



Ammoniakemissie uit varkensstallen met uitloop

A.J.A. Aarnink, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer en J. Mosquera



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Ammoniakemissie uit varkensstallen met uitloop

A.J.A. Aarnink
J.M.G. Hol
G.M. Nijeboer
J. Mosquera

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 'Mest Milieu & Klimaat' (BO-12.12)

Wageningen UR Livestock Research
Wageningen, augustus 2015

Livestock Research Rapport 868

In dit project is de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen met een verharde uitloop bepaald op twee biologische bedrijven en in de Star+ stal op VIC Sterksel. De ammoniakemissie is hierbij modelmatig berekend op basis van gemeten parameters bij de bron van emissie, waaronder grootte van het bevulde vloer- en kelderoppervlak, temperatuur, ammoniumgehalte en pH van het emitterend oppervlak en luchtsnelheid boven het emitterend oppervlak. In de Star+ stal zijn tevens emissiemetingen op stalniveau uitgevoerd. De conclusie van het onderzoek is dat de ammoniakemissie in stallen met een verharde uitloop niet hoger hoeft te zijn dan in stallen zonder uitloop, wanneer via een goed hokontwerp het kelderoppervlak en de vloerbevuiling kan worden beperkt. Daarnaast wordt geconcludeerd dat het bepalen van de ammoniakemissie in stallen met uitloop met behulp van lokaal gemeten parameters duidelijk perspectief biedt. Verdere validatie van deze methode is echter gewenst.

Within this project the ammonia emission from houses for growing-finishing pigs with a paved outside yard was determined on two organic farms and in the Star+ house at VIC Sterksel. The ammonia emission was estimated by using a computer model that calculates these emissions with measured local parameters, i.e. fouled area of floor and manure pit, temperature, ammonium content and pH of the emitting surface, and the air velocity above the emitting surface. Within Star+ also measurements at housing level were done. From this study it is concluded that the ammonia emission level from houses with a paved outside yard can be similar to houses without outside yard. This can be realized by a good pen design that enables a reduced area of the manure pit and reduced floor fouling. Furthermore, it is concluded that the determination of ammonia emission by model calculation based on local measured input parameters has good prospects. Further validation of this method, however, is advised.

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

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
2	Materiaal en methode	12
	2.1 Stallen	12
	2.2 Metingen en waarnemingen	15
	2.3 Analyse gegevens	18
3	Resultaten	21
	3.1 Lokale metingen in stallen	21
	3.1.1 Klimaat	21
	3.1.2 Bevuild oppervlak	22
	3.1.3 Gehalten in urine en feces	23
	3.1.4 Gehalten in urineplassen en in bovenste laag mest in kelder	24
	3.1.5 Berekende emissies op basis van lokaal gemeten parameters	25
	3.2 Emissiemetingen Star+ stal	28
4	Discussie	31
5	Conclusies	35
	Literatuur	36
	Bijlage 1 Foto's van stallen in het onderzoek	37
	Bijlage 2 Legenda van symbolen in figuren	42
	Bijlage 3 Beschrijving meetmethoden Star+ stal	43

Woord vooraf

Om het welzijn van varkens te verbeteren is er meer aandacht voor huisvesting met buitenuitloop. Informatie over ammoniakemissie van buitenuitlopen in de varkenshouderij is tot op heden vrij beperkt. Er zijn eerder enkele verkennende studies uitgevoerd. De uitvoering van buitenuitloop en stalrichting is zeer divers in de praktijk, en is nog in ontwikkeling. Gezien de diversiteit in de praktijk van huisvesting met buitenuitloop biedt het voordelen om een meetmethode te ontwikkelen waarbij de ammoniakemissie op basis van directe metingen aan emitterende oppervlakken (vloerplassen, mest in kelder) wordt vastgesteld. Deze informatie kan worden gecombineerd met gemeten omgevingsparameters die met behulp van een emissiemodel de emissie per eenheid emitterend oppervlak bepalen. Op deze wijze kan op een efficiënte wijze de ammoniakemissie voor verschillende staluitvoeringen met buitenuitloop worden bepaald.

In dit onderzoek is een eerste aanzet uitgewerkt voor deze benadering. Voor dit onderzoek zijn gedurende een half jaar metingen verricht op vier praktijkbedrijven en op het proefbedrijf VIC Sterksel. Wij danken hierbij alle betrokken ondernemers en het proefbedrijf voor medewerking aan dit onderzoek.

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 onderzoeksthema 'Mest Milieu & Klimaat' (BO-12.12).

Nico Ogink
Programmacoördinator
Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

Het beschikbaar stellen van een uitloop aan varkens wordt in het algemeen beschouwd als een belangrijke manier om het welzijn van de dieren te verbeteren. Dit is de reden waarom een uitloop verplicht is gesteld voor de biologische en de scharrelvarkenshouderij. Ook in de gangbare varkenshouderij bestaat interesse om stallen te bouwen met een uitloop. De vraag is echter of door het beschikbaar stellen van een uitloop de ammoniakemissie niet verhoogd wordt. Om aan de maatschappelijke eisen te voldoen zullen ook stallen met uitloop de emissies zoveel mogelijk moeten beperken. Het doel van dit project is het bepalen van de ammoniakemissie uit stallen met uitloop, waarbij tevens inzicht wordt verkregen in de bijdrage van verschillende bronnen aan deze emissie. Hiervoor zullen verschillende parameters worden gemeten bij de bron van de emissies en wel die parameters die de emissiesnelheid van ammoniak bepalen. Aangezien het met deze methode moeilijk is om absolute ammoniakemissies vast te stellen zijn, ter vergelijking, naast stallen met uitloop tevens stallen zonder uitloop betrokken in dit onderzoek. In dit onderzoek zal de ammoniakemissie van stallen met uitloop daarom vooral vergelijkend ten opzichte van reguliere stallen worden beoordeeld. Eén van de stallen met uitloop in het onderzoek is de Star+ stal op Varkens-innovatiecentrum (VIC) Sterksel. Hier worden naast de emissie van ammoniak tevens de emissies van broeikasgassen (methaan en lachgas) en fijnstof bepaald.

Het onderzoek is uitgevoerd in 4 vleesvarkensstallen op commerciële varkensbedrijven, waarvan 2 reguliere bedrijven met stallen zonder uitloop en 2 biologische bedrijven met stallen met uitloop. Daarnaast is het onderzoek uitgevoerd in de Star+ stal op VIC Sterksel. Dit is een stal met uitloop voor reguliere varkens. De urine en feces worden in deze stal gescheiden afgevoerd met behulp van een mestband onder de roostervloer. In deze 5 stallen is in de periode juni 2013 tot januari 2014 wekelijks, door de varkenshouder, de bevulling van de vloer (dichte vloer en roostervloer) middels een rastertekening op drie momenten van de dag vastgelegd ('s morgens, 's middags, 's avonds). Daarnaast zijn één maal per ca. 6 weken (in totaal 4 meetdagen) middels een stalbezoek de volgende monsters verzameld:

- Urine- en fecesmonsters van ca. 12 dieren;
- Absorptie monsters van urineplassen op de (rooster)vloer met behulp van filters;
- Absorptie monsters van de bovenste laag van de mest in de mestkelder met behulp van filters.

Daarnaast zijn tijdens deze stalbezoeken de volgende metingen gedaan:

- Oppervlaktetemperatuur van bevuilde (rooster)vloeren;
- Oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelder;
- Luchtsnelheid over het met urine bevuilde (rooster)vloer oppervlak.

In de Star+ stal zijn rond de metingen van de lokale parameters tevens ammoniakmetingen uitgevoerd op stalniveau. De lokale metingen zijn steeds op één dag per meetperiode uitgevoerd, terwijl de emissiemetingen op stalniveau gedurende minimaal 4 dagen zijn uitgevoerd door semi-continue metingen. In totaal zijn 5 metingen op stalniveau uitgevoerd (één extra t.o.v. de lokale metingen).

Op basis van de lokaal gemeten parameters kon de ammoniakemissie met behulp van een simpel rekenmodel worden berekend. Voor de Star+ stal zijn deze berekende waarden vergeleken met de gemeten ammoniakemissies op stalniveau. Hierbij is het ventilatiedebiet bepaald met behulp van de tracergasmethode, waarbij gedurende 3 van de 5 meetperioden gebruik is gemaakt van SF₆ als tracer en gedurende 4 van de 5 meetperioden is gebruik gemaakt van CO₂ als tracer (tijdens 2 meetperioden zijn beide methoden gelijktijdig toegepast).

Uit de resultaten van het onderzoek konden de volgende conclusies worden getrokken:

- Ondanks het grotere oppervlak per dier in vleesvarkensstallen met uitloop, vooral in biologische stallen, hoeft de ammoniakemissie niet hoger te zijn dan in reguliere stallen. Door een goed hokontwerp, zoals in één van de biologische stallen in dit onderzoek, volstaat een relatief klein (emitterend) kelderoppervlak. De emissie per m² kelderoppervlak is tevens beduidend lager in

stallen met uitloop, vooral als gevolg van de lagere oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelders.

- De vloeremissie is in vleesvarkensstallen met uitloop in het algemeen hoger dan in reguliere stallen. Deze hogere vloeremissie wordt vooral veroorzaakt door een groter bevuild oppervlak (roostervloer + dichte vloer) bij stallen met uitloop ten opzichte van de reguliere stallen.
- In de zomer is de berekende ammoniakemissie per m² bevuild oppervlak voor alle stallen beduidend hoger dan in de herfst/winter. Dit geldt in sterkere mate voor stallen met uitloop, aangezien in deze stallen de temperatuur sterker mee varieert met de buitenomstandigheden dan in reguliere stallen.
- Er lijkt een tendens te zijn bij reguliere varkenshouders om de staltemperatuur hoger in te stellen dan in het verleden. Dit resulteert in hogere mesttemperaturen en daarmee hogere ammoniakemissies per m² kelderoppervlak.
- Metingen in de Star+ stal tonen aan dat de gemiddelde berekende ammoniakemissies op basis van gemeten lokale parameters redelijk overeen komen met gemiddeld gemeten ammoniakemissies op stalniveau op basis van de tracergasmethode SF₆ en CO₂. Binnen meetperioden kunnen echter grote verschillen optreden zowel tussen de methode van gemeten lokale parameters enerzijds en de tracergasmethode anderzijds, als tussen de tracergasmethode onderling.
- In de Star+ stal werden lage emissies gemeten van methaan. De emissie van lachgas was hoger dan in reguliere stallen, maar nog steeds laag. De emissie van fijnstof was vergelijkbaar met de emissie uit reguliere stallen.
- Het bepalen van de ammoniakemissie in stallen met uitloop met behulp van lokaal gemeten parameters biedt duidelijk perspectief. Verdere validatie van deze methode is echter gewenst, waarbij met name ook aandacht moet worden gegeven aan wat er in de bovenlaag van de mest gebeurt. Daarnaast is het van belang dat tijdens het validatieonderzoek de ammoniakemissie nauwkeurig wordt gemeten. Dit kan in mechanisch geventileerde stallen zonder uitloop.

Summary

The provision of an outside yard for pigs is generally regarded as an important way to improve the welfare of the animals. This is why an outside yard is mandatory for organic and free-range pig farming. Also in regular pig farming there is a desire to build pig houses with an outside yard. The question is whether ammonia is not increasing when offering an outside yard. To meet societal requirements also houses with outside yards must reduce emissions as much as possible. The goal of this project is to determine the ammonia emissions from pig houses with an outside yard, whereby also insight is obtained of the contribution of different sources of these emissions. For this, various parameters are measured at the source of the emissions, that is, those parameters that determine the emission rate of ammonia. Since it is difficult with this method to establish absolute ammonia emissions, by comparison, besides houses with outside yards also houses without outside yard are involved in this study. In this study, the ammonia emission from houses with outside yard therefore will primarily be comparatively assessed to regular houses. Besides ammonia, in the Star+ house also the emissions of greenhouse gases (methane and nitrous oxide) and particulate matter are determined.

The research was conducted in four houses for growing-finishing pigs on commercial pig farms, of which two regular farms with houses without outside yard and two organic farms with houses with outside yard. In addition, the research was also conducted in the Star+ house on Pig Innovation Center (VIC) Sterksel. This is a house with an outside yard for regular pigs. The urine and feces are discharged separately in this house by means of a manure belt under the slatted floor. In these 5 houses weekly in the period between June 2013 to January 2014 the soiling of the floor (solid floor and slatted floor) was drawn on a grid paper at three moments of the day (morning, afternoon, and in the evening). In addition, once every 6 weeks (a total of four measurement days) through a farm visit the following samples were collected:

- Urine and faeces samples of about 12 animals;
- Absorption Samples of urine puddles on the (slatted) floor using filters;
- Absorption Samples of the top layer of the manure in the manure pit using filters.

Additionally, the following measurements were done during this stable visits:

- Surface temperature of soiled (slatted) flooring;
- Surface temperature of the manure in the manure pit;
- Air velocity above the urine soiled (slatted) floor.

In the Star+ house, in the same period as when measuring the local parameters, ammonia measurements were carried out at house level. Local measurements were always performed on one day per measurement period, while the emission measurements on house level were conducted by semi-continuous measurements for at least 4 days. A total of 5 measurements at house level were completed (one extra compared to local measurements).

On basis of the locally measured parameters, ammonia emission could be calculated by means of a simple mathematical model. For the Star+ house these calculated values were compared with the measured ammonia emissions at house level. Here the ventilation flow rate was determined using the tracer gas method. During 3 out of 5 measuring periods SF₆ was used as the tracer, and during 4 out of 5 measurement periods CO₂ was used as the tracer (during two measurement periods, these two methods were applied simultaneously).

From the results of this study, the following conclusions could be drawn:

- Despite the larger pen area per pig in houses for growing-finishing pigs with an outside yard, especially in organic houses, ammonia emission does not have to be higher than in regular houses. By a good pen design, such as in one of the organic houses in this study, a relatively small (emitting) manure pit area is sufficient. The emission per m² pit surface area is also significantly lower in houses with outside yard, especially as a result of the lower surface temperature of the manure in the pit.

-
- The floor emission in houses for growing-finishing pigs with outside yard is generally higher than in regular houses. These higher floor emissions are mainly caused by a larger soiled surface (slatted floor + solid floor) in houses with outside yard compared to the regular houses.
 - In summer, the calculated ammonia emissions per m² of soiled surface was significantly higher than in the autumn / winter. This applies to a greater extent for houses with outside yard, since in these houses the temperature varies more strongly with the outside conditions than in regular houses.
 - There is a tendency in regular pig farming to set the inside temperature higher than in the past. This results in higher manure temperatures and therefore higher ammonia emissions per m² of manure pit surface.
 - Measurements in the Star+ house show that the average ammonia emissions calculated on basis of local measured parameters reasonably correspond to average measured ammonia emissions at house level based on the tracer gas methods of SF₆ and CO₂. Within measurement periods however, large differences, both between the method of local measured parameters on one hand and the tracer gas methods on the other hand, as well as between the tracer gas methods themselves, were observed.
 - In the Star+ house low emissions of methane were measured. The emission of nitrous oxide was higher than in regular houses, but still low. Particulate emissions were comparable to emissions from regular houses.
 - The determination of ammonia in houses with outside yards using locally measured parameters provides clear perspective. Further validation of this method, however, is desirable. Particular attention should be given to what happens in the boundary layer of the manure. In addition, it is important that in this validation study the ammonia emission can be accurately measured. This can be done in mechanically ventilated houses without outside yard.

