

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 291

Ontwikkeling snelle meetmethode ter bepaling van ammoniakemissiereductie van vloergebonden maatregelen

September 2010



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2010

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

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

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

This report describes different methods for determination of the effect of different floor types on (ammonia) emission. One method, the box method, has been further evaluated.

Keywords

Ammonia emission, cattle houses, floor type, flux chambers

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

J. Mosquera
G.J. Kasper
K. Blanken
F. Dousma
A.J.A. Aarnink

Titel

Ontwikkeling snelle meetmethode ter bepaling van ammoniakemissiereductie van vloergebonden maatregelen
Rapport 291

Samenvatting

Dit rapport beschrijft verschillende mogelijkheden om het effect van verschillende vloertypen op de (ammoniak)emissie in rundveestallen te bepalen. De boxmethode is verder uitgewerkt.

Trefwoorden

Ammoniakemissie, rundveestallen, vloertype, boxmethode



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 291

Ontwikkeling snelle meetmethode ter bepaling van ammoniakemissiereductie van vloergebonden maatregelen

Development of a fast measurement method for the determination of ammonia emission reduction from floor related measures

J. Mosquera

G.J. Kasper

K. Blanken

F. Dousma

A.J.A. Aarnink

September 2010

Voorwoord

De laatste jaren hebben veel innovaties in ligboxenstallen plaatsgevonden. Ze hadden vooral betrekking op het welzijn van de dieren. Nieuwe vloertypen zijn hiervan een voorbeeld. De vloertypen zijn echter milieutechnisch niet beoordeeld, terwijl daar wel behoefte aan is bij de potentiële gebruiker en de overheid.

Om sneller het milieuperspectief van deze systemen te bepalen zou het ammoniakemissiereducerend effect op vloerniveau gemeten kunnen worden in plaats van op stalniveau. In deze studie worden verschillende opties voor ammoniakemissie metingen op stal- en vloerniveau geïnventariseerd. De toepassing van boxmethoden voor metingen op vloerniveaus is verder uitgewerkt. Boxmethoden bieden perspectief om de relatieve verschillen tussen vloertypen binnen een stal te bepalen.

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Dr. J. Mosquera
Projectleider

Samenvatting

Voor de melkveehouderij zijn een aantal ammoniakemissiebeperkende systemen tot stand gekomen die gebaseerd zijn op aanpassingen aan vloeren en kelders. Het effect van deze systemen zou onderzocht kunnen worden door deze systemen op vloerniveau in plaats van op stalniveau te meten. Het voordeel hiervan is dat sneller en goedkoper dan met meten op stalniveau een inschatting gemaakt kan worden van het milieuperspectief van een systeem. Voorwaarde is dat in dezelfde huisvesting ook een referentievloer bemeten moet worden, aangezien de metingen op dit moment niet opgeschaald kunnen worden naar stalniveau en derhalve niet vergeleken kunnen worden met de huidige emissiefactoren.

Door middel van een literatuurstudie zijn de verschillende opties voor ammoniakemissiemetingen bij rundveestallen op stal- en vloerniveau geïventariseerd. Conclusie van deze studie is dat de tracergas ratiomethode toegepast zou kunnen worden voor emissiemetingen op stalniveau voor gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van de lucht. Voor zeer open stallen met een onduidelijke in- en uitlaat van de lucht is deze methode echter niet toepasbaar, aangezien de menging van de stallucht onvoldoende is. Voor metingen op vloerniveau wordt de boxmethode in de literatuur beschreven als een geschikte methode om relatieve verschillen tussen behandelingen (dus ook tussen verschillende vloertypen) te bepalen. Het is daardoor gekozen om deze optie verder te onderzoeken.

Boxmethoden kennen twee uitvoeringen, statisch (dicht) en dynamisch (open). Bij de statische meetmethode wordt de ammoniakemissie bepaald uit de toename van de ammoniakconcentratie en de inhoud van de meetruimte (in dit geval de meetbox en de afgesloten mestkelder). Uit de metingen bleek dat de emissie snel (binnen 3 a 6 minuten) wordt beïnvloed door de verhoogde ammoniakconcentratie in de meetbox. Om een goede inschatting te kunnen maken van de ammoniakemissie bij de statische methode is het ook belangrijk dat het verloop van de ammoniakconcentratie boven de roosters en onder de roosters gelijk verlopen. De metingen met de statische boxmethode gedurende de eerste meetperiode laten echter een beduidend hogere ammoniakemissie zien op basis van het concentratieverloop boven de roosters ten opzichte van het concentratieverloop in de mestkelder.

Bij de dynamische methode wordt de ammoniakemissie bepaald uit het verschil in concentratie tussen uitgaande en ingaande lucht. Uit de metingen bleek dat bij een dynamische boxmeting de ammoniakconcentratie snel (na ca. 5 minuten) een evenwicht bereikte. Op basis van een beperkt aantal metingen (3 meetpunten en 4 luchtsnelheden = 12 metingen) is gebleken dat de relatie tussen luchtsnelheid in de meetbox (boven de roosters) en de ammoniakemissie niet lineair is; de emissietoename werd geringer bij een hoger ventilatiedebiet. Er werden duidelijke verschillen geconstateerd in emissies op verschillende plaatsen in de stal bij vrijwel gelijke temperatuur en luchtvochtigheid (ruimtelijk variatie). Verschillen in ammoniakemissie waren ook significant voor metingen op verschillende dagen op dezelfde plaatsen in de stal (variatie in tijd). Er zijn geen verschillen gevonden voor metingen op dagdeelniveau (ochtend vs. middag). Daarom wordt geadviseerd om op verschillende plaatsen in de stal en op verschillende dagen (bij voorkeur bij verschillende weersomstandigheden) te meten.

Summary

A number of ammonia reduction measures, based on new designs for floors or for the manure pit, has been implemented in the cattle sector. The effect of these systems could be investigated by measuring at the floor level rather than from the whole barn. By doing this, the environmental potential of these measures could be determined faster and cheaper than by measuring the emissions from the whole barn. However, for this method to be applied it is necessary to also include measurements on a reference floor. The reason is that measurements at the floor level cannot be compared directly with barn emissions, and therefore with the existing emission factors.

A literature study was performed to compare different options to measure ammonia emissions from cattle barns at the floor level or from the whole barn. The conclusion of this study was that emissions from the whole barn could be performed by using the tracer gas ratio method, but only for buildings with clearly defined inlets and outlets. Otherwise, this method is not applicable because of insufficient air mixing in the barn. Flux chambers have been considered to be useful tools to compare emissions from different treatments, and therefore could also be used to determine differences in emissions between different floor constructions. This option was therefore further investigated.

Flux chambers can be applied either as static (closed) or as a dynamic (open) methods. The static flux chamber calculates ammonia emissions by using the increase in concentration and the volume of the measurement space (the chamber including the manure pit below the chamber). The measurements showed that the increase in concentration in the chamber rapidly (within 3 to 6 minutes) influenced the emission at the floor level. For the static method it is also important that changes in ammonia concentration above and below the slatted floor follow the same pattern. However, the measurements showed a higher initial value, but slower increase in concentration below the slatted floor compared with the concentrations above the slatted floor.

