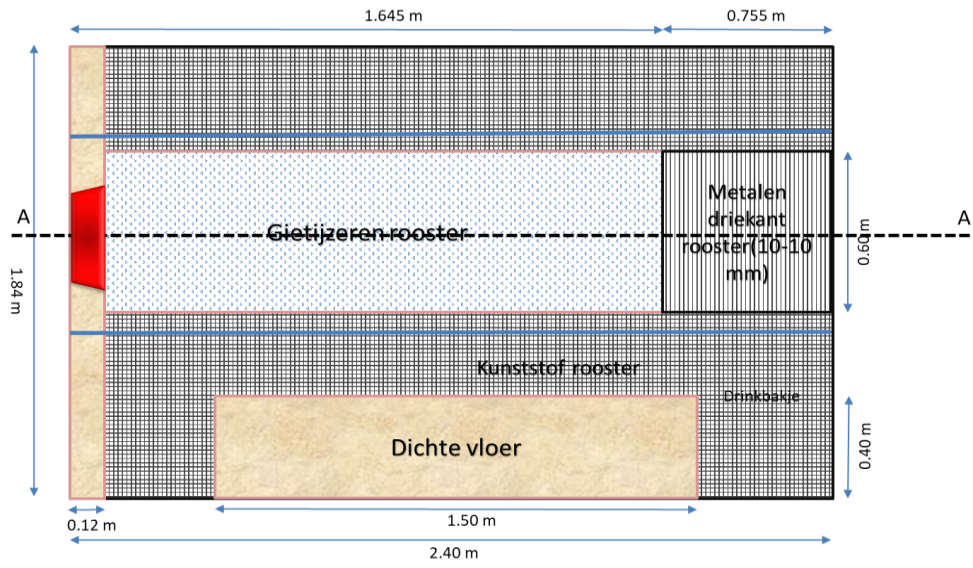


Kraamzeugen

K2 – Proefafdeling



K2 – Referentie afdeling



Bijlage 3 – Ventilatiegegevens

Bedrijf 1

	Temperatuur		Minimale ventilatie		Maximale ventilatie	
Vleesvarkens Proef	Dag 1	21,0°C	Dag 1	8%	Dag 1	50%
	Dag 7	19,0°C	Dag 7	10%	Dag 7	60%
	Dag 50	16,0°C	Dag 50	10%	Dag 50	60%
	Dag 100	16,0°C	Dag 100	10%	Dag 100	60%
Vleesvarkens Controle	Dag 1	24,7°C	Dag 1	10%	Dag 1	50%
	Dag 10	22,9°C	Dag 10	10%	Dag 10	52%
	Dag 20	22,7°C	Dag 20	12%	Dag 20	56%
	Dag 30	22,4°C	Dag 30	13%	Dag 30	61%
	Dag 40	22,2°C	Dag 40	14%	Dag 40	66%
	Dag 50	22,0°C	Dag 50	15%	Dag 50	71%
	Dag 60	22,0°C	Dag 60	15%	Dag 60	77%
	Dag 70	22,0°C	Dag 70	15%	Dag 70	83%
	Dag 80	22,0°C	Dag 80	15%	Dag 80	89%
	Dag 90	22,0°C	Dag 90	15%	Dag 90	95%
Dag 100	22,0°C	Dag 100	15%	Dag 100	100%	
Gespeende biggen	Dag 1	29,0°C	Dag 1	8%	Dag 1	60%
	Dag 7	24,0°C	Dag 7	8%	Dag 7	80%
	Dag 14	22,0°C	Dag 14	8%	Dag 14	80%
	Dag 21	20,0°C	Dag 21	8%	Dag 21	80%
	Dag 28	20,0°C	Dag 28	10%	Dag 28	80%
	Dag 50	20,0°C	Dag 50	10%	Dag 50	80%
Kraamzeugen	Dag 1	20,0°C	Dag 1	8%	Dag 1	50%
	Dag 10	23,0°C	Dag 10	8%	Dag 10	70%
	Dag 25	21,0°C	Dag 25	8%	Dag 25	80%
	Dag 59	21,0°C	Dag 59	8%	Dag 59	80%
	Dag 60	25,0°C	Dag 60	8%	Dag 60	60%
	Dag 99	22,0°C	Dag 99	8%	Dag 99	100%
	Dag 100	10,0°C	Dag 100	10%	Dag 100	20%

Bedrijf 2

	Temperatuur		Minimale ventilatie		Maximale ventilatie	
Vleesvarkens	Dag 1	23,0°C	Dag 1	6%	Dag 1	50%
	Dag 14	22,0°C	Dag 14	10%	Dag 14	57%
	Dag 26	21,0°C	Dag 28	12%	Dag 28	75%
	Dag 90	20,0°C	Dag 90	18%	Dag 90	80%
Kraamstal	Dag 1	26,0°C	Dag 1	5%	Dag 1	50%

Dag 7	25,0°C	Dag 7	8%	Dag 7	50%
Dag 21	22,0°C	Dag 14	10%	Dag 14	70%
		Dag 21	12%	Dag 21	80%

