



Emissies bij gedeeltelijke onderafzuiging in stallen voor vleesvarkens en zeugen

A.J.A. Aarnink, J.M.G. Hol, L.M.P. Troquet, N.W.M. Ogink



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Emissies bij gedeeltelijke onderafzuiging in stallen voor vleesvarkens en zeugen

A.J.A. Aarnink¹

J.M.G. Hol¹

L.M.P. Troquet²

N.W.M. Ogink¹

1 Wageningen UR Livestock Research

2 VIC Sterksel

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Programma Mest en Milieu' (projectnummer BO-20-004-022)

Wageningen UR Livestock Research

Wageningen, november 2015

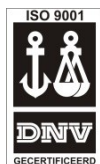
Livestock Research Rapport 916

A.J.A. Aarnink, J.M.G. Hol, L.M.P. Troquet, N.W.M. Ogink, 2015. Emissies bij gedeeltelijke onderafzuiging in stallen voor vleesvarkens en zeugen. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 916, 35 blz.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksoopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
2	Vooronderzoek	12
3	Materiaal en methode	15
	3.1 Behandelingen	15
	3.2 Waarnemingen en metingen	18
	3.3 Data analyse	19
4	Resultaten	21
	4.1 Ventilatie-debiet	21
	4.2 Concentraties	23
	4.3 Emissies	25
	4.4 Hokbevuiling	27
	4.5 Productieresultaten	27
5	Discussie	28
6	Conclusies	30
	Literatuur	31

Woord vooraf

In de Nederlandse varkenshouderij worden op dit moment veel luchtwassers toegepast om de emissies van ammoniak, geur en fijnstof naar de buitenlucht te beperken. Voor de stal is dit echter een end-of-pipe oplossing, wat wil zeggen dat het niets doet aan de concentratie van deze stoffen in de stal. Een goede luchtkwaliteit in stallen wordt steeds belangrijker, denk hierbij aan de effecten op de gezondheid van de varkenshouder en op het welzijn en de gezondheid van de dieren die 24 uur per dag in deze stallen moeten verblijven. Dit is de achtergrond geweest om het onderzoek dat beschreven is in dit rapport op te starten. De hoofdgedachte hierbij was om de luchtkwaliteit in varkensstallen te verbeteren bij toepassing van luchtwassers. Dit kan gerealiseerd worden door de vervuilende stoffen bij de bron weg te zuigen. Net als bij een afzuigkap boven het gasfornuis werd in dit onderzoek een deel van de (vuile) lucht net boven de mest, onder de roostervloer, afgezogen. In Denemarken heeft men de laatste jaren hier veel onderzoek aan gedaan. Het onderzoek is daarom in samenwerking met Deense onderzoekers en een Deens ventilatiebedrijf uitgevoerd. Onze dank gaat hierbij uit naar: Wentao Wu en Guoqiang Zhang van de Universiteit van Aarhus en Bjarne Bjerg van de Universiteit van Kopenhagen voor het uitvoeren van luchtstromingsberekeningen (hoofdstuk 2), naar Anders Leegaard Riis en Malene Jørgensen van het Danish Agriculture & Food Council voor het mogen bezichtigen van bedrijven met het onderafzuigstelsel. Verder willen we het Deense bedrijf Skov A/S, met name de personen Poul Pedersen en Thomas Ladegaard Jensen, bedanken voor het meedenken in het onderzoek en het beschikbaar stellen van klimaatapparatuur. Verder bedanken we het Nederlandse bedrijf JOVAS Agro International B.V. voor het leveren en installeren van het luchtafzuigstelsel onder de roostervloer. Last but not least gaat onze dank uit naar het Ministerie van Economische Zaken voor de financiering van dit onderzoek.

André Aarnink

Projectleider

Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

Varkensstallen worden tegenwoordig veelal voorzien van luchtwassers om de uitgaande lucht te reinigen van ammoniak, geur en fijnstof. Het nadeel van de huidige wijze waarop luchtwassers worden ingezet is dat het niets doet aan de luchtkwaliteit in de stal. In Denemarken wordt al een aantal jaren onderzoek gedaan naar lokale afzuiging en reiniging van de lucht. Hierbij wordt een deel van de lucht (ca. 10 à 20% van de maximum capaciteit) onder de roosters afgezogen en gereinigd, terwijl de rest van de lucht via het plafond wordt afgezogen. Volgens Deens onderzoek kan de ammoniakemissie hiermee met 50 à 70% worden gereduceerd. De doelstelling van dit onderzoek was te bepalen hoe het Deense partiële onderafzuigstelsel vertaald kon worden naar de Nederlandse situatie. Hiervoor zijn modelberekeningen gedaan aan luchtstromingen in de stal en is een proof of principle onderzoek uitgevoerd op VIC Sterksel bij vleesvarkens en drachtige zeugen.

De luchtstroming in één van de onderzoeksafdelingen van VIC Sterksel is voor 3 situaties doorgerekend: 1) maximale ventilatie met volledige afzuiging van de lucht via het plafond bij (60 m³/uur); 2) maximale ventilatie met 52 m³/uur via het plafond en 8 m³/uur via de mestkelder; 3) minimum ventilatie met alleen afzuiging van de lucht via de mestkelder (8 m³/uur). Uit de vergelijking tussen situatie 1 en 2 blijkt dat de temperatuurverdeling tussen deze situaties niet veel verschilt. Ook de verdeling van de ammoniakconcentratie verschilt niet veel tussen beide situaties. Bij minimum ventilatie in situatie 3, waarbij alle lucht via de mestkelder wordt afgevoerd, is de temperatuurverdeling ook vergelijkbaar met die van situaties 1 en 2, maar is de temperatuur alleen beduidend hoger, vooral op dierniveau. Ook in de mestkelder worden duidelijk hogere temperaturen berekend. Hetzelfde geldt voor de ammoniakconcentraties, die over de gehele afdeling ook beduidend hoger zijn. Tevens is berekend welk percentage van de geproduceerde ammoniak in de afdeling via de mestkelder wordt afgevoerd. Hieruit blijkt dat bij een maximale ventilatie, waarbij 8 m³/uur via de mestkelder wordt geventileerd en 52 m³/uur via het plafond, 19% van de geproduceerde ammoniak via onderafzuiging wordt afgevoerd. Dit betekent dat in 13% van de ventilatielucht 19% van de geproduceerde ammoniak zit.

Het partiële onderafzuigstelsel is geïmplementeerd in 2 afdelingen voor vleesvarkens en in één afdeling voor drachtige zeugen. Elk van de beide proefafdelingen voor vleesvarkens had een exact gelijkende controleafdeling met als enige verschil de afvoer van de lucht. Bij de zeugen werden de metingen van de controlebehandeling in de tijd uitgevoerd in de proefafdeling, waarbij het stelsel van onderafzuiging afwisselend aan en uit werd gezet. De vleesvarkens-afdelingen hadden 12 hokken met 12 vleesvarkens. In de zeugenafdeling zaten 40 zeugen. In de 2 proef- en de 2 controle-afdelingen voor vleesvarkens zijn gedurende één ronde metingen uitgevoerd. In de afdeling voor drachtige zeugen zijn metingen gedurende ca. 1,5 maand uitgevoerd.

De volgende metingen en waarnemingen zijn uitgevoerd:

- Ammoniakconcentratie: 1x per 2 weken bij vleesvarkens en 1x per week bij zeugen continue meting gedurende 24 uur van de uitgaande lucht in alle afdelingen. Bij onderafzuiging werd de ammoniakconcentratie zowel in deze lucht bepaald als in de lucht die via het plafond de stal verliet. Daarnaast werd de concentratie van de ingaande lucht gemeten.
- PM10 concentratie: 1x per 2 weken bij vleesvarkens en 1x per week bij zeugen continue meting gedurende 24 uur in alle uitgaande luchtkokers met behulp van DustTraks. Daarnaast is de PM10 concentratie in de ingaande lucht gemeten.
- Geurconcentratie: 1x per 4 weken van 10:00 – 12:00 uur in alle uitgaande luchtkokers. Bij zeugen werd gedurende twee achtereenvolgende weken gemeten, de ene week met en de andere week zonder onderafzuiging.
- Ventilatie-debiet: debietmetingen met druksensoren in alle uitgaande luchtkokers. Het ventilatie-debiet werd elke twee minuten gemeten en opgeslagen in de klimaatcomputer.
- Hokbevuiling: 2x per week (ma en do) werd de hokbevuiling gescoord.

De resultaten laten zien dat bij vleesvarkens de ammoniakconcentraties in de controleafdelingen in de uitgaande ventilatiekokers van het plafond hoger zijn dan in die van de proefafdelingen (gemiddeld 19,6 vs. 14,4 ppm). De concentraties ammoniak in de lucht van de onderafzuiging was iets hoger dan

in de plafondkokers van dezelfde afdelingen. Ze waren bij de vleesvarkens echter niet hoger dan de concentraties in de uitgaande ventilatiekokers van de controleafdelingen. Bij de zeugen was de concentratie in de ventilatiekoker van de onderafzuiging wel verhoogd, maar werd de ammoniakconcentratie in de ventilatiekoker van het plafond niet verlaagd tijdens perioden van onderafzuiging. Voor geur en fijnstof werden geen verlaagde concentraties bij de plafondkokers gevonden bij onderafzuiging.

Uit de emissieresultaten blijkt dat bij de vleesvarkens gemiddeld 42% van de geproduceerde ammoniak in de afdeling via de mestkelder werd afgezogen. Via de mestkelder werd gemiddeld 40% van de lucht afgevoerd. Bij de zeugen werd gemiddeld 44% van de geproduceerde ammoniak via de mestkelder afgevoerd. Hier werd gemiddeld 31% van de lucht via de mestkelder afgevoerd.

De hokbevuilingsscores laten zien dat vleesvarkens in de afdelingen met onderafzuiging de dichte vloer en het rooster voor in het hok meer bevuilden dan de vleesvarkens in de controleafdelingen. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat varkens in afdelingen met onderafzuiging meer achter op de roostervloer lagen dan de varkens in de controleafdelingen.

Op basis van dit onderzoek kunnen we het volgende concluderen:

- De stalsystemen in dit onderzoek voor vleesvarkens en zeugen, die representatief zijn voor veel stallen voor deze diercategorieën in Nederland, zijn niet geschikt gebleken voor het toepassen van gedeeltelijke onderafzuiging. Dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de manier van ventileren (grondkanaalventilatie) en het grote aandeel dichte vloer.
- De doelstelling om veel ammoniak en andere vervuilende componenten (geur, fijnstof) in weinig lucht af te voeren door middel van gedeeltelijke onderafzuiging werd in dit onderzoek niet gerealiseerd. Bij de vleesvarkens was het percentage afgevoerde ammoniak in de onderafgezogen lucht ongeveer gelijk aan het percentage lucht dat onder de roosters werd afgezogen (42% ammoniak in 40% lucht). Bij de zeugen was dit enigszins hoger (44% ammoniak in 31% lucht).
- Nieuwe stalconcepten zijn nodig om onderafzuiging perspectiefvol te maken in Nederland. Luchtstromingsberekeningen met CFD-modellen zullen hierbij ingezet moeten worden om kansrijke, effectieve ontwerpen te realiseren.

Summary

Pig houses are usually provided with scrubbers for cleaning the outgoing air of ammonia, odour and dust. The disadvantage of the current way in which scrubbers are used is that it does not improve air quality inside the house. In Denmark, already a number of years research has been done on local extraction and purification of the air. Here, a part of the air (approximately 10 to 20% of the maximum capacity) is extracted under the slatted floor and cleaned, while the rest of the air is exhausted from the ceiling. According to Danish research this system can reduce ammonia emissions by 50 to 70%. The objective of this study was to determine how the Danish partial underfloor air extraction system could be translated to the Dutch situation. To achieve this, model calculations were done of airflow patterns in the pig house and a proof of principle study was conducted at VIC Sterksel with growing-finishing pigs and pregnant sows.