1 Inleiding

In de varkenshouderij krijgt de manier van houden van de dieren steeds meer aandacht. Vanuit de EU en de Nederlandse overheid zijn verschillende regels opgesteld waaraan de huisvesting moet voldoen om het welzijn van varkens te verbeteren. Het beschikbaar stellen van een uitloop aan de varkens wordt in het algemeen beschouwd als een belangrijke manier om het welzijn van de dieren te verbeteren. Dit is de reden waarom een uitloop verplicht is gesteld voor de biologische en de scharrelvarkenshouderij. Ook in de gangbare varkenshouderij bestaat interesse om stallen te bouwen met een uitloop. Naast een verbetering van het dierenwelzijn is het tevens belangrijk om de emissies van milieuvervuilende componenten zoveel mogelijk te beperken. Per 2013 moesten alle stallen voldoen aan de ammoniakemissie-eisen zoals die zijn gesteld in het 'Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij' (2005). De biologische en de scharrel-varkenshouderij zijn hiervan uitgezonderd. Om aan de maatschappelijke eisen te voldoen zullen deze varkensbedrijven echter ook zoveel mogelijk de emissies moeten beperken. In de Tweede Kamer is een motie ingediend waarin ruimte wordt gevraagd voor ontwikkeling van welzijnsvriendelijke stalsystemen, waarbij deze ontwikkelingen niet teveel geremd moeten worden door de gestelde milieueisen (Motie van Snijder-Hazelhoff en Koopmans, 8 maart 2012). Niettemin ligt de uitdaging in het ontwikkelen van systemen die zowel welzijns- als milieuvriendelijk zijn.

In een tweetal rapporten is onlangs de huidige stand van kennis op een rij gezet ten aanzien van de emissies uit stallen met uitloop (Kasper & Aarnink, 2011) en mogelijkheden om deze emissies te beperken (Aarnink et al., 2012). In de laatst genoemde rapportage is voor verschillende ontwerpen een inschatting gemaakt van de ammoniakemissie. Deze inschattingen waren gebaseerd op, relatief simpele, modelberekeningen. Het is van belang om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de uitgangspunten van deze berekeningen. Door emissies gemeten op stalniveau (inclusief uitloop) te koppelen aan metingen van lokale emissies (o.a. vanaf bevuilde dichte vloeren en roostervloeren en vanuit de mestput) wordt inzicht verkregen in de hiervoor genoemde uitgangspunten bij modelberekeningen. Met deze opzet kunnen resultaten ook vertaald worden naar andere situaties en ontwerpen.

In het hiervoor genoemde rapport van 2012 is bij de modelberekeningen uitgegaan van een bepaalde emissie per m² bevuild vloeroppervlak en per m² kelderoppervlak. Er is echter nog weinig bekend over de potentiële emissie per m² bij biologische bedrijven in vergelijking tot gangbare bedrijven. Deze potentiële emissie is afhankelijk van het ammoniumgehalte en de pH van de met urine en mest bevuilde oppervlakken, van de temperatuur van het emitterend oppervlak en van de lichtsnelheid over het emitterend oppervlak. Daarnaast is de stalemissie afhankelijk van de mate van bevuiling van de vloer. Deze verschillende parameters zullen worden gemeten op twee typische biologische bedrijven en twee typische gangbare bedrijven. Op basis hiervan zullen modelmatige inschattingen worden gedaan van de emissies van bedrijven met uitlopen. Deze werkwijze zal worden gevalideerd met metingen die gedaan worden in het Star+ systeem op VIC Sterksel. In deze stal zal de ammoniakemissie worden ingeschat met de hiervoor genoemde parameters en zal de emissie daarnaast tevens op stalniveau worden gemeten.

Het doel van dit project is het bepalen van de ammoniakemissie uit stallen met uitloop, waarbij tevens inzicht wordt verkregen in de bijdrage van verschillende bronnen aan deze emissie. Hiervoor zullen verschillende parameters worden gemeten bij de bron van de emissies en wel die parameters die de emissiesnelheid van ammoniak bepalen. Aangezien het met deze methode moeilijk is om absolute ammoniakemissies vast te stellen zijn, ter vergelijking, naast stallen met uitloop tevens stallen zonder uitloop betrokken in dit onderzoek. In dit onderzoek zal de ammoniakemissie van stallen met uitloop daarom vooral vergelijkend ten opzichte van reguliere stallen worden beoordeeld. Naast ammoniak zullen in de Star+ stal tevens de emissies van broeikasgassen (methaan en lachgas) en fijnstof worden bepaald.

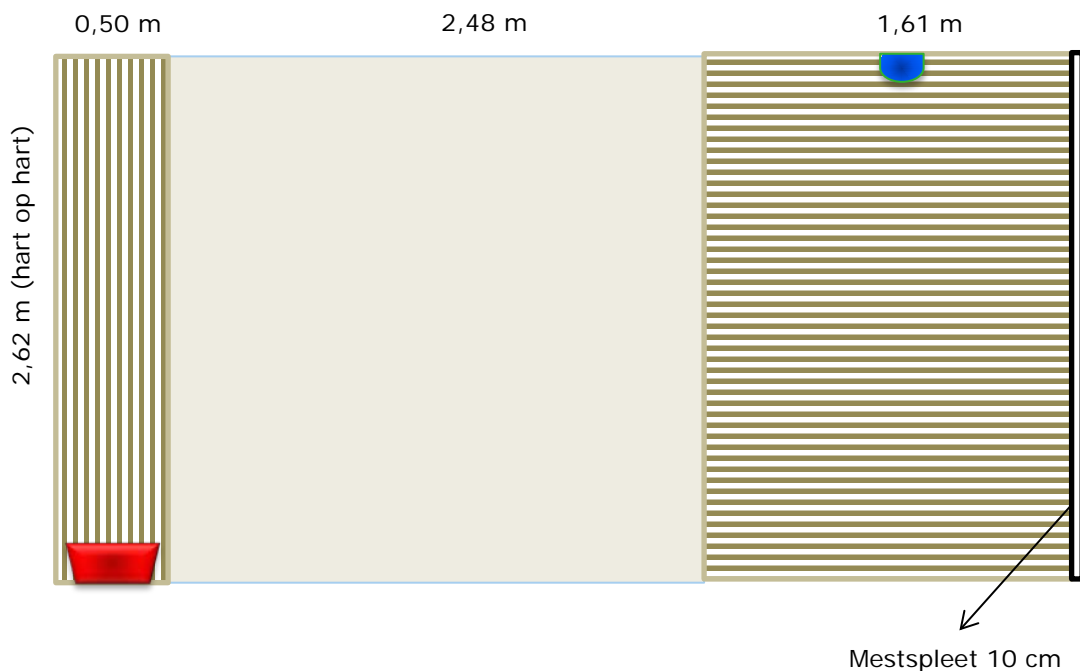
2 Materiaal en methode

2.1 Stallen

Het onderzoek is uitgevoerd in 4 vleesvarkensstallen op commerciële varkensbedrijven, waarvan 2 reguliere bedrijven en 2 biologische bedrijven. Daarnaast is het onderzoek uitgevoerd in de Star+ stal op Varkens-innovatiecentrum (VIC) Sterksel. Op elk bedrijf is één stal onderzocht. Op de biologische bedrijven en in de Star+ stal hadden de vleesvarkens een uitloop naar buiten. Hierna worden de verschillende stallen in het kort beschreven.

Reguliere stal 1

Het onderzoek is uitgevoerd in één van de afdelingen. De afdeling had 8 hokken met ieder 12 vleesvarkens. Aangezien de dieren de beschikking hebben over een oppervlak van 1,0 m²/dier heeft deze stal een emissiefactor van 3,5 kg/dierplaats per jaar (Rav-code D 3.100.2). In figuur 1 wordt een plattegrond van het hok gegeven. Het hok heeft een oppervlak van 12,0 m² en bestaat voor 54% uit een dichte bolle vloer en voor 46% uit een betonnen roostervloer. Het hok heeft voorin een smal mestkanaal en achterin een breed mestkanaal. De diepte van de mestkelder is 1,25 m. Ook onder de dichte vloer is een mestkelder die is afgesloten met een stankafsluiter. De mest wordt één of twee maal per jaar afgelaten. De lucht wordt via een opening in de deur ingelaten en wordt mechanisch afgezogen via twee ventilatoren met een diameter van 45 cm. De maximale ventilatiecapaciteit bedraagt 12 000 m³/uur. Varkens worden gevoerd via een droogvoerbak met een drinknippel in de bak. Voor foto's van de afdeling zie bijlage 1.

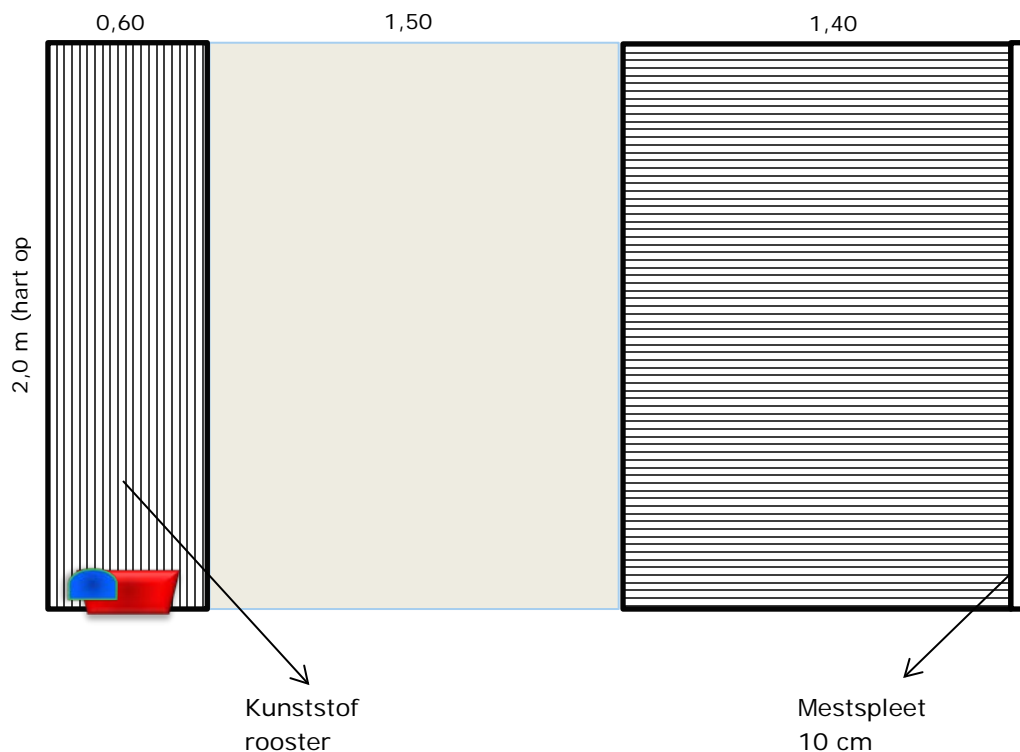


Figuur 1 Plattegrond van een hok in de doorgemeten afdeling van reguliere stal 1. (Zie bijlage 2 voor uitleg van de verschillende symbolen in de figuur.)

Reguliere stal 2

Het onderzoek is uitgevoerd in één van de afdelingen. De afdeling had 6 hokken voor totaal 53 dieren (5 hokken met 9 en 1 hok met 8 dieren). De dieren hebben de beschikking over een oppervlak van 0,8 m²/dier, daarom heeft deze stal een emissiefactor van 2,5 kg/dierplaats per jaar (Rav-code D 3.100.1). In figuur 2 wordt een plattegrond van het hok gegeven. Het hok heeft een oppervlak van 7,0 m² en bestaat voor 43% uit een dichte bolle vloer en voor 57% uit een roostervloer. Het hok heeft

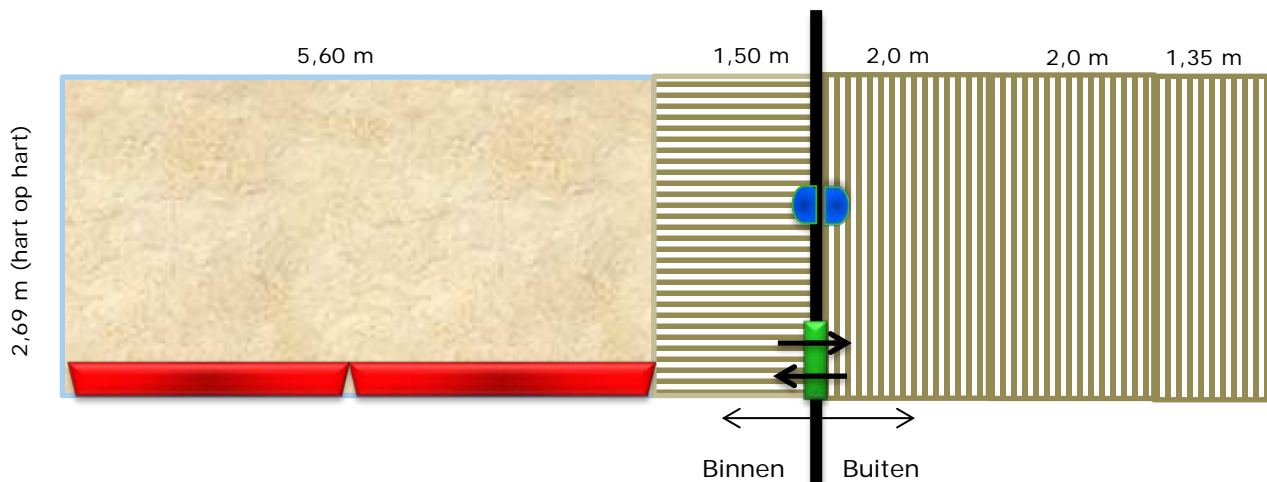
voarin een smal mestkanaal met een kunststof roostervloer en achterin een breed mestkanaal met een metalen driekant roostervloer. De hokken hebben alleen onder de roostervloer een mestkelder van 0,65 m diep. De mest wordt na iedere ronde uit de afdeling afgevoerd. De lucht wordt boven de deur ingelaten en mechanisch afgezogen via een ventilator met een diameter van 40 cm, met een maximale capaciteit van 4 400 m³/uur. De varkens worden gevoerd via een droogvoerbak. Er is een apart drinkbakje aanwezig. Voor foto's van de stal en de afdeling zie bijlage 1.



Figuur 2 Plattegrond van een hok in de doorgemeten afdeling van reguliere stal 2. (Zie bijlage 2 voor uitleg van de verschillende symbolen in de figuur.)