Bijlage 4 – Voergegevens

Bedrijf 1

Vleesvarkens							
Startvoer	Startdatum						
Nutriënten	15-10-2020	20-10-2020	20-10-2020	2-11-2020	6-11-2020	19-11-2020	5-3-2021
Droge stof	884,5	886,5	883,7	886,3	886,3	882,5	881,6
Ruw as	56,0	48,9	49,1	49,5	49,5	49,6	47,8
Ruw eiwit	159,3	152,3	146,9	153,2	154,3	154,7	152,7
Ruw vet	52,6	47,5	47,7	48,0	48,0	48,3	36,3
Ruwe celstof	50,5	49,9	50,4	51,3	51,4	49,1	46,2
Zetmeel	417,4	428,5	429,3	420,0	420,6	419,4	435,2
Suiker	30,6	31,6	32,4	32,3	32,4	32,4	32,2
Calcium (totaal)	7,20	7,05	7,05	7,04	7,04	7,04	7,04
Fosfor (totaal)	4,50	4,64	4,66	4,75	4,76	4,76	4,62
Natrium	2,10	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
C18:2 (Linolzuur)	26,92	21,30	21,19	21,49	21,50	21,68	19,34
DVLys s	10,50	10,02	9,90	10,01	10,03	10,04	10,09
DVMet s	3,71	3,74	3,67	3,75	3,74	3,75	3,83
DVM+C s	6,13	6,04	5,89	6,07	6,06	6,07	6,16
DVThr s	6,72	6,39	6,26	6,41	6,38	6,39	6,60
DVTrp s	2,00	1,93	1,88	1,95	1,95	1,95	1,96
EW-V	114,0	113,8	113,5	112,9	112,8	113,4	109,8
VPv intn	2,90	2,91	2,91	2,90	2,90	2,90	2,90
Vitamine A (3a672a)	6999,7	6999,7	6999,7	6999,7	6999,7	6999,7	6999,7
Vit E (all-rac-alfa- tocoferylacetaat, (3a700))	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
E-Dracht	117,2	117,0	116,7	116,1	116,1	116,6	113,0
E-Lacto	116,6	116,5	116,3	115,6	115,6	116,1	112,4

Vleesvarkens						
Afmestvoer	Startdatum					
Nutriënten	15-9-2020	2-11-2020	6-11-2020	9-2-2021	5-3-2021	
Droge stof	884,2	883,3	883,3	884,5	879,2	
Ruw as	41,2	45,0	45,0	46,0	44,8	
Ruw eiwit	147,0	148,9	149,8	151,1	147,3	
Ruw vet	24,9	30,8	30,9	47,2	29,3	
Ruwe celstof	54,3	42,7	42,7	57,7	45,6	
Zetmeel	473,7	460,5	461,0	405,8	445,4	
Suiker	27,6	27,8	27,9	34,3	29,9	
Calcium (totaal)	5,75	6,04	6,04	6,04	5,84	
Fosfor (totaal)	3,92	4,12	4,12	4,52	4,09	
Natrium	2,00	2,34	2,34	2,34	2,04	
C18:2 (Linolzuur)	12,91	16,22	16,23	20,96	15,05	

DVLys s	9,10	9,14	9,15	9,31	9,15
DVMet s	3,29	3,37	3,36	3,38	3,43
DVM+C s	5,55	5,58	5,57	5,75	5,63
DVThr s	6,01	6,01	5,99	6,14	6,00
DVTrp s	1,64	1,62	1,62	1,68	1,71
EW-V	110,8	110,7	110,7	110,0	108,4
VPv intrn	2,23	2,60	2,60	2,50	2,55
Vitamine A (3a672a)	5600,4	5600,4	5600,4	5600,4	5600,4
Vit E (all-rac-alfa-tocoferylacetaat, (3a700))	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
E-Dracht	114,0	113,9	113,9	113,6	111,8
E-Lacto	113,4	113,4	113,3	112,9	111,2

Gespeende biggen

Nutriënten	Startdatum		
	2-11-2020	6-11-2020	5-3-2021
Droge stof	887,4	887,4	885,1
Ruw as	57,5	57,5	57,6
Ruw eiwit	147,1	148,2	152,2
Ruw vet	44,0	44,0	43,9
Ruwe celstof	38,7	38,8	37,7
Zetmeel	432,4	433,0	425,9
Suiker	35,3	35,3	35,4
Calcium (totaal)	6,04	6,04	6,04
Fosfor (totaal)	4,51	4,51	4,53
Natrium	2,24	2,24	2,24
C18:2 (Linolzuur)	15,97	15,99	15,62
DVLys s	10,13	10,14	10,40
DVMet s	4,20	4,20	4,29
DVM+C s	6,30	6,29	6,48
DVThr s	6,70	6,68	6,91
DVTrp s	2,28	2,28	2,36
EW-V	114,3	114,2	112,4
VPv intrn	3,40	3,40	3,40
Vitamine A (3a672a)	15000,0	15000,0	15000,0
Vit E (all-rac-alfa-tocoferylacetaat, (3a700))	100,0	100,0	100,0
E-Dracht	115,0	114,9	113,3
E-Lacto	114,8	114,7	112,9

Kraamzeugen

Nutriënten	Startdatum				
	18-6-2020	2-11-2020	6-11-2020	14-12-2020	15-12-2020
Droge stof	886,6	882,8	882,8	886,3	884,0
Ruw as	61,2	61,5	61,5	61,3	61,2
Ruw eiwit	161,5	159,8	160,5	158,8	161,6
Ruw vet	56,7	49,5	49,6	50,0	50,0
Ruwe celstof	55,6	49,5	49,5	47,8	47,8

Zetmeel	333,7	346,8	347,3	348,6	348,6
Suiker	45,8	45,7	45,7	55,3	45,7
Calcium (totaal)	9,50	9,54	9,54	9,66	9,54
Fosfor (totaal)	5,41	5,47	5,47	5,47	5,47
Natrium	2,50	2,54	2,54	2,30	2,54
C18:2 (Linolzuur)	25,51	21,85	21,86	22,07	22,07
DVLys s	8,85	8,83	8,83	8,84	8,87
DVMet s	2,93	3,19	3,19	3,11	3,20
DVM+C s	5,22	5,43	5,42	5,36	5,45
DVThr s	5,93	5,91	5,89	5,89	5,92
DVTrp s	1,71	1,68	1,68	1,68	1,69
EW-V	106,0	104,8	104,8	106,3	105,6
VPv intn	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
Vitamine A (3a672a)	12000,0	12000,0	12000,0	12000,0	12000,0
Vit E (all-rac-alfa-tocoferylacetaat, (3a700))	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
E-Dracht	109,8	108,5	108,5	109,9	109,3
E-Lacto	109,4	108,1	108,1	109,5	108,9