The air flow in one of the research compartments of Sterksel was calculated for three situations: 1) maximum ventilation with complete extraction of the air from the ceiling at (60 m³/h); 2) maximum ventilation with 52 m³/h through the ceiling and 8 m³/h through the manure pit; 3) minimum ventilation with only extraction of the air via the manure pit (8 m³/h). The comparison between situation 1 and 2 shows that the temperature distribution between these situations are not much different. Also, the distribution of the ammonia concentration does not differ much between the two situations. At minimum ventilation in situation 3, wherein all of the air is discharged via the manure pit, the temperature distribution is also similar to that of situations 1 and 2, but only the temperature is considerably higher, especially at animal level. Also in the manure pit clearly higher temperatures are calculated. The same applies to the ammonia concentrations, which are also significantly higher over the whole section. Calculations show that at maximum ventilation rate, in which 8 m³/h is ventilated via the manure pit and 52 m³/h through the ceiling, 19% of the ammonia produced is removed via underfloor extraction. This means that in 13% of the ventilation air 19% of the produced ammonia is captured.

The partial underfloor extraction system was implemented in two compartments for growing-finishing pigs and one compartment for pregnant sows. Each of the two treatment sections for fattening pigs had an exactly similar control unit. The only difference was the discharge of the air. In sows, the measurements of the control treatment were carried out in time, wherein the system of underfloor extraction was alternately switched on and off. The fattening compartments had 12 pens with 12 pigs each. The sows' compartment had 40 sows. In the two treatment and control compartments for growing-finishing pigs measurements were performed during one round. In the compartment for pregnant sows measurements were done during approx. 1.5 months.

The following measurements and observations were done:

- Ammonia concentration: 1x per 2 weeks in growing-finishing pigs and in sows 1x per week continuous measurements for 24 hours of the outgoing air in all rooms. With underfloor extracton, the ammonia concentration was determined both in this air as in the air which left the house via the ceiling. In addition, the concentration of the incoming air was measured.
- PM10 concentration: 1x per 2 weeks in growing-finishing pigs and 1x per week in sows continuous measurements for 24 hours in all outgoing air ducts using DustTraks. In addition, measurement of PM10 concentrations were done in the incoming air.
- Odour Concentration: 1x per 4 weeks from 10:00 to 12:00 am in all outgoing air ducts. In sows measurements were done in two consecutive weeks, one week with and the other week without underfloor extraction.
- Ventilation rate: ventilation rate was measured with pressure sensors in all outgoing air ducts. The ventilation rate was measured every two minutes and stored in the climate computer.
- Pen fouling: 2x per week (Mon and Thurs) the pen fouling was scored.

The results show that in growing-finishing pigs, ammonia concentrations in the outgoing air in the ceiling ducts was higher in the control compartment than in the treatment compartment with underfloor extraction (mean 19.6 vs. 14.4 ppm). The concentrations of ammonia in the air from the underfloor extraction was slightly higher than in the ceiling ducts of the same compartments. In the fattening compartments, however, they were not higher than the concentrations in the outgoing ventilation ducts of the control units. In sows, the concentration in the air duct of the underfloor extraction was increased when compared to the concentration in the ceiling duct. However, the concentration of ammonia in the air duct from the ceiling was not reduced during periods of under floor extraction. For odour and dust, concentrations were not lowered in the ceiling ducts when underfloor extraction was used.

The emission results show that in growing-finishing pigs on average 42% of the produced ammonia was extracted through the manure pit. Through the manure pit on average 40% of the air was discharged. In sows on average 44% of the produced ammonia was discharged through the manure pit. Here, on average of 31% of the air was discharged through the manure pit.

The pen fouling scores show that growing-finishing pigs in the compartments with underfloor extraction had more pen fouling on the solid floor and the slatted floor in front of the pen than the pigs in the control compartments. This was probably due to the fact that pigs in the compartments with underfloor extraction were lying more in the back of the pen on the slatted floor than pigs in the control compartments.

On basis of this study the following can be concluded:

- The housing systems in this study for pigs and sows, which are representative of many houses for these animal categories in the Netherlands, have not proven particularly suitable for applying partial underfloor extraction of air. This is probably mainly due to the method of ventilation (ground canal ventilation) and the large proportion of solid floor.
- The objective to dissipate much ammonia and other polluting components (odour, particulates) in a little amount of air through partial underfloor extraction was not achieved in this study. In growing-finishing pigs, the percentage of discharged ammonia in the underfloor extracted air was about equal to the percentage of air that was extracted under the slatted floor (42% of ammonia in 40% of air). In sows, this was somewhat higher (44% of ammonia in 31% of air).
- New pig housing concepts are needed in order to make good prospects for underfloor extraction of air in the Netherlands. Airflow Calculations with CFD models are needed to realize promising, effective designs.

1 Inleiding

Op varkensstallen worden veelal luchtwassers geplaatst om de uitgaande lucht te reinigen van ammoniak, geur en fijnstof. Het nadeel van de huidige wijze waarop luchtwassers worden ingezet is dat het niets doet aan de luchtkwaliteit in de stal. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat zowel de varkenshouder als de varkens gezondheidsproblemen kunnen krijgen als gevolg van de slechte luchtkwaliteit in stallen. Ammoniakconcentraties kunnen daarbij oplopen tot wel 60 ppm. In Denemarken wordt al een aantal jaren onderzoek gedaan naar lokale afzuiging en reiniging van de lucht. Hierbij wordt een deel van de lucht (ca. 10 à 20% van de maximum capaciteit) onder de roosters afgezogen, terwijl de rest van de lucht via het plafond wordt afgezogen. De hoeveelheid onder de roosters afgezogen lucht is ongeveer gelijk aan de minimum ventilatie in de stal (de ventilatie die wordt toegepast in de winter). De lucht die onder de roostervloer wordt afgezogen, bevat veel ammoniak en geurcomponenten. Door deze lucht vervolgens te reinigen met een luchtwasser kunnen de ammoniak- en geuremissie in de stal belangrijk worden gereduceerd. Volgens Deens onderzoek kan de ammoniakemissie hiermee met 50 à 70% worden gereduceerd. Het grote voordeel van onderafzuiging is dat de vervuilende componenten die uit de mest emitteren direct worden afgezogen en daardoor niet in de leefomgeving van de dieren terecht komen. Dit geeft een sterke verbetering van de luchtkwaliteit in de stal. In Nederland is enige ervaring opgedaan met onderafzuiging bij vleeskalveren. Uit een eerste pilotstudie in een praktijkstal tijdens de lente en de zomer is gebleken dat de ammoniakemissie met 35 tot 50% kon worden verlaagd (Smits et al., 2008). Door verdere optimalisatie proberen we bij varkens een hogere reductie te bereiken, vergelijkbaar met de reductie die gevonden is door de Denen.

In deze studie is onderzocht op welke manier het systeem, zoals dat in Denemarken is onderzocht, vertaald kan worden naar Nederlandse omstandigheden. Hiervoor is een proof of principle test uitgevoerd op VIC Sterksel. Indien dit systeem op basis van deze studie voldoende perspectief biedt, wordt het systeem onder praktijkomstandigheden gevalideerd, waarbij emissiefactoren voor het systeem zullen worden vastgesteld. Voordat het praktische onderzoek startte is eerst een kort vooronderzoek gedaan naar de luchtstroming in de stal voor de configuratie zoals die ingebouwd zou worden op VIC Sterksel bij de vleesvarkens. De luchtstroming is hierbij gesimuleerd met een op CFD (Computational Fluid Dynamics) gebaseerd luchtstromingsmodel. Deze berekeningen zijn uitgevoerd door de Universiteit van Aarhus (Denemarken).

De doelstelling van dit onderzoek was te bepalen hoe het Deense partiële onderafzuigstelsel vertaald kan worden naar de Nederlandse situatie. Hiervoor zijn modelberekeningen gedaan en is een proof of principle onderzoek uitgevoerd op VIC Sterksel bij vleesvarkens en drachtige zeugen.

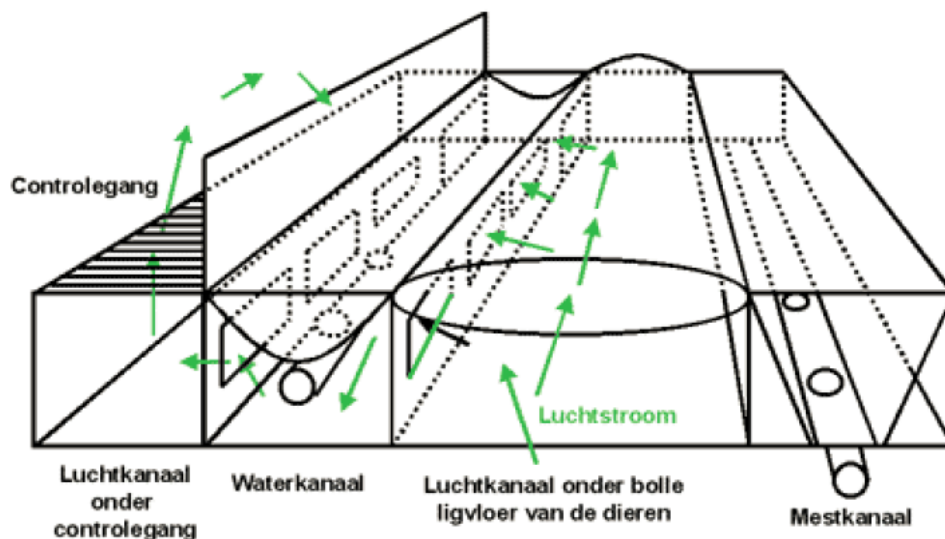
In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt het vooronderzoek met luchtstromingsberekeningen beschreven. In hoofdstukken 3 en 4 worden de materiaal en methoden en de resultaten van het proof of principle onderzoek op VIC Sterksel beschreven. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de berekeningen en de resultaten van het onderzoek op VIC Sterksel bediscussieerd. In hoofdstuk 6 tenslotte worden de belangrijkste conclusies van het totale onderzoek weergegeven.

2 Vooronderzoek

Voor berekening van de luchtstroming in de vleesvarkensafdelingen is eerst de gehele configuratie van de vleesvarkensafdeling in het rekenmodel ingevoerd. De globale luchtstroming in de afdeling wordt weergegeven in Figuur 2.1. De gedetailleerde luchtstroming in de afdeling is voor 3 situaties doorgerekend: 1) maximale ventilatie met volledige afzuiging van de lucht via het plafond bij ($60 \text{ m}^3/\text{uur}$); 2) maximale ventilatie met $52 \text{ m}^3/\text{uur}$ via het plafond en $8 \text{ m}^3/\text{uur}$ via de mestkelder (zie Figuur 3.1 en 3.2 in hoofdstuk 3 voor de uitvoering van de ventilatie via de mestkelder); 3) minimum ventilatie met alleen afzuiging van de lucht via de mestkelder ($8 \text{ m}^3/\text{uur}$).

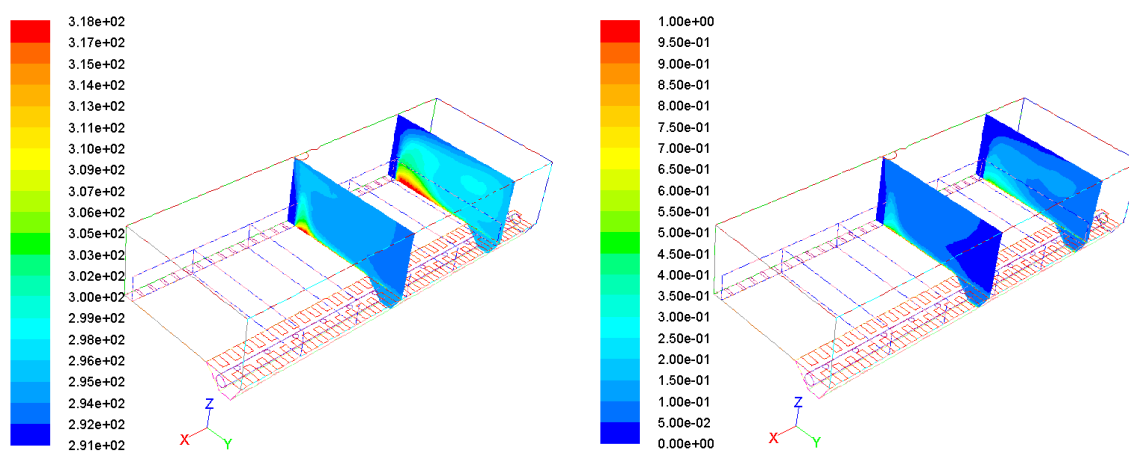
In Figuur 2.2 worden de temperatuurverdeling en de verdeling van de ammoniakconcentraties over de afdeling in twee dwarsdoorsneden weergegeven voor de 3 situaties. Uit de vergelijking tussen situatie 1 en 2 blijkt dat de temperatuurverdeling tussen deze situaties niet veel verschilt. Ook de verdeling van de ammoniakconcentratie verschilt niet veel tussen beide situaties. Bij minimum ventilatie in situatie 3, waarbij alle lucht via de mestkelder wordt afgevoerd, is de temperatuurverdeling ook vergelijkbaar met die van situaties 1 en 2, maar is de temperatuur alleen beduidend hoger, vooral op dierniveau. Ook in de mestkelder worden duidelijk hogere temperaturen berekend. Hetzelfde geldt voor de ammoniakconcentraties, die over de gehele afdeling ook beduidend hoger zijn.