The dynamic method uses the difference in concentration between the incoming and outgoing air to measure emissions. The measurements showed that ammonia concentrations in the flux chamber (above the slatted floor) quickly (after approximately 5 minutes) reached an equilibrium. According to the available data, based on measurements at three different (floor) places in the barn and four air flow levels (in total 12 measurements), the relation between ammonia emission and air flow was not linear: the emission rate slowed down for increasing air flow values. There was a significant difference in emission between measurements at different (floor) places in the barn (spatial variability) under similar temperature and relative humidity conditions. Measurements also showed a significant difference in ammonia emission between measurement days (variability in time). No significant differences were measured for measurements within a measurement day (measurements in the morning compared to measurements in the afternoon). For a good estimate of the ammonia emissions at the floor level it is therefore advised to measure at different (floor) places in the barn during a number of days, if possible under different weather conditions.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Doelstelling.....	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Inventarisatie meetmethoden	2
2.1	Tracergas ratiomethode.....	2
2.1.1	SF ₆ -methode.....	3
2.1.2	CO- en CO ₂ -methoden	3
2.2	Boxmethoden	3
2.2.1	Dynamische boxmeting	4
2.2.2	Statische boxmeting	5
3	Meetbox voor metingen op vloerniveau	6
3.1	Ontwerp meetbox.....	6
3.2	Meetstrategie	8
3.2.1	Statisch versus dynamisch	8
3.2.2	Herhaalbaarheid van dynamische metingen	8
3.3	Meetervaringen	9
4	Resultaten.....	10
4.1	Boxmethoden: Statisch versus dynamisch	10
4.2	Herhaalbaarheid metingen met dynamisch meetbox	12
4.2.1	Ventilatie-instellingen meetbox.....	12
4.2.2	Variatie in emissies door ruimte en tijd.....	12
5	Conclusies en aanbevelingen.....	14
	Literatuur	15

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De landbouw is in Nederland de belangrijkste bron van ammoniakemissie. In 2003 droeg de landbouw voor 91% bij aan de nationale uitstoot van ammoniak (MNP, 2005). De meeste ammoniak emitteert uit stallen en bij het toedienen van mest; samen zijn ze verantwoordelijk voor 80% van de totale uitstoot. Om deze emissies terug te dringen heeft de EU ammoniakemissieplafonds per land vastgesteld. Voor Nederland betekent dit een maximale ammoniakemissie van 128 kton in 2010 (EU, 2001). De Nederlandse overheid heeft zich voor 2010 tot doel gesteld de ammoniakemissie tot 100 kton te reduceren om natuurgebieden te beschermen (VROM, 2001). De bijdrage van de landbouw aan de NH₃-emissie moet dan gedaald zijn tot 86 kton (Sliggers, 2001).

Na de inwerkingtreding van het Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij (Infomil, 2008a) zijn maximale emissiewaarden voor huisvestingsystemen per diercategorie vastgesteld. Dit geldt echter alleen voor nieuwe huisvestingsystemen en voor de uitbreiding van bestaande systemen met meer dan een vastgesteld aantal dierplaatsen (Bijlage II bij het Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij). Voor de melkveehouderij betekent dit dat er geen huisvestingsystemen toegepast mogen worden die een emissiefactor hebben die hoger is dan 9.5 kg per dierplaats per jaar. Dit heeft tot gevolg dat emissiearme huisvestingssystemen toegepast moeten worden wanneer de dieren het gehele jaar op stal worden gehouden.

In Nederland mogen alleen emissiearme huisvestingsystemen die opgenomen zijn in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav; Infomil (2008b)) worden toegepast. Om in aanmerking te komen voor opname in de Rav moeten nieuwe, in potentie ammoniak emissiearme huisvestingsystemen worden bemeaten volgens het officiële meetprotocol. Dit houdt onder andere in dat gedurende een jaar op vier verschillende locaties gemeten moet worden.

Voor de melkveehouderij zijn een aantal ammoniakemissiebeperkende systemen tot stand gekomen die gebaseerd zijn op aanpassingen aan vloeren en kelders. Om sneller het milieuperspectief van deze systemen te bepalen zou het ammoniak emissiereducerend effect op vloerniveau gemeten kunnen worden in plaats van op stalniveau. Boxmethoden bieden perspectief om de relatieve verschillen tussen vloertypen binnen een stal te bepalen.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek was tweeledig. Door middel van een literatuurstudie zijn de verschillende opties voor ammoniakemissiemetingen bij rundveestallen op stal- en vloerniveau geïnterviewd. Voor metingen op vloerniveau is de boxmethode verder uitgewerkt voor zowel de statische als de dynamische boxmethode uitvoering. De herhaalbaarheid van de metingen was voor de dynamische boxmethode bepaald in relatie tot omgevingsfactoren zoals temperatuur en luchtsnelheid, ruimtelijke variatie, en variatie in emissies in de tijd.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden, op basis van een literatuurstudie, de beschikbare methoden voor emissiemetingen in stallen (op stal- en vloerniveau) beschreven en met elkaar vergeleken op basis van hun eigenschappen. Uit deze lijst is uiteindelijk een methode geselecteerd die toepasbaar zou kunnen worden voor emissies op vloerniveau. Deze methode (boxmethode) is in hoofdstuk 3 verder uitgewerkt. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de emissiemetingen in de praktijk gerapporteerd, met speciale aandacht voor de betrouwbaarheid/herhaalbaarheid van metingen met de dynamische boxmethode. In hoofdstuk 5 worden de conclusies en aanbevelingen van deze studie weergegeven.

2 Inventarisatie meetmethoden

Voor de bepaling van de ammoniakemissie uit stallen is meting van de NH_3 -concentraties in de in- en uitgaande stallucht en het ventilatiedebiet noodzakelijk. De keuzemogelijkheden in meetmethoden worden bepaald door het type bron (Van Ouwerkerk, 1993; Mosquera *et al.*, 2002, 2005; Hofschreuder *et al.*, 2003;). Bij metingen aan stallen met een gerichte uitlaat (bijvoorbeeld mechanisch geventileerde stallen) wordt aangenomen dat de verblijftijd van de lucht in de stal zodanig lang is, dat emissies voldoende tijd hebben om homogeen te mengen met de doorgevoerde lucht en dat de onderdruk van de ventilatoren ervoor zorgt, dat alle lucht de stal via de ventilatiekanalen verlaat. Door het totale ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de gemiddelde concentratie van een geëmitteerd gas wordt de totale emissie van dat gas verkregen. De gemeten NH_3 -concentratie in de uitgeworpen stallucht moet verminderd worden met de NH_3 -concentratie van de ingaande lucht. Het verschil is de bijdrage van de gemeten stal. In de rundveehouderij komen nauwelijks mechanisch geventileerde stallen voor. Hier vindt men met name natuurlijk geventileerde stallen. Wanneer deze een duidelijke in- en uitlaat van de lucht hebben zal een goede interne menging van de ventilatielucht met de stallucht plaatsvinden. Het ventilatiedebiet kan in deze stallen worden bepaald als een afgeleide van de menging van de lucht in de stal met de tracergas ratiomethode. Deze rekenmethode staat onder andere beschreven in Van Ouwerkerk (1993), Huis in 't Veld *et al.* (2001) en Mosquera *et al.* (2002).

In stallen met een onduidelijke in- en uitlaat van de lucht kan er niet van uitgegaan worden dat de menging van een gas in het gebouw homogeen is. Metingen binnen de stal met de tracergas ratiomethode zijn dan niet betrouwbaar. Dit heeft als gevolg dat metingen allen buiten de stal kunnen plaatsvinden (Mosquera *et al.*, 2005). Nadelen van metingen buiten de stal zijn dat concentratieverschillen tussen af- en aangevoerde lucht moeilijk te meten zijn. Bovendien is er het probleem van meerdere bronnen en obstakelstromingen.

Om een indicatie te geven van de effecten van emissiereducerende technieken die gebaseerd zijn in aanpassingen aan vloeren en kelders kan volstaan worden met het meten van emissies op vloerniveau. Dit kan gedaan worden met de zogenaamde boxmethode. Deze methode wordt hieronder uitgebreid beschreven. Om onder dezelfde omstandigheden te kunnen meten (dit is een voorwaarde wanneer relatieve verschillen tussen behandelingen bepaald moeten worden) is de aanwezigheid in de stal van een referentievloer (die ook gemeten dient te worden) noodzakelijk. Deze methode is in 1974 door Lindvall and Thyselius (1974) beschreven, en werd onder andere toegepast om effecten van verschillende mestverwijderingssystemen te vergelijken (Kroodsma *et al.*, 1993; Kant *et al.*, 1992) en voor het meten van ammoniakemissies uit de uitloop van dieren (Aarnink *et al.*, 2002, Aarnink *et al.*, 2004; Ivanova *et al.*, 2006; Mosquera *et al.*, 2008).

Hieronder worden deze methoden kort beschreven, en de belangrijkste voor- en nadelen toegelicht.

2.1 Tracergas ratiomethode

De tracergas ratiomethode is uitgebreid beschreven door Van Ouwerkerk (1993) en Mosquera *et al.* (2002)). De methode wordt toegepast in natuurlijk geventileerde stallen om de ammoniakemissie op stalniveau te bepalen. De methode is gebaseerd op de wet van behoud van massa. Dicht bij de emissiebron wordt een bekende hoeveelheid tracergas geïnjecteerd. Als het tracergas zich vervolgens vergelijkbaar gedraagt als het gas waarvan de emissie bepaald moet worden, dan kan de emissie van dat gas worden berekend uit de gemeten concentratieverhouding in de uitgaande stallucht.