Bedrijf 2

Vleesvarkens

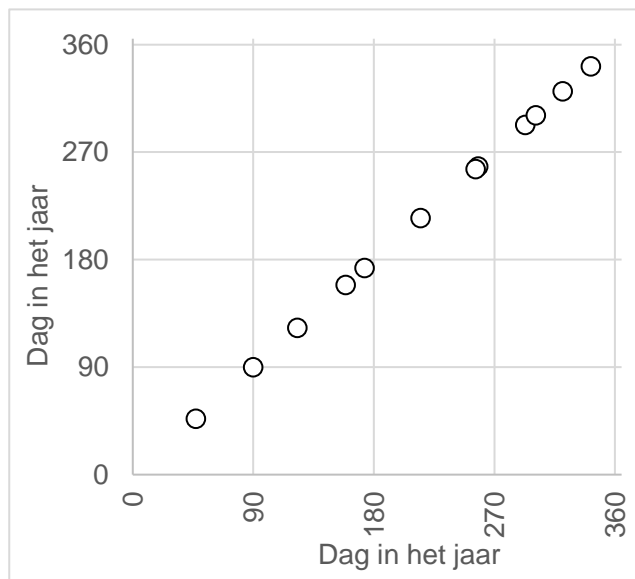
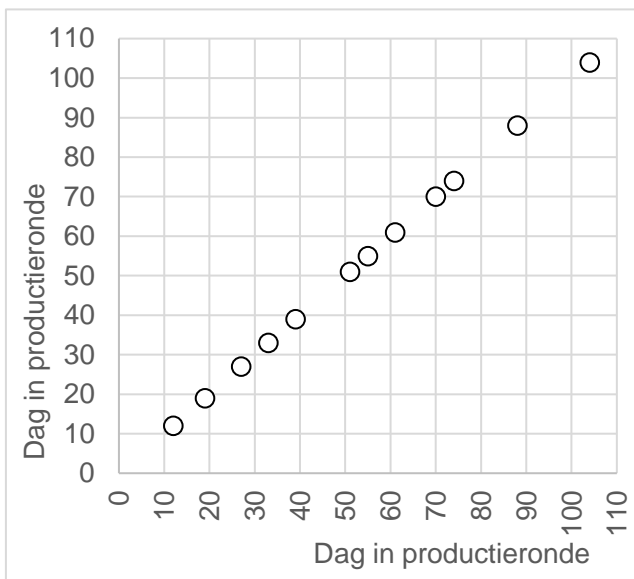
Nutriënten	Startvoer	Jeugd	Groei
Ruw eiwit	17,20%	15,50%	13,90%
Ruw vet	4,50%	2,90%	2,80%
Ruwe celstof	4,60%	4,00%	4,50%
Ruw as	5,20%	4,40%	4,10%
Lysine	1,18%	1,02%	0,87%
Methionine	0,43%	0,35%	0,29%
Calcium	0,60%	0,59%	0,58%
Fosfor	0,43%	0,38%	0,35%
Natrium	0,20%	0,18%	0,16%

Kraamzeugen

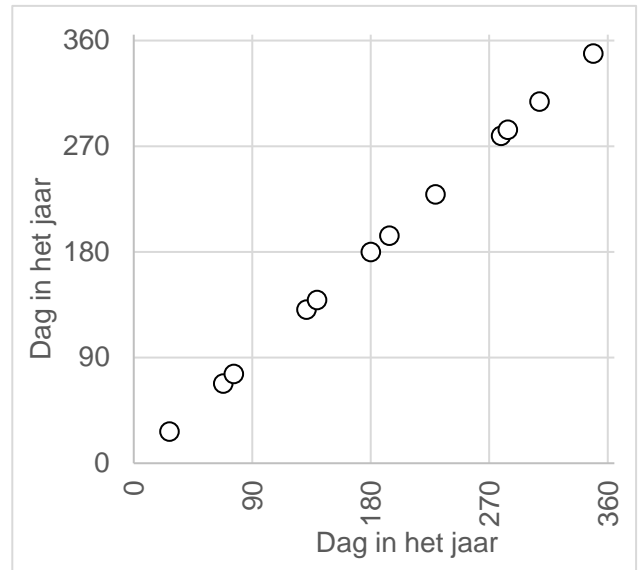
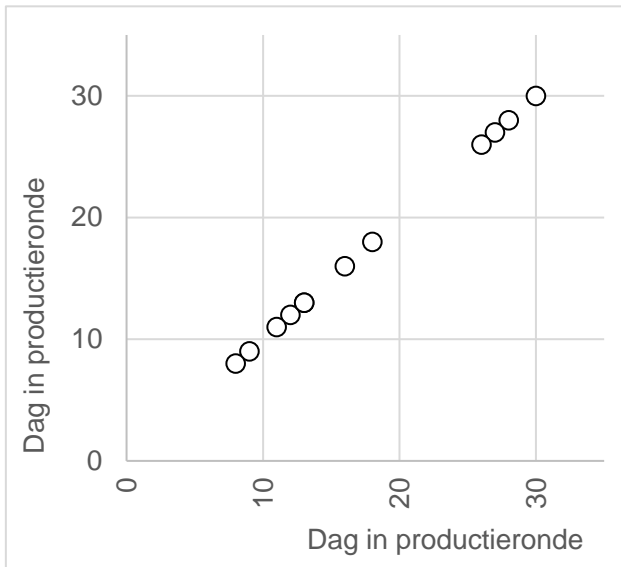
Nutriënten	g/kg
Ruw eiwit	115,0
Ruw vet	53,0
Ruwe celstof	65,0
Ruw as	61,0
Lysine	9,8
Methionine	3,0
Calcium	9,3
Fosfor	5,2
Natrium	2,4
Magnesium	2,6