In Tabel 2.1 is ingeschat met behulp van de luchtstromingsberekeningen welk percentage van de geproduceerde ammoniak in de afdeling via de mestkelder wordt afgevoerd. Hieruit blijkt dat bij een maximale ventilatie, waarbij $8 \text{ m}^3/\text{uur}$ via de mestkelder wordt geventileerd en $52 \text{ m}^3/\text{uur}$ via het plafond, 19% van de geproduceerde ammoniak via onderafzuiging wordt afgevoerd. Dit betekent dat in 13% van de ventilatielucht 19% van de geproduceerde ammoniak zit. Het streven bij onderafzuiging is om zoveel mogelijk ammoniak in zo min mogelijk lucht af te voeren. Het is vanzelfsprekend dat voor situatie 1 100% van de ammoniak via het plafond wordt afgezogen en voor situatie 3 100% van de ammoniak via de mestkelder.

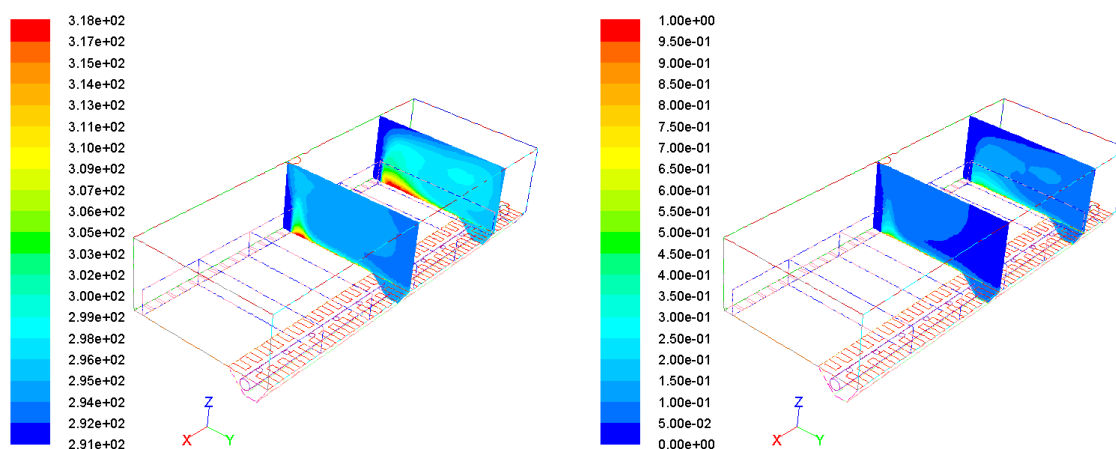


Figuur 2.1 Luchtstroming in de vleesvarkensafdelingen. Lucht komt van buiten en gaat onder de dichte bolle vloer door, vervolgens draait deze luchtstroom naar links en gaat deze onder het waterkanaal door en komt vervolgens in het luchtkanaal onder de controlegang. Vanuit dit luchtkanaal komt de lucht via roosters de afdeling binnen. De lucht valt vervolgens over de hokafscheiding in de hokken van de varkens.

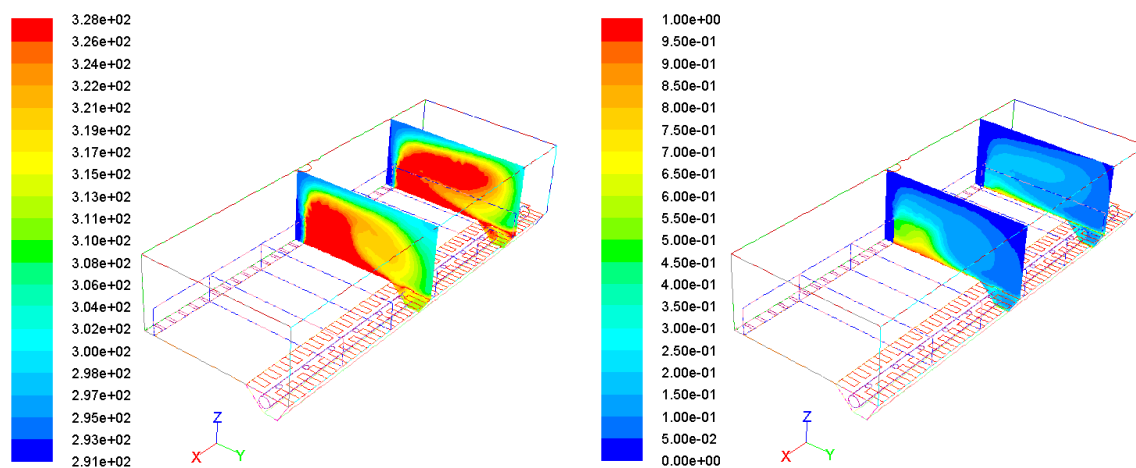
Situatie 1.



Situatie 2.



Situatie 3.



Figuur 2.2 Verdeling van temperatuur (in Kelvin; figuren links) en ammoniakconcentratie (in fractie van maximum; figuren rechts) over de afdeling in twee dwarsdoorsneden weergegeven voor de volgende 3 situaties: 1) volledige afzuiging van de lucht via het plafond (60 m³/uur); 2) ventilatie van 52 m³/uur via het plafond en 8 m³/uur via de mestkelder; 3) alleen afzuiging van de lucht via de mestkelder (8 m³/uur).

Tabel 2.1

Berekening met het luchtstromingsmodel van het percentage ammoniak dat via de mestkelder wordt afgevoerd bij 3 situaties van plafond- en kelderventilatie.

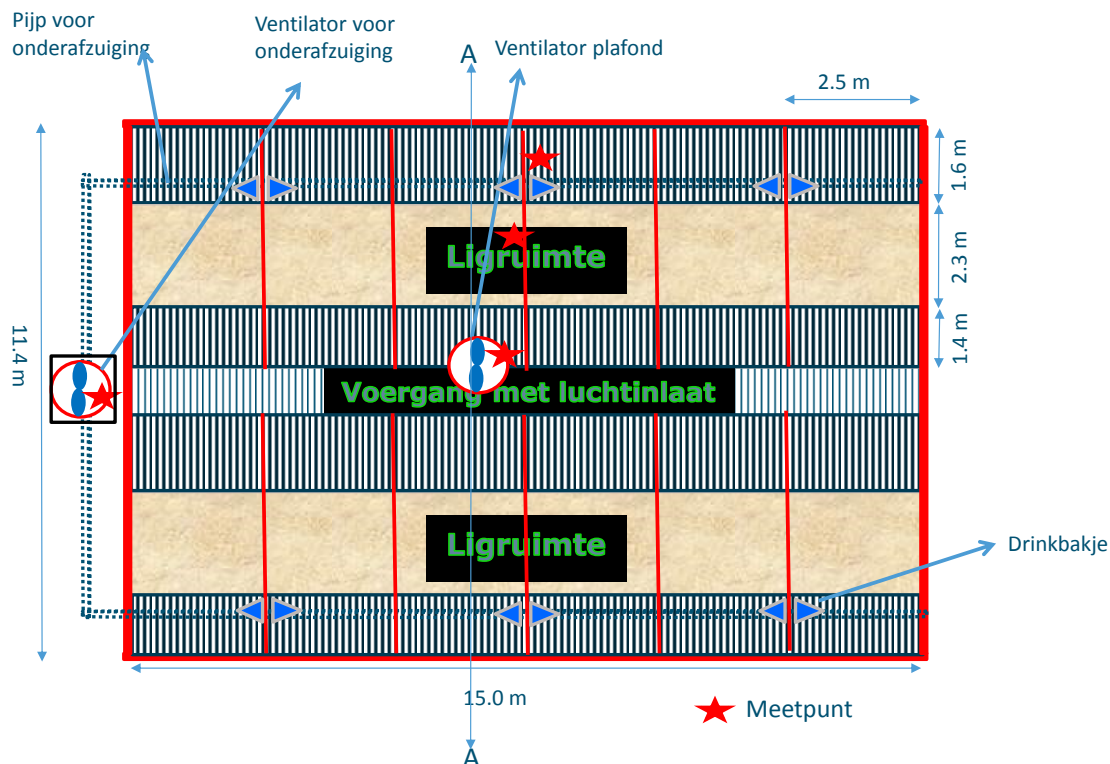
Situatie	Plafondventilatie (m ³ /uur)	Kelderventilatie (m ³ /uur)	Afvoer ammoniak via mestkelder %
1	60	0	0
2	52	8	19
3	0	8	100

3 Materiaal en methode

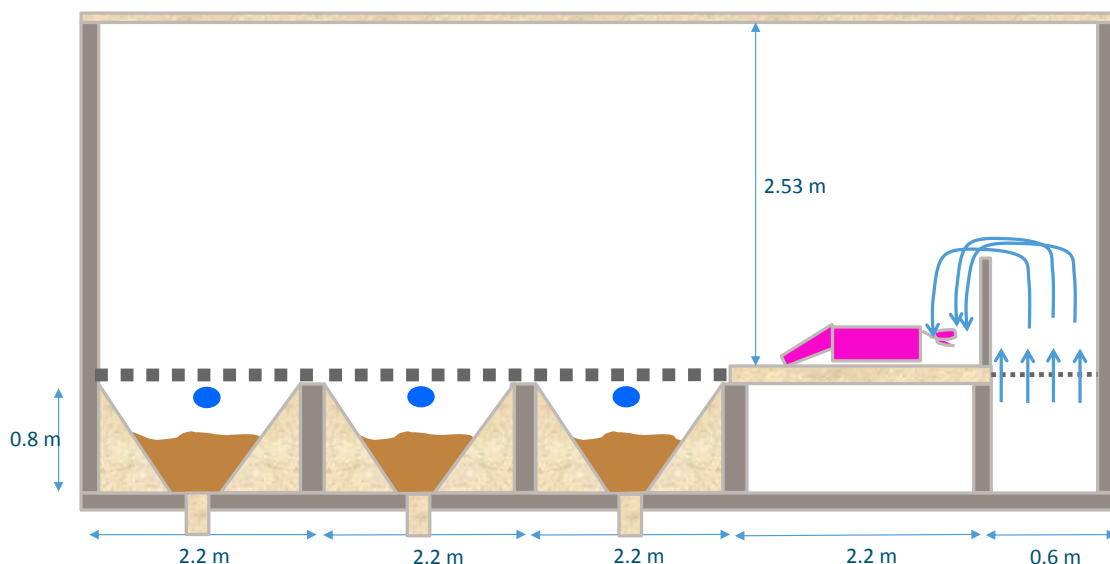
3.1 Behandelingen

Het partiële onderafzuigstelsel is geïmplementeerd in 2 afdelingen voor vleesvarkens en in één afdeling voor drachtige zeugen. In Figuur 3.1 is een plattegrond en in Figuur 3.2 een dwarsdoorsnede gegeven van afdelingen 3 en 4 van de vleesvarkens. Afdelingen 9 en 10 van de vleesvarkens zijn gelijk aan afdelingen 3 en 4 met het verschil dat de dichte vloer 0,40 m naar voren is geschoven en de drinkbakjes voor in het hok, in de hoek tegenover de voerbak zijn geplaatst. In Figuur 3.3 is een plattegrond en in Figuur 3.4 is een dwarsdoorsnede gegeven van de zeugenafdeling in dit onderzoek. In Bijlage 1 zijn een aantal foto's opgenomen van de installatie van de onderafzuiging in de afdelingen voor vleesvarkens en zeugen. Bij de vleesvarkens is op de plaats waar de luchtkoker onder de roosters doorloopt een rij tegels gelegd om te voorkomen dat mest of urine in de luchtkokers terecht zouden komen (de gaten zitten aan de bovenkant). Bij de zeugen zijn de luchtkokers met de gaten naar onderen geplaatst, waardoor daar geen afdekking nodig was.