Biologische stal 1

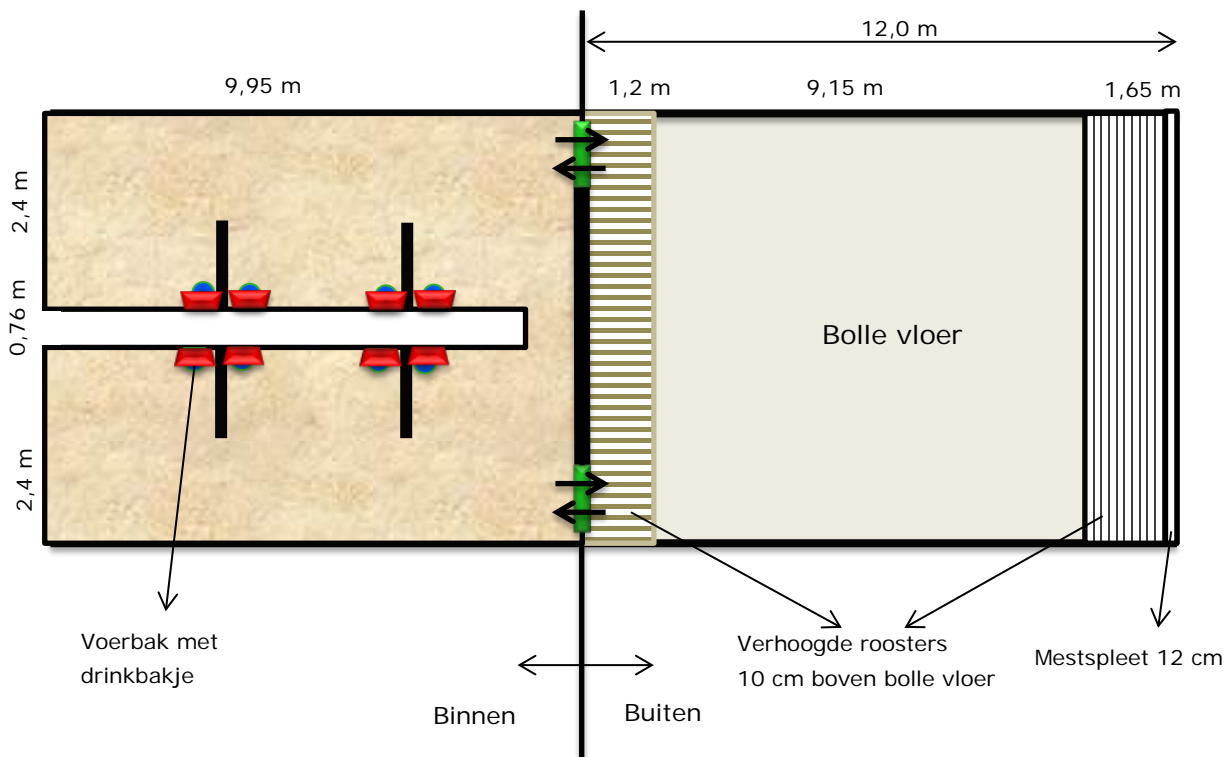
Het onderzoek is uitgevoerd in één van de afdelingen. De afdeling in het onderzoek had 6 hokken met ieder 17 dieren. De dieren hebben de beschikking over een oppervlak van 1,12 m²/dier binnen en 0,85 m²/dier buiten. Binnen is het aandeel roostervloer 21%, terwijl de buitenuitloop volledig uit roosters bestaat. De roosters zijn van beton. Deze stal heeft een emissiefactor van 3,5 kg/dierplaats per jaar (Rav-code D 3.100.2). In figuur 3 wordt een plattegrond van het hok gegeven. Onder de roostervloeren zijn mestkelders aanwezig met een diepte van 1,5 m. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd via ramen die opengezet kunnen worden en via de doorgang naar de uitloop. De varkens worden gevoerd via troggen met daarboven drinknippels. Voor foto's van de afdeling zie bijlage 1.



Figuur 3 Plattegrond van een hok in de doorgemeten afdeling van biologische stal 1. (Zie bijlage 2 voor uitleg van de verschillende symbolen in de figuur.)

Biologische stal 2

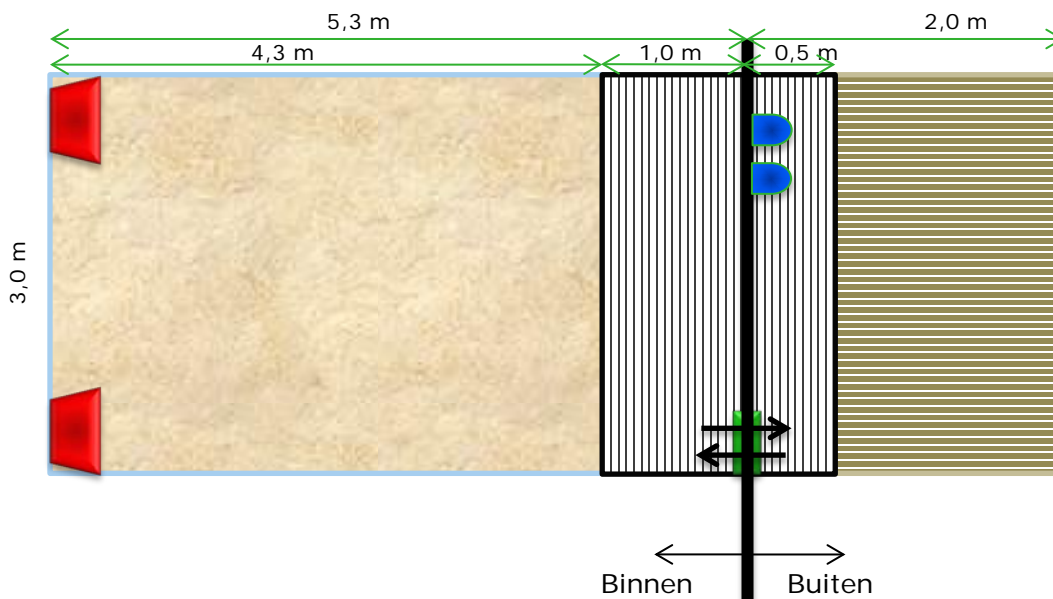
Het onderzoek is uitgevoerd in één afdeling met één groot hok. De dieren hebben de beschikking over een oppervlak van 0,97 m²/dier binnen en 1,33 m²/dier buiten. Binnen heeft het hok een volledig dichte vloer, terwijl de buitenuitloop voor 24% uit roosters bestaat. Op de uitloop direct tegen de stal ligt een smal betonnen roosters en aan het andere eind van de uitloop ligt een rooster van metalen driekant. Deze stal heeft een emissiefactor van 3,5 kg/dierplaats per jaar. In figuur 4 wordt een plattegrond van het hok gegeven. De afdeling wordt mechanisch geventileerd, waarbij de lucht vooral wordt aangevoerd via de uitloopopeningen. De varkens krijgen voer verstrekt via een droogvoerbak. In deze bak kunnen de varkens tevens water drinken. Voor foto's van de afdeling zie bijlage 1.



Figuur 4 Plattegrond van een hok in de doorgemeten afdeling van biologische stal 2. (Zie bijlage 2 voor uitleg van de verschillende symbolen in de figuur.)

Star+ stal

De Star+ stal heeft 12 hokken met ieder 18 dieren. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd. De dieren hebben de beschikking over een oppervlak van 0,88 m²/dier binnen en 0,33 m²/dier buiten. Binnen is het aandeel roostervloer 19%, terwijl de buitenuitloop volledig uit roosters bestaat. De roosters zijn binnen van metalen driekant en buiten is het eerste stuk rooster ook van metalen driekant en de rest van beton.



Figuur 5 Plattegrond van een hok in de Star+ stal. (Zie bijlage 2 voor uitleg van de verschillende symbolen in de figuur.)

Onder de roostervloer loopt een V-vormige mestband die de urine en feces direct scheidt. De urine loopt continu af naar een gesloten opslag, terwijl de feces 6x per dag worden afgevoerd door het draaien van de band. In figuur 5 wordt een plattegrond van het hok gegeven. Voor meer info en foto's van de afdeling zie bijlage 1.

2.2 Metingen en waarnemingen

Metingen praktijkstallen

De volgende metingen en waarnemingen zijn gedaan in de praktijkstallen in de periode juni 2013 tot januari 2014:

- Het bevulde vloeroppervlak. Dit is één maal per week op drie momenten van de dag door de varkenshouder op een rastertekening vastgelegd.
- Eén maal per ca. 6 weken (in totaal 4 meetdagen) zijn middels een stalbezoek de volgende monsters verzameld:
 - Urinemonster. Van ca. 12 dieren zijn urinemonsters genomen. Van elk van deze monsters is de pH bepaald direct na het opvangen van de urine. In het chemisch laboratorium zijn deze monsters random verdeeld over twee duplo verzamelmonsters, waarbij het aantal zeugjes en borgjes/beertjes per verzamelmonster gelijk werd gehouden. Aan elk verzamelmonster werd eenzelfde hoeveelheid urine van elk dier toegevoegd.
 - Feces monster. Er zijn duplo verzamelmonsters van verse feces genomen op een vergelijkbare manier van hetzelfde aantal dieren als voor de urinemonsters. De monsters van de dieren werden in plastic zakken gedaan. Op het laboratorium werd op massabasis een verzamelmonster gemaakt van 6 dieren.
 - Duplo verzamelmonsters van de bevulde vloer (absorptiemonsters van urine op de (rooster)vloer). Op representatieve plekken in een hok werden monsters genomen. Representatief wil zeggen dat vooral monsters zijn genomen van plekken die veel bevuild zijn. Monsters zijn genomen door de urine op bevulde plekken op te zuigen in filters (glasvezelfilters). Op elke monsterplek zijn 2 filters vol gezogen met urine. Hierbij is het ene filter in een potje met zuur en het andere filter in een potje met water gedaan. In totaal zijn 4

potjes met ieder 10 filters gevuld, waarbij in 2 potjes 10 ml water zat en in de andere 2 potjes 10 ml zuur (1% HCl). Het voorgaande kon niet in alle gevallen worden gerealiseerd. Dit was het geval bij enkele monsternames vanaf de vloer van de reguliere stallen. In beide reguliere stallen was zeer weinig bevuiling van de vloer en droogde de urineplassen ook zeer snel op a.g.v. de relatief hoge temperaturen in de stal. Daarnaast bleef er heel weinig urine achter op het driekantrooster bij bedrijf 2.

- o Duplo verzamelmonsters van de bovenste laag mest in de mestkelder (absorptie-monsters van de bovenste laag mest). De monsters zijn op 5 verschillende plekken per hok genomen. Monsters van 2 hokken zijn samengevoegd tot een verzamelmonster. Van dit monster is de pH gemeten. Het tweede monster werd in 2 andere hokken genomen, volgens dezelfde procedure. In totaal zijn 2 potjes gevuld met ieder 10 filters, waarbij aan de beide potjes 10 ml water was toegevoegd.
- Op dezelfde dagen als de monsters zijn verzameld zijn tevens de volgende metingen gedaan:
 - o Oppervlaktetemperatuur van bevuilde (rooster)vloeren op tenminste 10 plekken (met de Raynger ST ProPlus van Raytek, Santa Cruz, VS).
 - o Oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelder op tenminste 10 plekken (met de Raynger ST ProPlus van Raytek, Santa Cruz, VS).
 - o Luchtsnelheid over het met urine bevuilde (rooster)vloer oppervlak met een hittedraad luchtsnelheidsmeter.

Procedure voor verzamelen en analyse filter-, urine- en mestmonsters zoals deze werd toegepast door het chemisch laboratorium:

- Er wordt uitgegaan van een gemiddeld gewicht van de glasvezelfilters van 90 mg/filter.
- Potje zonder deksel wordt leeg gewogen.
- Toevoegen aan potje: 10 ml water (code W met volgnummer) of 10 ml zuur (code Z met volgnummer). Het zuur bevatte 1% zoutzuur (HCl).
- Filters met geabsorbeerd vocht worden in de potjes gedaan (10 in elk potje of bij ander aantal het aantal filters doorgeven).
- Op locatie wordt de pH van het potje met water gemeten (na goed mengen); ook het potje met zuur wordt goed gemengd met het vocht van de filters.
- De potjes worden na inleveren gewogen waarmee de hoeveelheid opgezogen vloeistof wordt bepaald.
- In het laboratorium worden de volgende analyses gedaan in de vloeistof in de potjes: $\text{NH}_4\text{-N}$ (titrimetrisch) en N_{totaal} (Kjeldahl).
- Verse urinemonsters op locatie: meten pH van elk monster per dier.
- Verse urinemonsters in lab: 2 verzamelmonsters maken op massabasis en analyse op N_{totaal} (Kjeldahl) en ureum-N. De ureum wordt hierbij omgezet naar $\text{NH}_4\text{-N}$ door toevoeging van urease. Het $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte wordt voor en na toevoeging van urease spectrofotometrisch bepaald via NEN 6472.
- Verse fecesmonsters in lab: 2 verzamelmonsters maken op massabasis en analyse N_{totaal} (Kjeldahl) en $\text{NH}_4\text{-N}$ (titrimetrisch).

Metingen Star+ stal

In de Star+ stal zijn dezelfde metingen uitgevoerd als in de praktijkstallen volgens dezelfde procedures als hiervoor aangegeven, met één verschil:

- Aangezien de Star+ stal geen opslag van mengmest heeft in de mestkelder maar gebruik maakt van een mestband voor afvoer van de mest, werden in deze stal duplo verzamelmonsters genomen van natte urineplekken op de mestband. Hierbij werd dezelfde procedure toegepast als voor het bemonsteren van bevuilde vloeren in de praktijkstallen. Op deze manier kon bepaald worden welk deel van de ureum in de urine op de mestband was omgezet naar ammonium.

De metingen zijn uitgevoerd op vier dagen verspreid over de periode juli – december 2013.

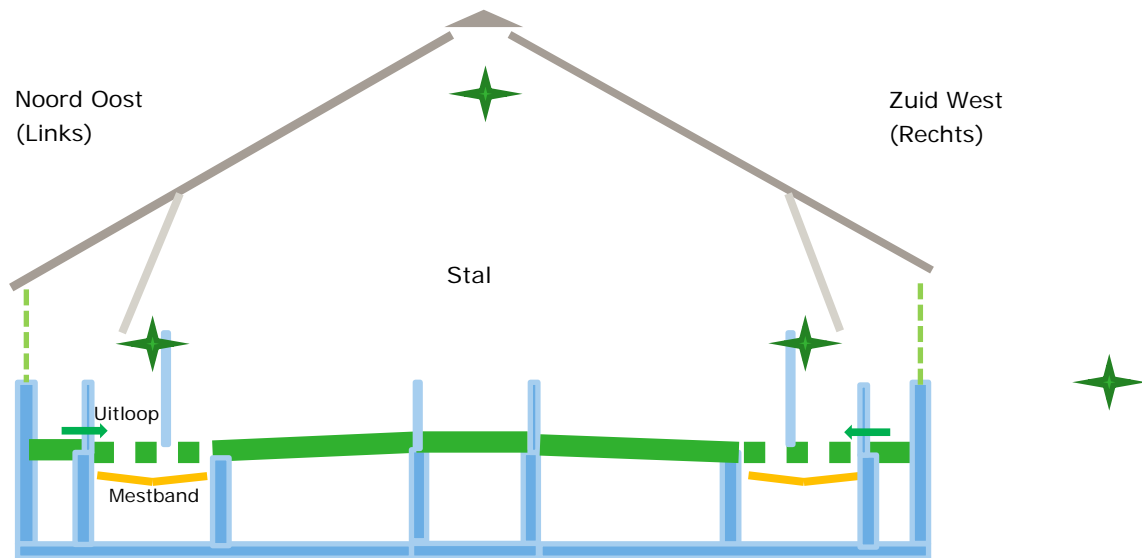
Rond de metingen van de lokale parameters zijn tevens ammoniakmetingen uitgevoerd op stalniveau. De lokale metingen zijn steeds op één dag per meetperiode uitgevoerd, terwijl de metingen op stalniveau gedurende minimaal 4 dagen zijn uitgevoerd door semi-continue metingen. De metingen op

stalniveau zijn één maal extra uitgevoerd, in januari 2014, zodat op stalniveau in totaal gedurende 5 meetperioden is gemeten.