Bijlage 5 – Verdeling emissiemetingen

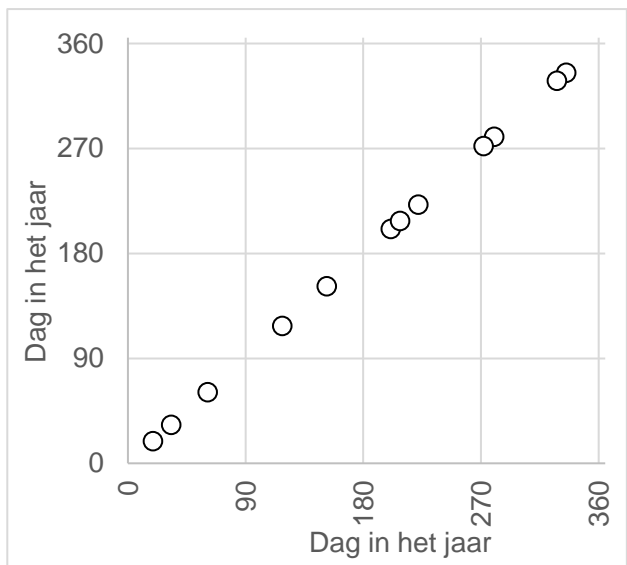
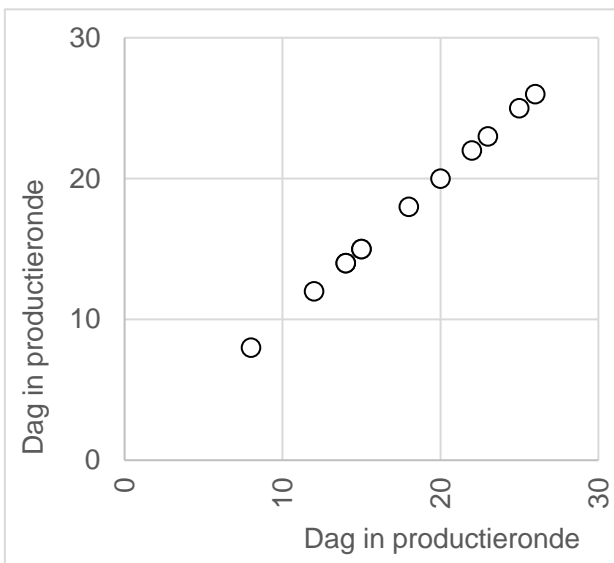
Vleesvarkens



Gespeende biggen



Kraamzeugen



Bijlage 6 – Metingen compleet

Vleesvarkens

VV1 Proef						
Datum	19-10-2020	16-11-2020	16-2-2021	31-3-2021	22-6-2021	15-9-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	25,52 ; 26,82	19,85 ; 21,29	10,75 ; 11,25	18,2 ; 18,36	11,46 ; 11,84	13,65 ; 13,67
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	3,20	4,14	3,0	3,4	5,5	3,85 ¹
NH ₃ concentratie (ppm)	1,50 ; 1,52	2,76 ; 2,84	2,64 ; 2,96	6,85 ; 6,89	2,85 ; 4,17	2,99 ; 3,05
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,06	0,15	0,13	0,11	0,08	0,13
Geur concentratie (OU _E /m ³)	1555 ; 2257 ²	2094 ; 2954	1385 ; 1886	853 ; 872	3005 ; 2386	4108 ; 5140
Dag in de productieronde	12	39	27	70	61	55
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	37	40	33	44	51	50
Temperatuur (°C)	20,1	20,1	19,5	23,5	21,7	23,3
Luchtvochtigheid (%)	63,5	69,4	68,2	57,4	72,1	73,3
Temperatuur buiten (°C)	12,0	10,3	8,2	15,1	14,5	17,6
Luchtvochtigheid buiten (%)	84	84	83	53	79	88
Waterkanaal						
N (g/kg)	0,83	0,84	2,5	2,0	2,7	-
NH ₄ N (g/kg)	0,65	0,66	1,2	1,5	2,1	-
DS (g/kg)	5,4	4,9	47,5	17,1	26,0	-
As (g/kg)	2,1	2,6	8,5	5,9	7,0	-
pH	7,7	7,7	6,9	7,7	7,1	-
Temperatuur (°C)	22,9	23,3	22,3	23,1	23,4	29,0
Hoogte (cm)	21,0	32,1	18,0	27,0	22,6	38,0
Mestkanaal						
N (g/kg)	0,57	6,5	4,8	8,6 ³	6,2	-
NH ₄ N (g/kg)	0,32	4,1	2,9	6,3	3,7	-
DS (g/kg)	6,5	213,6	99,8	109,0	109,8	-
As (g/kg)	2,6	134,5	31,3	25,2	21,3	-
pH	7,2	7,7	7,2	7,6	7,3	-
Temperatuur (°C)	21,6	22,7	20,3	-	22,9	28,0
Hoogte (cm)	19,0	10,8	20,7	-	2,4	38,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van alle metingen