Bij het partiële afzuigstelsel wordt ca. 10 - 20% van de maximale ventilatiehoeveelheid onder de roosters afgezogen. De rest wordt via het plafond afgevoerd. Bij vleesvarkens is dit stelsel vergeleken met de huidige manier van ventileren, waarbij 100% van de lucht via het plafond wordt afgevoerd. Elk van de beide proefafdelingen had een exact gelijkende controleafdeling. Het enige verschil was de afvoer van de lucht. Bij de zeugen werden de metingen van de controlebehandeling in de tijd uitgevoerd, waarbij het stelsel van onderafzuiging afwisselend aan en uit werd gezet. De vleesvarkens-afdelingen hadden 12 hokken met 12 vleesvarkens. In de zeugenafdeling zaten 40 zeugen.



Figuur 3.1 Plattegrond van afdelingen 3 (controleafdeling, zonder afzuigkoker onder de roostervloer) en 4 (proefafdeling, met afzuigkoker onder de roostervloer) van de vleesvarkens.



Figuur 3.4 Dwarsdoorsnede van de zeugenafdeling met luchtkokers onder de roostervloer voorafzuiging van een deel van de lucht via de mestkanalen. De pijlen geven de luchtstroming aan in de stal. De lucht wordt onder via de voergang aangevoerd en valt vervolgens over de hokafscheiding in het hok.

Instellingen stalklimaat

In Tabel 3.1 worden de klimaatinstellingen gegeven voor de vleesvarkens- en de zeugenafdelingen, zoals die gehanteerd zijn in het onderzoek. Aangezien de vleesvarkens op een gegeven moment last kregen van hoest, werd de begin temperatuur ventilatie vanaf dag 60 2,0°C hoger ingesteld dan in de tabel aangegeven.

Tabel 3.1

Klimaatinstellingen bij vleesvarkens en zeugen, met en zonder onderafzuiging van de lucht. De neutrale zone-verwarming is 2 graden en de vaste P-band ventilatie is 5 graden.

	Onderafzuiging		Bovenafzuiging	
	vent. (m3/uur)	Min.vent. (m3/uur)	Max.vent. (m3/uur)	Begin.temp. vent. (°C)
Dragende zeugen zonder onderafzuiging		18	120	20
Dragende zeugen met onderafzuiging, per 18 dec	18	0	102	20
Vleesvarkens dag 1 (23 kg) zonder onderafzuiging		6	20	23
Vleesvarkens dag 1 (23 kg) met onderafzuiging	6	0	14	23
Vleesvarkens dag 5 zonder onderafzuiging		6	20	21
Vleesvarkens dag 5 met onderafzuiging	6	0	14	21
Vleesvarkens dag 50 zonder onderafzuiging		15	60	19 ^{a)}
Vleesvarkens dag 50 met onderafzuiging	15	0	45	19 ^{a)}
Vleesvarkens dag 100 zonder onderafzuiging		15	60	18 ^{a)}
Vleesvarkens dag 100 met onderafzuiging	15	0	45	18 ^{a)}

^{a)} Vanwege hoest bij de dieren is deze temperatuur vanaf dag 60 2,0°C hoger ingesteld.

3.2 Waarnemingen en metingen

Emissiemetingen

In de 2 proef- en de 2 controle-afdelingen voor vleesvarkens zijn gedurende één ronde metingen uitgevoerd. In de ene afdeling voor drachtige zeugen zijn metingen gedurende ca. 1,5 maand uitgevoerd.

De volgende metingen zijn uitgevoerd in de vier vleesvarkensafdelingen:

- Ammoniakconcentratie: 1x per 2 weken continue meting gedurende 24 uur van de uitgaande lucht in alle vier afdelingen. Bij onderafzuiging werd de ammoniakconcentratie zowel in deze lucht bepaald als in de lucht die via het plafond de stal verliet.
- PM10 concentratie: 1x per 2 weken continue meting gedurende 24 uur in alle uitgaande luchtkokers met behulp van DustTraks. Daarnaast werd de PM10 concentratie in de ingaande lucht gemeten.
- Geurconcentratie: 1x per 4 weken van 10:00 – 12:00 uur in alle uitgaande luchtkokers.
- Ventilatie-debiet: debietmetingen met druksensoren in alle uitgaande luchtkokers. Het ventilatie-debiet werd elke twee minuten gemeten en opgeslagen in de klimaatcomputer.

De volgende metingen zijn uitgevoerd in de zeugenafdeling:

- Ammoniakconcentratie: 1x per week continue meting gedurende 24 uur van de uitgaande lucht. Als het onderafzuigstelsel aanstond werd de ammoniakconcentratie zowel in deze lucht bepaald als in de lucht die via het plafond de stal verliet. Daarnaast werd de concentratie van de ingaande lucht gemeten.
- PM10 concentratie: 1x per week continue meting gedurende 24 uur in de uitgaande luchtkokers (onderafzuiging en bovenafzuiging) met behulp van DustTraks.
- Geurconcentratie: 1x per 4 weken gedurende 2 achtereenvolgende weken (de ene week met onder- en bovenafzuiging en de andere week alleen met bovenafzuiging) van 10:00 – 12:00 uur in de uitgaande luchtkokers.
- Ventilatie-debiet: debietmetingen met druksensoren in alle uitgaande luchtkokers. Het ventilatie-debiet werd elke twee minuten gemeten en opgeslagen in de klimaatcomputer.

De metingen werden batch-gewijs uitgevoerd, waarbij de twee gepaarde vleesvarkensafdelingen (controle + behandeling) elk een batch waren en de zeugenafdeling een batch was, dus in totaal 3 batches. De indeling van de metingen wordt weergegeven in Bijlage 2.

Meting ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie werd semicontinue gemeten met behulp van een NOx-monitor (model ML8840, Monitor Labs, Englewood, VS). Deze methode is uitgebreid beschreven in Van Ouwerkerk (1993) en Mosquera *et al.* (2002). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentiereactie tussen ozon (O₃) en stikstofmonoxide (NO). Bij deze reactie komt stikstofdioxide (NO₂), zuurstof (O₂) en licht vrij. De stroom lichtdeeltjes is evenredig met de NO-concentratie van de aangezogen lucht:



Om ammoniak (NH₃) te kunnen meten moet het eerst door een convertor worden omgezet tot NO. In de convertor wordt de lucht verhit tot circa 775°C. Bij deze temperatuur wordt NH₃ aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. Het gevormde stabiele NO werd met een pomp door polyethyleen slangen naar de monitor gezogen en gemeten. De luchtmonsters worden continu via verwarmde en geïsoleerde teflon slangen aangezogen. NH₃ adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord. De monitor werd wekelijks gekalibreerd. De lucht werd bemonsterd in de koker met de ventilator die continu draaide en in de koker van de onderafzuiging. Tevens werd de achtergrondconcentratie gemeten van de inkomende lucht. De gemeten NH₃-concentratie in ppm werd met een factor 0,71 (bij 20 °C en 1 atm.) omgerekend naar mg NH₃ per m³ lucht (Weast *et al.*, 1986).

Meting fijnstofconcentratie (PM10)

De concentratie fijnstof (in mg/m³) werd gemeten met DustTraks (TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, USA). Minuutgemiddelde PM10 concentraties werden gelogd.

Debietmetingen

Het ventilatiedebiet (in m³/uur) van de uitgaande stallucht werd bepaald via de uitwisseling van de geregistreerde ventilatie door de klimaatcomputer. Deze computer zorgde voor de aansturing en de terugmelding van het ventilatiedebiet dat werd gemeten met behulp van druksensoren. Het ventilatiedebiet werd elke twee minuten gemeten en opgeslagen in de computer. De hoeveelheid ventilatielucht via onderafzuiging werd ingesteld op de (vaste) waarde zoals aangegeven in Tabel 3.1.

Klimaat

De temperatuur en luchtvochtigheid werden gemeten bij alle uitgaande ventilatoren. De data werden automatisch opgeslagen (uurgemiddelden).

Voeropname en productie

Om het effect van de behandelingen op de productieresultaten te bepalen werden de volgende zaken bepaald:

- Levend gewicht van de individuele dieren bij opleg en bij afleveren van de eerste groep dieren (Sterksel);
- Totale voeropname van de dieren per hok.

Management

De vleesvarkens werden, behalve t.a.v. de proefbehandelingen, volgens het standaard management verzorgd. De volgende zaken werden vermeld in het log-boek:

- Gezondheidsbehandelingen. Hierbij werden het nummer van het hok, het nummer van het dier en de behandeling genoteerd.
- Uitval. De reden van uitval werd genoteerd.

De volgende waarnemingen werden gedaan:

- hokbevuiling: 2x per week (ma en do) werd de hokbevuiling gescoord volgens het standaardprotocol van Sterksel (zie Bijlage 3).

3.3 Data analyse

De gemiddelde emissies werden per afdeling (E_j) berekend door per meetdag ($j=1, 2, \dots, 6$) de emissies van ammoniak, fijnstof en geur te berekenen op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet (V_{ij}) en de gemiddelde concentraties van de uitgaande lucht ($C_{uit_{ij}}$) en de ingaande lucht ($C_{in_{ij}}$) van ammoniak en geur.:

$$E_{ij} = V_{ij} \times (C_{uit_{ij}} - C_{in_{ij}})$$

Deze gemiddelde dagemissies van ammoniak en fijnstof werden vervolgens vermenigvuldigd met 365 dagen en een leegstandsfactor (0,97) om de jaaremmissies te berekenen. Voor geur werd de emissie uitgedrukt in OU_E/s.

De emissie (E) op jaarbasis per dierplaats werd vervolgens bepaald als de gemiddelde van de waarden van alle meetdagen. Voor geur werd de mediane emissie bepaald door het gemiddelde op log-schaal terug te transformeren naar normale schaal.

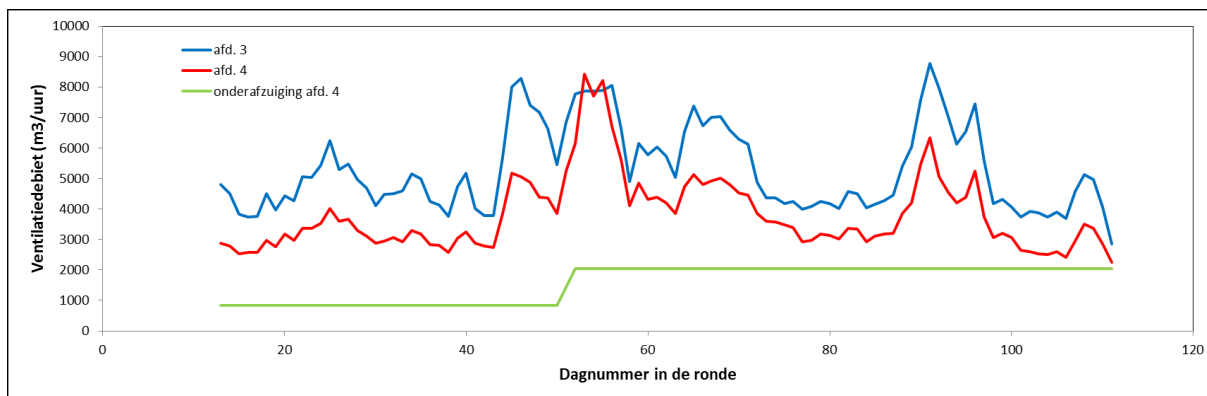
De concentraties en emissies van ammoniak, geur en fijnstof zijn geanalyseerd op afdelingsniveau. Vanwege het geringe aantal herhalingen (totaal 4 experimentele eenheden bij vleesvarkens: 2 controle, 2 proef; herhaalde waarnemingen in de tijd bij zeugen) zijn voor deze concentraties en emissies alleen gemiddelden voor de controlebehandeling (afzuiging via het plafond) en proefbehandeling (gedeeltelijke afzuiging via de mestkelder) berekend en is het verloop in de tijd weergegeven in grafieken.