De tracergas ratiomethode kan in principe worden gebruikt in alle geventileerde ruimtes. Voor toepassing in de praktijk heeft deze methode echter een aantal nadelen:

- De tracergas ratiomethode is alleen toepasbaar in situaties waarbij de pluim van de bron die gemeten moet worden, niet gemengd is met de pluim van andere bronnen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer open stallen dicht bij elkaar staan, of bij stallen met uitloop, waarbij zowel de stal als de uitloop een emissiebron vormen.
- Het tracergas moet dicht bij de emissiebron en ook zoveel mogelijk over het gehele oppervlak van de emissiebron vrijgelaten worden. Dit voorkomt dat het tracergas zich anders mengt met de rest van de stallucht dan het gas waarvan de emissie bepaald moet worden. Ongelijke menging wordt vaak versterkt door hoge luchtsnelheden en bij bepaalde windrichtingen (Snell *et al.*, 2003).

- SF₆ heeft een hoog moleculegewicht, waardoor een geïnjecteerde gasstroom met puur SF₆ een hogere dichtheid heeft dan de omgevingslucht. Door SF₆ eerst te mengen met lucht en daarna dit luchtmengsel in de stal te injecteren wordt dit probleem opgelost.
- Het is belangrijk dat SF₆ niet geabsorbeerd wordt door de leidingen, of dat door diffusie door de leidingen kan ontsnappen. Om dit te voorkomen wordt polyethyleen (PE) gebruikt voor zowel de injectie- als de monsternameleidingen.
- De concentratie van het tracergas moet voldoende hoog zijn om een verschil te kunnen meten t.o.v. de achtergrondconcentratie. Dit speelt vooral voor CO₂ als tracergas. In relatief open stallen kan het ventilatiedebiet dusdanig hoog zijn dat de CO₂-productie in de stal slechts een geringe toename geeft van de CO₂-concentratie van de buitenlucht.
- Het broeikasgaseffect van SF₆ is groot in vergelijking met andere gassen. Bij dit nadeel moet worden opgemerkt dat SF₆ bij zeer lage concentraties gemeten kan worden, waardoor slechts een kleine hoeveelheid SF₆ hoeft te worden geïnjecteerd. In Denemarken is het evenwel verboden om SF₆ voor dit doeleinde te gebruiken (Zhang et al., 2005).

2.1.1 SF₆-methode

In de meetruimte wordt met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF₆-gas en droge perslucht met elkaar gemengd. Om een representatief monster van de lucht in de meetruimte te nemen, wordt een verzamelleiding met een aantal monsternamepunten verdeeld over de gehele meetruimte geplaatst. Hierbij wordt aangenomen dat het tracergas en het gas waarvan de emissie bepaald moet worden, zich op dezelfde manier in de meetruimte verspreiden en zo een vergelijkbaar concentratieprofiel in de meetruimte geven.

SF₆ wordt vaak gebruikt als tracergas, omdat SF₆ inert is, het een lage achtergrondconcentratie heeft en zeer lage concentraties nauwkeurig gemeten kunnen worden met behulp van gaschromatografie. Voor meer voor- en nadelen van SF₆ als tracergas wordt verwezen naar Mosquera et al. (2008).

2.1.2 CO- en CO₂-methoden

De CO-methode is gebaseerd op injectie van CO met voorgemengde lucht als tracergas. De rest verloopt hetzelfde als bij SF₆-gas. De CO₂-methode is een speciale vorm van de tracergasmethode bij toepassing in een continu meetsysteem. Het grootste verschil met de hiervoor genoemde tracergassen is dat gebruik wordt gemaakt van de natuurlijke CO₂-productie in de stal. De dieren zijn de voornaamste CO₂-producenten, daarnaast kan CO₂-productie uit (meng)mest, strooisel of opgeslagen voer en eventueel aanwezige verbrandingsmotoren of verwarmingssystemen met directe verbranding van de brandstoffen worden verwacht. Het ventilatievoud van een stal wordt geschat op grond van de wet van behoud van massa voor kooldioxide. Gassen uit rundveemest bestaan voor 45% (gewicht) uit kooldioxide (Boheemen, 2006). Tevens geldt dat de CO₂-productie uit opgeslagen mest in het algemeen toeneemt met de leeftijd van de mest. Toch is bij normale dierbezettingen de respiratie CO₂-productie dominant (meer dan 90% van de totale productie). Omdat de CO₂-balansmethode de dieren als CO₂-bron gebruikt, is - in vergelijking met de tracergas ratiomethode met behulp van SF₆ - de bron beter verdeeld in de stal en verschaft daarmee een betere menging van CO₂ en stallucht. Nadeel is dat zowel de CO₂ concentratie in de stal als buiten de stal nauwkeurig gemeten moeten worden. Daarnaast is de onzekerheid in de schatting van de CO₂ productie voor een aantal diercategorieën. De CO₂ balansmethode is uitgebreid beschreven in Pedersen et al. (1998) en Mosquera et al. (2002).

2.2 Boxmethoden

Bij boxmethoden wordt de wet van behoud van massa gebruikt om de emissies van de gemeten gassen vanaf specifieke meetoppervlakken te bepalen. De methoden zijn goed bruikbaar voor vergelijkende metingen van ammoniakemissie bij bijvoorbeeld verschillende vloertypen (Kroodsma et al, 1993), zonder een uitspraak te doen over de absolute ammoniakemissie van de gehele stal.

Boxmetingen kunnen volgens twee principes worden uitgevoerd: de statische boxmeting en de dynamische boxmeting. Hierna volgt een korte beschrijving van beide methoden. De boxmethoden zijn uitgebreider beschreven in Mosquera et al (2002, 2008).

Boxmethoden zijn goedkoop en eenvoudig te gebruiken, en kunnen worden gebruikt om de emissie uit verschillende oppervlakken in de stal met elkaar te vergelijken. Bij deze methode is het niet bezwaarlijk dat verschillende diercategorieën in dezelfde stal aanwezig zijn. Metingen kunnen gestandaardiseerd worden ten aanzien van luchtsnelheid en (in wat mindere mate) het luchtbewegingspatroon.

Boxmethoden hebben ook een aantal nadelen:

- Om de metingen met de boxmethode te kunnen uitvoeren moeten de dieren uit de vloer worden verwijderd. In het protocol dient opgenomen te worden hoeveel tijd beschikbaar is tussen het verwijderen van de dieren en het begin van de metingen.
- Boxmethoden kunnen de emissieprocessen beïnvloeden door de klimaatomstandigheden binnen de gemeten ruimte te veranderen ten opzichte van het klimaat in de open lucht/stal. Om dit effect te beperken wordt meestal gekozen om de meetperiode voor boxmethoden zo kort mogelijk (<30 minuten) te houden.
- Ruimtelijk variabiliteit in emissies in de stal is een hoofdbeperking voor de accurate bepaling van emissies met behulp van boxmethoden. Door het meetboxoppervlak te vergroten wordt een deel van deze variatie in de bepaling van de emissies meegenomen. Het nadeel van grote boxen is dat ze moeilijker te hanteren zijn. Een tweede manier om met de ruimtelijk variabiliteit van de emissies om te gaan is om het aantal metingen te vergroten. Dit kan onder andere door meerdere meetboxen te gebruiken. Knelpunt is hier de beschikbaarheid van voldoende meetinstrumenten (als gekozen wordt om tegelijkertijd in verschillende meetpunten (meetboxen) te meten) of de langere meetperiode die nodig is om de metingen uit te voeren (meetbox wordt op verschillende tijdstippen op verschillende plaatsen in de meetruimte geplaatst).
- Voor statische meetboxen is menging van de gassen die geaccumuleerd worden onder de meetbox, ook van belang. Dit kan worden gerealiseerd door de lucht in de meetbox te mengen/recirculeren met behulp van een ventilator. Geen of een geringe menging van lucht kan leiden tot een onderschatting van de emissie (Wheeler et al, 2007).
- Wanneer de meetbox over een roostervloer wordt geplaatst kan er een verschil optreden in de opbouw van de ammoniakconcentratie boven de roostervloer en onder de roostervloer (in de mestkelder). Om een goede inschatting te kunnen maken van de ammoniakemissie bij de statische methode is het belangrijk dat het verloop van de ammoniakconcentratie boven de roosters en onder de roosters gelijk verlopen. Wanneer dit niet het geval is (onvoldoende menging), kan de ammoniakemissie niet bepaald worden door alleen de ammoniakconcentratie in de meetbox te bepalen en zal aanvullend een ammoniakconcentratie in de mestkelder moeten worden gemeten.
- Bij dynamische meetboxen kan het concentratieverschil tussen in- en uitgaande lucht zodanig gering zijn, dat een grote onnauwkeurigheid in de schatting van de emissie ontstaat. Dit zou opgelost kunnen worden door schone lucht van buiten aan te voeren. In rundveestallen is dat echter vaak niet eenvoudig te realiseren.
- Bij de dynamische meetboxen moet het ventilatiedebiet nauwkeurig worden gemeten om de emissie vast te kunnen stellen. Dit kan gerealiseerd worden met een anemometer.