² Geurmeting uitgevoerd op 26 oktober 2021

³ Mestmonster genomen op 29 maart 2021

VV1 Controle						
Datum	19-10-2020	16-11-2020	16-2-2021	31-3-2021	22-6-2021	15-9-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	254,36 ; 273,87	111,37 ; 116,74	114,96 ; 137,36	66,41 ; 69,52	84,54 ; 84,88	81,9 ; 84,14
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	3,20	4,14	3,0	3,4	5,5	3,85 ¹
NH ₃ concentratie (ppm)	0,03 ; 0,03	13,37 ; 13,57	11,96 ; 12,31	10,7 ; 10,89	9,63 ; 9,73	7,87 ; 7,87
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,06	0,15	0,13	0,11	0,08	0,13
Geur concentratie (OU _E /m ³)	2545 ²	3692 ; 2978	7714 ; 7206	7050 ; 7448	2672 ; 2831	3470 ; 5140
Dag in de productieronde	12	39	27	70	61	55
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	20	28	21	58	53	57
Temperatuur (°C)	22,8	22,4	23,3	24,1	23,6	24,1
Luchtvochtigheid (%)	67,1	68,2	67,4	56,5	69,0	72,4
Temperatuur buiten (°C)	12,0	10,3	8,2	15,1	14,5	17,6
Luchtvochtigheid buiten (%)	84	84	83	53	79	88
Mestkanaal voor						
N (g/kg)	5,2	6,3	5,6	-	-	-
NH ₄ N (g/kg)	3,4	3,7	3,2	-	-	-
DS (g/kg)	62,3	104,0	100,8	-	-	-
As (g/kg)	17,0	30,1	33,4	-	-	-
pH	7,7	7,7	7,8	-	-	-
Temperatuur (°C)	27,0	24,6	25,8	-	27,1	26,0
Hoogte (cm)	46,0	25,7	35,3	-	48,7	40,0
Mestkanaal achter						
N (g/kg)	6,4	6,9	6,5	7,9	4,4	-
NH ₄ N (g/kg)	3,8	3,6	3,9	4,7	2,8	-
DS (g/kg)	110,1	102,9	96,9	118,8	68,9	-
As (g/kg)	21,2	21,6	21,4	23,3	15,1	-
pH	7,6	7,5	7,8	7,3	7,7	-
Temperatuur (°C)	24,4	23,6	24,3	25,7	27,1	27,0
Hoogte (cm)	61,5	52,3	61,0	50,8	54,6	50,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van alle metingen

² Enkele geurmeting uitgevoerd op 26 oktober 2021

VV2 Proef						
Datum	27-10-2020	7-12-2020	3-5-2021	8-6-2021	3-8-2021	13-9-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	11,93 ; 14,03	16,07 ; 17,96	9,36 ; 11,65	14,37 ; 15,06	21,91 ; 22,15	15,92 ; 16,09
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	2,52	5,63	5,72 ¹	7,26	7,46	5,72 ¹
NH ₃ concentratie (ppm)	7,28 ; 10,14	5,47 ; 7,58	8,67 ; 9,37	12,05 ; 12,13	8,53 ; 8,65	10,38 ; 10,47
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	1,66	0,72	2,10	3,50	1,83	2,77
Geur concentratie (OU _E /m ³)	3419 ; 3437	3773 ; 5334 ²	3989 ; 4252	5488 ³	1658 ; 3082	6263 ; 7396
Dag in de productieronde	104	19	51	88	33	74
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	31	16	38	48	35	46
Temperatuur (°C)	20,6	20,7	23,8	25,6	24,0	23,7
Luchtvochtigheid (%)	65,1	59,9	50,7	64,2	63,6	63,8
Temperatuur buiten (°C)	10,1	2,5	10,0	18,5	14,8	14,6
Luchtvochtigheid buiten (%)	82	93	54	67,0	83	83,0
Waterkanaal						
N (g/kg)	-	-	7,6	8,1	6,4	5,4
NH ₄ N (g/kg)	-	-	4,8	5,0	4,2	4,0
DS (g/kg)	-	-	110,3	144,1	125,3	34,4
As (g/kg)	-	-	23,6	29,3	19,2	12,8
pH	-	-	6,6	6,6	6,0	6,1
Temperatuur (°C)	-	18,5	23,3	28,8	26,2	29,7
Hoogte (cm)	-	85,0	57,5	71,7	90,8	95,5
Mestkanaal						
N (g/kg)	-	-	6,6	8,5	3,6	-
NH ₄ N (g/kg)	-	-	3,8	5,4	2,9	-
DS (g/kg)	-	-	285,3	144,6	405,5	-
As (g/kg)	-	-	209,8	47,1	365,8	-
pH	-	-	7,9	8,4	7,7	-
Temperatuur (°C)	-	20,5	26,4	29,1	25,8	29,6
Hoogte (cm)	-	7,0	5,4	8,0	3,6	5,8

¹ Gemiddelde ingaande lucht van alle metingen

² Geurmeting uitgevoerd op 6 april 2021

³ Enkele meting

VV2 Controle						
Datum	27-10-2020	7-12-2020	3-5-2021	8-6-2021	3-8-2021	13-9-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	133,59 ; 134,84	142,06 ; 199,73	127,98 ; 128,28	139,39 ; 148,74	116,29 ; 117,07	112,35 ; 119,83
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	2,52	5,63	5,72 ¹	7,26	7,46	5,72 ¹
NH ₃ concentratie (ppm)	27,13 ; 27,21	41,05 ; 41,35	10,22 ; 10,3	19,5 ; 19,98	22,64	13,52 ; 13,61
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	1,66	0,72	2,10	3,50	1,83	2,77
Geur concentratie (OU _E /m ³)	3675 ; 4824	6303 ; 3470 ²	2592 ; 4005	5512 ; 8238	3390 ; 4104	4466 ; 5281
Dag in de productieronde	104	19	51	88	33	74
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	36	14	34	47	31	44
Temperatuur (°C)	21,6	22,1	23,6	26,5	24,8	24,0
Luchtvochtigheid (%)	70,4	67,9	61,3	70,6	70,5	72,0
Temperatuur buiten (°C)	10,1	2,5	10,0	18,5	14,8	14,6
Luchtvochtigheid buiten (%)	82	93	54	67,0	83	83,0
N (g/kg)						
NH ₄ N (g/kg)	-	-	7,1	6,8	9,3	-
DS (g/kg)	-	-	4,6	4,1	5,2	-
As (g/kg)	-	-	225,2	97,1	122,2	-
pH	-	-	148,0	19,4	29,8	-
Temperatuur (°C)	-	-	8,4	7,4	8,0	-
Hoogte (cm)	-	23,8	25,6	29,7 ³	25,2	26,7
N (g/kg)	-	75,0	88,5	29,8	33,7	40,0