Productieresultaten en hokbevuiling bij vleesvarkens zijn op hokniveau geanalyseerd. Het behandelingseffect (boven- vs. gedeeltelijke onderafzuiging) is statistisch geanalyseerd met de "One-way design in randomized blocks" procedure van Genstat (Genstat Committee, 2010). Hierbij was wel of geen onderafzuiging het behandelingseffect en waren afdelingen 3 en 4 blok 1 en afdelingen 9 en 10 blok 2. Binnen een blok waren de afdelingen, behalve t.a.v. de behandeling, gelijk aan elkaar.

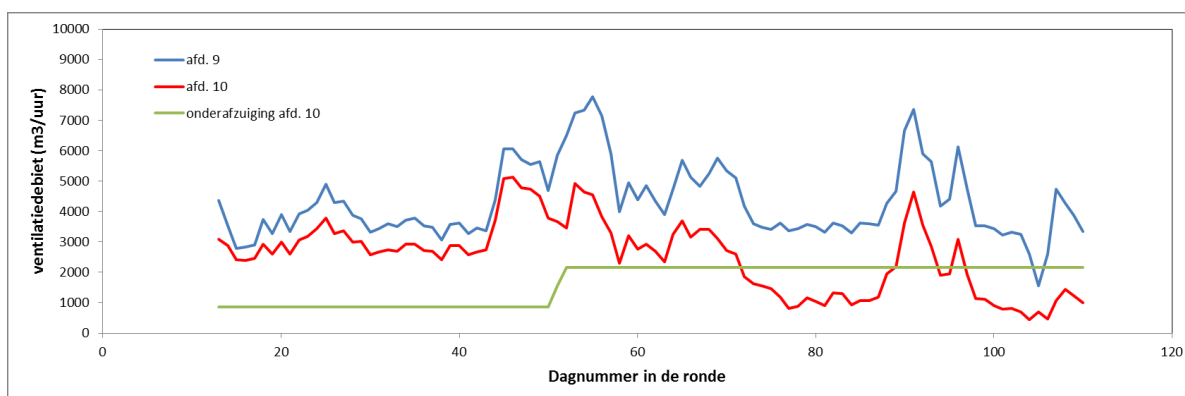
4 Resultaten

4.1 Ventilatie-debiet

In Figuur 4.1 en 4.2 wordt het ventilatie-debiet van de afdelingen 3 en 4 (Figuur 4.1) en afdelingen 9 en 10 (Figuur 4.2) gegeven. In proefafdelingen 4 en 10 werd geventileerd met partiële onderafzuiging. De controleafdelingen 3 en 9 werden alleen geventileerd met een koker in het plafond van de afdeling. Uit de figuren blijkt dat het ventilatie-debiet van de ventilator in het plafond van de afdelingen met onderafzuiging vrijwel consequent lager ligt dan bij de controleafdeling. Dit wordt, zoals verwacht, veroorzaakt doordat in de proefafdeling een deel van de lucht via de mestkelder wordt afgezogen. Tussen dag 50 en 60 werd in afdelingen 3 en 4 maximaal geventileerd. Het maximale debiet was tot dat moment voor deze proef- en controleafdeling gelijk ingesteld. Deze fout in de instelling is op dag 60 aangepast, waarbij het maximale debiet is gecorrigeerd voor het debiet van de onderafzuiging, zoals de bedoeling was (zie de instellingen in Tabel 3.1). In beide figuren is een sprong in de lijn van de onderafzuiging te zien. Na beoordeling van de eerste meetresultaten is de hoeveelheid onderafzuiging verhoogd van 6 m³/uur per dier naar 15 m³/uur per dier (zie Tabel 3.1). In de figuren wordt de ventilatie weergegeven tegen het dagnummer. Dag 1 is de dag van opleg en op dag 111 werden de dieren afgeleverd.



Figuur 4.1 Ventilatie-debiet van de afdelingen 3 (controleafdeling) en 4 (proefafdeling). De varkens zijn op 1 november 2012 opgelegd en op 19 februari 2013 afgevoerd.



Figuur 4.2 Ventilatie-debiet van de afdelingen 9 (controleafdeling) en 10 (proefafdeling). De varkens zijn op 1 november 2012 opgelegd en op 19 februari 2013 afgevoerd.

In Bijlage 4 wordt het verloop van de temperatuur in de 4 afdelingen en de buitentemperatuur gegeven. In Tabel 4.1 staat het gemiddelde ventilatie-debiet over de gehele meetperioden als ook de gemiddelde afdelingstemperatuur en buitentemperatuur. Uit deze tabel blijkt dat het totale ventilatie-debiet tussen de gepaarde proef- en controleafdelingen zeer vergelijkbaar zijn; afdelingen 3 (36,9 m³/uur) en 4 (37,3 m³/uur) aan de ene kant en afdelingen 9 (29,8 m³/uur) en 10 (29,3 m³/uur)

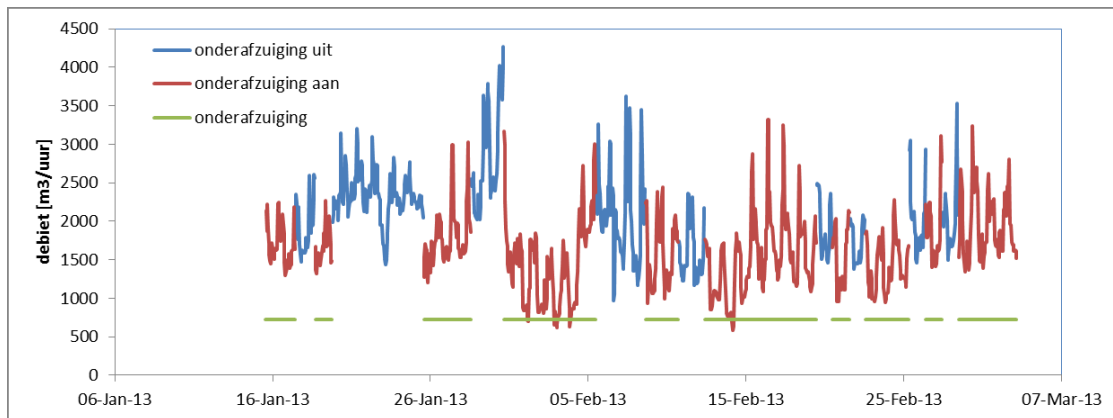
aan de andere kant. Het totale ventilatiedebiet is bij afdeling 3 en 4 gemiddeld echter wel beduidend hoger dan bij afdeling 9 en 10. Waarom dit verschil optrad is niet geheel duidelijk.

Tabel 4.1

Gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode van de verschillende vleesvarkensafdelingen, waarbij voor de proefafdelingen een onderscheid is gemaakt tussen de ventilatiehoeveelheid via het plafond en via de onderafzuiging. De bijbehorende gemiddelde temperaturen in de afdelingen, gemeten bij de uitgaande luchtkokers, en de gemiddelde buitentemperatuur worden tevens vermeld.

	Afdeling 3		Afdeling 4		Afdeling 9	Afdeling 10	
	boven		boven	onder	boven	boven	onder
Ventilatiedebiet (m ³ /uur/dier)	36,9		26,4	10,9	29,8	17,7	11,5
Temperatuur afdeling (°C)	20,7		20,5	--	20,8	20,6	--
Buitentemperatuur (°C)	5,5						

In Figuur 4.3 wordt het verloop van de ventilatie gegeven voor de dragende zeugen. Uit deze figuur blijkt dat, alhoewel niet altijd even duidelijk, het ventilatiedebiet via het plafond enigszins daalt op momenten dat de onderafzuiging wordt bijgeschakeld en enigszins stijgt op momenten dat de onderafzuiging weer wordt uitgeschakeld.



Figuur 4.3 Ventilatie-debiet uit de afdeling met dragende zeugen waarbij de onderafzuiging aan en uit werd gezet. De rechte onderbroken lijn geeft het vaste ventilatiedebiet van de onderafzuiging weer.

In Tabel 4.2 worden de gemiddelde ventilatiedebieten gegeven tijdens de perioden zonder en tijdens de perioden met onderafzuiging. Tevens zijn de gemiddelde temperaturen in de afdeling en de gemiddelde buitentemperatuur opgenomen in deze tabel. Uit deze tabel blijkt dat het totale ventilatiedebiet tijdens perioden met onderafzuiging iets hoger was dan het debiet tijdens perioden zonder onderafzuiging (46,5 vs. 43,1 m³/uur per zeug). De gemiddelde staltemperatuur was voor beiden behandelingen gelijk. De gemiddelde buitentemperatuur was tijdens perioden zonder onderafzuiging gemiddeld 1°C lager dan tijdens perioden met onderafzuiging (1,8 vs. 2,8°C).

Tabel 4.2

Gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode van de zeugenafdeling waarbij onderscheid wordt gemaakt in perioden zonder en de perioden met onderafzuiging. De bijbehorende gemiddelde temperaturen tijdens perioden zonder en met onderafzuiging en de gemiddelde buitentemperatuur worden tevens vermeld.

	Zeugen		
	Zonder onderafzuiging	Met onderafzuiging ¹⁾	
	boven	boven	onder
Ventilatiedebiet (m ³ /uur/dier)	43,1	32,1	14,4
Temperatuur afdeling (°C)	20,0	20,0	
Buitentemperatuur (°C)	1,8	2,8	

4.2 Concentraties

In Tabel 4.3 worden de gemiddelde NH₃ concentraties gegeven die in de verschillende ventilatiekokers zijn gemeten. Hieruit blijkt dat bij vleesvarkens de ammoniakconcentraties in de controleafdelingen in de uitgaande ventilatiekokers van het plafond hoger zijn dan in die van de proefafdelingen (gemiddeld 19,6 vs. 14,4 ppm). De concentraties ammoniak in de lucht van de onderafzuiging was iets hoger dan in de plafondkokers van dezelfde afdelingen. Ze waren bij de vleesvarkens echter niet hoger dan de concentraties in de uitgaande ventilatiekokers van de controleafdelingen. Bij de zeugen was de concentratie in de ventilatiekoker van de onderafzuiging wel verhoogd, maar werd de ammoniakconcentratie in de ventilatiekoker van het plafond niet verlaagd tijdens perioden van onderafzuiging.

Tabel 4.3

Gemiddelde van de daggemiddelde ammoniakconcentraties (ppm), met min. en max. waarden en de standaarddeviaties, in de uitgaande luchtkokers in de verschillende vleesvarkensafdelingen en in de zeugenafdeling.

	Aantal meetperioden	Gemiddelde (min-max)	Standaard deviatie
Afdeling 3	8	16,7 (8,1 - 25,5)	6,8
Afdeling 4	8	13,9 (7,6 - 19,7)	4,5
Afdeling 4 onderafzuiging	8	17,1 (10,9 - 26,1)	4,8
Afdeling 9	10	22,4 (9,1 - 44,8)	12,2
Afdeling 10	10	14,8 (9,3 - 23,4)	4,5
Afdeling 10 onderafzuiging	10	16,3 (2,0 - 22,8)	6,2
Dragende zeugen plafond / onderafzuiging uit	9	8,5 (5,7 - 11,0)	1,7
Dragende zeugen plafond / onderafzuiging aan	9	8,4 (7,1 - 10,0)	1,0
Dragende zeugen onderafzuiging	9	14,3 (11,6 - 17,4)	2,1

In Tabellen 4.4 en 4.5 worden de overige gemeten concentraties gegeven. Het betreft de geurconcentratie (Tabel 4.4) en de fijnstof concentratie (PM₁₀; Tabel 4.5). Bij de zeugen zijn geen geurconcentratiemetingen gedaan. Uit de tabel blijkt dat de geurconcentratie in de onderafzuiging van afdeling 4 gemiddeld hoger was dan in de afzuiging via het plafond en in de controleafdeling. Voor afdeling 10 was dit juist andersom, lagere concentraties geur in de onderafzuiging ten opzichte van de bovenafzuiging in dezelfde afdeling en in de controleafdeling. De variaties in de geurmetingen zijn echter hoog. Het lijkt er op dat de variatie in geurconcentraties hoger is bij toepassing van onderafzuiging. De fijnstof concentratie was in afdeling 4 in de uitgaande ventilatiekoker van de onderafzuiging lager dan in de bovenafzuiging en in de controleafdeling. In afdeling 10 was hetzelfde het geval, alleen waren de verschillen kleiner. Bij zeugen werden vergelijkbare concentraties gemeten in de koker van de onderafzuiging en de plafondkoker van de bovenafzuiging.

Tabel 4.4

Geometrisch gemiddelde geurconcentraties (OU_E/m^3), met min. en max. waarden en de variatiecoëfficiënten, in de uitgaande luchtkokers in de verschillende vleesvarkensafdelingen.

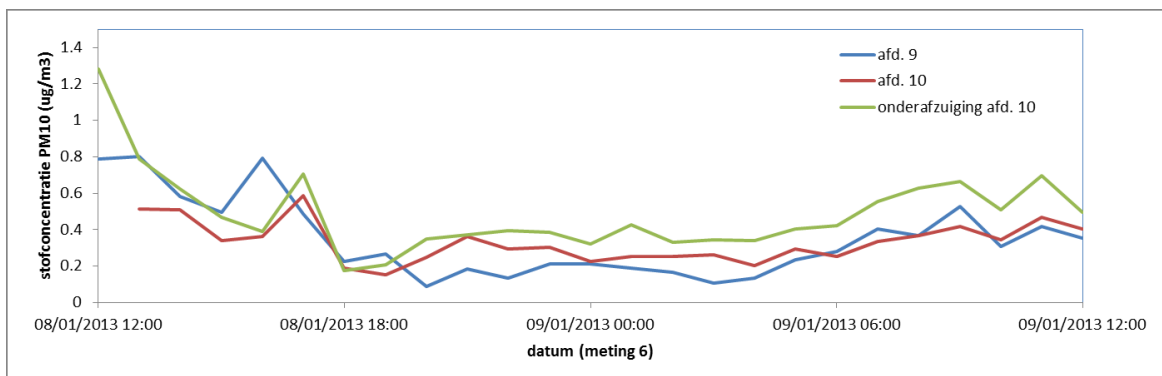
	Aantal meetperioden	Gemiddelde (min-max)	VC (%)
Afdeling 3 plafond	4	2693 (2030-3653)	25
Afdeling 4 plafond	4	2920 (1730-5174)	59
Afdeling 4 onderafzuiging	4	4333 (3342-5608)	22
Afdeling 9 plafond	4	3927 (3458-4340)	9
Afdeling 10 plafond	4	4299 (2400-6707)	49
Afdeling 10 onderafzuiging	4	3279 (2174-4704)	38

Tabel 4.5

Gemiddelde van de daggemiddelde fijnstofconcentraties (mg/m^3), met min. en max. waarden en de standaarddeviaties, in de uitgaande luchtkokers in de verschillende vleesvarkensafdelingen en in de zeugenafdeling.

	Aantal meetperioden	Gemiddelde (min-max)	Standaard deviatie
Afdeling 3 plafond	6	0,68 (0,48-0,81)	0,12
Afdeling 4 plafond	4	0,62 (0,51-0,81)	0,13
Afdeling 4 onderafzuiging	5	0,34 (0,19-0,45)	0,14
Afdeling 9 plafond	7	0,54 (0,35-0,89)	0,22
Afdeling 10 plafond	7	0,61 (0,33-1,14)	0,27
Afdeling 10 onderafzuiging	7	0,42 (0,07-0,80)	0,25
Dragende zeugen plafond / onderafzuiging uit	2	0,45 (0,32-0,59)	0,19
Dragende zeugen plafond / onderafzuiging aan	7	0,45 (0,18-0,64)	0,16
Dragende zeugen onderafzuiging	4	0,44 (0,12-1,30)	0,57

In Figuur 4.4 wordt een voorbeeld gegeven van het verloop van de fijnstof concentraties gedurende een 24-uursmeting in afdeling 9 en 10. Hieruit blijkt dat er geen hele duidelijke verschillen zijn waar te nemen in het verloop van de fijnstof concentratie bij onderafzuiging en bovenafzuiging, zowel in dezelfde afdeling als in de controleafdeling. Tijdens deze dag lag de gemiddelde fijnstof concentratie bij onderafzuiging wat hoger dan bij de bovenafzuiging en lijkt de piek in de kokers van de bovenafzuiging iets vroeger te vallen (om ca. 16:00 uur) dan bij de bovenafzuiging (om ca. 17:00). Dit werd echter niet standaard waargenomen.



Figuur 4.4 Voorbeeld van het verloop van de fijnstofconcentratie gedurende een 24-uursmeting in afdeling 9 en 10.

4.3 Emissies

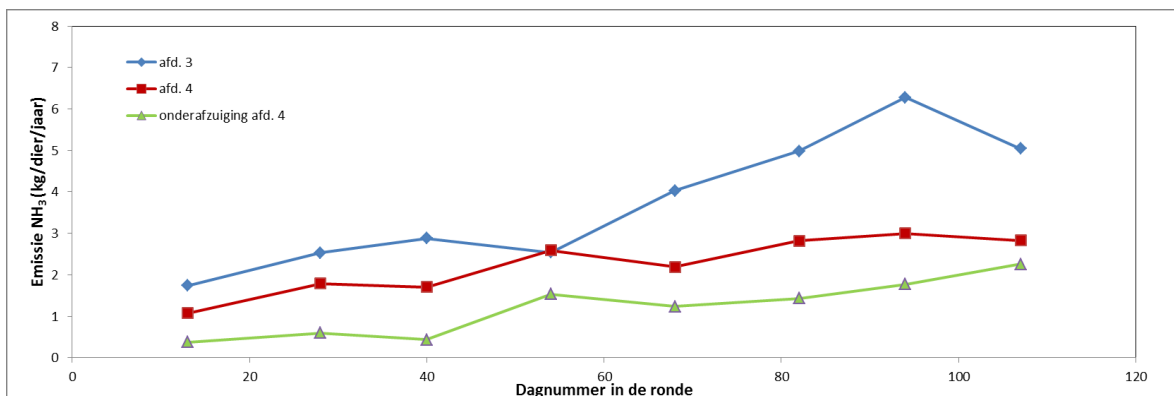
In Tabel 4.6 worden de emissies gegeven van ammoniak (NH_3) en geur. In afdeling 4 werd gemiddeld 35% van de totale ammoniakemissie via de mestkelder afgezogen, in afdeling 10 was dit 49%. De totale ammoniakemissie in de afdelingen met onderafzuiging was voor afdeling 4 iets lager dan voor de controleafdeling (3,39 vs. 3,68), terwijl dit voor afdeling 10 beduidend lager was (2,32 vs. 3,33). In de zeugenafdeling werd 44% van de totale ammoniakemissie via de mestkelder afgezogen. De totale ammoniakemissie was echter beduidend hoger bij gedeeltelijke onderafzuiging dan bij volledige afzuiging via het plafond (2,90 vs. 1,93 kg/jaar per zeugenplaats). In Figuur 4.5 worden de verschillende emissiewaarden van de verschillende afdelingen getoond in de tijd. Uit deze figuur blijkt dat de verschillen tussen de totale emissies van proef- en controleafdelingen vooral aan het eind van de ronde optraden.

Tabel 4.6

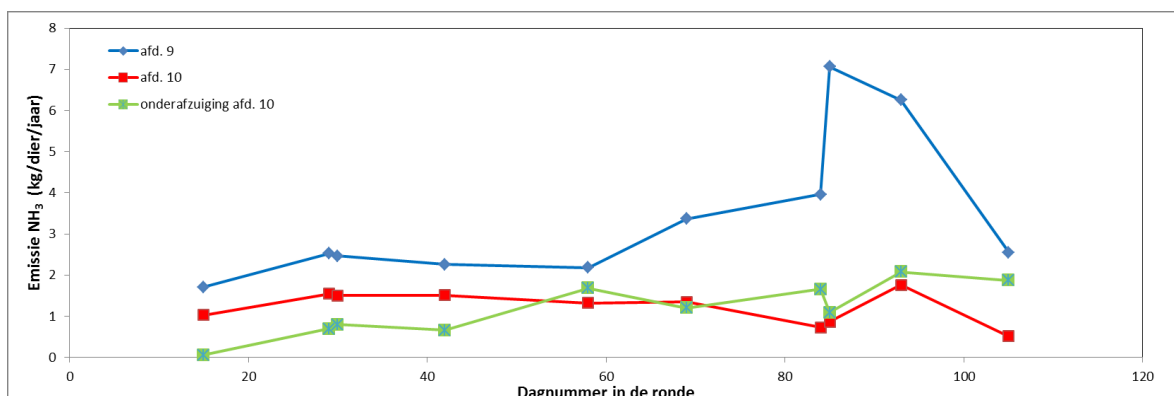
De ammoniakemissie (NH_3 -emissie in kg/jaar per dierplaats; gecorrigeerd voor 3% leegstand bij de vleesvarkens en 0% bij de zeugen) en de geuremissie (in OU_E/s)

	Ammoniakemissie			Geuremissie		
	Gemiddelde (min-max)	Standaard deviatie		Gemiddelde (min-max)	Standaard deviatie	
Afdeling 3 plafond	3,68	(1,74-6,09)	1,50	25,9	(16,9-36,9)	8,15
Afdeling 4 plafond	2,21	(1,08-2,91)	0,65	20,4	(11,6-31,3)	9,89
Afdeling 4 onderafzuiging	1,18	(0,38-2,19)	0,66	10,9	(5,4-18,6)	6,04
Afdeling 9	3,33	(1,66-6,85)	1,77	33,2	(25,5-42,9)	7,12
Afdeling 10	1,18	(0,50-1,70)	0,39	32,2	(11,1-40,8)	15,65
Afdeling 10 onderafzuiging	1,14	(0,06-2,01)	0,62	8,6	(4,3-18,1)	5,85
Dragende zeugen plafond / onderafzuiging uit	1,93	(1,61-2,48)	0,26	-	-	-
Dragende zeugen plafond / onderafzuiging aan	1,62	(1,38-1,87)	0,19	-	-	-
Dragende zeugen onderafzuiging	1,28	(1,05-1,52)	0,20	-	-	-

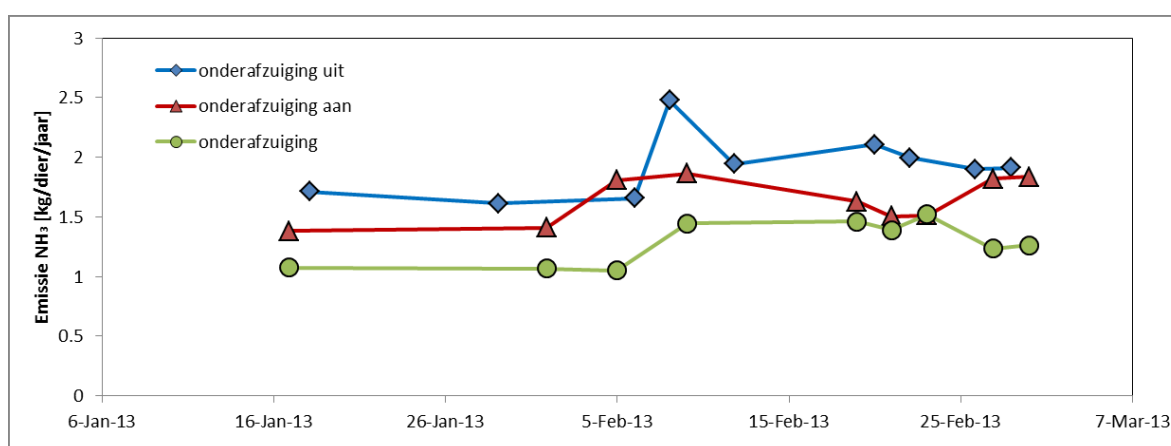
a)



b)



c)



Figuur 4.5 De daggemiddelde NH_3 emissies op de verschillende meetdagen (aangegeven met symbolen die verbonden zijn met een lijn); a) afdelingen 3 en 4 vleesvarkens; b) afdelingen 9 en 10 vleesvarkens; c) zeugenafdeling. Voor de vleesvarkensafdelingen staan de emissies weergegeven tegen het dagnummer in de ronde. Bij de dragende zeugen zijn de emissies weergegeven tegen de datum. Op 7 feb. 2013 zijn er nieuwe zeugen in de afdeling gekomen.

4.4 Hokbevuiling

In Tabel 4.7 wordt de gemiddelde hokbevuilingsscore gegeven van de verschillende gedeelten in het hok (rooster voor, dichte vloer, rooster achter; zie bijlage 3) voor de verschillende afdelingen, terwijl in Tabel 4.8 de gemiddelden per behandeling zijn weergegeven met de resultaten van de statistische analyse. Uit Tabel 4.7 blijkt dat de bevuiling van het 'rooster voor' en de 'dichte vloer' groter was in blok 1 t.o.v. blok 2. Voor het 'rooster achter' was dit andersom. Uit Tabel 4.8 blijkt dat de bevuiling van het 'rooster voor' ($P=0,01$) en de 'dichte vloer' ($P=0,001$) significant hoger was in de afdelingen met onderafzuiging ten opzichte van de controleafdelingen. Het rooster achter in het hok was significant meer bevuild in de controleafdelingen ten opzichte van de afdelingen met onderafzuiging ($P<0,001$).

Tabel 4.7

Gemiddelde hokbevuiling bij de vleesvarkens in de verschillende afdelingen. De afdelingen binnen een blok zijn vergelijkbaar, waarbij afdelingen 3 en 9 de controleafdelingen zijn en afdelingen 4 en 10 de proefafdelingen (met gedeeltelijke onderafzuiging). Tussen haakjes staan de standaarddeviaties.

Locatie in hok	Blok 1		Blok 2	
	Afdeling 3	Afdeling 4	Afdeling 9	Afdeling 10
Rooster voor	0,36 (0,31)	0,64 (0,24)	0,02 (0,03)	0,06 (0,09)
Dichte vloer	0,30 (0,24)	0,78 (0,39)	0,11 (0,16)	0,32 (0,47)
Rooster achter	1,95 (0,28)	1,01 (0,48)	1,46 (0,37)	1,29 (0,27)

Tabel 4.8

Gemiddelde hokbevuiling bij de vleesvarkens bij de controle- (zonder gedeeltelijke onderafzuiging) en proefbehandeling (met gedeeltelijke onderafzuiging). Tussen haakjes staan de standaarddeviaties.

Locatie in hok	Controle		Proef	
Rooster voor	0,19 ^a	(0,28)	0,35 ^b	(0,35)
Dichte vloer	0,21 ^a	(0,22)	0,55 ^b	(0,49)
Rooster achter	1,70 ^b	(0,41)	1,15 ^a	(0,41)

^{a,b} Verschillende kleine letters in het superscript geven een significant verschil aan ($P<0,05$).

4.5 Productieresultaten

In Tabel 4.9 worden de gemiddelde productieresultaten bij controle- en proefbehandelingen gegeven. Er was een tendens dat de groei bij de proefbehandeling (gedeeltelijke onderafzuiging) hoger was dan bij de controlebehandeling ($P=0,066$). Overige verschillen tussen proef- en controlebehandelingen waren niet significant verschillend ($P>0,10$).

Tabel 4.9

Gemiddelde productieresultaten van de vleesvarkens bij controle- (zonder gedeeltelijke onderafzuiging) en proefbehandeling (met gedeeltelijke onderafzuiging). Tussen haakjes staan de standaarddeviaties.

Productieparameter	Controle		Proef	
Begingewicht, kg	23,3	(2,9)	23,3	(3,2)
Geslacht gewicht, kg	90,9	(4,3)	92,6	(3,1)
Vleespercentage, %	59,5	(0,6)	59,2	(0,7)
Spekdikte, mm	13,1	(1,0)	13,6	(1,0)
Spierdikte, mm	58,7	(2,3)	59,4	(1,4)
Aanhoudingspercentage, %	78,1	(0,6)	78,4	(0,5)
Groei, g/d per dier	875 ^B	(37)	892 ^A	(24)
Voerconversie, kg voer / kg groei	2,52	(0,13)	2,55	(0,14)

^{A,B} Tendens voor een verschil tussen proef- en controlebehandeling ($P<0,10$).

5 Discussie

De doelstelling van dit onderzoek was te bepalen hoe het Deense partiële onderafzuigstelsel vertaald kon worden naar de Nederlandse situatie. Hiervoor zijn modelberekeningen gedaan en is een proof of principle onderzoek uitgevoerd op VIC Sterksel bij vleesvarkens en drachtige zeugen. Het streven bij onderafzuiging is om zoveel mogelijk ammoniak en andere vervuilende componenten (geur, fijnstof) in zo min mogelijk lucht af te voeren. Op deze manier wordt een goede luchtkwaliteit verkregen in de stal en hoeft slechts een geringe hoeveelheid lucht gewassen te worden in een luchtwassysteem. Het onderzoek is uitgevoerd op VIC Sterksel in bestaande afdelingen voor vleesvarkens en zeugen.

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat bij de vleesvarkens gemiddeld 42% van de geproduceerde ammoniak in de afdeling via de mestkelder werd afgezogen. Via de mestkelder werd gemiddeld 40% van de lucht afgevoerd. Bij de zeugen werd gemiddeld 44% van de geproduceerde ammoniak via de mestkelder afgevoerd. Hier werd gemiddeld 31% van de lucht via de mestkelder afgevoerd. Uit deze resultaten blijkt dat bij de vleesvarkens de ammoniak niet geconcentreerd werd afgevoerd in een kleine hoeveelheid lucht. De ammoniakconcentraties in de lucht die via de mestkelder werd afgezogen waren nauwelijks verhoogd ten opzichte van de concentraties in de lucht die via het plafond werd afgevoerd. Bij de zeugen was dit enigszins het geval, maar ook hier kon de ammoniak niet sterk worden geconcentreerd in een kleine hoeveelheid lucht. Daar komt bij dat de totale ammoniakemissie bij de zeugen sterk toenam wanneer de gedeeltelijke onderafzuiging werd aangezet (van 1,93 naar 2,90 kg/jaar per zeugenplaats). Bij de vleesvarkens was de ammoniakemissie gemiddeld iets lager in de afdelingen met onderafzuiging (2,86 vs. 3,50). Dit is niet direct te verklaren. In Denemarken werden vergelijkbare of hogere ammoniakemissies gevonden bij toepassing van gedeeltelijke onderafzuiging bij vleesvarkens (Jørgensen & Riis, 2014; Riis et al., 2014a; Riis et al., 2014b; Saha et al., 2010). Deze onderzoekers rapporteerden ook een grotere afvoer van ammoniak in kleinere hoeveelheden kelderlucht; 50 – 65% ammoniak in ca. 20% van de totaal afgevoerde lucht. De veel hogere ammoniakemissie bij zeugen wanneer gedeeltelijke onderafzuiging werd toegepast kan waarschijnlijk worden verklaard door het feit dat er min of meer kortsluiting leek op te treden tussen de luchtinlaat in de voergang en de luchtuitlaat via de pijpen onder de roostervloer.

De geur- en fijnstofconcentraties werden ook niet of nauwelijks geconcentreerd afgevoerd via de luchtstroom in de mestkelder. De gemiddelde geurconcentratie in deze luchtstroom was bij de vleesvarkens 3806 OU_E/m³ tegenover 3610 OU_E/m³ in de luchtstroom die via het plafond werd afgevoerd. In Deens onderzoek was de geurconcentratie in de uitgaande luchtstroom via het plafond wel duidelijk verlaagd ten opzichte van de kelder-luchtstroom en werd gemiddeld 48% van de geur via de kelder-luchtstroom afgevoerd; deze luchtstroom was ca. 20% van de totaal afgevoerde lucht in de afdeling (Jørgensen & Riis, 2014; Riis et al., 2014a; Riis et al., 2014b). De gemiddelde fijnstofconcentratie in de kelder-luchtstroom was bij de vleesvarkens 0,38 mg/m³ tegenover 0,62 mg/m³ in de plafond-luchtstroom; bij de zeugen was dit 0,44 vs. 0,45 mg/m³.

De relatief geringe afvoer van ammoniak via de kelder-luchtstroom, in vergelijking met Deense onderzoeksresultaten, heeft waarschijnlijk de volgende oorzaken:

- De emissie van ammoniak vanaf de vloer was in dit onderzoek relatief hoog ten opzichte van de emissie vanuit de mestkelder. In dit onderzoek was er vrij veel hokbevuiling. Dit werd vooral veroorzaakt door de tegels die op de roostervloer waren vastgemaakt om te voorkomen dat de mest en urine in de lucht-afvoergaten zouden vallen. Daarnaast waren de mestkelders achterin het hok voorzien van schuine putwanden. Op deze manier werd het emitterend kelderoppervlak verkleind, waardoor er minder emissie uit de mestkelder kwam. In Denemarken zijn de hokken vaak volledig onderkelderd, waarbij een deel van het hok is dichtgelegd, maar vaak wel voorzien zijn van gaten om eventueel geproduceerde urine op de dichte vloer snel af te voeren. Door dit hokontwerp is er relatief veel kelderemissie en relatief weinig vloeremissie.

-
- In dit onderzoek werd de lucht via de voergang aangevoerd, zowel bij de vleesvarkens als bij de zeugen. In Denemarken wordt de lucht, in het algemeen, via het plafond aangevoerd. Luchtaanvoer via het plafond geeft minder kans op kortsluiting dan via de voergang. We zagen vooral kortsluiting van de lucht bij de zeugen. Als er geen zeugen liggen op de ligruimte naast de voergang (met de inlaat van de lucht) dan treedt er direct kortsluiting op van de lucht.

In hoofdstuk 2 zijn luchtstromingsberekeningen uitgevoerd. De berekeningen lieten zien dat bij gedeeltelijke onderafzuiging, waarbij 13% van de totale ventilatielucht via de mestkelder werd afgezogen, 19% van de geproduceerde ammoniak met deze lucht werd afgevoerd. Hieruit blijkt dat de berekeningen al min of meer hadden voorspeld dat in dit type veelvoorkomende vleesvarkensstallen in Nederland, het moeilijk is om veel ammoniak in een kleine hoeveelheid, via de mestkelder afgezogen, lucht te vangen. Zoals hiervoor al aangegeven heeft dat met ontwerp van het klimaatsysteem (luchtinlaat) en met het hokontwerp (veel dichte vloer) te maken.

Opvallend is dat de vleesvarkens in de afdelingen met onderafzuiging de dichte vloer en het rooster voor in het hok veel meer bevuilden dan de vleesvarkens in de controleafdelingen. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door een aanpassing van het ligpatroon van de varkens. Alhoewel we dit niet gekwantificeerd hebben, was duidelijk zichtbaar dat varkens in afdelingen met onderafzuiging veel meer achter op de roostervloer lagen dan de varkens in de controleafdelingen. Dit zou de volgende oorzaken kunnen hebben:

- De (gedeeltelijke) onderafzuiging zorgt er voor dat de inkomende lucht over de dichte vloer naar de mestkelder wordt getrokken. Dit veroorzaakt een relatief koude luchtstroom langs de dieren. Als gevolg hiervan gaan de dieren zich hieraan onttrekken en gaan ze meer op de roostervloer liggen.
- Doordat de vuile lucht onder de roostervloer wordt weggezogen en daardoor minder door de roostervloer omhoog gaat, vinden de varkens het aantrekkelijker om op de roostervloer te gaan liggen.

We kunnen op dit moment niet aangeven welke oorzaak het belangrijkste is. Aangezien het onderzoek in een winterperiode is uitgevoerd en er relatief koude lucht via de voergang binnenkwam lijkt de eerst aangegeven oorzaak het meest aannemelijk.

Op basis van dit onderzoek kunnen we concluderen dat het Deense systeem van onderafzuiging niet zo maar overgezet kan worden naar de huidige stalsystemen voor varkens in Nederland. Nederlandse stalsystemen verschillen vooral met de Deense ten aanzien van het luchtinlaatsysteem en ten aanzien van het aandeel dichte vloer in de hokken. Het systeem van gedeeltelijke of volledige onderafzuiging blijft echter perspectiefvol ook voor de Nederlandse situatie. Om dit systeem in te voeren in Nederland zullen we echter met nieuwe stalconcepten moeten komen. Luchtstromingsberekeningen met CFD-modellen zullen hierbij ingezet moeten worden om kansrijke, effectieve ontwerpen te realiseren. Hierdoor kunnen luchtwassystemen, zoals die nu al veel worden toegepast in de Nederlandse varkenshouderij, niet alleen zorgen voor een beter buitenklimaat, maar ook voor een betere luchtkwaliteit in de stallen.

6 Conclusies

Op basis van dit onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- De stalsystemen in dit onderzoek voor vleesvarkens en zeugen, die representatief zijn voor veel stallen voor deze diercategorieën in Nederland, zijn niet erg geschikt gebleken voor het toepassen van gedeeltelijke onderafzuiging. Dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de manier van ventileren (luchtinlaat via grondkanaal) en het grote aandeel dichte vloer.
- De doelstelling om veel ammoniak en andere vervuilende componenten (geur, fijnstof) in weinig lucht af te voeren door middel van gedeeltelijke onderafzuiging werd in dit onderzoek niet gerealiseerd. Bij de vleesvarkens was het percentage afgevoerde ammoniak in de onderafgezogen lucht ongeveer gelijk aan het percentage lucht dat onder de roosters werd afgezogen (42% ammoniak in 40% lucht). Bij de zeugen was dit enigszins hoger (44% ammoniak in 31% lucht).
- Nieuwe stalconcepten zijn nodig om onderafzuiging perspectiefvol te maken in Nederland. Luchtstromingsberekeningen met CFD-modellen zullen hierbij ingezet moeten worden om kansrijke, effectieve ontwerpen te realiseren.

Literatuur

- Genstat Committee. 2010. GenStat Thirteenth Edition, Version-13.2.0.4682. *VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK*.
- Jørgensen, M., Riis, A.F. 2014. 10 % punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med fast gulv i lejearealet (10 % Point air exhaust with the exhaust opening under the resting area of solid floor in fattening pig house, in Danish). Meddelelse 1000, Videncenter for Svineproduktion (Danish Pig Research).
- Riis, A.F., Jørgensen, M., Hansen, P. 2014a. 10 % Punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet (10 % Point air exhaust with the exhaust opening under drain floor of the laying area in fattening pig house, in Danish). Meddelelse 998, Videncenter for Svineproduktion (Danish Pig Research).
- Riis, A.F., Jørgensen, M., Hansen, P. 2014b. 10 % punktudsugning via sugepunkt under hver 2. Stadskillelse i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet (10 % Point exhaust with exhaust opening at every second partition wall, under the resting area of drain floor in fattening pig house, in Danish). Meddelelse 999, Videncenter for Svineproduktion (Danish Pig Research).
- Saha, C.K., Zhang, G.Q., Kai, P., Bjerg, B. 2010. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. *Biosystems Engineering*, **105**(3), 279-287.
- Smits, M.C.J., Campen, J.B., Huis in 't Veld, J.W.H. 2008. Emissiereductie door kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal; proof of principle. Rapport 179.

Bijlagen

Bijlage 1. Foto's van de installatie van het onderafzuigstelsel bij vleesvarkens (links) en zeugen (rechts).



Ø luchtkokers: 380 mm
Ø gaten in luchtkokers: 90 mm
Aantal gaten: 2 per hok



Ø luchtkokers: 250 mm
Ø gaten in luchtkokers: 50 mm
Aantal gaten: 30 in totaal



Verbinding tussen de afzuigkoker onder de roostervloer binnen en de afzuigventilator buiten



Bij de vleesvarkens is op de plaats waar de luchtkoker onder de roosters doorloopt een rij tegels gelegd om te voorkomen dat mest of urine in de luchtkokers terecht komen (de gaten zitten aan de bovenkant)

Bijlage 2. Indeling van de metingen in de controle- en de proefafdelingen bij de vleesvarkens en de zeugen.

Vleesvarkens 1 zijn de afdelingen 3 en 4 en Vleesvarkens 2 zijn de afdelingen 9 en 10.; 'zeugen zonder' is alleen afzuiging via het plafond en 'zeugen met' is met onderafzuiging.

Maand	Dag	Dag in week	Batch	Activiteit
November	1	Donderdag	Vleesvarkens 1 en 2	Opleg dieren; dieren worden gewogen en ingedeeld
	2	Vrijdag	Zeugen	Opleg zeugen; zeugen worden gewogen; er wordt gestart met alleen bovenafzuiging
	12	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	14	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
	26	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	27	Dinsdag	Vleesvarkens 1 en 2	Geurmeting in alle vleesvarkensafdelingen en alle uitgaande luchtkanalen
	28	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
December	10	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	11	Dinsdag	Vleesvarkens 1 en 2	Geurmeting in alle vleesvarkensafdelingen en alle uitgaande luchtkanalen
	12	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
	24	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	26	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
Januari	7	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	8	Dinsdag	Vleesvarkens 1 en 2	Geurmeting in alle vleesvarkensafdelingen en alle uitgaande luchtkanalen
	9	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
	11	Vrijdag	Zeugen zonder	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	14	Maandag		Omschakeling zeugen naar onderafzuiging
	16	Woensdag	Zeugen met	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	17	Donderdag	Zeugen zonder	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	18	Vrijdag	Zeugen met	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	21	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	22	Dinsdag	Vleesvarkens 1 en 2, zeugen	Geurmeting in alle afdelingen en alle uitgaande luchtkanalen (bij zeugen zowel boven als onder)
	23	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
	25	Vrijdag	Zeugen met	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	28	Maandag	Zeugen zonder	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
Februari	30	Woensdag	Zeugen met	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	1	Vrijdag	Zeugen zonder	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	4	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	6	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2
	8	Vrijdag	Zeugen zonder	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	11	Maandag		Omschakeling zeugen naar onderafzuiging
	15	Vrijdag	Zeugen met	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in zeugenafdeling
	18	Maandag	Vleesvarkens 1	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 1
	20	Woensdag	Vleesvarkens 2	Emissiemetingen van 12:00 – 12:00 uur in vleesvarkensbatch 2

Bijlage 3. Protocol voor scoren van hokbevuiling

De hokken zijn ingedeeld in 3 vakken (zie Figuur bijlage 3). Eén van de volgende scores werden gegeven voor elk vak:

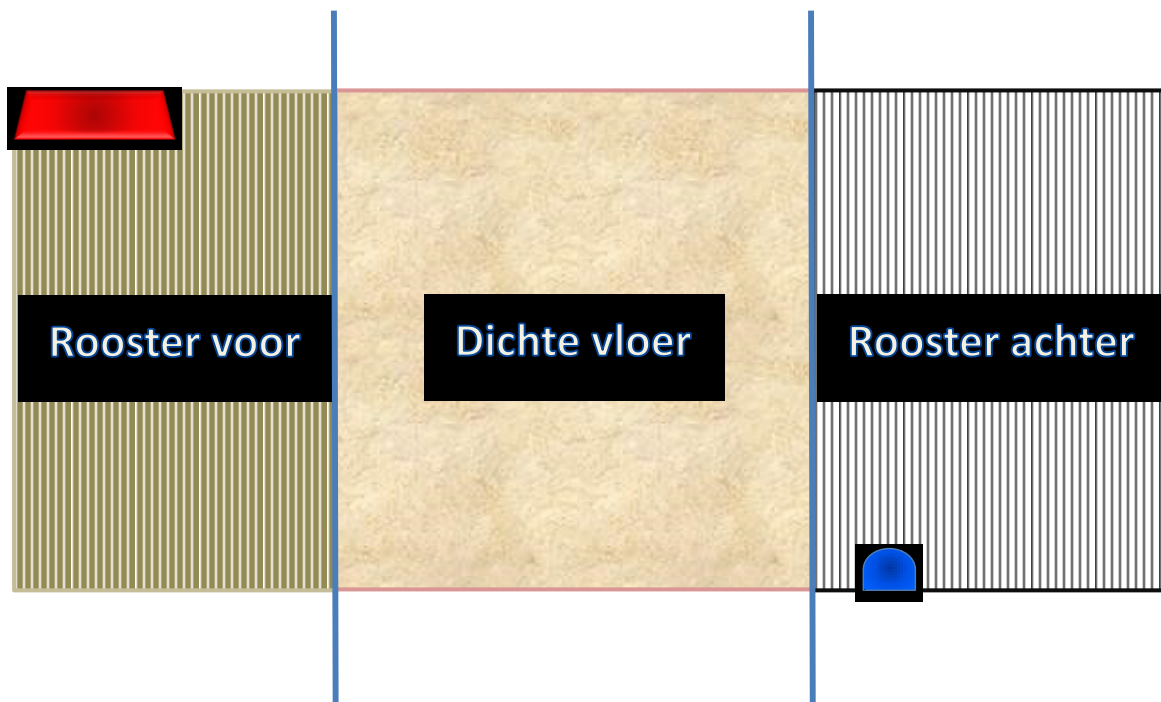
score 1: geen hokbevuiling;

score 2: 1 - 25% van de vloer is nat door mest en urine;

score 3: 26 - 50% van de vloer is nat door mest en urine;

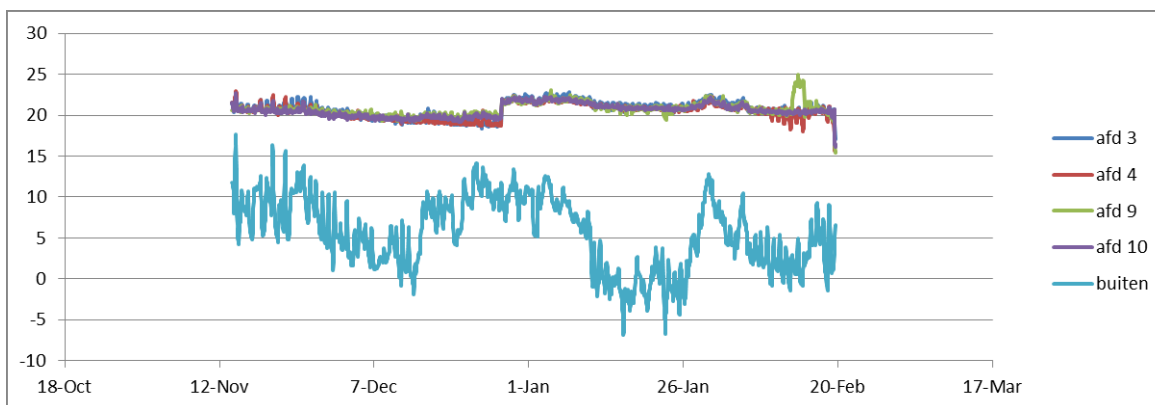
score 4: 51 - 75% van de vloer is nat door mest en urine;

score 5: 76 - 100% van de vloer is nat door mest en urine.



Figuur bijlage 3. Indeling van de vleesvarkenshokken in drie vakken voor de bevuilingsscore.

Bijlage 4. Verloop van de temperatuur in de 4 vleesvarkensafdelingen en de buitentemperatuur tijdens de onderzoeksperiode



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



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

Wageningen UR 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 UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO 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, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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.