2.2.1 Dynamische boxmeting

Bij dynamische boxmetingen wordt de lucht in de (open) box met buitenlucht of met stallucht ververst. Door middel van een ventilator wordt een luchtstroom met een bepaalde luchtsnelheid over het te meten oppervlak gecreëerd. Ervan uit gaande dat gedurende de meting het ventilatiedebiet en de ammoniakvervluchting vanaf het gemeten oppervlak constant blijven, zal na enige tijd een evenwichtsconcentratie in de meetbox worden bereikt (stabilisatietijd). In de praktijk gebeurt dit na enkele minuten. De netto flux (Q) vanaf het gemeten oppervlak (A) kan dan worden bepaald door het ventilatiedebiet (ϕ) te vermenigvuldigen met het verschil in concentratie tussen uitgaande (C_{uit}) en ingaande (C_{in}) lucht:

$$\frac{dC_{uit}}{dt} = 0 \Rightarrow Q = \frac{\phi \cdot (C_{uit} - C_{in})}{A} \quad (1)$$

2.2.2 Statische boxmeting

Het verschil tussen het statisch meetprincipe en het dynamisch meetprincipe is dat bij het dynamisch meetprincipe steeds verse lucht wordt aangevoerd en bij het statisch meetprincipe de meetbox gesloten is. Bij de dynamische meetmethode wordt vrij snel een evenwichtsconcentratie in de uitgaande lucht bereikt en kan de ammoniakemissie worden berekend met formule 1. Bij de statische meetmethode bouwt de ammoniakconcentratie zich juist op in de meetbox. Op basis van de snelheid waarmee de concentratie zich opbouwt kan de ammoniakemissie worden berekend. Om de emissie Q ($\text{g m}^{-2} \text{uur}^{-1}$) vanaf een vloeroppervlak te bepalen werd gebruik gemaakt van het model van Hutchinson en Mosier (1981), waarbij de emissie aan het begin van de meetperiode wordt berekend:

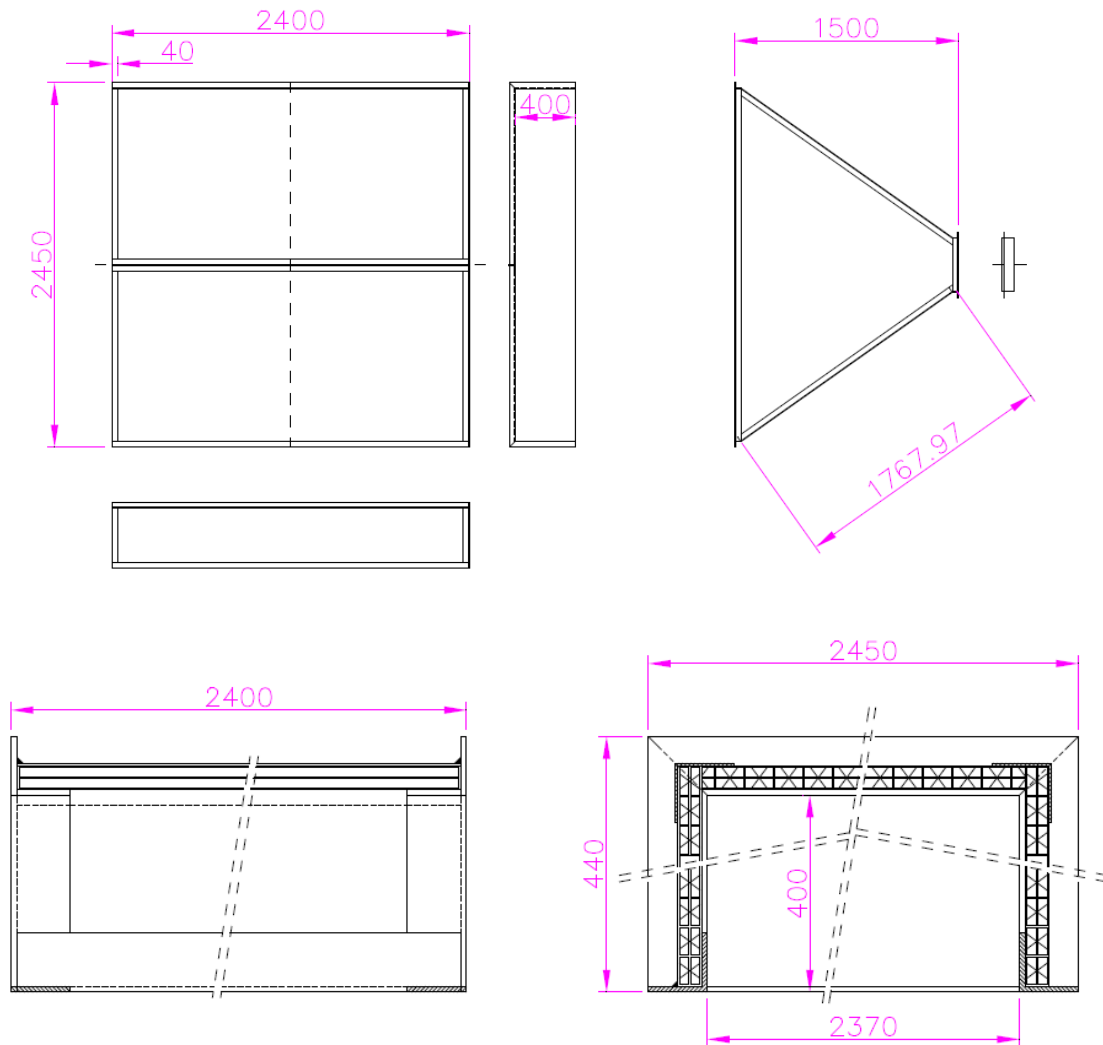
$$Q = \frac{V \cdot (C_1 - C_0)^2}{A \cdot t \cdot (2C_1 - C_2 - C_0)} \cdot \ln\left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1}\right) \quad (2)$$

Met C_0 [g m^{-3}] de concentratie op tijdstip $t = 0$ (plaatsing meetbox), C_1 [g m^{-3}] de concentratie op tijdstip t , C_2 [g m^{-3}] de concentratie op tijd $2 \cdot t$, V [m^3] de inhoud van de box, en A [m^2] de oppervlakte van de meetbox. In dit (non-lineaire) model wordt aangenomen dat de emissie niet constant blijft over de gehele meetperiode, maar afneemt naarmate de gas (NH_3) geaccumuleerd wordt binnen de meetbox.

3 Meetbox voor metingen op vloerniveau

3.1 Ontwerp meetbox

In het onderhavige studie werd de meetbox gebruikt om de emissies van de roostervloer en uit de kelder te bepalen. Zoals eerder aangegeven is onderscheid tussen deze twee bronnen niet mogelijk. De meetbox (figuur 1) had van onderen een open oppervlak van 2,37 x 2,32 m, met een hoogte van 0,40 m (meetoppervlakte: 5,5 m²; inhoud: 2,2 m³). Deze doos kan gebruikt worden volgens het statische (figuur 2a) of dynamische (figuur 2b) principe.