¹ Gemiddelde ingaande lucht van alle metingen

² Geurmeting uitgevoerd op 6 april 2021

³ Gemeten bij het voorste mestrooster i.p.v. het achterste rooster

Gespeende biggen

BG1 Proef						
Datum	3-11-2020	14-12-2020	9-3-2021	11-5-2021	29-6-2021	6-10-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	18,01 ; 19,44	4,20 ; 10,14	6,6 ¹	7,19 ; 7,51	21,82 ; 22,03	14,99 ; 15,1
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	19,54	4,23	38,09	6,33	20,19	13,51
NH ₃ concentratie (ppm)	0,64 ; 0,68	1,33 ; 1,33	2 ; 2,13	1,98 ; 1,99	0,44 ; 3,71	0,49 ; 0,54
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	1,45	2,13	2,44	0,76	1,81	0,85
Geur concentratie (OU _E /m ³)	5133 ; 3657	6303 ; 6851	5025 ; 4514	3419 ; 6736	6736 ; 5894	-
Dag in de productieronde	30	28	12	11	18	16
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	16	17	7	13	21	11
Temperatuur (°C)	26,0	26,7	24,0	26,6	28,5	26,5
Luchtvochtigheid (%)	56,0	61,5	60,6	56,5	59,8	66,1
Temperatuur buiten (°C)	8,9	9,5	5,1	14	19,3	11,5
Luchtvochtigheid buiten (%)	79	91	88	78	83	93
Waterkanaal						
N (g/kg)	0,70	-	0,99	4,6	1,2	3,2
NH ₄ N (g/kg)	0,11	-	0,18	0,44	0,17	0,64
DS (g/kg)	14,3	-	24,4	61,7	24,1	75,6
As (g/kg)	2,0	-	3,6	7,6	3,1	9,4
pH	5,5	-	5,0	4,8	5,8	5,2
Temperatuur (°C)	24,4	23,4	21,2	22,9	26,8	20,6
Hoogte (cm)	7,0	10,3	8,0	10,3	9,2	2,5
Mestkanaal						
N (g/kg)	0,85	-	2,0	4,3	7,3	4,0
NH ₄ N (g/kg)	0,35	-	0,72	0,76	3,8	1,9
DS (g/kg)	14,2	-	46,3	113,7	147,3	94,3
As (g/kg)	3,4	-	8,0	18,5	36,4	17,2
pH	6,7	-	6,1	5,4	6,6	6,4
Temperatuur (°C)	23,2	24,5	20,9	22,2	26,8	23,0
Hoogte (cm)	7,8	5,4	2,6	16,5	6,3	11,9

¹ Enkele meting

BG1 Controle

Datum	3-11-2020	14-12-2020	9-3-2021	11-5-2021	29-6-2021	6-10-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	209,15 ; 210,09	11,5 ; 15,46	236,46 ; 263,69	113,76 ; 133,57	50,77 ; 52,16	254,41 ; 261,57
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	19,54	4,23	38,09	6,33	20,19	13,51
NH ₃ concentratie (ppm)	3,53 ; 3,83	3,89 ; 3,89	9,41 ; 9,78	7,25 ; 7,37	3,83 ; 4,38	7,73 ; 7,73
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	1,45	2,13	2,44	0,76	1,81	0,85
Geur concentratie (OU _E /m ³)	8227 ; 5892	13397 ; 15859	11647 ; 9845	10077 ; 13768	3771 ; 2955	-
Dag in de productieronde	30	28	12	11	18	16
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	16	19	4	12	23	13
Temperatuur (°C)	26,7	27,6	25,7	27,7	29,0	26,9
Luchtvochtigheid (%)	56,2	59,0	66,1	58,5	61,1	64,3
Tempratuur buiten (°C)	8,9	9,5	5,1	14	19,3	11,5
Luchtvochtigheid buiten (%)	79	91	88	78	83	93
Mestkanaal						
N (g/kg)	8,7	-	7,9	4,0	Leeg	5,6
NH ₄ N (g/kg)	3,1	-	3,5	2,3	Leeg	2,9
DS (g/kg)	170,7	-	140,6	63,4	Leeg	153,6
As (g/kg)	59,1	-	42,6	16,8	Leeg	67,2
pH	7,4	-	7,5	7,5	Leeg	7,2
Temperatuur (°C)	23,6	23,7	22,1	24,4	Leeg	19,0
Hoogte (cm)	75,1	56,0	62,3	57,3	Leeg	49,8

BG2 Proef						
Datum	27-1-2021	17-3-2021	19-5-2021	13-7-2021	17-8-2021	11-10-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	3,73 ; 3,77	98,61 ; 111,12	35,86 ; 37,25	17,6 ; 18,12	52,14 ; 53,67	96,28 ; 96,43
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	2,23	17,86	3,76	2,38	3,83	5,57
NH ₃ concentratie (ppm)	6,47 ; 6,7	7,27 ; 7,5	7,73 ; 7,91	6,28 ; 6,84	6,7 ; 7,07	10,53 ; 10,58
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,22	0,29	0,08	0,06	0,05	0,07
Geur concentratie (OU _E /m ³)	4823 ; 10767	9418 ; 12302	4470 ; 10423	11346 ; 9872	5025 ; 9559	9252 ; 15925
Dag in de productieronde	13	9	27	26	8	13
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	3	4	8	14	8	7
Temperatuur (°C)	26,1	25,6	26,0	27,0	26,7	26,0
Luchtvochtigheid (%)	61,3	58,6	61,9	73,8	68,3	66,8
Temperatuur buiten (°C)	4	4,5	10,2	19,1	14,1	11,9
Luchtvochtigheid buiten (%)	94	87	86	96	92	86
Waterkanaal						
N (g/kg)	-	7,0	3,9	5,8	6,2	6,2
NH ₄ N (g/kg)	-	3,7	3,0	4,3	3,5	3,7
DS (g/kg)	-	112,4	33,2	69,6	171,8	150,0
As (g/kg)	-	20,8	13,4	17,5	89,1	27,8
pH	-	6,2	6,7	6,5	5,8	6,5
Temperatuur (°C)	27,6	28,7	30,8	31,7	30,4	26,2
Hoogte (cm)	10,0	8,0	11,0	33,6	9,8	16,3
Mestkanaal						
N (g/kg)	-	4,1	1,8	8,5	7,0	Te droog
NH ₄ N (g/kg)	-	2,1	1,0	4,3	4,0	Te droog
DS (g/kg)	-	75,6	29,5	168,7	164,4	Te droog
As (g/kg)	-	14,1	5,7	27,0	42,9	Te droog
pH	-	6,6	6,4	6,6	6,4	Te droog
Temperatuur (°C)	27,2	27,0	29,8	31,3	29,7	27,5
Hoogte (cm)	8,5	7,8	25,6	22,2	3,4	12,9