De ammoniakconcentraties zijn op de volgende locaties gemeten:

- Ingaande lucht naar de uitloop (achtergrondconcentratie), aan de open zijde van de stal (Zuid West).
- Ingaande lucht (van uitloop) naar stal, aan beide zijden van de stal.
- Uitgaande stallucht, in de nok.

Aangezien het meetsysteem de achtergrondconcentratie door het lage niveau niet goed kon meten is een waarde aangehouden van 0,1 ppm. De achtergrondconcentratie voor ammoniak is voor varkens- en pluimveestallen in het algemeen vrijwel te verwaarlozen ten opzichte van de stalconcentraties. In figuur 6 is een dwarsdoorsnede van de Star+ stal getekend waarin de meetpunten zijn aangegeven.



Figuur 6 Dwarsdoorsnede van de Star+ stal met de locatie van de meetpunten (✦) en de locatie van de injectie van SF₆ (→).

De monsters zijn genomen met verzamelleidingen (5 monsternamepunten) over de gehele lengte van de stal. Ammoniakconcentraties zijn semi-continu gemeten met een NO_x-monitor. Een uitgebreide beschrijving van de meetmethode staat in bijlage 3.

In de uitgaande stallucht (in de nok op 1/3 en 2/3 lengte van de stal) zijn tevens de volgende metingen gedaan:

- Broeikasgassen (CH₄ en N₂O). Concentraties broeikasgassen (methaan en lachgas). Per meetperiode is per locatie één 24-uurs monster genomen in luchtzakken volgens de longmethode. Een uitgebreide beschrijving van de meetmethode staat in bijlage 3. Deze zijn vervolgens geanalyseerd op het laboratorium met een gaschromatograaf.
- Fijnstof. Concentraties PM₁₀ zijn continu gemeten met twee DustTraks. Een uitgebreide beschrijving van de meetmethode staat in bijlage 3.

In de ingaande lucht zijn tevens de concentraties broeikasgassen (CH₄ en N₂O) bepaald. Voor fijnstof is een achtergrondconcentratie aangenomen van 50 µg/m³.

Voor bepaling van de ammoniakemissie is gebruik gemaakt van de interne tracergasmethode. De tracer SF₆ werd continu afgegeven via twee leidingen, aan beide zijden van de stal één leiding in de uitloop (zie figuur 6). Via rookproeven is bepaald wat de beste plek was voor deze leidingen. De bedoeling is dat de SF₆ zich evenredig met de geëmitteerde ammoniak in de uitloop en in de stal mengt. De SF₆ concentraties zijn op dezelfde locaties als ammoniak gemeten. Op basis van de afgegeven hoeveelheid SF₆ en de concentratieverhouding tussen ammoniak en SF₆ kan de ammoniakemissie vanaf de uitlopen en uit de stal worden bepaald. De SF₆ concentraties zijn gemeten

met behulp van een gaschromatograaf. De SF₆ methode is toegepast gedurende 3 van de 5 meetperioden (periode 1 t/m 3).

Een tweede methode voor het bepalen van de ammoniakemissie uit de stal is door de CO₂ massabalansmethode te gebruiken. Met deze methode wordt het ventilatiedebiet bepaald op basis van de geproduceerde CO₂ van de dieren (de tracer) en de gemeten CO₂ concentratie in de nok van de stal en de ingaande lucht. De ammoniakemissie is berekend door het berekende ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met het verschil in ammoniakconcentratie tussen uitgaande en ingaande lucht. Een uitgebreide beschrijving van de meetmethode staat in bijlage 3. De CO₂ massabalansmethode is toegepast gedurende 4 van de 5 meetperioden (periode 2 t/m 5). Voor berekening van de emissies van methaan, lachgas en fijnstof is alleen gebruik gemaakt van de CO₂-massabalans methode, aangezien CO₂ in dezelfde monsterzakken is gemeten als methaan en lachgas en over hetzelfde tijdstraject is bemonsterd als deze broeikasgassen en fijnstof (24-uurs meting).

2.3 Analyse gegevens

De metingen in de praktijkstallen en de aanvullende metingen in de Star+ stal zijn er op gericht om de ammoniakemissie modelmatig in te schatten. Voor vleesvarkens is een rekenmodel ontwikkeld dat de ammoniakemissie in roostervloerstallen voor vleesvarkens kan berekenen op basis van een aantal inputparameters (Aarnink & Elzing, 1998). In dit model wordt de ammoniakemissie als volgt berekend:

$$E_{NH_3} = \frac{k \times A \times f \times [TAN]}{H} \quad (1)$$

Waarin:

E_{NH_3} = ammoniakemissie (mol/s)

k = massa transfer coëfficiënt (m/s)

A = oppervlak van de ammoniak oplossing (m²)

f = fractie niet geïoniseerde ammoniak in de oplossing (-)

$[TAN]$ = concentratie ammoniakaal stikstof in de oplossing (mol/m³)

H = constante van Henry (-)

De massa transfer coëfficiënt (k) is afhankelijk van de luchtsnelheid over en de temperatuur van het emitterende oppervlak. Deze worden beide gemeten in het onderzoek. De oppervlakte (A) van het emitterende oppervlak wordt ook gemeten. De fractie niet geïoniseerde ammoniak in de oplossing (f) is afhankelijk van de pH in de grenslaag en van de temperatuur van de oplossing. Beiden worden gemeten in dit onderzoek. De TAN concentratie wordt ook gemeten in dit onderzoek. De constante van Henry is afhankelijk van de oppervlaktetemperatuur van de emitterende ammoniakoplossing. Zoals hiervoor al aangegeven wordt deze gemeten. Voorgaande relaties zijn beschreven in de paper van Aarnink en Elzing (1998).

Op basis van de lokaal gemeten inputparameters in de beide reguliere stallen, in de beide biologische stallen met uitloop en in de Star+ stal zijn inschattingen gemaakt van de ammoniakemissies. De ammoniakemissiepotentieel is berekend per m² emitterend bevuild vloeroppervlak en per m² (emitterend) kelderoppervlak, beiden op jaarbasis. Hierbij wordt rekening gehouden met een leegstand van 3% (Groenestein & Aarnink, 2008). Daarnaast zijn daadwerkelijke ammoniakemissies uit de stallen ingeschat door de ammoniakemissies per m² te vermenigvuldigen met de betreffende bevuilde oppervlakken.

De berekende emissies met het model, op basis van gemeten input parameters in de Star+ stal, zijn vergeleken met de gemeten emissies uit de uitloop en uit de stal. Vervolgens is het rekenmodel toegepast op de gemeten inputwaarden van de praktijkstallen. In het goede scenario komen gemeten en berekende waarden van de Star+ stal goed met elkaar overeen. Dit geeft vertrouwen voor de berekeningen van de emissies uit de praktijkstallen. Wanneer berekende en gemeten waarden niet

goed met elkaar overeen komen, zal gekeken worden welke mogelijke oorzaken hieraan ten grondslag liggen. Zo nodig zal het model hierop worden aangepast.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de pH die in de bulk-mest wordt gemeten niet gelijk is aan de pH van de grenslaag tussen mest en lucht (Aarnink & Elzing, 1998). Deze onderzoekers vonden op basis van modelberekeningen dat de effectieve pH van de grenslaag van de mest dat in contact staat met de lucht in de mestkelder ca. 1,1 unit hoger is dan de pH van de gemiddelde mest. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door een verschil in vervluchtiging van NH₃ en CO₂ in de grenslaag van de mest met de lucht (Hafner et al., 2013; Petersen et al., 2014). De CO₂ in de grenslaag vervluchtigt sneller dan NH₃ waardoor de pH in de grenslaag hoger is dan de pH in de lagen er onder. In het huidige onderzoek benaderen we deze effectieve pH door de mest aan de oppervlakte te bemonsteren met behulp van de filtermethode. Hafner et al. (2013) geven in hun paper aan dat het effect van de pH op de ammoniakemissie wordt afgevlakt door de NH₃ en CO₂ evenwichten en emissies in de grenslaag. Bij een hoge pH in de grenslaag zal de NH₃-emissie toenemen en de CO₂-emissie afnemen, waardoor de pH weer gaat dalen, terwijl dit bij een lage pH andersom is. De pH kan dus niet zondermeer gebruikt worden in formule 1 voor berekening van de ammoniakemissie. Daarom gebruiken we een indirecte manier voor bepaling van de ammoniakemissie op basis van de gemeten pH in de bovenste laag van de mest. Canh et al. (1998) maten in hun onderzoek (op lab-schaal) de pH van de bovenste laag van de mest, afkomstig van varkens met verschillende rantsoenen, en de ammoniakemissie uit deze mest. Tussen deze twee variabelen vonden ze de relatie zoals die is weergegeven in figuur 7. De ammoniakemissie wordt hierbij weergegeven als een fractie van de emissie van de referentie (het controlevoer). Aangezien een lab-proef prima geschikt is voor het bepalen van relatieve effecten, maar niet voor het aangeven van absolute emissieniveaus hadden we ook een referentieniveau nodig, gemeten in een praktijksituatie. Hiervoor hebben we de emissiegegevens gebruikt zoals gemeten voor de referentiebedrijven in een eerder onderzoek (Mosquera et al., 2011). Op basis van de referentiewaarden, zoals weergegeven in tabel 1, kon de effectieve pH van de grenslaag, als enige missende variabele, worden ingeschat. Hierbij is verondersteld dat de effectieve pH van urineplassen op de vloer met dezelfde factor omhoog gaat als de effectieven pH van de mest in de kelder. Zoals in tabel 1 is te zien, was de effectieve pH 0,60 eenheid hoger dan de gemeten pH. Op basis van de referentiewaarden voor de effectieve pH kon met behulp van de regressielijn in figuur 7 een correctie worden gemaakt voor de ammoniakemissie bij andere gemeten pH's van de bovenste laag van de urineplas en van de mest in de kelder. Hierbij is de constante in de regressieformule van figuur 1 zodanig aangepast dat invulling van de referentie pH voor de x-waarde een y-waarde van 1 oplevert.

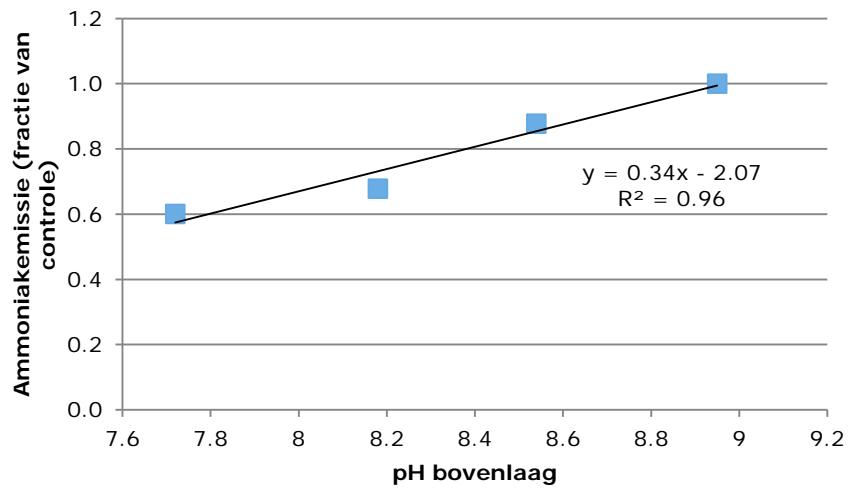
Tabel 1

Gebruikte referentiewaarden voor inschatting van de referentie effectieve pH van de grenslaag mest – lucht.

	Temp. oppervlak	Luchtsnelheid ¹⁾	[NH ₄ -N]	Gemeten pH bovenlaag	NH ₃ -emissie	Berekende effectieve pH
	(oC)	(m/s)	(g/kg)	(-)	(g/(d m ²) ¹⁾	(-)
Vloer	25,9	0.141	1.27	8,13	27,1	8.73
Kelder	22,4	0.050 ¹⁾	4.28	7,98	19,5	8.58

¹⁾ g/d per m² bevuild oppervlak

²⁾ Aanname, niet gemeten



Figuur 7 Relatie tussen pH gemeten in de bovenlaag van de mest en de ammoniakemissie relatief ten opzichte van het controlevoer (Canh et al., 1998).

3 Resultaten

3.1 Lokale metingen in stallen

3.1.1 Klimaat

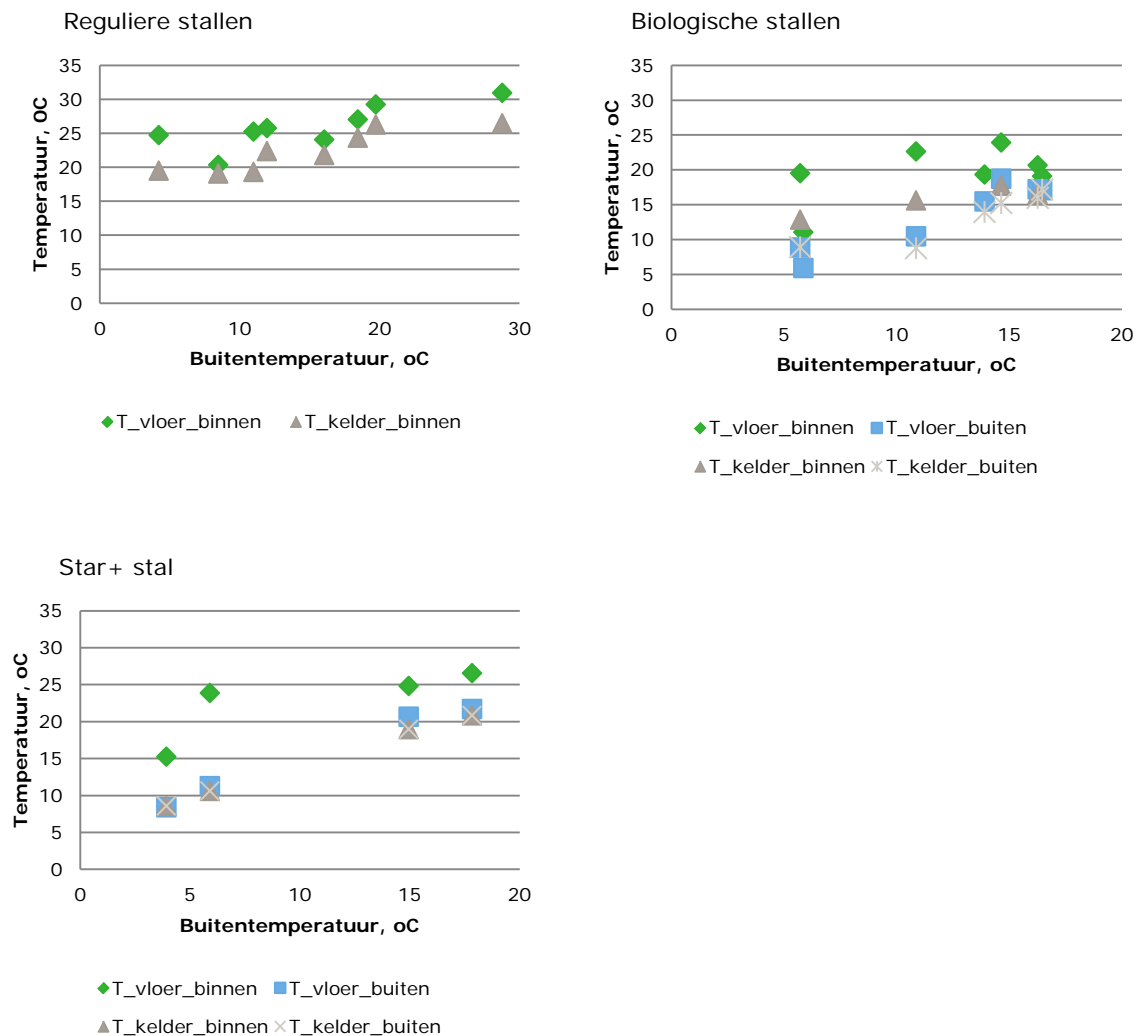
In tabel 2 worden de gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht gegeven tijdens de metingen en de temperatuur van de vloer- en kelderoppervlakken. Hieruit blijkt dat in de reguliere stallen de oppervlaktetemperaturen van de vloer en vooral van de bovenste laag van de mest in de mestkelder gemiddeld hoger liggen dan die in de biologische stallen en de Star+ stal. De gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de vloer in de reguliere stallen was 25,9°C, in de biologische stallen 18,7°C en in de Star+ stal 22,6°C. De oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelder was in de reguliere stallen gemiddeld 22,4, terwijl deze in de biologische stallen gemiddeld 15,7 was en in de Star+ stal gemiddeld 14,8. Hierbij moet worden aangetekend dat de gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen in de reguliere stallen ook hoger was, namelijk 14,8 (regulier) vs 11,5 (biologisch) en 10,7 (Star+) °C. Dit verschil werd vooral veroorzaakt door één meting bij een temperatuur van 28,8°C in één van de reguliere stallen. In figuur 8 worden de relaties weergegeven tussen de gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen en de gemeten vloer- en keldertemperaturen in reguliere stallen, biologische stallen en de Star+ stal. Uit deze figuren blijkt dat in de biologische stallen en in de Star+ stal de vloer- en keldertemperaturen veel meer door de buitentemperatuur worden bepaald dan in de reguliere stallen.