Figuur 1 Schematische tekening van de meetbox. Tekening boven: bovenaanzicht meetbox en trechters; Tekening onder: doorsnede meetbox.

Het ontwerp van de meetbox is gebaseerd op een aantal eisen waaraan voldaan moet worden. Deze eisen betreffen:

1. hanteerbaarheid van de meetbox (afmetingen en gewicht);
2. de ruimtelijke variabiliteit van de ammoniakemissie (afmetingen);
3. het gebruikte materiaal (gewicht);
4. het ventilatiedebiet en de daaraan gekoppelde luchtsnelheid over het emitterend oppervlak (vergelijkbaar met de praktijksituatie).
5. frequent meten (meerdere keren per werkdag) moet mogelijk zijn;
6. het mestoppervlakte onder meetbox moet geïsoleerd kunnen worden van de rest van de kelder;
7. de meetbox moet zowel geschikt zijn voor statische metingen (zonder luchtverversing), als voor dynamische metingen (met luchtverversing).

Op basis van de processen en sleutelfactoren die de vorming en vervluchting van NH₃ kunnen beïnvloeden (Aarnink, 1997; Jun *et al.*, 1999; Monteny, 2000) is de verwachting dat de ruimtelijke variabiliteit van de ammoniakemissie vanuit kelder en roostervloer vrij groot zal zijn. Dit betekent dat de te ontwerpen meetbox een zo groot mogelijke oppervlak zou moeten bestrijken om de variabiliteit te verkleinen. Anderzijds mag de doos ook niet te groot zijn om de hanteerbaarheid te waarborgen bij het verplaatsen. Vanwege deze hanteerbaarheid moet het gebruikte materiaal een laag soortelijk gewicht hebben. Verder zal de doos of delen ervan bij het verplaatsen niet besmeurd mogen worden en mag het materiaal niet aangetast worden of reageren met ammoniak of met andere componenten in de mest.

De breedte van een mestgang is vrij standaard in rundveestallen, aangezien de roosters standaard afmetingen hebben, en bedraagt ca. 2,40 m. Door de meetbox dezelfde breedte te geven wordt de gehele breedte van het mestkanaal afgesloten. De lengte van de meetbox moet dusdanig worden gekozen dat een aantal roosterelementen volledig worden afgedekt. Op deze manier kunnen tussen twee roosterelementen in schotten in de mestkelder worden geplaatst (tot onder mestniveau), waardoor de mestkelder onder het meetoppervlak van de meetbox volledig afgesloten wordt. Als de maten van de mestgang niet standaard zijn, dan heeft dit als consequentie dat de meetbox (deels) aangepast moet worden om de meetruimte onder de roosters onder de meetbox goed afgesloten te krijgen.

Om een goede luchtstroming te waarborgen zal er een geleidelijke overgang gecreëerd moeten worden van de rechthoekige meetbox boven het emitterend oppervlak naar de aan- en afvoerpipen. Dit kan gerealiseerd worden met behulp van trechters. De aan- en afvoertrechters worden verbonden met flexibele slangen. Voor een statische meting wordt zowel de aan- als de afvoerslang verbonden met de ventilator, zodat de lucht wordt gerecirculeerd. Bij een dynamische meting wordt alleen de afvoer- of aanvoerslang gekoppeld aan de ventilator.

De gebruikte ventilator bij de metingen (Fancom FMS 35 met een Fancom FCTA regelaar) had een diameter van 35 cm en een maximaal debiet van 3000 m³ uur⁻¹. Het ventilatiedebiet werd bepaald door aan de ventilator een meetwaaier te koppelen. De meetwaaier werd voorafgaande aan de metingen gekalibreerd. Dit werd gerealiseerd door bij verschillende ventilatie-instellingen van de ventilator de relatie tussen het ventilatiedebiet en het aantal pulsen per seconde van de meetwaaier vast te leggen. De ijklijn van de gebruikte meetwaaier was:

$$\text{Debiet [m}^3 \text{ uur}^{-1}] = 1,89 * \text{Signaal meetwaaier [pulsen/s]} * 60 [\text{s/min}] * 0,25 [\text{ontwentelingen/pulsen}] + 21$$



Figuur 2 Meetbox in de praktijk. Bij een statische meting (links) wordt de lucht gerecirculeerd om een luchtsnelheid over het emitterend oppervlak en een goede verdeling van de ammoniakconcentratie te verkrijgen. Bij een dynamische meting (rechts) wordt stallucht aangevoerd (pijl) en over het emitterend oppervlak onder de doos geleid.

De ammoniakconcentraties in de in- en uitgaande lucht van de meetbox werden semi-continu (één waarde per 1 à 2 minuten) gemeten met behulp van een fotoakoestische monitor (Innova 1312). Bij de dynamische meetbox werd de lucht op ca. 1 m hoogte aangezogen (de aanzuigslang werd op een koebox gelegd). De ingaande lucht werd bemonsterd bij de overgang tussen slang en trechter. De uitgaande lucht werd bemonsterd op ca. 0,5 m voor de ventilator. Bij de statische meetbox werd de concentratie gemeten op ca. 0,5 m na de ventilator. Om de ammoniakconcentraties in de mestkelder te meten werd de lucht bemonsterd op ongeveer 30 cm onder de vloer en ongeveer 40-50 cm van de zijkant.

De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) van de stallucht werden continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensoren was resp. $\pm 1,0$ °C en ± 2 %. De sensor werd naast de meetbox geplaatst.

Temperatuur, relatieve luchtvochtigheid) en de pulsen uit de meetwaaier in de meetbox, zijn elke vijf minuten met een datalogger (Koenders CR-10) vastgelegd.

3.2 Meetstrategie

Voor het bepalen van de meetstrategie werd onderzoek uitgevoerd op het melkveeproefbedrijf de Waiboerhoeve in Lelystad. Het onderzoek is in twee perioden uitgevoerd. In juni/juli 2008 is vooral gekeken naar praktische aspecten van het meten en de vergelijking tussen het statische en het dynamische meetprincipe. In oktober/november 2008 is gekeken naar de herhaalbaarheid van de metingen volgens het dynamisch meetprincipe.

3.2.1 Statisch versus dynamisch

In de eerste meetperiode zijn verschillende metingen uitgevoerd op verschillende vloertypen:

1. Standaard betonnen roostervloer (14 cm balkbreedte, 3,5 cm spleetbreedte);
2. Dichte vloer met profiel in lengte en dwarsrichting (blokkenprofiel); mest werd regelmatig met een mestschuif via de spleten in de vloer in de mestkelder geschoven;
3. Betonnen roostervloer met rubberen mat;
4. Mat&Valve systeem: bij dit systeem zijn de roosters voorzien van een bolvormig, enigszins verende rubberoplaag (mat), de spleten worden afgesloten door flappen (valves) die moeten voorkomen dat kelderlucht in de stal komt, maar die wel mest en urine kunnen doorlaten.
5. Mat systeem: gelijk aan 4, maar zonder de 'Valves'.

Op vloertypes 1 en 2 is het verloop van de ammoniakconcentratie bepaald bij de dynamische meetmethode. Bij alle vloertypen zijn metingen gedaan volgens de statische meetmethode. Bij vloertypen 1, 2 en 3 zijn metingen gedaan volgens de statische meetmethode waarbij naast ammoniakconcentratie metingen in de meetbox tevens concentratiemetingen zijn gedaan in de mestkelder (ca. 30 cm onder de roostervloer). Het ventilatiedebiet was bij alle metingen in de eerste meetperiode ingesteld op $860 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1}$. Dit genereerde een gemiddelde luchtsnelheid in de meetbox van $0,25 \text{ m s}^{-1}$.

3.2.2 Herhaalbaarheid van dynamische metingen

In de tweede meetperiode werd één type vloer gebruikt, namelijk de standaard betonnen roostervloer. Dit om systematische verschillen tussen metingen gerelateerd aan verschillende vloertypen te vermijden.

De luchtsnelheid in de meetbox kan een groot effect hebben op de ammoniakemissie. Om dit te onderzoeken is een test uitgevoerd waarbij onder verschillende instellingen van de ventilator in de meetbox de ammoniakemissie werd bepaald.