BG2 Controle

Datum	27-1-2021	17-3-2021	19-5-2021	13-7-2021	17-8-2021	11-10-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	313,97 ; 313,72	607,7 ; 634,05	227,93 ; 246,41	106,56 ; 116,85	251,39 ; 256,86	455,05 ; 455,44
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	2,23	17,855	3,76	2,38	3,83	5,57
NH ₃ concentratie (ppm)	34,85 ; 35,27	28,39 ; 28,46	14,26 ; 14,83	6,11 ; 7,17	15,92 ; 16	18,79 ; 18,8
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,22	0,29	0,08	0,06	0,05	0,07
Geur concentratie (OU _E /m ³)	8245 ; 5514	5961 ; 5961	11315 ; 8803	4106 ; 7042	2570 ; 4391	5025 ; 7039
Dag in de productieronde	13	9	20	33	14	18
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	3	3	8	14	6	6
Temperatuur (°C)	26,0	26,3	25,6	27,0	26,9	26,2
Luchtvochtigheid (%)	65,0	60,6	65,0	75,3	71,4	69,2
Temperatuur buiten (°C)	4	4,5	10,2	19,1	14,1	11,9
Luchtvochtigheid buiten (%)	94	87	86	96	92	86
Mestkanaal						
N (g/kg)	-	3,1	3,0	4,2	7,2	2,3
NH ₄ N (g/kg)	-	2,2	2,4	2,3	4,8	1,8
DS (g/kg)	-	26,7	93,2	85,5	180,9	19,7
As (g/kg)	-	11,4	26,2	23,9	111,9	8,3
pH	-	7,9	7,8	7,8	7,9	7,9
Temperatuur (°C)	27,6	26,9	29,5	30,1	27,9	25,2
Hoogte (cm)	55,8	50,8	64,3	27,3	29,6	32,9

Kraamzeugen

K1 Proef						
Datum	6-10-2020	30-11-2020	19-1-2021	28-4-2021	20-7-2021	10-8-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	10,31 ; 11,18	12,57 ; 12,87	10,02 ; 8,85	10,3 ; 11,4	17,3 ; 17,72	12,73 ; 13,85
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	3,40	6,38	4,57	5,34	6,22 ¹	9,76
NH ₃ concentratie (ppm)	4 ; 4,05	5,27 ; 5,31	6,29 ; 6,29	6,63 ; 6,77	5,77 ; 6,02	4,11 ; 4,12
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,60	1,34	1,33	0,65	2,09	0,43
Geur concentratie (OU _E /m ³)	4826 ; 7203	2963 ; 4779	4489 ; 6268	2772 ²	1320 ; 1273	1879 ; 1409
Dag in de productieronde	15	14	22	23	14	20
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	24	103	114	186	176	197
Temperatuur (°C)	28,1	26,0	26,6	28,2	29,8	28,9
Luchtvochtigheid (%)	56,2	52,2	50,9	42,6	50,8	61,8
Temperatuur buiten (°C)	13	0,9	-1,4	12,3	17,9	16,5
Luchtvochtigheid buiten (%)	87	96	96	44	92	87
Waterkanaal						
N (g/kg)	0,48	0,20	0,28	0,83	0,31	-
NH ₄ N (g/kg)	0,34	0,13	0,19	0,35	0,21	-
DS (g/kg)	2,7	1,5	2,0	12,3	4,6	-
As (g/kg)	1,0	0,5	0,9	2,4	2,9	-
pH	7,4	7,9	7,5	7,1	8,2	-
Temperatuur (°C)	26,0	-	21,4	22,0	27,2	-
Hoogte (cm)	4,7	-	2,4	5,6	3,4	-
Mestkanaal						
N (g/kg)	1,0	0,27	1,5	3,3	4,5	-
NH ₄ N (g/kg)	0,59	0,21	1,3	1,5	2,9	-
DS (g/kg)	19,1	1,8	7,3	72,1	58,7	-
As (g/kg)	4,4	0,7	3,9	14,6	15,5	-
pH	6,9	7,6	8,7	7,5	8	-
Temperatuur (°C)	24,8	23,2	23,3	23,3	26,7	-
Hoogte (cm)	5,6	6,3	16,3	12,0	2,2	-