Tabel 2

Temperatuur (T) en relatieve luchtvochtigheid (RV) van de buitenlucht tijdens de metingen, de temperatuur van vloer- en kelderoppervlakken en de luchtsnelheid (v) boven de vloer (binnen en buiten) voor de verschillende stallen. (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	T_buiten	RV_buiten	T_vloer_binnen	T_kelder_binnen	T_vloer_buiten	T_kelder_buiten	v_vloer_binnen	v_vloer_buiten
	(°C)	(%)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(m/s)	(m/s)
Regulier 1	13.7 (4,4)	73.9 (13,2)	24.3 (2,9)	21.9 (2,2)	n.v.t.	n.v.t.	0.09 (0,03)	n.v.t.
Regulier 2	15.9 (10,7)	65.3 (16,4)	27.5 (3,0)	22.9 (4,0)	n.v.t.	n.v.t.	0.19 (0,09)	n.v.t.
Biologisch 1	11.9 (4,7)	78.4 (14,2)	21.7 (2,0)	15.7 (2,1)	13.8 (4,9)	12.2 (3,9)	0.09 (0,05)	0.25 (0,09)
Biologisch 2	11.1 (4,9)	72.8 (15,6)	15.7 (4,2)	n.v.t.	11.6 (5,4)	10.6 (5,9)	0.17 (0,11)	0.22 (0,11)
Star+	10.7 (6,8)	80.2 (9,9)	22.6 (5,1)	14.8 (6,1)	15.5 (6,7)	14.2 (6,7)	0.16 (0,012)	0.24 (0,17)

n.v.t. = niet van toepassing



Figuur 8 Relatie tussen de gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen en de gemeten oppervlaktetemperaturen van vloer en mestkelder in reguliere stallen, biologische stallen en de Star+ stal.

3.1.2 Bevuild oppervlak

In tabel 3 wordt het gemiddeld bevuild oppervlak van de vloer en de kelder, binnen en buiten op de uitloop, tijdens de totale meetperiode in de verschillende stallen weergegeven. Hieruit blijkt dat er vrij grote verschillen kunnen optreden in de bevuiling van de vloer, met gemiddelde bevuilde vloeroppervlakken (binnen + buiten) van 0,117, 0,003, 0,248, 0,160, 0,247 m²/varken voor respectievelijk de stallen Regulier 1, Regulier 2, Biologisch 1, Biologisch 2 en Star+. In stal Regulier 2 werd de vloer nauwelijks bevuild. Ook bij stal Biologisch 2 werd de vloer binnen vrijwel niet bevuild. Daar was echter wel enige bevuiling op de vloer buiten. Dat gold ook voor de andere biologische stal en voor de Star+ stal.

In tabel 4 is het gemiddeld bevuilde oppervlak van de vloer voor de beide seizoenen weergegeven per stal. Uit deze tabel blijkt dat de vloerbevuiling binnen voor regulier en Star+ vergelijkbaar is voor de zomer vs. de herfst/winter. Dit gold niet voor de biologische stallen. De bevuiling buiten lijkt hier in de herfst/winter zelfs iets hoger te zijn dan in de zomer. Uit deze tabel blijkt tevens dat, alhoewel de biologische stallen en de Star+ stal vrij veel dichte vloer hebben, het totale kelderoppervlak niet of nauwelijks kleiner is dan in de reguliere stallen. In de Star+ stal was de mestband onder de roostervloer binnen steeds vrijwel droog, terwijl de mestband buiten vrijwel volledig bevochtigd was met urine.

Uit tabellen 3 en 4 blijkt dat gemiddeld genomen een groter oppervlakte vloer was bevuild in de biologische stallen en de Star+ stal vergeleken met de reguliere stallen.

Tabel 3

Gemiddeld bevuild oppervlak (in m² per dierplaats) van vloer (roostervloer + dichte vloer) en kelder, binnen en buiten, tijdens de duur van de totale meetperiode (ca. juni – december 2013) in de verschillende stallen. (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	Vloer_binnen	Kelder_binnen	Vloer_buiten	Kelder_buiten
Regulier 1	0.117 (0,021)	0.35 (-)	n.v.t.	n.v.t.
Regulier 2	0.003 (0,001)	0.44 (-)	n.v.t.	n.v.t.
Biologisch 1	0.148 (0,103)	0.24 (-)	0.10 (0,044)	0.85 (-)
Biologisch 2	0.010 (0,009)	0.00 (-)	0.15 (0,075)	0.32 (-)
Star +	0.097 (0,003)	0.00 (-)	0.15 (0,054)	0.33 (-)

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 4

Gemiddeld bevuild oppervlak (in m² per dierplaats) van de vloer (roostervloer + dichte vloer) en mestkelder voor de seizoenen waarin is gemeten, onderverdeeld naar reguliere stallen, biologische stallen en de Star+ stal.

Stal	Seizoen	Vloer_binnen	Kelder_binnen	Vloer_buiten	Kelder_buiten
Regulier	zomer	0.051	0.40	n.v.t.	n.v.t.
	herfst/winter	0.069	0.40	n.v.t.	n.v.t.
Biologisch	zomer	0.120	0.24	0.11	0.58
	herfst/winter	0.038	0.24	0.14	0.58
Star +	zomer	0.094	0.17	0.11	0.33
	herfst/winter	0.100	0.17	0.20	0.33

n.v.t. = niet van toepassing

3.1.3 Gehalten in urine en feces

In tabel 5 worden de N-gehalten en de pH van verse urine gegeven voor de verschillende stallen. De totale hoeveelheid N die potentieel naar ammonium / ammoniak kan worden omgezet varieert tussen de 85 en 92%. Bij de biologische stallen lijkt dit aandeel wat hoger te zijn (ca. 85% voor de reguliere stallen en Star+ en ca. 91% voor biologisch. De N-gehalten, zowel ammonium als totaal N, waren beduidend hoger voor bedrijf Biologisch 2 dan voor de andere bedrijven, terwijl de pH van de urine voor bedrijf Regulier 1 beduidend lager was dan voor de andere bedrijven. De oorzaak van deze verschillen heeft waarschijnlijk met de voersamenstelling te maken.

In tabel 6 wordt het ammonium-stikstofgehalte en het totaal-stikstofgehalte van de verse feces gegeven. Hieruit blijkt dat het aandeel ammonium-N in de totale N zeer vergelijkbaar is voor de verschillende stallen, variërend van 11,2 – 14,2%.

Tabel 5

Stikstofgehalten en pH van verse urine. (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	Pot-NH4-N ¹⁾ (g/kg)	totaal-N (g/kg)	Pot_NH4-N / totaal-N (%)	pH ²⁾ (-)
Regulier 1	6,00 (1,61)	7,08 (2,02)	85,0% (2,2%)	6,73 (0,60)
Regulier 2	5,32 (1,78)	6,27 (2,25)	85,5% (5,2%)	7,50 (0,25)
Biologisch 1	7,30 (2,43)	7,88 (2,52)	92,4% (4,4%)	7,45 (0,21)
Biologisch 2	10,67 (3,57)	11,85 (4,29)	90,9% (3,2%)	7,32 (0,59)
Star+	7,20 (0,73)	8,51 (0,93)	84,7% (3,1%)	7,35 (0,48)

¹⁾ Potentieel ammonium-N, dit is gelijk aan de som van NH4-N en ureum-N in urine.

²⁾ Deze pH is gemeten direct nadat de urine is opgevangen, dus op het bedrijf zelf.

Tabel 6

Stikstofgehalten van verse feces. (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	NH4-N (g/kg)	totaal-N (g/kg)	NH4-N / totaal-N (%)
Regulier 1	1,05 (0,24)	9,48 (0,88)	11,2% (2,6%)
Regulier 2	1,09 (0,56)	9,35 (0,70)	11,4% (5,2%)
Biologisch 1	1,35 (0,39)	9,44 (0,83)	14,2% (3,3%)
Biologisch 2	1,18 (0,51)	8,79 (1,03)	13,1% (3,9%)
Star+	1,10 (0,53)	8,62 (0,83)	12,5% (5,1%)

3.1.4 Gehalten in urineplassen en in bovenste laag mest in kelder

In tabel 7 worden de stikstofgehalten en de pH van de monsters genomen van urineplassen en van de bovenste laag van de mest in de mestkelder gegeven. Deze monsters zijn genomen met de filtermethode (zie hoofdstuk 2). Uit deze tabel blijkt dat het percentage omgezette ureum, berekend door het gemeten NH4-N gehalte (gemeten in de filters in zuur) te delen door het maximale NH4-N gehalte (gemeten in de filters in water), vrij vergelijkbaar is voor de verschillende stallen (variërend van 28 – 35%). Het NH4-N gehalte op de vloer varieerde echter wel vrij sterk en was het laagst voor stal Regulier 2 (1,2 g/kg) en het hoogst voor stal Biologisch 2 (2,3 g/kg). De pH van de urineplassen op de vloer varieerde ook vrij sterk, met de laagste waarden voor de reguliere stallen (8,1 – 8,2) en de hoogste waarden voor de biologische stallen (8,4 – 8,9). De Star+ stal had een gemiddelde pH van de urineplassen van 8,6. Wanneer de maximale NH4-N gehalten in de urineplassen op de vloer (tabel 7) worden vergeleken met het potentiële NH4-N gehalte in de urine (totaal van NH4-N en ureum-N, tabel 5) dan blijken de maximale NH4-N gehalten in de urineplassen op de vloer consequent lager te zijn dan de gehalten in de urine. Dit duidt er op dat een deel van de NH4-N in de urineplassen op de vloer al is vervluchtigd.

Het ammonium-N gehalte van de bovenste laag van de mest in de mestkelder verschilde niet veel tussen de reguliere en de biologische stallen (gemeten range 3,2 – 4,3 g/kg). Het ammonium-N gehalte in de Star+ stal was echter beduidend lager (1,5 g/kg). De monsters in de mestkelder van de Star+ stal zijn genomen vanaf de mestband. Hierbij zijn monsters genomen van urineplassen op de mestband. Zoals blijkt uit de kolommen er naast was op deze mestband slechts een deel van de ureum in de urine omgezet in ammonium (30%). In mengmest in mestkelders is in het algemeen het merendeel van de ureum al omgezet naar ammonium. In de bovenste laag van de mest zou dit wel enigszins kunnen variëren, afhankelijk van het feit of er op dat moment veel of weinig verse urine wordt geproduceerd. De pH van de mest in de mestkelder varieerde behoorlijk sterk tussen de

verschillende stallen. Voor de reguliere stallen was de pH van de bovenste laag mest in de kelder gemiddeld 7,96, voor de biologische stallen 8,41 en voor de Star+ stal 8,96. Het verschil tussen regulier en biologisch heeft waarschijnlijk met een verschil in de voersamenstelling te maken. De hoge pH van de monsters op de mestband kan verklaard worden door het feit dat de urine in de monsters nog niet of nauwelijks is gemengd met feces. Feces hebben een bufferende werking op de pH en mengmest heeft daarom in het algemeen een lagere pH dan urine waarin een deel van de ureum is omgezet naar ammonium.

Tabel 7

Stikstofgehalten en pH van (filter)monsters genomen van urineplassen en van de bovenste laag van de mest in de mestkelder. (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	Urineplassen op vloer				Bovenste laag mest in kelder			
	NH4-N_vloer ¹⁾	NH4-N_vloer_max ²⁾	omgezet_ureum_vloer ³⁾	pH_vloer	NH4-N_kelder	NH4-N_kelder_max ⁴⁾	omgezet_ureum_band	pH_kelder
	(g/kg)	(g/kg)	(%)	(-)	(g/kg)	(g/kg)	(%)	(-)
Regulier 1	1,31 (0,33)	3,90 (1,37)	35,3% (9,3%)	8,16 (0,33)	4,26 (0,62)	n.v.t.	n.v.t.	8,11 (0,16)
Regulier 2	1,23 (0,48)	3,49 (1,37)	35,3% (-)	8,09 (0,17)	4,29 (0,67)	n.v.t.	n.v.t.	7,81 (0,09)
Biologisch 1	1,43 (0,60)	4,01 (0,80)	35,1% (12,5%)	8,43 (0,38)	3,23 (0,65)	n.v.t.	n.v.t.	8,20 (0,14)
Biologisch 2	2,32 (0,69)	8,22 (2,46)	28,3% (9,1%)	8,95 (0,14)	3,93 (0,31)	n.v.t.	n.v.t.	8,61 (0,33)
Star+	1,67 (0,66)	5,39 (0,55)	31,4% (13,4%)	8,58 (0,10)	1,50 (0,28)	5,08 (0,68)	30,3% (10,5%)	8,96 (0,07)

¹⁾ Deze waarde is bepaald door de ureumomzetting te stoppen door filters in zuur te leggen.

²⁾ Deze waarde is bepaald door de ureumomzetting door te laten gaan door filters in water te leggen.

³⁾ Dit is het percentage van NH4-N_vloer ten opzicht van NH4-N_vloer_max.

⁴⁾ Alleen bij de mestband is deze verschillend van het gemeten NH4-N gehalte door de ureumomzetting stop te zetten door de filters in zuur te leggen.

3.1.5 Berekenende emissies op basis van lokaal gemeten parameters

In tabel 8 wordt de berekende ammoniakemissie gegeven in kg ammoniak per m² emitterend oppervlak per jaar. Worden de getallen in deze tabel vermenigvuldigd met de waargenomen bevuilde oppervlakken dan kunnen de totale emissies worden berekend, zoals weergegeven in tabel 9. Voor Regulier 1 was de ammoniakemissie per m² bevuild vloeroppervlak vergelijkbaar met de emissie per m² bevuild kelderoppervlak (7,0 vs. 7,1 kg/(m² jaar)). Voor Regulier 2 was de ammoniakemissie vanaf de vloer beduidend hoger (16,3 vs. 7,7 kg/(m² jaar)). Dit heeft waarschijnlijk vooral met de hoge vloertemperatuur te maken (zie tabel 2). Voor de biologische stallen en de Star+ stal was het verschil ook groot. Dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de relatief hoge vloertemperatuur binnen ten opzichte van de mestkelder en de relatief hoge lichtsnelheid over de vloer buiten. Tabel 9 laat zien dat voor alle stallen de berekende ammoniakemissie per m² bevuild vloer- en kelderoppervlak beduidend hoger was in de zomer ten opzichte van de herfst/winter; voor de uitloop was dit verschil nog groter.

Tabel 10 laat zien dat de ammoniakemissie per dierplaats per jaar voor de beide reguliere stallen redelijk vergelijkbaar was (3,29 en 3,47 kg/jaar per dierplaats voor Regulier 1 en Regulier 2). Voor Biologisch 1 was de berekende emissie iets hoger dan regulier (3,74 kg/jaar per dierplaats), terwijl deze voor Biologisch 2 beduidend lager was (1,68 kg/jaar per dierplaats). De ammoniakemissie uit de Star+ stal was gemiddeld 2,70 kg/jaar per dierplaats. In stal Regulier 2 emitterde er vrijwel geen ammoniak vanaf de vloer (2% van totale emissie). Dit werd vooral veroorzaakt door de geringe vloerbevuiling en het gebruik van metalen driekant roosters. Voor Regulier 1 emitterde gemiddeld

25% vanaf de vloer. Bij Biologisch 1 kwam gemiddeld 44% van de ammoniak vanaf de vloer en bij Biologisch 2 was dit 58%. Bij Star+ kwam ongeveer 80% van de ammoniak van de vloer en 20% uit de mestkelder.

Tabel 8

Berekende ammoniakemissie, op basis van lokaal gemeten parameters, vanaf de vloer en uit de mestkelder, binnen en buiten de stal in kg ammoniak per m² bevuild oppervlak per jaar (kg/(m² jaar)). (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	NH ₃ _emissie_ vloer_binnen	NH ₃ _emissie_ kelder_binnen	NH ₃ _emissie_ vloer_buiten	NH ₃ _emissie_ kelder_buiten
Regulier 1	7,02 (4,29)	7,05 (2,21)	n.v.t.	n.v.t.
Regulier 2	16,27 (16,25)	7,69 (3,90)	n.v.t.	n.v.t.
Biologisch 1	4,86 (2,50)	2,54 (0,62)	5,67 (4,83)	1,78 (0,92)
Biologisch 2	9,60 (8,07)	n.v.t.	9,52 (9,15)	2,22 (1,45)
Star+	11,93 (11,23)	1,63 (1,13)	8,71 (9,20)	1,59 (1,17)

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 9

Berekende ammoniakemissie vanaf de vloer en uit de mestkelder, binnen en buiten de stal in kg ammoniak per m² bevuild oppervlak per jaar (kg/(m² jaar)) voor de seizoenen waarin is gemeten, onderverdeeld naar reguliere stallen, biologische stallen en de Star+ stal. (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	Seizoen	NH ₃ _emissie_ vloer_binnen	NH ₃ _emissie_ kelder_binnen	NH ₃ _emissie_ vloer_buiten	NH ₃ _emissie_ kelder_buiten
Regulier	zomer	16,14	9,69		
	herfst/winter	7,15	5,04		
Biologisch	zomer	11,62	2,79	13,62	2,88
	herfst/winter	2,84	2,29	1,57	1,12
Star+	zomer	19,02	2,60	15,15	2,59
	herfst/winter	4,84	0,66	2,27	0,59

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 10

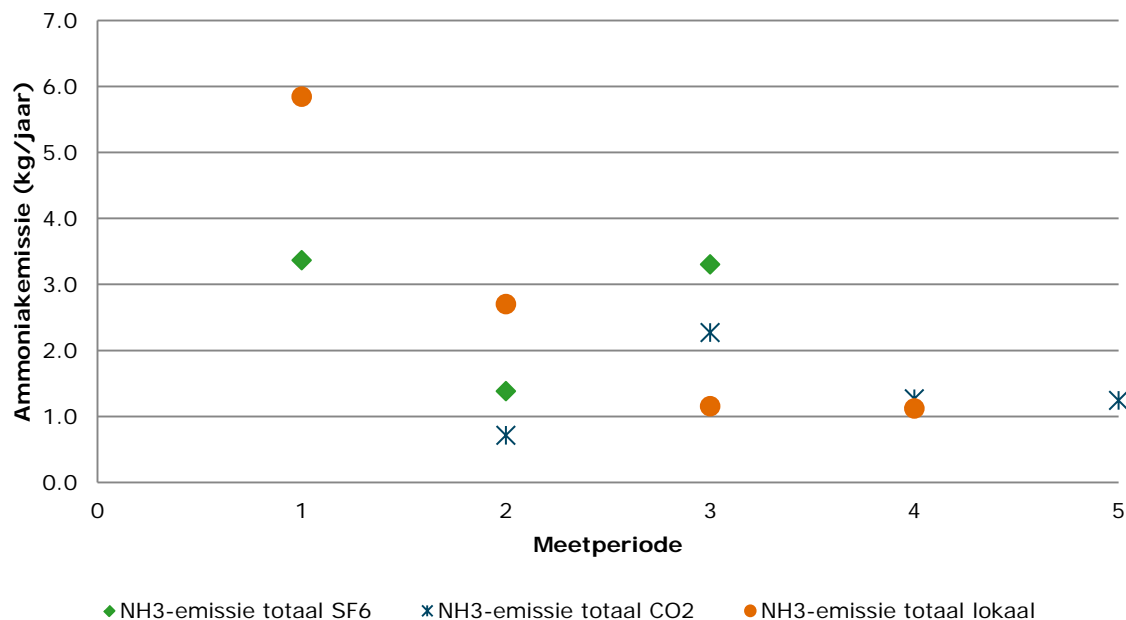
Berekende ammoniakemissie, op basis van lokaal gemeten parameters, vanaf de vloer en uit de mestkelder, binnen en buiten de stal (in kg/jaar per dierplaats). (Standaard deviaties tussen haakjes).

Stal	NH ₃ _emissie_vloer_binnen	NH ₃ _emissie_keider_binnen	NH ₃ _emissie_vloer_buiten	NH ₃ _emissie_keider_buiten	NH ₃ _emissie_binnen	NH ₃ _emissie_buiten	NH ₃ _emissie_totaal	NH ₃ _emissie van vloer
Regulier 1	0,81 (0,59)	2,48 (0,78)	n.v.t.	n.v.t.	3,29 (1,19)	n.v.t.	3,29 (1,19)	25%
Regulier 2	0,06 (0,06)	3,42 (1,74)	n.v.t.	n.v.t.	3,47 (1,76)	n.v.t.	3,47 (1,76)	2%
Biologisch 1	0,90 (0,87)	0,60 (0,15)	0,73 (0,74)	1,51 (0,78)	1,50 (0,93)	2,23 (1,46)	3,74 (2,31)	44%
Biologisch 2	0,05 (0,02)	n.v.t.	0,93 (0,68)	0,70 (0,46)	0,05 (0,02)	1,64 (1,12)	1,68 (1,11)	58%
Star+	1,14 (1,05)	0,00 (0,00)	1,03 (0,89)	0,53 (0,39)	1,14 (1,05)	1,57 (1,20)	2,70 (2,22)	80%

n.v.t. = niet van toepassing

3.2 Emissiemetingen Star+ stal

In tabel 11 zijn de gegevens weergegeven van de metingen in de verschillende perioden in de Star+ stal. De gemiddelde klimaatgegevens zijn vermeld en de ammoniakconcentraties in de nok van de stal en in de uitloop (zie figuur 6 voor de locatie van de meetpunten). In totaal zijn drie ammoniakemissie metingen uitgevoerd volgens de SF₆ methode (periode 1 t/m 3) en 4 metingen volgens de CO₂-methode (periode 2 t/m 5). Beiden hebben een overlap van twee meetperioden (periode 2 en 3). Uit de klimaatgegevens van tabel 11 blijkt dat de metingen onder verschillende weerscondities zijn uitgevoerd met gemiddelde buitentemperaturen variërend van 4,2 tot 20,4°C. De staltemperatuur (gemeten in de nok) varieerde daarbij van 14,5 tot 23,2°C. De ammoniakconcentratie in de nok varieerde van 0,92 tot 6,79. De laagste waarden werden gemeten in de zomerperiode en de hoogste waarden in de herfst/winter periode. De ammoniakconcentraties gemeten in de nok waren steeds hoger dan de concentraties gemeten in de uitlopen. In figuur 9 zijn de totale ammoniakemissies gemeten in de verschillende perioden en gemeten volgens de verschillende methoden (SF₆, CO₂ en via lokale parameters) weergegeven. Hieruit blijkt dat de ammoniakemissies behoorlijk kunnen verschillen tussen de verschillende methoden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de ammoniakemissie bepaald met lokale parameters bepaald is op één dag gedurende de meetperiode, terwijl de ammoniakemissie volgens de andere methoden het gemiddelde is van meerdere dagen. Uit de figuur komt naar voren dat de ammoniakemissie bepaald met lokale parameters tijdens de zomermetingen hoger ligt dan de ammoniakemissie bepaald met de SF₆ methode, terwijl dit tijdens de wintermeting andersom is. Gemiddeld was de ammoniakemissie gedurende de eerste 3 perioden volgens de SF₆ methode 2,45 kg/jaar per dierplaats en volgens de methode met lokale parameters 3,23 kg/jaar per dierplaats. Volgens de SF₆ methode werd een bijdrage van de uitloop aan de ammoniakemissie berekend van 67%, terwijl dit volgens de methode met lokale parameters werd ingeschat op 58%. Tijdens de overlappende metingen van de CO₂ methode en de methode met lokale parameters (perioden 2 t/m 4) waren de gemiddelde ammoniakemissies respectievelijk 1,41 en 1,66 kg/jaar per dierplaats. De ammoniakemissie volgens de CO₂ methode gaf tijdens de twee overlappende metingen lagere waarden dan die volgens de SF₆ methode, respectievelijk 1,49 en 2,34 kg/jaar per dierplaats, terwijl de methode met lokale parameters uitkwam op 1,92 kg/jaar.



Figuur 9 Ammoniakemissies in de verschillende meetperioden in de Star+ stal gemeten met de SF₆-, de CO₂- en de lokale parameters methode. De ammoniakemissie is omgerekend naar kg/jaar per dierplaats.

Tabel 11

Diergewicht, klimaatgegevens, ammoniakconcentraties en ammoniakemissies bepaald volgens de SF₆ en de CO₂ tracergasmethode. Bij de SF₆-methode kon tevens de ammoniakemissie vanuit de uitloop worden bepaald. De ammoniakemissies zijn omgerekend naar kg/jaar per dierplaats. Voor de locaties van de meetpunten voor de ammoniakconcentraties zie figuur 6. De standaard deviaties (spreiding tussen dagen) staan tussen haakjes.

Periode	Startdatum	Einddatum	Diergewicht (kg)	Buitemtemperatuur 1,5 m hoogte (°C)	Staltemperatuur nok (°C)	RV nok (%)	Overheersende windrichting	Windsnelheid op 10 m hoogte (m/s)	NH ₃ -concentratie nok ¹⁾ (ppm)	NH ₃ -concentratie uitloop rechts ¹⁾ (ppm)	NH ₃ -concentratie uitloop links ¹⁾ (ppm)	NH ₃ -emissie totaal SF ₆ (kg/jaar)	NH ₃ -emissie uitloop rechts SF ₆ (kg/jaar)	NH ₃ -emissie uitloop links SF ₆ (kg/jaar)	NH ₃ -emissie uitloop totaal SF ₆ (kg/jaar)	NH ₃ -emissie uitloop (%)	NH ₃ -emissie totaal CO ₂ (kg/jaar)
1	1-07-13	7-07-13	46	18.2 (2.0)	23.2 (1.6)	64.7 (7.0)	ZW	3.0 (0.8)	2.31 (0.44)	1.63 (0.21)	1.38 (0.23)	3.06 (0.44)	1.21 (0.38)	1.04 (0.45)	2.25 (0.37)	73.9 % (9.2%)	
2	4-09-13	7-09-13	114				ZO	2.1 (0.3)	0.92 (0.16)	0.58 (0.12)	0.87 (0.21)	1.26 (0.24)	0.37 (0.09)	0.52 (0.20)	0.89 (0.29)	69.2 % (12.0%)	0.65 (0.17)
3	21-11-13	24-11-13	60	4.2 (0.7)	14.5 (1.2)	66.4 (1.4)	N	4.0 (0.8)	6.79 (0.87)	3.54 (0.43)	3.67 (0.50)	3.03 (0.13)	0.93 (0.06)	0.85 (0.07)	1.78 (0.01)	58.8 % (2.8%)	2.08 (0.07)
4	19-12-13	22-12-13	92	6.6 (1.0)	16.3 (1.2)	60.3 (1.6)	ZZW	6.2 (1.4)	4.67 (1.81)	3.59 (1.25)	3.96 (0.91)						1.16 (0.21)
5	3-01-14	6-01-14	115	8.6 (2.3)	17.9 (1.0)	58.3 (2.0)	ZZW	6.1 (1.1)	4.23 (1.11)								1.14 (0.17)

1) Zie figuur 6

De methaanconcentratie in de nok van de stal was gemiddeld 5,6 (s.d. 2,9) ppm en de achtergrondconcentratie was gemiddeld 2,7 (s.d. 1,1) ppm. De lachgasconcentratie in de nok van de stal was gemiddeld 0,45 (s.d. 0,03) ppm. Deze was nauwelijks verhoogd ten opzichte van de achtergrond met een gemiddelde concentratie van 0,40 (s.d. 0,03) ppm. De fijnstof concentratie in de nok van de stal was gemiddeld 0,56 (s.d. 0,41) mg/m³. De achtergrondconcentratie is niet gemeten; hiervoor hebben we een waarde aangenomen van 0,05 mg/m³. Het gemiddelde ventilatie-debiet, berekend volgens CO₂-massabalansmethode, was 72,4 (s.d. 35,3) m³/uur per dierplaats. Op basis van voorgaande gegevens werd een jaaremisse berekend voor methaan van 1,14 (s.d. 0,80) kg/jaar, voor lachgas van 0,060 (s.d. 0,026) kg/jaar en voor fijnstof van 184 (s.d. 91) g/jaar.

4 Discussie

Uit dit onderzoek blijkt dat de ammoniakemissie in stallen met uitloop niet hoger hoeft te zijn dan in reguliere stallen zonder uitloop. Vooraf was de verwachting dat de emissie hoger zou kunnen zijn vanwege het grotere oppervlak voor de vleesvarkens in stallen met uitloop, vooral in biologische stallen. Een groter oppervlak geeft in het algemeen een grotere kans op vloerbevuilding en daarmee meer ammoniakemissie. In reguliere stallen hebben varkens 0,8 (Regulier 2) tot 1,0 (Regulier 1) m² ter beschikking, terwijl in biologische stallen de varkens, boven de 85 kg, in totaal minimaal 2,3 m² oppervlak moeten hebben; minimaal 1,3 m² binnen en minimaal 1,0 m² buiten. De oppervlakte per dier was bij Biologisch 1 ca. 15% geringer, zowel voor de binnen- als voor de buitenruimte. Bij biologisch 2 was de totale oppervlakte voldoende, namelijk 2,3 m²/varken, echter was de oppervlakte binnen 0,97 m²/varken en de oppervlakte buiten 1,33 m²/varken. In de biologische varkenshouderij wordt vaak geschoven met varkens, van kleinere naar grotere hokken en is er een grotere spreiding tussen gewichten. Hierdoor hoeft de maximale norm, voor dieren vanaf 85 kg, niet te gelden voor een belangrijk deel van de mestperiode. Zou bij de emissieberekeningen uit zijn gegaan van het maximaal aantal toegestane varkens bij een gewicht > 85 kg, dan zou de berekende ammoniakemissie per dierplaats voor beide bedrijven hoger zijn geweest. Hoeveel hoger is niet exact aan te geven, aangezien meer dieren meer mest en urine produceren, echter het emitterend oppervlak per dierplaats zal in het algemeen af nemen bij een groter aantal dieren.

In de Star+ stal hebben de dieren 1,21 m² ter beschikking, waarvan 0,88 m² binnen en 0,33 m² buiten. Uit de lokale metingen, waaruit de ammoniakemissies zijn geschat, blijkt dat Biologisch 1 een vergelijkbare ammoniakemissie had als de reguliere stallen. Biologisch 2 en Star+ hadden lagere emissies dan de reguliere stallen. Dit laatste werd vooral veroorzaakt door lagere emissies vanuit de mestkelder. Biologisch 2 had een relatief klein mestkelderoppervlak, terwijl in de Star+ stal de urine en feces gescheiden werden afgevoerd, waardoor slechts een deel van de ureum in de afgevoerde urine was omgezet in ammonium. Voor beide biologische bedrijven en voor Star+ gold tevens dat de oppervlaktetemperatuur van de mest in de kelder (gemiddelde van binnen en buiten: 13,5°C) beduidend lager was dan in de reguliere stallen (gemiddeld 22,4°C). Dit temperatuurverschil was de belangrijkste oorzaak van de lage berekende ammoniakemissie per m² kelderoppervlak voor de biologische stallen en Star+ (gemiddelde van binnen en buiten: 1,95 kg/(m² jaar)) ten opzichte van de reguliere stallen (gemiddeld 7,37 kg/(m² jaar)). Deze lagere emissie per m² kelderoppervlak resulteerde in lagere kelderemissies voor de biologische stallen en Star+ (1,11 kg/jaar per dierplaats) ten opzichte van de reguliere stallen (2,95 kg/jaar per dierplaats).

Tegenover een gemiddeld lagere kelderemissie staat een hogere vloeremissie bij de biologische stallen en Star+ ten opzichte van de reguliere stallen. De gemiddelde vloeremissie was 1,59 kg/jaar per dierplaats voor de biologische stallen en Star+ en 0,44 kg/jaar per dierplaats voor de reguliere stallen. Deze hogere vloeremissie werd vooral veroorzaakt door een groter bevuild oppervlak (roostervloer + dichte vloer) bij de biologische stallen en Star+ (gemiddeld 0,22 m²/dierplaats) ten opzichte van de reguliere stallen (gemiddeld 0,06 m²/dierplaats). Regulier 2 heeft een zeer lage vloeremissie als gevolg van de gebruikte metalen driekantroosters op het mestkanaal. De berekende ammoniakemissies per m² bevuild oppervlak varieerde sterk tussen de verschillende stallen en tussen de verschillende meetdagen binnen stallen. In de zomer werden duidelijk hogere emissies per m² bevuild oppervlak berekend ten opzichte van de herfst/winter. Dit gold in sterkere mate voor de biologische stallen en de Star+ stal dan voor de reguliere stallen. Dit laatste heeft vooral te maken met het grotere temperatuurverschil tussen zomer en winter in de biologische stallen en de Star+ stal. De temperatuur in de biologische stallen en de Star+ stal (inclusief uitloop) variëren sterker met de buitenomstandigheden mee dan de reguliere stallen. Ivanova et al. (2008) maten met behulp van de boxmethode (meetdoos met een geforceerde luchtstroom over het emitterend oppervlak waarbij in- en uitgaande ammoniakconcentraties werden gemeten) een gemiddelde ammoniakemissie per m² bevuild vloeroppervlak van 4,4 kg/(m² jaar). Deze waarde is iets lager dan de gemiddelde waarde (van binnen en buiten) gemeten op Biologisch 1 (5,3 kg/(m² jaar), maar beduidend lager dan de gemiddelde waarde (van binnen en buiten) gevonden op Biologisch 2 (9,6 kg/(m² jaar).

De referentiewaarden voor reguliere stallen met dieroppervlakken van 0,8 en 1,0 m² zijn respectievelijk 2,97 en 3,50. Hierbij is gerekend met een leegstandsfactor van 0,97 in plaats van de 0,90 waar de meeste emissiefactoren op zijn gebaseerd. De emissiewaarde van stal Regulier 1 is vergelijkbaar met de referentiewaarde (3,29 vs. 3,50 kg/jaar per dierplaats), terwijl Regulier 2 een iets hogere berekende emissie heeft dan de referentiewaarde (3,47 vs. 2,97 kg/jaar per dierplaats). Dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de relatieve hoge stal- en mesttemperaturen op dit bedrijf.

Wanneer de berekende vloer- en kelderemissies in deze studie worden vergeleken met de vloer- en kelderemissies zoals weergegeven in het rapport van Groenestein e.a. (2014) dan blijkt het volgende:

- De vloeremissie van regulier 1, met betonnen roostervloer, (0,81 kg/jaar per dierplaats) is vergelijkbaar met de vloeremissie die in het rapport van Groenestein e.a. (2014) wordt gehanteerd voor betonnen roostervloeren (0,75 kg/jaar per dierplaats).
- De vloeremissie van regulier 2, met metalen driekant roostervloer, (0,06 kg/jaar per dierplaats) is lager dan de vloeremissie die in het rapport van Groenestein e.a. (2014) wordt gehanteerd voor metalen driekant roostervloeren (0,25 kg/jaar per dierplaats). Het verschil kan verklaard worden door het feit dat de bevulling van driekantroosters met urine moeilijk te zien is in de praktijk. De berekende 0,06 kg/jaar per dierplaats in dit onderzoek is daarom naar verwachting een onderschatting van de werkelijke emissie.
- De gemiddelde berekende kelderemissie per m² emitterend oppervlak was in dit onderzoek beduidend hoger (6,91 kg/(m² jaar); omgerekend uit tabel 1 van g/d naar kg/jaar bij een leegstand van 3%) dan aangegeven in het rapport van Groenestein e.a. (2014) (4,17 kg/(m² jaar)). Dit verschil wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door relatief hoge concentraties ammonium in de mest en relatief hoge mesttemperaturen in dit onderzoek ten opzichte van de waarden waarop het getal in voornoemd rapport zijn gebaseerd. Hogere staltemperaturen en als gevolg daarvan hogere mesttemperaturen is een tendens die algemeen wordt waargenomen in de praktijk van de vleesvarkenshouderij; er worden tegenwoordig hogere temperaturen aangehouden in stallen ten opzichte van 20 jaar geleden. Dit wordt vooral gerealiseerd door minder te ventileren. Bij praktijkmetingen die uitgevoerd zijn in de laatste ca. 10 jaar worden veelal ook hogere emissies gevonden in traditionele vleesvarkensstallen dan de emissiefactoren die in de jaren negentig voor deze stallen zijn vastgesteld.

In het rapport van Aarnink et al. (2012) zijn de volgende uitgangspunten gekozen voor het inschatten van de ammoniakemissie bij verschillende ontwerpen van ammoniakemissie-arme stallen met uitlopen:

1. Ammoniakemissie per m² bevuilde vloer- of kelderoppervlak: 4,2 kg/(m² jaar). Voor bepaling van deze emissie is een leegstandsfactor gebruikt van 0,90. In dit rapport is de nieuwe leegstandsfactor van 0,97 gebruikt. Dit verhoogt de emissie van 4,2 naar 4,5 kg/(m² jaar).
2. Het risico op bevulling werd ingedeeld in drie categorieën: 1, 2 of 3 sterren. Deze sterren kwamen overeen met respectievelijk 0,10, 0,20 en 0,40 m² bevuild oppervlak per dierplaats.

Uit de gegevens van tabel 8 blijkt dat de 4,5 kg/(m² jaar) iets onder de range ligt die gemiddeld uit dit onderzoek naar voren komt voor de vloeremissie in de biologische stallen (4,9 – 9,6 kg/(m² jaar), zie tabel 8). De berekende kelderemissies per m² in tabel 8 (1,8 – 2,5 kg/(m² jaar)) liggen echter beduidend lager dan de hiervoor aangegeven 4,5 kg/(m² jaar). Dit wordt vooral door de relatief lage mesttemperaturen veroorzaakt.

Biologisch 1 had 0,13 m²/dierplaats extra bevulling ten opzichte van Regulier 1, beiden met betonnen rooster. Biologisch 1 had waarschijnlijk een risico-score gekregen van 1 ster, vanwege vrij veel dichte vloer binnen, maar een volledig roostervloer buiten. Daarmee komt de extra bevulling, zoals aangegeven in het voornoemde rapport goed overeen met de gemeten extra bevulling. Biologisch 2 had 0,15 m²/dierplaats extra bevulling ten opzichte van Regulier 2, beiden met driekantrooster. Biologisch 2 heeft in het rapport van Aarnink et al. (2012) een risico-score gekregen van 3 sterren, vanwege het zeer grote aandeel dichte vloer op de uitloop. Hier hoort een extra bevuild oppervlak bij van 0,40 m²/varken. De geschatte ammoniakemissie in dat rapport (3,10 kg/jaar per dierplaats) is daarmee hoger dan in dit rapport bepaald (1,68 kg/jaar per dierplaats). Het verschil tussen deze emissies kan vrijwel volledig verklaard worden door het verschil in gemeten bevulling in dit onderzoek en de ingeschatte bevulling van de dichte vloer in voornoemd onderzoek: verschil van 0,25 m²/varken. In het rapport van Aarnink et al. (2012) staan, naast het ontwerp van Biologisch 2, ook

nog andere hokontwerpen weergegeven voor stallen met uitloop met, naar verwachting, een lage ammoniakemissie.

De variatie in de verschillende gemeten variabelen is groot, zowel tussen bedrijven als tussen de verschillende meetdagen op hetzelfde bedrijf. Om een goed inzicht te krijgen in de gemiddelde waarden zullen voldoende metingen verspreid over het jaar moeten worden gedaan. Om voldoende inzicht te krijgen in de ammoniakemissie van bepaalde systemen zullen ook voldoende bedrijven in het onderzoek moeten worden betrokken. Vier bedrijven, zoals in het huidige protocol staat voor het bepalen van een emissiefactor, lijkt daarvoor het minimum te zijn. Het aantal meetdagen in het huidige protocol is 6 per bedrijf. Dit aantal moet misschien uitgebreid worden naar b.v. één meting per maand gedurende een jaar. Tijdens een meetdag zullen veel monsters genomen moeten worden op verschillende locaties in de stal. Op deze manier wordt een representatief beeld gekregen van de gehele stal. Een beperking van de huidige methode is dat de luchtsnelheid over het emitterend kelderoppervlak niet goed te meten is. In dit onderzoek hebben we een waarde voor alle stallen, zowel binnen als buiten, aangehouden van 0,05 m/sec. Afhankelijk van de precieze staluitvoering en de uitvoering van het ventilatiesysteem zou dit kunnen variëren. Vooral in de mestkelders buiten zou deze waarde weleens hoger kunnen zijn. Een andere beperking is dat bij gebruik van twee of meer gescheiden mestkanalen, één of meer van deze kanalen vrijwel droog kunnen vallen als daar weinig wordt gemest. Uit deze vrijwel droge kanalen is het moeilijk om een filtermonster te nemen.

Het voordeel van het meten van lokale parameters voor het berekenen van de ammoniakemissie is dat deze methode in (vrijwel) alle stallen toe te passen is, dus ook in zeer open stallen met uitloop. In deze stallen is de ammoniakemissie heel moeilijk via directe metingen vast te stellen. Een ander voordeel is dat heel goed inzicht wordt verkregen in welke emissiebronnen in de stal het belangrijkste bijdragen aan de totale emissie. In de Star+ stal is het b.v. duidelijk dat de meeste emissie vanaf de vloer komt. Om de emissie verder te beperken zou de aandacht hier dan ook op gericht kunnen worden. Het nadeel van deze methode is dat de absolute ammoniakemissie niet goed is vast te stellen. De ammoniakemissies zijn op dit moment alleen nog te berekenen relatief ten opzichte van andere emissies. Daarom zijn in dit onderzoek ook twee reguliere stallen meegenomen. Op deze manier is een directe vergelijking te maken tussen deze twee staltypen en daarmee kan aangegeven worden hoe biologische stallen scoren ten opzichte van reguliere stallen ten aanzien van de ammoniakemissie. Een kritische parameter voor berekening van de ammoniakemissies is de gebruikte effectieve pH voor de referentiesituatie. Deze effectieve pH is voor de referentiesituatie berekend op basis van gemeten overige parameters (temperatuur, luchtsnelheid, NH₄-N) en de ammoniakemissie, gemeten in dezelfde stallen in een eerder onderzoek. Hierbij was de effectieve pH de enige missende parameter. Dit is een vrij ruwe methode om deze waarde in te schatten. Het is van belang om meer onderzoek te doen naar bepaling van de effectieve pH van de bovenste laag van de mest. De filtermethode geeft al een betere benadering van de effectieve pH, echter, de werkelijke effectieve pH ligt nog hoger, zoals blijkt uit tabel 1. Uit onderzoek van Hafner et al. (2013) en Petersen et al. (2014) blijkt dat de pH in de bovenste (tienden van) millimeters van de mest nog behoorlijk kan veranderen.

Bij vergelijking van de ammoniakemissies berekend op basis van lokaal gemeten parameters met de emissies gemeten op stalniveau met de SF₆- en de CO₂-tracergas methoden in de Star+ stal blijkt dat de waarden gemiddeld redelijk overeen komen. Echter, binnen een meetperiode kunnen de verschillen groot zijn. Dat geldt ook voor de beide tracergas methoden onderling. De CO₂-methode lijkt wat lagere emissies te geven dan de SF₆-methode. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door het feit dat het grootste deel van de ammoniak in de uitloop wordt geproduceerd, maar het grootste deel van de CO₂ wordt in de stal geproduceerd. In parallel lopend gedragsonderzoek is namelijk vastgesteld dat de dieren het grootste deel van de tijd in de stal doorbrengen. Wanneer een deel van de lucht die van buiten in de overdekte, en met een windscherm afgesloten, uitloop terecht komt niet de stal ingaat, maar weer naar buiten gaat en een deel van de ammoniak die geproduceerd is op de uitloop meeneemt, zal de ammoniakemissie met de CO₂-methode worden onderschat. De schatting van de bijdrage van de uitloop aan de totale ammoniakemissie is redelijk vergelijkbaar volgens de methode met de lokale parameters en de SF₆-methode, respectievelijk 58% en 67%. De rest van de ammoniakemissie is vooral afkomstig van de bevulde dichte vloer in de stal.

Het effect van de temperatuur op de berekende ammoniakemissie blijkt groot te zijn in dit onderzoek. In de zomermetingen werden beduidend hogere ammoniakemissies berekend dan in de winterperiode; dit gold voor de biologische bedrijven in nog sterkere mate dan voor de reguliere bedrijven. Of het effect van de temperatuur werkelijk zo groot is als in dit onderzoek berekend, zal moeten blijken uit validatieonderzoek waarin de berekende ammoniakemissies met het toegepaste model uitgebreider wordt getoetst aan gemeten ammoniakemissies. Even zozeer als pH effecten worden genivelleerd door andere evenwichten in de mest dan het ammoniakevenwicht (met name door CO₂ evenwichten),

zouden temperatureffecten mogelijk ook genivelleerd kunnen worden, b.v. als gevolg van diffusiesnelheden in de mest. Belangrijk is om meer inzicht te krijgen in de processen die plaatsvinden in de bovenste laag van de mest (de grenslaag met de lucht) en wat de effecten hiervan zijn op de pH en het ammoniumgehalte van deze laag.

De berekende jaaremissie voor methaan (1,14 kg/jaar per dierplaats) komt goed overeen met de eerder gevonden waarde voor de 'Kempfarm-stal' van 0,94 kg/jaar per dierplaats (Aarnink et al., 2007). In de Kempfarm-stal werd de urine en feces ook gescheiden afgevoerd met een vergelijkbare mestband. Deze emissie is beduidend lager dan de gemeten methaan emissie uit traditionele vleesvarkensstallen (15,7 kg/jaar per dierplaats) en iets lager dan de methaan emissie uit emissie-arme stallen met een beperkt emitterend oppervlak (1,9 kg/jaar per dierplaats) (Mosquera et al., 2011). De berekende jaaremissie voor lachgas (0,060 kg/jaar per dierplaats) was in de Star+ stal laag, evenals in de Kempfarm-stal (0,110 kg/jaar per dierplaats), maar wel iets hoger dan in reguliere stallen (Mosquera et al., 2011). De emissie van fijnstof was in de Star+ stal (184 g/jaar per dierplaats) en is daarmee vergelijkbaar met de emissiefactor opgenomen in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (www.infomil.nl) voor overige huisvestingssystemen bij vleesvarkens (153 g/jaar per dierplaats). De verwachting vooraf was dat de fijnstof emissie in de Star+ stal hoger zou zijn dan in andere stallen, aangezien in de Star+ stal strooisel wordt gebruikt en het hok een groot aandeel dichte vloer heeft.

Op basis van de resultaten in dit rapport kan geconcludeerd worden dat het bepalen van de ammoniakemissie met behulp van lokaal gemeten parameters duidelijk perspectief biedt. Verdere validatie van deze methode is echter gewenst, vooral vanwege het feit dat de metingen op stalniveau met behulp van de beide tracergasmethoden ook vrij grote verschillen in uitkomsten lieten zien en daarom niet erg betrouwbaar zijn als referentiemethode. Aanbevolen wordt om de methode met lokale parameters verder te valideren in mechanisch geventileerde stallen zonder uitloop. In deze stallen kan de ammoniakemissie nauwkeurig worden gemeten, zodat goede referentiewaarden kunnen worden verkregen.

5 Conclusies

Op basis van het onderzoek beschreven in dit rapport kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Ondanks het grotere oppervlak per dier in vleesvarkensstallen met uitloop, vooral in biologische stallen, hoeft de ammoniakemissie niet hoger te zijn dan in reguliere stallen. Door een goed hokontwerp, zoals in één van de biologische stallen in dit onderzoek, volstaat een relatief klein (emitterend) kelderoppervlak. De emissie per m² kelderoppervlak is tevens beduidend lager in stallen met uitloop, vooral als gevolg van de lagere oppervlaktetemperatuur van de mest in de mestkelders.
- De vloeremissie is in vleesvarkensstallen met uitloop in het algemeen hoger dan in reguliere stallen. Deze hogere vloeremissie wordt vooral veroorzaakt door een groter bevuild oppervlak (roostervloer + dichte vloer) bij stallen met uitloop ten opzichte van de reguliere stallen.
- In de zomer is de berekende ammoniakemissie per m² bevuild oppervlak voor alle stallen beduidend hoger dan in de herfst/winter. Dit geldt in sterkere mate voor stallen met uitloop, aangezien in deze stallen de temperatuur sterker mee varieert met de buitenomstandigheden dan in reguliere stallen.
- Er lijkt een tendens te zijn bij reguliere varkenshouders om de staltemperatuur hoger in te stellen dan in het verleden. Dit resulteert in hogere mesttemperaturen en daarmee hogere ammoniakemissies per m² kelderoppervlak.
- Een vergelijking van de resultaten in dit onderzoek met de uitgangspunten zoals gehanteerd in het rapport van Aarnink et al. (2012) voor het inschatten van de ammoniakemissie uit verschillende emissiearme stallen laat verschillen zien in de emissies per m² bevuild oppervlak. De gehanteerde vloeremissie per m² bevuild oppervlak ligt in voornoemd rapport lager dan wat in dit onderzoek naar voren komt, terwijl de gehanteerde kelderemissie per m² oppervlak hoger ligt dan de waarden die in dit onderzoek zijn bepaald.
- Metingen in de Star+ stal tonen aan dat de gemiddelde berekende ammoniakemissies op basis van gemeten lokale parameters redelijk overeen komen met gemiddeld gemeten ammoniakemissies op stalniveau op basis van de tracergasmethoden SF₆ en CO₂. Binnen meetperioden kunnen echter grote verschillen optreden zowel tussen de methode van gemeten lokale parameters enerzijds en de tracergasmethoden anderzijds, als tussen de tracergasmethoden onderling.
- In de Star+ stal werden lage emissies gemeten van methaan. De emissie van lachgas was hoger dan in reguliere stallen, maar nog steeds laag. De emissie van fijnstof was vergelijkbaar met de emissie uit reguliere stallen.
- Het bepalen van de ammoniakemissie in stallen met uitloop met behulp van lokaal gemeten parameters biedt duidelijk perspectief. Verdere validatie van deze methode is echter gewenst, waarbij met name ook aandacht moet worden gegeven aan wat er in de bovenlaag van de mest gebeurt. Daarnaast is het van belang dat tijdens het validatieonderzoek de ammoniakemissie nauwkeurig wordt gemeten. Dit kan in mechanisch geventileerde stallen zonder uitloop.

Literatuur

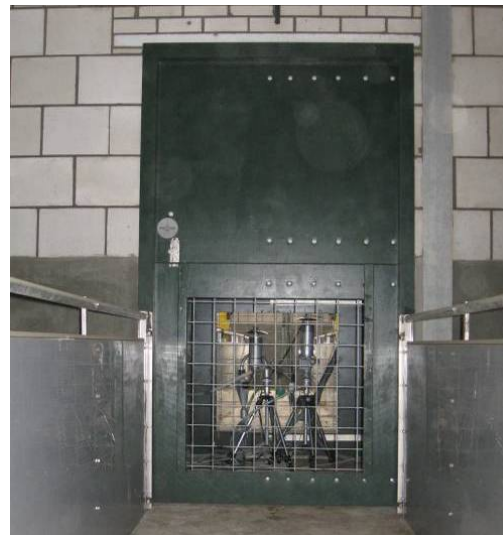
- Aarnink, A.J.A., Elzing, A. 1998. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.* 53: 153-169.
- Aarnink, A.J.A., Huis in 't Veld, J., Hol, A., Vermeij, I. 2007. Kempfarm vleesvarkensstal: milieu-emissies en investeringskosten. Animal Sciences Group. Rapport 67.
- Aarnink, A.J.A., Vermeer, H.M., Ploegaert, J.P.M. 2012. Ammoniakemissiearme verharde uitlopen voor varkens. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 625.
- Canh, T.T., Schrama, J.W., Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A., Klooster, C.E.v.t., Heetkamp, M.J.W. 1998. Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Animal Science* 67: 583-590.
- CIGR. 2002. *4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels* (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik). International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Section II.
- Groenestein, C.M., Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M. 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen Wageningen UR Livestock Research, rapport 786.
- Groenestein, K., Aarnink, A.J.A. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808, Animal Science Group van Wageningen UR. Intern rapport 200808.
- Hafner, S.D., Montes, F., Rotz, C.A. 2013. The role of carbon dioxide in emission of ammonia from manure. *Atmospheric Environment*, **66**, 63-71.
- Ivanova-Peneva, S.G., Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A. 2008. Ammonia emissions from fattening pigs raised organically. *Biosystems Engineering*, **Vol 99**(3), 412-422.
- Kasper, G., Aarnink, A.J.A. 2011. Gasvormige emissies vanaf buitenuitlopen bij varkensstallen. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 453.
- Mosquera, J., Hol, J.M.G., Winkel, A., Lovink, E., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2011. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Livestock Research, Rapport 292, herziene versie. Rapport 292, herziene versie.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M.J.W., Aarnink, A.J.A. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review (Manuscript BC 08 008). *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*, **X**.
- Petersen, V., Markfoged, R., Hafner, S.D., Sommer, S.G. 2014. A new slurry pH model accounting for effects of ammonia and carbon dioxide volatilization on solution speciation. *Atmospheric Environment*, **DOI 10.1007/s10705-014-9637-6**.

Bijlage 1 Foto's van stallen in het onderzoek

Reguliere stal 1



Luchtinlaat buitenzijde



Luchtinlaat afdeling (opening in de deur)



Luchtuitlaat (rode pijl)



Binnenzijde stal

Reguliere stal 2



Meting luchtinlaat buitenzijde, bij de zijgevel



Luchtinlaat afdeling (opening boven de deur)



Luchtuitlaat (ventilatorroker)



Binnenzijde stal

Biologische stal 1



Overzicht van de afdeling binnen



Luchtinlaat via ramen en uitloopopening; uitlaat via koker in dak



Overzicht van de afdeling buiten met een volledig betonnen roostervloer.



Een deel van de uitloop is niet overkapt.

Biologische stal 2



Overzicht van de afdeling binnen



Varkens hebben een ligbed van stro en een volledig dichte vloer



Overzicht van de afdeling buiten met een grote bolle dichte vloer.



Driekantroosters boven de mestkelder achterin het hok buiten. Dit rooster is niet overkapt. Tegen de stal aan ligt een smal kanaal met betonnen roosters.

Star+ stal



Star+ stal met een overdekte uitloop met windbreekgaas aan de zijkanten.



Hok in de Star+ stal met opening naar de uitloop.



Mestband onder de roosters van de Star+ stal.



Uitloop van de Star+ stal.



Overkapt uitloop van de Star+ stal met links de doorzichtige luchtinlaatklep naar de stal.



De Star+ stal wordt natuurlijk geventileerd met luchtinlaat aan de zijkanten (doorzichtige kleppen) en luchtuitlaat in de nok.

Bijlage 2 Legenda van symbolen in figuren

Symbolen zoals die gebruikt zijn in de schetstekeningen van de hokken in hoofdstuk 2:



Figuur bijlage 2. Legenda voor de verschillende plattegronden van de hokken in hoofdstuk 2.

Bijlage 3 Beschrijving meetmethoden Star+ stal

Concentratie ammoniak

De ammoniakconcentratie werd semi-continue gemeten met behulp van een NO_x-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 converter worden omgezet tot NO. In de converter 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 voor en na een meetperiode gekalibreerd. 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).

Concentratie CO₂

De CO₂ concentratie voor bepaling van het ventilatiedebiet voor bepaling van de ammoniakemissie is bepaald met behulp van de foto-akoestische multigasmonitor. Deze meetmethode is gebaseerd op het effect van infrarood licht op gassen. Als een gas wordt blootgesteld aan infrarood licht met een golflengte die dat gas absorbeert zal een deel van het licht worden geabsorbeerd. Als gevolg hiervan krijgt een aantal moleculen een hoger energieniveau wat leidt tot een stijging van temperatuur en druk. Valt het infrarood licht weg dan zullen de moleculen weer terugvallen naar hun oorspronkelijke energieniveau, temperatuur en druk zullen weer dalen. Wanneer een gas pulserend wordt belicht ontstaat een steeds wisselende druk die resulteert in een geluidsgolf die met behulp van microfoons kan worden gedetecteerd. De concentratie van het gas in een monster wordt dan door de sterkte van het signaal bepaald.



Innova 1312 voor het meten van de stal- en achtergrondconcentraties van CO₂.

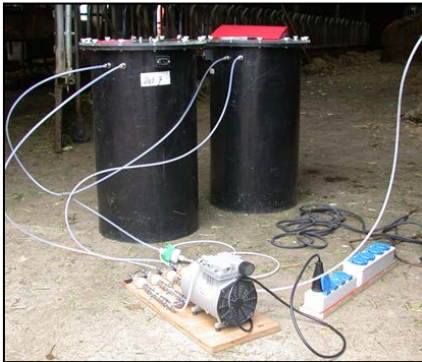
De resultaten van de concentratiemetingen worden gebruikt voor het bepalen van het ventilatiedebiet (V; m³/uur per dier) in de stal. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde CO₂-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO₂-concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal verlaat (respectievelijk [CO₂]_{buiten} en [CO₂]_{stal}; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen *et al.*, 2008). Deze berekening van de CO₂-productie van de vleesvarkens vindt plaats op basis van het gemiddelde

gewicht (kg), de hoeveelheid voer per dag (kg/dag) en de energiewaarde van het voer. Het ventilatiedebiet V_{totaal} (m^3/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V_{\text{totaal}} = \frac{CO_2 - \text{productie}}{([CO_2]_{\text{stal}} - [CO_2]_{\text{buiten}}) * 10^{-6}}$$

Concentratie broeikasgassen (CH_4 en N_2O) en CO_2

Voor het meten van de concentraties van broeikasgassen (methaan en lachgas) en CO_2 werd lucht bemonsterd in zakken volgens de longmethode. Bij deze methode wordt een 40 L nalofaan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een PE slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak. De lucht wordt aangezogen door een kritisch capillair welke de flow reduceert tot een constante flow van 0,02 L/min. De monsternamen werden uitgevoerd gedurende 24 uur. Op deze wijze werd een 24-uurs luchtmonster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen en CO_2 in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH_4), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : HWD).



Meetopstelling voor het nemen van een luchtmonster middels de longmethode, voor bepaling van concentraties van broeikasgassen


Concentratie fijnstof PM_{10}

Voor de meting van fijnstof is gebruik gemaakt van de DustTrack. Met dit apparaat worden de deeltjes continu optisch gemeten. De gemeten deeltjes zijn kleiner dan $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}). Deze continue metingen maakt gebruik van een lichtverstrooiingstechniek (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS) De PM_{10} concentratie werd elke seconde gemeten, minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van het apparaat en na de metingen gedownload met behulp van de bijbehorende software.



Berekening van emissies


De verschillende emissies zijn berekend door het concentratieverschil tussen uit- en ingaande lucht te vermenigvuldigen met het berekende ventilatiedebiet m.b.v. de SF_6 of CO_2 methode.



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
info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 868



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.