Ruimtelijk variabiliteit in de emissie is een belangrijke beperking voor de accurate bepaling van de emissies met boxmethoden. Door een meetbox te gebruiken met een groot meetoppervlak wordt een deel van deze variatie in de bepaling van de emissies meegenomen. Om een nog nauwkeurige

schatting van de emissie te krijgen werd op drie verschillende plaatsen (vloergedeelten) in de stal gemeten.

Emissies kunnen ook binnen een dag en van dag tot dag variëren, door onder andere fluctuaties in het binnenklimaat (zoals temperatuur, lichtsnelheid en luchtbeweging op vloerniveau) en diergebonden factoren (zoals voer- en wateropname, mestgedrag, mestbevuilding). In deze meetperiode is er voor gekozen om gedurende zes dagen op alle drie plaatsen in de stal één keer per dagdeel ('s ochtends en 's middags) te meten. In totaal zijn dus 36 metingen (met dezelfde instellingen van de ventilator in de meetbox) uitgevoerd.

Deze metingen werden in een volledig gelote blokkenproef uitgevoerd. Bij de verwerking van de data is gebruik gemaakt van de 'REML (REsidual Maximum Likelihood) directive' van het statistisch pakket Genstat 11.1, 11^{de} editie. Dit om verschillen in emissie tussen plaatsen in de stal, tussen dagdelen en tussen dagen te analyseren.

3.3 Meetervaringen

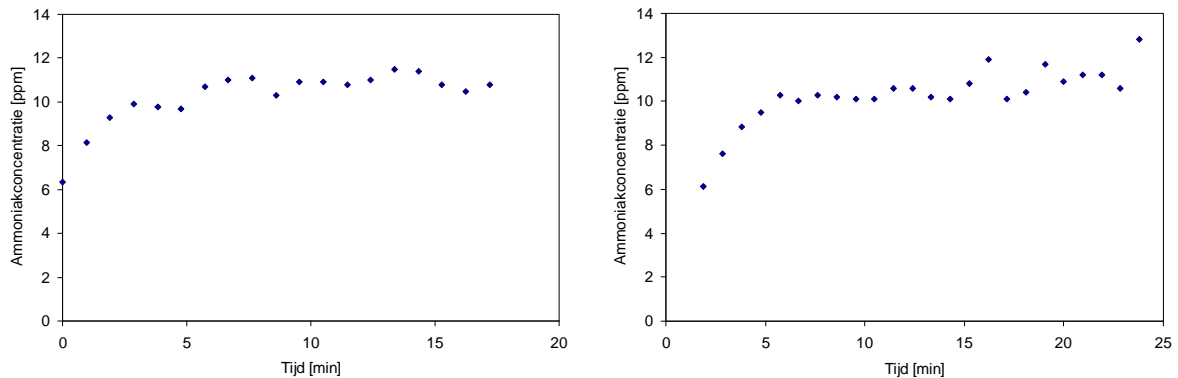
Hieronder volgen enkele ervaringen van de mensen die de metingen hebben uitgevoerd met de meetbox:

- Vervoer meetbox: het vervoer van de meetbox naar locatie moet gebeuren met een gesloten voertuig (vrachtwagen / aanhanger) die tenminste 2,5 m hoog is.
- Hanteren meetbox: de meetbox is qua gewicht goed te hanteren, alleen de afmetingen maken het manoeuvreren niet gemakkelijk. Voor het verplaatsen van de box zijn daarom minstens twee mensen nodig.
- Benodigde tijd per meting: de tijd voor een meting hangt met name af van de tijdsduur per meting en de tijd tussen metingen, die bepaald wordt door de snelheid waarmee de box op een nieuwe plaats gezet kan worden. De tijdsduur tussen twee metingen is minimaal 15 minuten als de meetbox wordt verzet op dezelfde mestgang en de ruimte al is vrij gemaakt voor de meting wordt stopgezet. Dit kan oplopen tot 60 minuten als er op een andere mestgang moet worden gemeten en dieren en/of materiaal eerst van de mestgang moeten worden verwijderd.
- Het afsluiten van de mestkelder met de schotten is goed te realiseren omdat de meetbox de afmeting van een roosterelement heeft en derhalve geen afsluiting ter hoogte van roosterspleten nodig is. Om eventuele verschillen in breedte van een kelder op te vangen is het te overwegen om voor elke meetlocatie nieuwe schotten te maken.

4 Resultaten

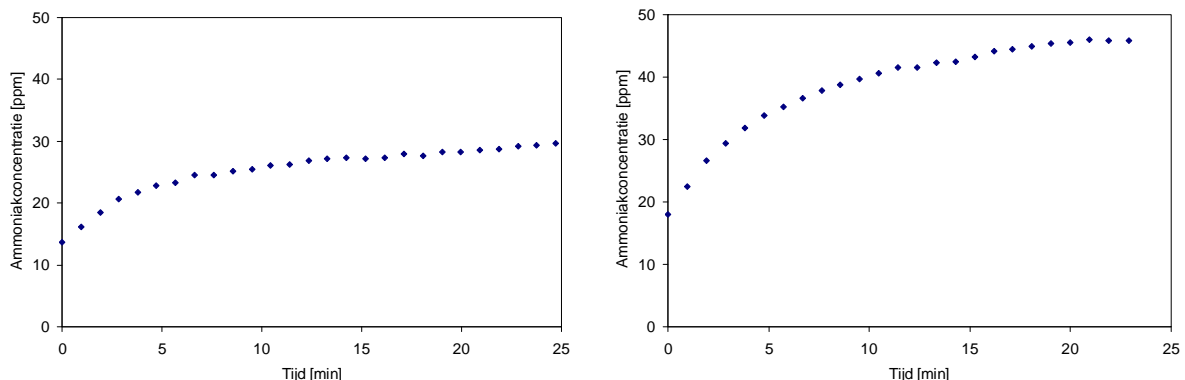
4.1 Boxmethoden: Statisch versus dynamisch

In figuur 3 wordt het verloop van de ammoniakconcentratie in de meetbox getoond bij een dynamische meting aan een standaard roostervloer en bij een dichte vloer met profiel. Uit deze figuren blijkt dat de ammoniakconcentratie snel een evenwicht bereikte. Voor beide vloeren gold dat na ca. 5 minuten het evenwicht zich al had ingesteld. Het volstaat dus ruimschoots om op één plaats ca. 15 minuten te meten. De waarden voordat het evenwicht wordt bereikt (ca. eerste 5 minuten) zijn niet geschikt om emissies te berekenen en worden daardoor niet gebruikt voor het berekenen van de ammoniakemissie.



Figuur 3 Verloop van de ammoniakconcentratie in de meetbox met de dynamische meetmethode. Links: standaard betonnen roostervloer; rechts: dichte vloer met profiel. Ventilatie-instelling: $860 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1}$.

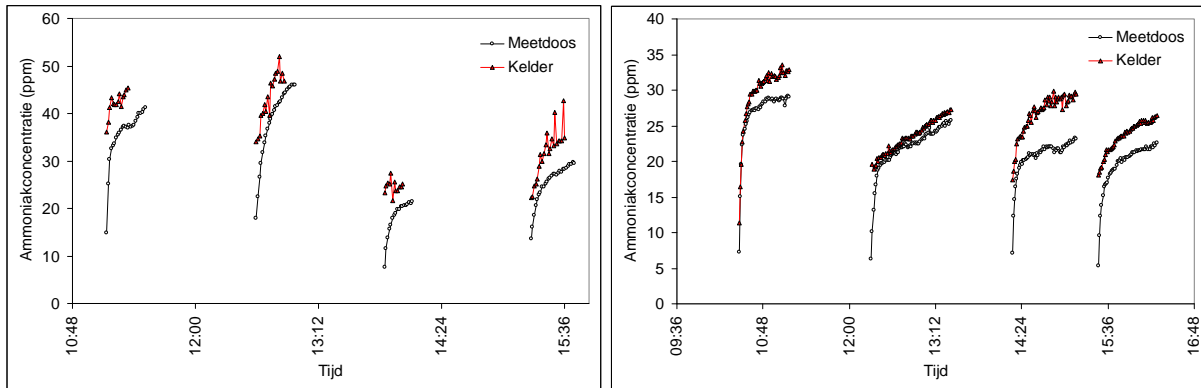
In figuur 4 wordt het verloop van de ammoniakconcentratie in de meetbox getoond bij een statische meting aan een standaard roostervloer en bij een dichte vloer met profiel. Bij de statische meetmethode wordt de ammoniakemissie bepaald uit de toename van de ammoniakconcentratie en de inhoud van de meetruimte (boven en onder het rooster). De inhoud van de meetbox is $2,2 \text{ m}^3$. De inhoud van de mestkelder onder het rooster was ca. $6,0 \text{ m}^3$. Figuur 4 laat zien dat de toename in ammoniakconcentratie in de eerste 3 minuten nadat de box geplaatst is min of meer lineair is, daarna is de toename niet lineair. Dit betekent dat de emissie beïnvloed wordt door de meetbox. Dit heeft als consequentie dat snel gemeten moet worden, en in ieder geval binnen 3 minuten nadat de box geplaatst is, om de emissies zo min mogelijk te beïnvloeden



Figuur 4 Verloop van de ammoniakconcentratie in de meetbox (boven de roosters) bij de statische meetmethode. Links: standaard betonnen roostervloer; rechts: dichte betonvloer met profiel.