¹ Gemiddelde ingaande lucht van alle metingen

² Enkele meting

K1 Controle						
Datum	6-10-2020	30-11-2020	19-1-2021	28-4-2021	20-7-2021	10-8-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	64,71 ; 69,84	130,91 ; 136,27	96,56 ; 121,11	92,36 ; 98,69	94,79 ; 104,24	107,84 ; 107,94
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	3,40	6,38	4,57	5,34	6,22	9,76
NH ₃ concentratie (ppm)	11,62 ; 12,03	17,13 ; 17,47	18,09 ; 18,68	7,4 ; 7,5	10,61 ; 10,95	11,78 ; 12,16
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,60	1,34	1,33	0,65	2,09	0,43
Geur concentratie (OU _E /m ³)	3911 ; 5518	4802 ; 4220	4221 ; 5159	2048 ; 2935	2399 ; 2481	2624 ; 2346
Dag in de productieronde	15	18	22	30	19	25
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	28	78	85	151	176	180
Temperatuur (°C)	27,4	25,4	25,6	27,2	28,8	28,1
Luchtvochtigheid (%)	61,2	63,0	61,4	47,4	58,5	65,4
Tempratuur buiten (°C)	13	0,9	-1,4	12,3	17,9	16,5
Luchtvochtigheid buiten (%)	87	96	96	44	92	87
Mestkanaal						
N (g/kg)	6,2	2,1	5,1	1,8	2,5	-
NH ₄ N (g/kg)	2,3	1,6	2,6	-	1,7	-
DS (g/kg)	149,2	14,1	94,4	49,2	29,8	-
As (g/kg)	34,8	7,1	30,4	25,5	11,3	-
pH	8,2	-	7,7	8,2	7,9	-
Temperatuur (°C)	23,6	23,4	22,5	22,9	25,3	-
Hoogte (cm)	39,5	47,0	54,8	31,8	41,8	-

K2 Proef						
Datum	23-11-2020	2-2-2021	2-3-2021	1-6-2021	27-7-2021	29-9-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	13,48 ; 28,41	13,94 ; 26,88	24,53 ; 32,95	10,95 ; 17,69	9,88 ; 13,93	21 ; 21,7
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	5,00	4,85	16,54	3,73	2,91	6,40
NH ₃ concentratie (ppm)	5,24 ; 5,71	9,27 ; 9,41	6,61 ; 7,27	5,61 ; 5,63	2,75 ; 2,88	3,57 ; 5,3
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,45	0,75	1,25	0,32	0,23	0,59
Geur concentratie (OU _E /m ³)	3657 ; 2978	2699 ; 4088	4200 ; 5159	635 ; 485	1210 ; 1160	1083 ; 949
Dag in de productieronde	18	12	8	26	25	15
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	91	71	50	171	198	113
Temperatuur (°C)	23,5	24,5	24,4	28,1	24,9	23,1
Luchtvochtigheid (%)	66,4	73,8	49,7	50,9	75,7	65,5
Temperatuur buiten (°C)	5,9	6,1	6,7	18,8	18,4	11,5
Luchtvochtigheid buiten (%)	87	95	77	49	97	94
Waterkanaal						
N (g/kg)	1,9	0,81	1,2	Leeg	3,3	0,60
NH ₄ N (g/kg)	0,99	0,64	1,0	Leeg	1,1	0,49
DS (g/kg)	35,3	4,6	5,6	Leeg	111,7	4,6
As (g/kg)	8,9	1,5	3,4	Leeg	32,0	1,9
pH	7	7,5	8,1	Leeg	7,3	7,8
Temperatuur (°C)	25,3	-	22,6	-	26,1	21,2
Hoogte (cm)	-	-	18,0	-	9,2	7,3
Mestkanaal						
N (g/kg)	2,7	4,1	3,3	2,1	1,3	2,2
NH ₄ N (g/kg)	1,4	2,3	2,7	1,7	0,6	1,9
DS (g/kg)	53,7	84,8	17,3	13,4	29,8	14,9
As (g/kg)	12,3	19,0	5,1	5,9	6,5	5,0
pH	7,2	8,3	9,1	8,8	7,2	9,1
Temperatuur (°C)	24,9	24,8	23,0	26,4	26,1	21,7
Hoogte (cm)	10,5	18,0	10,0	10,2	2,9	3,0

K2 Controle						
Datum	23-11-2020	2-2-2021	2-3-2021	1-6-2021	27-7-2021	29-9-2021
Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ concentratie (ppm)	62,64 ; 65,38	47,87 ; 94,36	59,57 ; 63,08	52,56 ; 8,26	59,91 ; 5,99	105,94 ; 107,62
CH ₄ concentratie Ingaand (ppm)	5,00	4,85	16,54	3,73	2,91	6,40
NH ₃ concentratie (ppm)	9,11 ; 17,14	13,02 ; 13,12	5,84 ; 5,91	10,35 ; 10,47	13,5 ; 13,55	21,16 ; 7,38
NH ₃ concentratie Ingaand (ppm)	0,45	0,75	1,25	0,32	0,23	0,59
Geur concentratie (OU _E /m ³)	4514 ; 3656	1815 ; 1910	1021 ; 1307	378 ; 578	1413 ; 1027	999 ; 2102
Dag in de productieronde	18	12	8	26	25	15
Ventilatie (m ³ /uur/dier)	122	76	77	230	231	98
Temperatuur (°C)	21,7	22,9	23,9	27,4	25,6	23,5
Luchtvochtigheid (%)	71,6	77,5	60,0	56,4	78,0	77,8
Tempratuur buiten (°C)	5,9	6,1	6,7	18,8	18,4	11,5
Luchtvochtigheid buiten (%)	87	95	77	49	97	94
Mestkanaal						
N (g/kg)	1,2	1,0	0,64	Leeg	1,2	3,0
NH ₄ N (g/kg)	0,99	0,93	0,50	Leeg	1,0	1,8
DS (g/kg)	5,9	5,6	4,9	Leeg	6,0	89,3
As (g/kg)	3,4	3,3	1,8	Leeg	3,3	39,6
pH	7,9	8,0	7,8	Leeg	8,1	7,8
Temperatuur (°C)	22,1	20,4	21,5	Leeg	26,2	19,8
Hoogte (cm)	59,7	76,5	91,7	Leeg	38,7	42,2

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.