Om een goede inschatting te kunnen maken van de ammoniakemissie bij de statische methode is het belangrijk dat het verloop van de ammoniakconcentratie boven de roosters en onder de roosters gelijk verlopen. Van belang hier is de luchtuitwisseling tussen de kelderlucht (onder de roosters) en de stallucht (boven de roosters).

Figuur 5 laat het verloop zien van de ammoniakconcentraties boven de roosters en onder de roosters. De concentraties in de mestkelder waren hoger dan de concentraties boven de roosters. De ammoniakemissie bepaald op basis van het concentratieverloop boven de roosters (gemiddeld over alle metingen $413 \pm 285 \text{ mg m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$; in de recirculatieslang gemeten) lag beduidend hoger dan de emissie bepaald op basis van het concentratieverloop in de mestkelder (gemiddeld over alle metingen $112 \pm 129 \text{ mg m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$; gemeten op ca. 30 cm onder de roostervloer). Er waren geen duidelijke verschillen zichtbaar in het concentratieverloop door het vloertype.



Figuur 5 Verloop van de ammoniakconcentratie boven de roosters en in de mestkelder bij de statische meetmethode bij de volgende vloertypen: betonprofiel (figuur links eerste 2 metingen); betonnen roostervloer (figuur links en rechts laatste 2 metingen); betonnen rooster met rubberen toplaag (figuur rechts eerste 2 metingen). Figuur links: metingen op 14 juli; Figuur rechts: metingen op 18 juli.

Tijdens de eerste meetperiode is een belangrijke tekortkoming van de statische meetmethode naar voren gekomen, namelijk het verschil in opbouw van de ammoniakconcentratie boven de roosters en onder de roosters (mestkelder). Dit betekent dat er een concentratiegradiënt aanwezig is voor ammoniak in de mestkelder. Deze gradiënt (onvoldoende menging) maakt het lastig om de ammoniakconcentratie op een representatieve plek te bemonsteren. Dit geeft een grote onnauwkeurigheid in de schatting van de ammoniakemissie. Daarom kan geconcludeerd worden dat de statische boxmethode minder geschikt is voor metingen op een roostervloer met daaronder een mestkelder. Deze aspecten spelen geen rol op een dichte vloer.

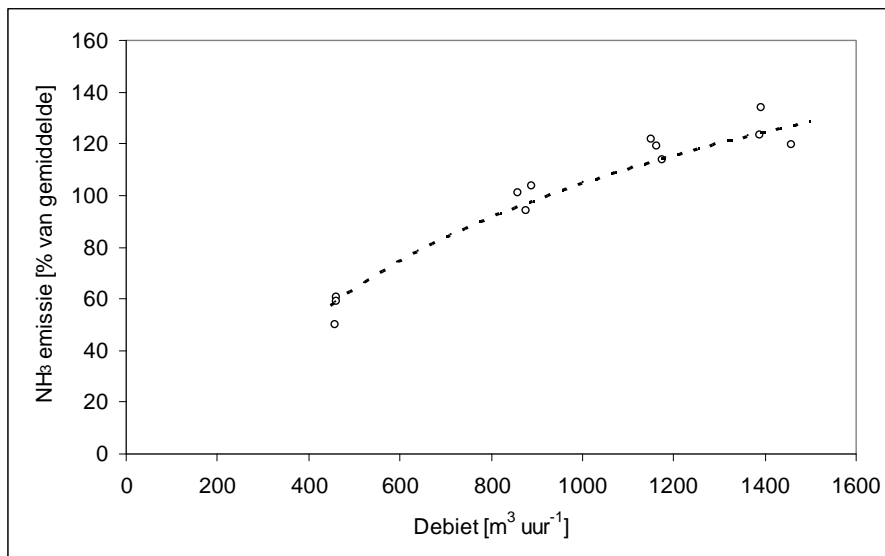
Het mogelijke nadeel van de dynamische meetmethode dat het concentratieverschil tussen in- en uitgaande lucht mogelijk te klein is om een goede schatting van de ammoniakemissie te maken werd niet bevestigd door de metingen. Bij de metingen in deze meetperiode werd een verschil in ammoniakconcentratie tussen uitgaande en ingaande lucht gemeten van ca. 4 ppm.

Op basis van deze bevindingen is besloten om tijdens de tweede meetperiode alleen volgens het dynamisch meetprincipe te meten.

4.2 Herhaalbaarheid metingen met dynamisch meetbox

4.2.1 Ventilatie-instellingen meetbox

Ammoniakemissies kunnen door verschillende factoren worden beïnvloed, onder andere door de luchtsnelheid over het emitterend oppervlak. Om de relatie tussen ammoniakemissies en luchtsnelheid in de meetbox te onderzoeken werd het debiet van de ventilator in de meetbox op vier verschillende niveaus ingesteld: 15, 30, 40 en 50% van de maximale capaciteit van de ventilator. Per meetpunt en ventilatieniveau werd een meting uitgevoerd. Op basis van deze metingen (3 meetpunten keer 4 niveaus = 12 metingen) bleek dat deze relatie niet lineair was (figuur 6). In deze meetperiode is er voor gekozen om het laagste niveau (15% ofwel 450 m³/uur) toe te passen. Dit resulteert in een luchtsnelheid over de roosters van 0,13 m s⁻¹, wat overeen komt met praktijksituaties (Smits, persoonlijke mededeling). De variatie in ventilatiedebiet voor een bepaalde instelling bleef binnen 2% van het gekozen niveau.



Figuur 6 Relatie tussen de ammoniakemissie en het ingestelde debiet van de ventilator in de meetbox

4.2.2 Variatie in emissies door ruimte en tijd

Alle metingen zijn in de periode van 14 tot en met 23 oktober uitgevoerd. Dit om variaties in emissies die gerelateerd zijn aan veranderingen in stalklimaat omstandigheden zo beperkt mogelijk te houden. Deze omstandigheden waren echter significant verschillend tussen meetdagen, zoals in tabel 1 weergegeven. Deze verschillen kunnen niet worden verklaard door verschillen tussen plaatsen in de stal of per dagdeel (tabel 2). Ammoniakemissies toonden ook significante verschillen tussen meetdagen (tabel 1). Er is geen significant verschil gevonden tussen emissies op dagdeelniveau ('s ochtends of 's middags; tabel 2).

Tabel 1 Gemiddelde klimaatomstandigheden en ammoniakemissies voor alle meetdagen. Significante verschillen ($P < 0,05$) tussen meetdagen worden aangegeven door verschillende superscripts.

Datum	T [°C]	RV [%]	NH ₃ [mg m ⁻² uur ⁻¹]
14/10/2008	17,7 ^c	64,8 ^a	450 ^{a,b}
16/10/2008	13,9 ^{a,b}	73,8 ^b	377 ^{a,b,c}
17/10/2008	15,7 ^b	65,2 ^a	498 ^a
21/10/2008	13,2 ^a	78,1 ^b	322 ^{b,c}
22/10/2008	13,4 ^a	66,3 ^a	439 ^{a,b,c}
23/10/2008	13,8 ^{a,b}	74,1 ^b	310 ^c
s.e.d	0,9	4,1	67

Tabel 2 Verschillen in ammoniakemissies en stalklimaat per meetpunt en dagdeel. Significante verschillen ($P < 0,05$) tussen plaatsen in de stal of dagdelen worden aangegeven door verschillende superscripts.

			Gemiddelde \pm s.e.d		
		n	T [$^{\circ}$ C]	RV [%]	NH ₃ [mg m ⁻² uur ⁻¹]
Plaats in de stal	1	12	14,8 \pm 0,9 ^a	71,0 \pm 3,1 ^a	290 \pm 44 ^a
	2	12	14,4 \pm 0,9 ^a	69,6 \pm 3,1 ^a	435 \pm 44 ^b
	3	12	14,4 \pm 0,9 ^a	70,5 \pm 3,1 ^a	396 \pm 44 ^b
Dagdeel	Ochtend	18	13,9 \pm 0,7 ^a	74,4 \pm 2,6 ^a	376 \pm 36 ^a
	Middag	18	15,1 \pm 0,7 ^a	66,4 \pm 2,6 ^b	371 \pm 44 ^a

5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de resultaten uit deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Boxmethoden kunnen worden gebruikt om relatieve verschillen in ammoniakemissie tussen verschillende vloertypen te bepalen ten opzichte van een in de stal aanwezige referentievloer.
- Boxmethoden kunnen de ammoniakemissies vanaf de roostervloer en uit de mestkelder bepalen. Het is niet mogelijk om deze twee bronnen te onderscheiden.
- De statische meetmethode is niet geschikt voor metingen aan roostervloeren met mestkelders, aangezien het concentratieverloop boven de roosters en onder de roosters niet gelijk is. In dit geval kan de emissie niet worden bepaald door alleen de ammoniakconcentratie boven de roosters te meten, en zal aanvullend een ammoniakconcentratie in de mestkelder (onder de roosters) moeten worden gemeten.
- De dynamische boxmethode geeft een betere benadering van de praktijksituatie ten opzichte van de statische boxmethode. Uit de metingen bleek dat het concentratieverschil tussen uitgaande en ingaande lucht van de meetbox voldoende groot was om de ammoniakemissie vanaf het bemeten vloeroppervlak nauwkeurig in te kunnen schatten.
- Significante verschillen werden gevonden tussen emissiemetingen in verschillende plaatsen in de stal. Dit was ook de verwachting, aangezien de emissies over het algemeen een grote ruimtelijke variatie tonen als gevolg van onder andere verschillen in bevuilding van de verschillende oppervlakken (verschillen in hoeveelheid urine en verschillen in 'leeftijd' van urineplassen) en stalklimaat (bijvoorbeeld luchtsnelheid over de vloer en temperatuur).
- Emissies tussen verschillende meetdagen waren ook significant.
- Er zijn geen significante verschillen gevonden in ammoniakemissies op dagdeelniveau (ochtend vs. middag).

Dit geeft aan dat, om een goede inschatting te maken van de verschillen in ammoniakemissie tussen vloeren, metingen moeten worden uitgevoerd op verschillende plaatsen in de stal (ruimtelijke variatie). Het wordt ook geadviseerd om de metingen gedurende een aantal dagen te herhalen, bij voorkeur bij verschillende klimaatsomstandigheden.

Het wordt aanbevolen te onderzoeken of er een interactie is tussen het effect van stalklimaat (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, luchtsnelheid boven de roosters) en het effect van vloertype op de ammoniakemissie.

De emissies op vloerniveau kunnen op dit moment niet opgeschaald worden naar emissies op stalniveau, en daarom niet vergeleken worden met de huidige emissiefactoren. Voor dit doel is het nader onderzoek nodig, met gelijktijdige metingen op vloer- en stalniveau.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A. (1997) Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5406-151-0.
- Aarnink, A.J.A., M.J.M. Wagemans en A.G.C. Beurskens (2002). Ontwikkeling procedure voor meten lokale ammoniakemissie in biologische varkensstallen. Wageningen IMAG Nota P2002-54.
- Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol, A.G.C. Beurskens en M.J.M. Wagemans (2004). Ammoniakemissie en mineralenbelasting op de uitloop van leghennen. Wageningen A&F Rapport 337.
- Boheemen, L.M. van (2006). Haalbaarheidstudie van biomassavergisting in de glastuinbouw, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Naaldwijk.
- EU (2001). Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Official Journal L 309, 27/11/2001, pp. 22-30
- Hofschreuder, P., J. Mosquera, J.M.G. Hol en N. Ogink (2003). Ontwerp van nieuwe meetprotocollen voor het meten van gasvormige emissies in de landbouw. Wageningen, A&F report 008.
- Huis in 't Veld, J.W.H., G.J. Monteny en R. Scholtens (2001). Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII; Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee; zomerperiode. Wageningen, IMAG Rapport 2001-03.
- Hutchinson, G.L., en A.R. Mosier, Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. Soil sci. Soc. Am. J., 1981. **45**: p. 311-316.
- Infomil (2008a). Koninklijk Besluit inwerkingtreding Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij, inclusief wijziging. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 2008, nr. 93. www.infomil.nl.
- Infomil (2008b). Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). www.infomil.nl.
- Ivanova-Peneva, S.G., A.J.A. Aarnink, and M.W.A. Verstegen (2006) , Ammonia and mineral losses on Dutch organic farms with pregnant sows. Biosystems Engineering **93**(2), 221-235.
- Jun, P., M. Gibbs en K. Gaffney (1999). Methane and nitrous oxide emissions from livestock manure. Background report for expert group meeting on good practice in inventory preparation for agricultural sources of methane and nitrous oxide. 24-26 February 1999, Wageningen.
- Kant, P.P.H., M.C. Verboon & J.W.H. Huis in 't Veld, Ammoniak-emissiemetingen met de Lindvalldoos (Inventarisatie van de metingen op de Waiboerhoeve in 1989-1991), Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad, 1992.
- Kroodsmma, W., J.W.H. Huis in 't Veld, and R. Scholtens, Ammonia emission and its reduction from cubicle houses with flushing. Livestock Production Science 35, p. 293-302, 1993.
- Lindvall, T.O.N. and L. Thyselius, Odor reduction for liquid manure systems. Trans. ASAE: 508-512, 1974.
- MNP (2005). Milieucompendium 2005: Milieu en Natuur in cijfers.
- Monteny, G.J. (2000). Modelling of ammonia emissions from Dairy cow houses. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5808-348-9.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. van 't Klooster, N. Ogink, D. Swierstra en N. Verdoes (2002). Meetmethode gasvormige emissies uit de veehouderij. Wageningen, IMAG rapport 2002-12.
- Mosquera, J., G.J. Monteny en J.W. Erisman (2005). Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal houses: the case of the Netherlands. Environmental Pollution 135, 381-388.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol en J.W.H. Huis in 't Veld (2008). Meetmethode voor ammoniakemissiemetingen uit stallen met uitloop. ASG Rapport 100.
- Ouwerkerk, E.N.J. van, (ed) (1993). Meetmethode NH₃-emissies uit stallen, Werkgroep 'Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen'. Wageningen, DLO, Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij nr. 16.
- Pedersen, S., et al., A comparison of three balance methods for calculating ventilation rates in livestock buildings. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998. **70**(1): p. 25-37.
- Sliggers, J. (Ed) (2001). Op weg naar duurzame niveaus voor gezondheid en natuur. Overzichtspublicatie thema verzuring en grootschalige luchtverontreiniging. Rapport VROM 010344/h/10-01 17529/187, Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Den Haag, oktober 2001, 229 pp.
- Snell, H.G.J., F. Seipelt & H.F.A. Van den Weghe, Ventilation Rates and Gaseous Emissions from Naturally Ventilated Dairy Houses. Biosystems Engineering, 2003. **86**(1): p. 67-73.
- VROM (2001). National Environmental Policy Plan-4. VROM, The Hague, the Netherlands.

- Wheeler, E.F., P.A. Topper, and T.L. Richard. Validation of Flux Chamber Technique for Estimating Gas Emission in Situ from Naturally-Ventilated Facilities. in International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 16-19 September 2007, Broomfield, Colorado, ASABE Publication Number 701P0907cd. 2007.
- Zhang, G., et al., Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosystems Engineering*, 2005. **92**(3): p. 355-364.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl