

Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 100

Meetmethode voor ammoniakemissiemetingen
uit stallen met uitloop

Januari 2008



ANIMAL SCIENCES GROUP

WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group van Wageningen UR
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail Info.veehouderij.ASG@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Liability

Animal Sciences Group does not accept any liability for damages, if any, arising from the use of the results of this study or the application of the recommendations.

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 summarizes the results of ammonia emission measurements performed to investigate the potential of a number of methods to measure the ammonia emission from barns with outdoor yards. The tracer gas ratio method is suitable for "closed" outdoor yards, but not for open outdoor yards. Static and dynamic chambers are both suitable for measurements in closed and open outdoor yards. Similar results were obtained with both types of chambers. The yearly averaged ammonia emission from the outdoor yard was in this study lower than from the barn (4,0 kg animal place⁻¹ per year for the barn, 3,2-3,4 kg animal place⁻¹ per year for the outdoor yard).

Keywords: outdoor yard, ammonia, emission, tracer gas, static chamber, dynamic chamber

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs: J. Mosquera, J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld

Titel: TMeetmethode voor ammoniakemissiemetingen uit stallen met uitloopT
Rapport 100

Samenvatting

In dit rapport worden resultaten gepresenteerd van emissiemetingen die uitgevoerd waren om te onderzoeken welke methoden toegepast zou kunnen worden om de ammoniakemissie van stallen met buitenuitloop nauwkeurig te kunnen meten. De tracergas ratiomethode kan in principe toegepast worden voor "afgedekte uitlopen", maar is niet geschikt voor "open uitlopen". Statische en dynamische box methoden kunnen zowel voor "afgedekte" als voor "open uitlopen" worden toegepast. Vergelijkbare ammoniakemissies werden gemeten met beide box methoden (statisch en dynamisch) voor zowel afgedekte als open uitlopen. De ammoniakemissie uit de uitloop was in deze studie op jaarbasis lager dan de emissie uit de afdeling (4,0 kg dierplaats⁻¹ per jaar voor de afdeling, 3,2-3,4 kg dierplaats⁻¹ per jaar voor de uitloop).

Trefwoorden: uitloop, ammoniakemissie, tracergas, box methoden



Rapport 100

Meetmethode voor ammoniakemissiemetingen uit stallen met uitloop

Measurement method for ammonia emissions from animal houses with an outdoor yard

J. Mosquera

J.M.G. Hol

J.W.H. Huis in 't Veld

Januari 2008

Voorwoord

Het ministerie van LNV heeft de Animal Sciences Group van Wageningen UR opdracht gegeven om te inventariseren welke methoden toegepast zou kunnen worden om de ammoniakemissie van stallen met buitenuitloop nauwkeurig te kunnen meten. Dit rapport bevat de belangrijkste bevindingen en conclusies uit deze studie.

Samenvatting

De bepaling van de emissie uit stallen met uitloop is meettechnisch een complex gebied door de nabijheid van de stal als bron, het onregelmatig bemesten van het veld en de obstakelstroming rond de stal. In dit rapport worden resultaten gepresenteerd van emissiemetingen die uitgevoerd waren om te onderzoeken welke methoden toegepast zou kunnen worden om de ammoniakemissie van stallen met buitenuitloop nauwkeurig te kunnen meten.

Uit de voorafgaande literatuurstudie werden 3 meetmethoden geselecteerd te weten: tracergas ratiomethode, statische boxmethode en dynamische boxmethode. Door middel van een testmeting in een afdeling met een gesimuleerde NH_3 -bron werden de meetmethoden vergeleken met een referentie (emissiemeting in een ventilatiekoker). Geconcludeerd werd dat alle 3 de meetmethoden voldoende vergelijkbaar waren met de referentie.

Het tweede deel van de metingen bestond uit toepassing van de meetmethoden onder praktijkomstandigheden. Hiervoor werden metingen uitgevoerd aan een uitloop die in eerste instantie afgedekt was, dit wil zeggen dak erop en de buitenwanden voorzien van een muur (ca 1 m) en daarboven windbreekgas (2 - 2,5 m). In tweede instantie werd het windbreekgas verwijderd en ontstond er een open uitloop.

De tracergas ratiomethode kan in principe toegepast worden voor "afgedekte uitlopen", maar is niet geschikt voor "open uitlopen". Statische boxmethoden kunnen zowel voor "afgedekte" als voor "open uitlopen" worden toegepast, hoewel snelle metingen moeten worden uitgevoerd om het effect van het plaatsen van de fluxkamer op de emissiepatroon te beperken. Dynamische boxmethoden kunnen ook toegepast worden om de emissies van zowel "afgedekte" als "open uitlopen" te meten. Vergelijkbare ammoniakemissies werden gemeten met beide boxmethoden (statisch en dynamisch) voor zowel afgedekte als open uitlopen. De ammoniakemissie uit de uitloop was in deze studie op jaarbasis lager dan de emissie uit de afdeling (4,0 kg dierplaats⁻¹ per jaar voor de afdeling, 3,2-3,4 kg dierplaats⁻¹ per jaar voor de uitloop).

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

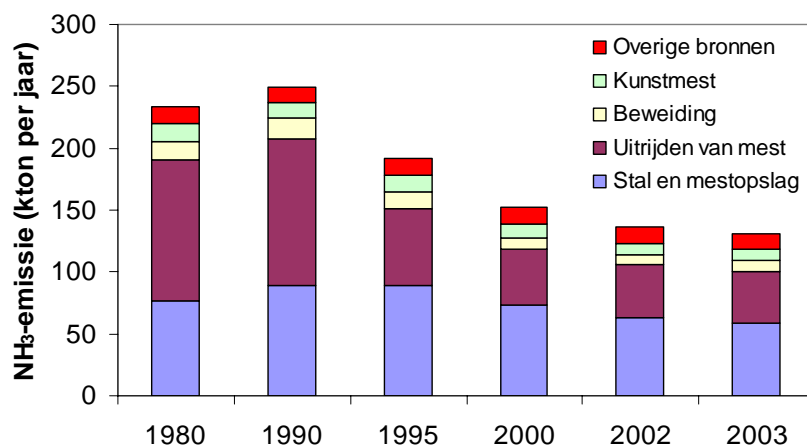
1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Doelstelling.....	1
1.3	Hoofdstukwijzer.....	2
2	Materiaal en methoden	3
2.1	Inventarisatie meetmethoden.....	3
2.1.1	Tracergas ratiomethode	3
2.1.2	Boxmethoden	4
2.2	Testperiode	5
2.3	Toepassing in de praktijk	8
3	Resultaten en discussie	11
3.1	Testperiode	11
3.1.1	Intern tracergas ratiomethode.....	11
3.1.2	Boxmethoden	12
3.2	Praktijkmetingen.....	14
3.2.1	Afgedekte uitloop.....	15
3.2.2	Open uitloop.....	17
3.2.3	Vergelijking emissies uitloop en afdeling.....	18
4	Conclusies en aanbevelingen	19
	Literatuur	20

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De landbouw is de belangrijkste bron van ammoniakemissies (NH₃) in Nederland. De uitstoot van NH₃ resulteert in een aantal milieuproblemen, zoals verzuring, vermisting, vervuiling van grond- en oppervlaktewateren, en afname van de biodiversiteit van de natuur (van Dam *et al.*, 1986; Binkley en Richter, 1987; Heil en Bruggink, 1987; van Breemen en van Dijk, 1988; Schulze *et al.*, 1989; Heij en Schneider, 1991; Bobbink *et al.*, 1992). In 2003 droeg de landbouw voor 91% bij aan de nationale uitstoot van NH₃ (MNP, 2005). De meeste emissie vindt plaats vanuit bronnen uit stallen en bij het aanwenden van mest, samen verantwoordelijk voor 80% van de totale uitstoot (figuur 1). 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). Om natuurgebieden te beschermen heeft de Nederlandse overheid voor 2010 tot doel gesteld de ammoniakemissie tot 100 kton te reduceren (VROM, 2001). De bijdrage van de landbouw aan de NH₃ emissie moet dan gedaald zijn tot 86 kton (Sliggers, 2001).

Figuur 1 NH₃ emissies in Nederland. Bron: MNP (2005)



Om de tot doel gestelde emissiereductie te kunnen realiseren is het van belang alle bronnen goed te kwantificeren. In Nederland zijn meetprotocollen ontwikkeld (Anonymous, 1996; Ogink *et al.*, 2007) om de uitstoot van NH₃ uit stallen te bepalen. Het betreft hier voornamelijk de bepaling van emissies uit gebouwen met een gerichte uitlaat van lucht (mechanisch geventileerde stallen), en gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerde stallen met kleine inlaat- en uitlaatopeningen). Deze protocollen zijn echter niet toepasbaar voor het meten van NH₃ emissies uit stallen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht. De bepaling van de emissie van de uitloop is meettechnisch een complex gebied door de nabijheid van de stal als bron, het onregelmatig bemesten van het veld en de obstakelstroming rond de stal.

Gezien de ontwikkelingen in de veehouderij, die aansluiten bij de wensen van de consument naar meer milieuvriendelijke en welzijnsvriendelijke huisvestingsystemen, is het gewenst om betrouwbare meetgegevens te verkrijgen van de NH₃ emissie van stallen met buitenuitlopen. Het betreft hier uitlopen van stallen voor de intensieve veehouderij, met name leghennen, zeugen en vleesvarkens.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is om te komen tot een betrouwbare meetmethode voor het meten van de ammoniakemissie van stallen met buitenuitloop. Dit wordt gerealiseerd door eerst een literatuurstudie uit te voeren om te inventariseren welke methoden (nationaal en/of internationaal) worden gebruikt om de NH₃ emissies van stallen met uitloop te meten. De selectie van de meetmethoden is erop gericht om de meettechnische problemen rondom de luchtbeweging in de uitloop op te lossen. De meest veelbelovende methoden worden uitgekozen en op basis van hun eigenschappen en emissiemetingen met elkaar vergeleken.

1.3 Hoofdstukwijzer

In hoofdstuk 2 worden op een rij gezet alle beschikbare meetmethoden die (nationaal en/of internationaal) worden gebruikt om NH₃ emissies uit buitenuitlopen te bepalen. De geselecteerde methoden worden met elkaar vergeleken op basis van hun eigenschappen. Daarnaast worden emissiemetingen uitgevoerd (1. onder gecontroleerde omstandigheden, en 2. in de praktijk), en de meetresultaten in hoofdstuk 3 beschreven en gediscussieerd. Tenslotte, in hoofdstuk 4 worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen aangegeven.

2 Materiaal en methoden

2.1 Inventarisatie meetmethoden

Het aantal studies met als doel de emissie van NH₃ uit buitenuitlopen te bepalen, is vrij beperkt. Uit deze studies kwamen een aantal meetmethoden naar voren (tabel 1). Deze methoden worden hieronder kort beschreven, en de belangrijkste voor- en nadelen toegelicht.

Tabel 1 Beschikbare meetmethoden voor NH₃ emissiemetingen bij buitenuitlopen

Techniek	Literatuur	Diersoort	Land
Tracergas ratiomethode	Keck <i>et al.</i> (2004)	Varkens (vleesvarkens)	Zwitserland
	Van Wagenberg <i>et al.</i> (2004)	Varkens (vleesvarkens)	Nederland
Boxmethoden			
- Dynamische (open) kamers	Aarnink <i>et al.</i> (2006)	Pluimvee (legghennen)	Nederland
	Aarnink <i>et al.</i> (2005)	Varkens (vleesvarkens)	Nederland
	Airoldi <i>et al.</i> (2000)	Melkvee	Italië
	Balsari <i>et al.</i> (2002)	Melkvee	Italië
	Ivanova-Peneva <i>et al.</i> (2006)	Varkens (dragende zeugen)	Nederland
	Keck (1997)	Melkvee	Zwitserland
	Misselbrook <i>et al.</i> (1998)	Melkvee	VK
- Statische (gesloten) kamers	Ellis <i>et al.</i> (2001)	Melkvee	VK
	Misselbrook <i>et al.</i> (2001)	Melkvee	VK
	Misselbrook <i>et al.</i> (2006)	Melkvee	VK
	Webb <i>et al.</i> (2001)	Melkvee	VK

2.1.1 Tracergas ratiomethode

Meetprincipe

De tracergas ratiomethode (Ouwerkerk, 1993; Huis in 't Veld *et al.*, 2001; Mosquera *et al.*, 2002) is gebaseerd op de wet van behoud van massa. In de meetruimte wordt met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF₆-gas en droge perslucht met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel wordt door een leiding met speciaal ontworpen injectiepunten in de meetruimte gebracht. In ieder injectiepunt is een orifice (plaatje met zeer kleine doorstroombopening) geplaatst. Het tracergas wordt gelijkmatig over alle 9-10 injectiepunten en over de gehele oppervlakte van de meetruimte verdeeld. Om een representatief monster van de lucht in de meetruimte te nemen wordt een verzamelleiding met 9-10 monsternamenpunten verdeeld over de gehele meetruimte geplaatst.

Aangenomen wordt 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. Onder deze aanname is uit de gemeten tracergas injectiehoeveelheid (Q_{tracer}) en de concentraties van het tracergas (C_{tracer}) en de te meten gas (C_{gas}), de emissie (E_{gas}) van het te meten gas terug te vinden als

$$E_{\text{gas}} = \frac{C_{\text{gas}}}{C_{\text{tracer}}} \cdot Q_{\text{tracer}}$$

Zwavelhexafluoride (SF₆) is het meest gebruikte tracergas. SF₆ is inert, heeft een lage achtergrondconcentratie (ppt) en daardoor kan makkelijk gemeten worden. Andere factoren die maken SF₆ het ideale tracergas zijn:

- niet toxisch, niet radioactief, kleurloos, geurloos en smaakloos;
- niet ontvlambaar en niet corrosief;
- gasvormig onder kamertemperatuur omstandigheden;
- chemisch inert en thermisch stabiel voor atmosferische omstandigheden;
- geschikt om vrij snel en onder controle te injecteren van punt- en oppervlaktebronnen;
- bemonstering mogelijk met verschillende technieken;
- commercieel beschikbaar.

Voordelen en nadelen

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 niet gemengd is met de pluim van andere bronnen.
- Het tracergas moet dicht bij de emissiebron vrijgelaten worden.
- Het tracergas en het te meten gas moeten goed gemengd worden. SF₆ heeft een zeer hoog moleculegewicht, waardoor een geïnjecteerde gasstroom met puur SF₆ een hogere dichtheid heeft dan de omgevende lucht. Dit maakt menging in de stal een probleem. Bij sterk voorverdunde injectiestromen speelt dit probleem niet.
- Om te voorkomen dat SF₆ in de injectie- en monsternamelingen geabsorbeerd wordt, moeten polyethyleen (PE) leidingen worden gebruikt.
- De concentratie van het tracergas moet voldoende hoog zijn om een onderscheid te maken t.o.v. de achtergrondconcentraties. Het broeikasgaseffect van SF₆ is groot in vergelijken met andere gassen. Maar laag SF₆ concentraties kunnen gemeten worden, dus kleine hoeveelheden SF₆ kunnen worden geïnjecteerd.

2.1.2 Boxmethoden

Meetprincipe

Boxmethoden (fluxkamers) gebruiken de wet van behoud van massa om de emissies van de gemeten gassen uit een specifieke meetoppervlakte te bepalen:

$$V \cdot \frac{dC_i}{dt} = -\phi \cdot (C_i - C_e) + Q \cdot A \quad (1)$$

Met V [m³] de volume van de fluxkamer, C_i [g m⁻³] de gasconcentratie binnen de fluxkamer, C_e [g m⁻³] de gasconcentratie in de buitenlucht, Φ [m³ uur⁻¹] het ventilatiedebiet of lekkage, Q [g m⁻² uur⁻¹] de gasemissie en A [m²] de oppervlakte van de fluxkamer.

Bij statische boxmetingen wordt een box neergezet en worden er met tijdintervallen luchtmonsters (uit de box) genomen. In sommige gevallen wordt de lucht in de box gerecirculeerd met behulp van een kleine ventilator, om een betere menging van de gassen in de box te garanderen. Om de emissie Q (g m⁻² uur⁻¹) uit de bemeste oppervlakte te bepalen wordt 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 C₀ [g m⁻³] de concentratie op tijd nul (plaatsing fluxkamer), C₁ [g m⁻³] de concentratie op tijd t, C₂ [g m⁻³] de concentratie op tijd 2*t, V [m³] de inhoud van de kamer, en A [m²] de oppervlakte van de kamer. In dit (non-lineair) model wordt aangenomen dat de emissie niet constant blijft over de gehele meetperiode, maar neemt af naarmate de gas (NH₃) geaccumuleerd wordt binnen de fluxkamer.

In deze studie werden twee verschillende statische fluxkamers gebruikt. Het verschil tussen beide fluxkamers lag in de grote (oppervlakte en inhoud) van de fluxkamers:

1. Grote fluxkamer, met een oppervlakte van 4,5 m² en een inhoud van 2,2 m³
2. Kleine fluxkamers, met een oppervlakte van 0,03 m² en een inhoud van 0,006 m³

Beide fluxkamers zijn afkomstig van veldmetingen waarbij gebruik wordt gemaakt van frames die in de grond worden geplaatst om lekkages te voorkomen. Aangezien dit bij een verharde ondergrond niet mogelijk is werd onder alle fluxkamers een rubberen rand geplaatst. Er werd één grote fluxkamer en drie kleine fluxkamers gebruikt. Om de NH₃-concentratie in de fluxkamers te monitoren werd een fotoakoestische monitor (Innova 1312) via een slang met de fluxkamer verbonden. Voor de grote fluxkamer werd de NH₃-concentratie semicontinu (1 keer per 2 minuten) gedurende de gehele meetperiode (ongeveer 20 minuten) gemeten. Voor de drie kleine fluxkamers werd de slang van die ene fluxkamer na de andere, zodat elke 10 minuten één meting per fluxkamer uitgevoerd kon worden (totaal 3 metingen per fluxkamer: 0, 10 en 20 minuten na het plaatsen van de fluxkamer).

Bij dynamische boxmetingen wordt de lucht in de (open) box kunstmatig ververst. Wanneer het ventilatie-debiet en de emissie constant blijven zal na enkele tijd (stabilisatietijd) een evenwichtsconcentratie in de fluxkamer worden bereikt:

$$\frac{dC_i}{dt} = 0 \Rightarrow Q = \frac{\phi \cdot (C_i - C_e)}{A} \quad (4)$$

Bij deze systemen worden de concentraties van het gas aan de ingang en de uitgang van de box gemeten, evenals het ventilatie-debiet. Het product van het ventilatie-debiet en het concentratieverschil tussen uitgang en ingang geeft de netto flux uit de gemeten oppervlakte.

De doos in deze studie had van onderen een open oppervlak van 0,50 x 0,80 m, met een hoogte van 0,28 m (0,25 m dooshoogte + 0,03 m hoogte van de rubberen rand die geplaatst werd om lekkages te voorkomen). Een voldoende aanstroombuurlengte van de lucht en gelijkrichters van de lucht in de bocht naar het emitterend oppervlak zorgen voor een gelijkmatige verdeling van de lucht over de meetdoos. De in- en uitgaande lucht worden continu gemeten. Aarnink *et al.* (2002) vonden een stabiele ammoniakconcentratie in de meetdoos na gemiddeld 2,1 +/- 0,3 minuten.

Door middel van een aan- en afvoerventilator wordt een luchtstroom (170 - 190 m³ uur⁻¹) met een lage snelheid over het te meten oppervlak gestuurd (0,3 - 0,4 m s⁻¹). Er werd een aan- en afvoerventilator gebruikt om een gelijkdruk te creëren in de meetdoos om op die manier leklucht zoveel mogelijk te voorkomen. Na een korte periode (~2 - 3 min) waarin het evenwicht boven het te meten oppervlak werd ingesteld werden de metingen gestart. De ingaande en uitgaande lucht van de meetdoos werden bemonsterd voor NH₃. Dit werd gerealiseerd door een vaste luchtstroom (1 l min⁻¹) gedurende een vaste korte periode (20 min) door een kleine denuder te leiden. De denuder is een glazen buis van ca. 10 cm lengte en 0,5 cm doorsnede die gecoat werd met oxaalzuur (2,5 g in 100 ml alcohol). NH₃ dat door deze denuders werd geleid blijft achter in de coating. Het principe van een denuder staat beschreven in Mosquera *et al.* (2002). De denuders werden daarna op het chemische laboratorium van AFSG geanalyseerd.

Voordelen en nadelen

Boxmethoden zijn goedkoop en eenvoudig te gebruiken, maar kunnen de emissieprocessen beïnvloeden door de klimaatomstandigheden binnen de gemeten ruimte te veranderen ten opzichte van het klimaat in de open lucht. Om dit te beperken wordt meestal gekozen om de meetperiode voor fluxkamers zo kort mogelijk (20 minuten) te houden.

Om lekkages te voorkomen werd een rubberen rand onder elke fluxkamer geplaatst.

Ruimtelijk variabiliteit is een hoofdbeperking voor de accurate bepaling van de emissies. Door het kameroppervlak te vergroten wordt een deel van deze variatie in de bepaling van de emissies meegenomen. Dit levert een nauwkeurige schatting van de emissie, maar maakt de fluxkamer moeilijker te gebruiken. 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 fluxkamers te gebruiken. Knelpunt is hier de beschikbaarheid van voldoende meetinstrumenten (als gekozen wordt om tegelijkertijd in verschillende meetpunten (fluxkamers) te meten) of de langere meetperiode die nodig is om de metingen uit te voeren (fluxkamer wordt op verschillende tijdstippen op verschillende locaties in de meetruimte geplaatst).

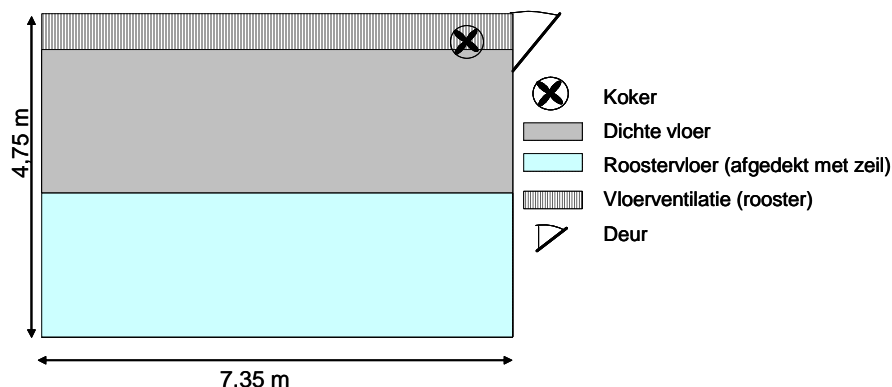
Voor statische fluxkamers is menging van de gassen die geaccumuleerd worden onder de fluxkamer, ook van belang. Om dit te garanderen werd de lucht in de grote fluxkamer gerecirculeerd met behulp van een kleine ventilator.

2.2 Testperiode

Voorafgaande aan de praktijkmetingen werden alle meetmethoden in een mechanisch geventileerde ruimte (afdeling op locatie Zodiac in Wageningen) met elkaar en met een referentiemethode vergeleken. De gebruikte afdeling (figuur 2) was 7,35 m lang en 4,75 m breed. De ene zijmuur was 2,10 m hoog, de andere 2,80 m hoog. Vanaf deze hoogte liep het plafond schuin weg tot een nokhoogte van 3,90 m. De afdeling was voorzien van een gedeeltelijk roostervloer, die tijdens de metingen afgedekt werd met zeil, en dichte betonvloer. Vloeropeningen

aan de rechte kant van de afdeling zorgden voor (vloer-)ventilatie van de ruimte. De lucht kon via een ventilatiekoker (35 cm doorsnede) naast de deur de afdeling verlaten.

Figuur 2 Plattegrond van de afdeling die gebruikt werd tijdens de testperiode



Als referentiemethode werd de huidige methode voor mechanisch geventileerde stallen toegepast. Bij deze methode wordt de emissie bepaald als het product van het ventilatiedebiet en de NH_3 -concentratie die de stal via de ventilatiekanaal verlaat. De ammoniakconcentratie werd met een fotoakoestische monitor (Innova 1312) gemeten. Het ventilatiedebiet werd door middel van een meetventilator bepaald. Deze meetventilator is een groot formaat anemometer met een diameter gelijk aan de diameter van de ventilatiekoker. De meetventilator wordt aangedreven door de luchtstroom in de ventilatiekoker en is niet gekoppeld aan de motor van de ventilator. De meetventilator werd op locatie gekalibreerd (voor debieten tussen 20-100% van de maximale capaciteit van de ventilator) met behulp van een hittedraad anemometer.

De volgende meetmethoden werden met elkaar vergeleken:

1. Intern tracergas ratiomethode
2. Boxmethoden
 - a. Statische (gesloten) fluxkamers
 - o Grote fluxkamer (figuur 3a)
 - o Kleine fluxkamer (in drievoud, figuur 3b)
 - b. Dynamische (open) fluxkamers (figuur 3c)

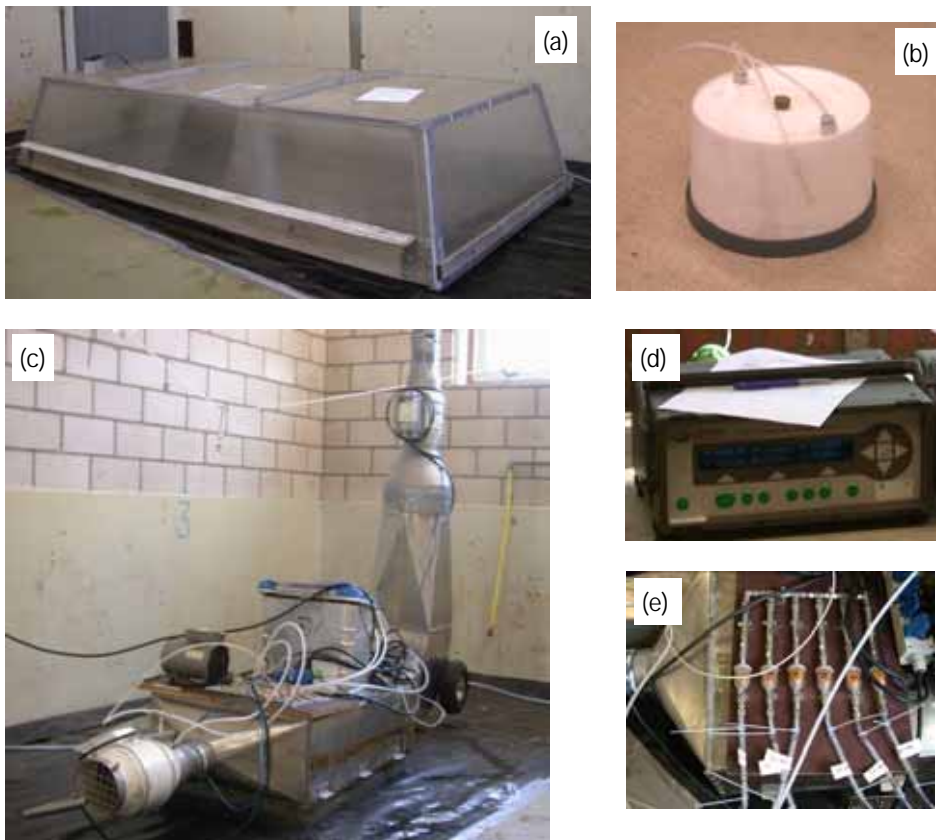
Als ammoniakbron werd een ammoniakoplossing gemaakt met een NH_3 -concentratie van ongeveer 6 g kg^{-1} . Deze NH_3 -oplossing werd op verschillende plaatsen in de meetruimte op de vloer toegebracht (figuur 4a), met als doel een dosering van circa $0,3 \text{ l per m}^2$ te bereiken. Ten behoeve van de injectie van het tracergas werd een leidingsysteem in de meetruimte aangebracht, waarmee via 9 injectiepunten (figuur 4b) het tracergas (SF_6 gemengd met perslucht) in de afdeling werd losgelaten. De injectiehoeveelheid van het (zuiver) tracergas werd ingesteld op $8,9 \text{ ml SF}_6 \text{ min}^{-1}$. Op een hoogte van circa 1,2 werd een tweede leiding aangebracht met 9 monsternamenpunten (figuur 4c). Deze leiding (verzamelleiding) werd gebruikt om lucht op verschillende plaatsen in de meetruimte te bemonsteren, met als doel de representativiteit van de meting te verhogen. De aangezogen lucht werd naar een fotoakoestische monitor (Innova 1312) geleid, om de (gemiddelde) concentratie van NH_3 en van het tracergas (SF_6) te bepalen. Daarnaast werd, ter controle, de tracergas ook bij de meetventilator gemeten. Voor de statische fluxkamers werd via een teflon leiding lucht naar een fotoakoestisch monitor (figuur 3d, Innova 1312) geleid om de toename in NH_3 concentratie in de fluxkamer continu te monitoren. Voor de dynamische fluxkamers werden denuders (figuur 3e) gebruikt om de gemiddelde concentratie over de meetperiode te meten.

Er werd gedurende 3 dagen gemeten, en per dag werden 6 proeven uitgevoerd, waarbij per proef twee boxmethoden, de tracergas ratiomethode en de referentiemethode met elkaar werden vergeleken (tabel 2).

Tabel 2 Toegepaste meetmethoden per proef tijdens de testperiode. Een kruis betekent dat de methode in die proef werd gebruikt

Proef	Referentie	Intern tracergas ratiomethode	Dynamische fluxkamer	Grote (statisch) fluxkamer	Kleine (statisch) fluxkamers
1	X	X	X	X	
2	X	X	X		X
3	X	X	X	X	
4	X	X	X		X
5	X	X	X	X	
6	X	X	X		X

Figuur 3 Meetopstelling zoals gebruikt werd tijdens de testperiode
 (a) Grote (statisch) fluxkamer; (b) Kleine (statisch) fluxkamer; (c) Dynamische fluxkamer;
 (d) Fotoakoestische monitor; (e) Denuders



Figuur 4 Meetopstelling tijdens de testperiode
 (a) Ammoniakbron; (b) Injectiepunt (tracergas); (c) Monsternamepunt (ammoniak en tracergas)



2.3 Toepassing in de praktijk

Om de toepasbaarheid van deze methoden in de praktijk te toetsen werden metingen uitgevoerd in een afdeling voor zeugen van het Praktijkcentrum Sterksel met toegang tot een verharde uitloop (figuur 5). De afdeling (5,5 m breed en 23 m lang) bestond uit drie keer twee rijen voerligboxen van 8 voerligboxen per rij, en bod plaats voor 48 dieren. Voor elke rij was een controlegang van 60 cm aanwezig. De voerligboxen waren 2,30 m lang en 0,63 m breed. De vloer in de voerligbox was vanaf de voorzijde tot 1,85 m lengte dicht uitgevoerd. De laatste 0,45 m in de boxen en de loopruimte tussen de rijen bestond uit betonnen roosters. De mest werd afgevoerd via een rioleringsysteem. De afdeling werd mechanisch geventileerd met een ventilator met een diameter van 50 cm. De maximale beschikbare ventilatiecapaciteit was $8000 \text{ m}^3 \text{ uur}^{-1}$. De buitenlucht kwam via de zijkant van de stal in de centrale gang binnen. Via openingen in de vloer van de centrale gang stroomde de lucht naar het luchtinlaatkanaal onder de ligvloer van de zeugen. Vanuit deze ruimte stroomde de lucht via de controlegang in de afdeling uiteindelijk bij de dieren. Door de deuren tussen de uitloop en de afdeling, mits open, wordt ook lucht in de afdeling gebracht. Tijdens de metingen werden de deuren gedeeltelijk afgedicht: tijdens periode 1 t/m 3 werd tot een hoogte van ongeveer 80 cm open gelaten (figuur 6a). Na periode 3 werden kunststof flappen gebruikt om de deuren verder af te dichten (figuur 6b). Alle uitgaande lucht van de afdeling werd door de ventilator aangezogen en afgevoerd naar buiten.

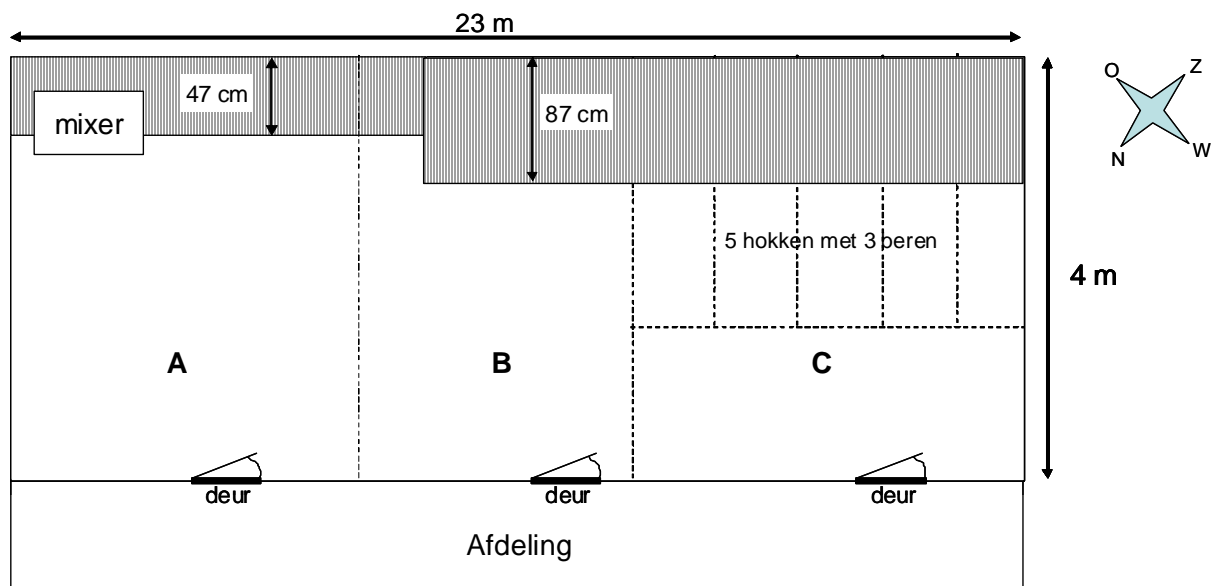
Figuur 5 Meetlocatie (afdeling+uitloop) op Praktijkcentrum Sterksel voor de validatie van de geselecteerde meetmethoden in de praktijk, met (a) of zonder (b) windbreekgaas



Figuur 6 Afdichting van de deuren tussen de afdeling en de uitloop. (a) tijdens meetperiode 1 t/m 3 (b) tijdens perioden 4 t/m 6



De uitloop was 4 m breed en 23 m lang en bood op basis van minimaal $1,9 \text{ m}^2$ uitloopoppervlak per zeug (www.skai.nl) plaats aan 48 zeugen. De uitloop was voorzien van een gedeeltelijk roostervloer (figuur 7). Aan de buitenzijden van de uitloop was windbreekgaas vanaf een hoogte van ongeveer 1 m aanwezig. Tijdens perioden 5 en 6 werd de windbreekgaas verwijderd om praktijksituaties met een open uitloop beter te simuleren.

Figuur 7 Plattegrond van de gebruikte uitloop op Praktijkcentrum Sterksel

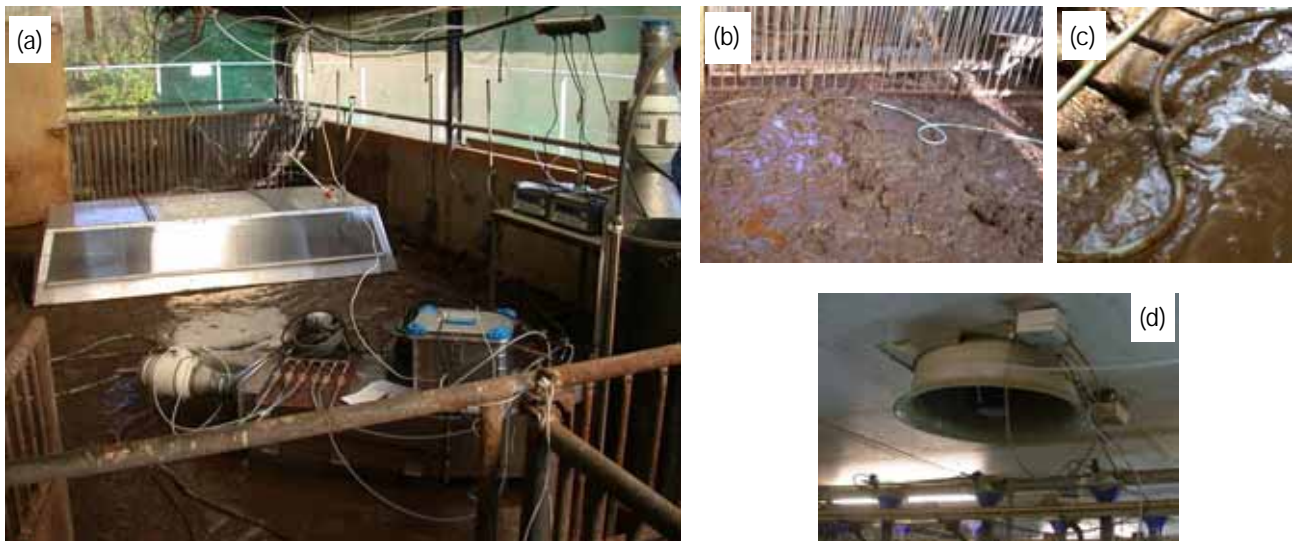
Voorafgaande aan de metingen werd de uitloop gedurende twee weken zwaar bevuild door de dieren. Tijdens alle meetperioden konden de zeugen geen gebruik maken van de uitloop en werden continu binnen in de afdeling gehouden. De drie beren konden na afloop van elke meetdag terug in de hokken in de uitloop komen. Om de NH_3 emissie uit de uitloop te bepalen werden de volgende methoden toegepast:

1. Intern tracergas ratiomethode
2. Boxmethoden
 - a. Grote (statisch) fluxkamer
 - b. Dynamische fluxkamer

Er werden alleen metingen uitgevoerd op de dichte vloer zodat de metingen onderling zoveel mogelijk vergelijkingsmateriaal opleverden. In principe kunnen de boxmethoden ook worden toegepast voor emissiemetingen in een roostervloer, mits de meetoppervlakte onder en boven de roostervloer gelijk zijn (geïsoleerde mestkelder onder de roostervloer). In het onderhavige onderzoek werd niet op de roostervloer gemeten aangezien de toegepaste statische fluxkamer te groot was voor de beperkte roostervloer. In praktijksituaties zou de emissie uit de roostervloer ook door middel van modellen (Aarnink en Elzing, 1998; Monteny, 2000) bepaald kunnen worden.

In figuur 8a wordt de meetopstelling weergegeven zoals gebruikt werd tijdens de praktijkmetingen in de uitloop. Het tracergas (SF_6 gemend met perslucht) werd via een leidingsysteem (figuur 8b) met 9 injectiepunten (figuur 8c) in de meetruimte losgelaten. De injectiehoeveelheid van het (zuiver) tracergas werd ingesteld op $21,1 \text{ ml SF}_6 \text{ min}^{-1}$. Op een hoogte van circa 1,2 werd een tweede leiding aangebracht met 9 monsternapenpunten. Deze leiding (verzamelleiding) werd gebruikt om lucht op verschillende plaatsen in de meetruimte te bemonsteren, met als doel de representativiteit van de meting te verhogen. De aangezogen lucht werd naar een fotoakoestische monitor (Innova 1312) geleid, om de (gemiddelde) concentratie van NH_3 en van het tracergas (SF_6) te bepalen. Voor de statische fluxkamer werd via een teflon leiding lucht naar een fotoakoestisch monitor geleid om de toename in NH_3 concentratie in de fluxkamer continu te monitoren. Voor de dynamische fluxkamer werden denuders gebruikt om de gemiddelde concentratie over de meetperiode te bepalen. Tevens werd ook gedurende alle meetdagen de emissie uit de afdeling bepaald. Dit werd gedaan op basis van debietmetingen m.b.v. een meetventilator, die geplaatst werd onder de ventilatiekoker in de afdeling, en concentratiemetingen (m.b.v. een fotoakoestische monitor) in de uitgaande lucht (in de ventilatiekoker; figuur 8d).

Figuur 8 Meetopstelling zoals gebruikt tijdens de metingen in de uitloop op Praktijkcentrum Sterksel.
 (a) Meetapparatuur; (b) Injectieleiding en uitloopbevuiling; (c) Injectiepunten; (d) Ventilatiekoker



Er werd gedurende 6 dagen (per meetdag werden 4 herhalingen uitgevoerd) onder verschillende meetomstandigheden gemeten. Zo werd in de eerste 4 meetdagen de uitloop voorzien van windbreekgaas over de hele lengte en breedte van de uitloop, terwijl tijdens meetdagen 5 en 6 de windbreekgaas verwijderd werd. Ook werd in een aantal gevallen gemeten met de deuren tussen de afdeling en de uitloop dicht, maar soms met open deuren deels afgedicht of met deuren voorzien met kunststofflappen. In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de meetomstandigheden voor alle gemeten dagen.

Tabel 3 Overzicht meetomstandigheden (aantal herhalingen) per meetdag

Meetdag	Windbreekgaas	Gesloten deuren	Open deuren (deels afgedicht)	Open deuren (afgedicht met kunststofflappen)
1	Ja	--	4	--
2	Ja	--	4	--
3	Ja	--	4	--
4	Ja	1	--	3
5	Nee	1	--	3
6	Nee	--	--	4

3 Resultaten en discussie

3.1 Testperiode

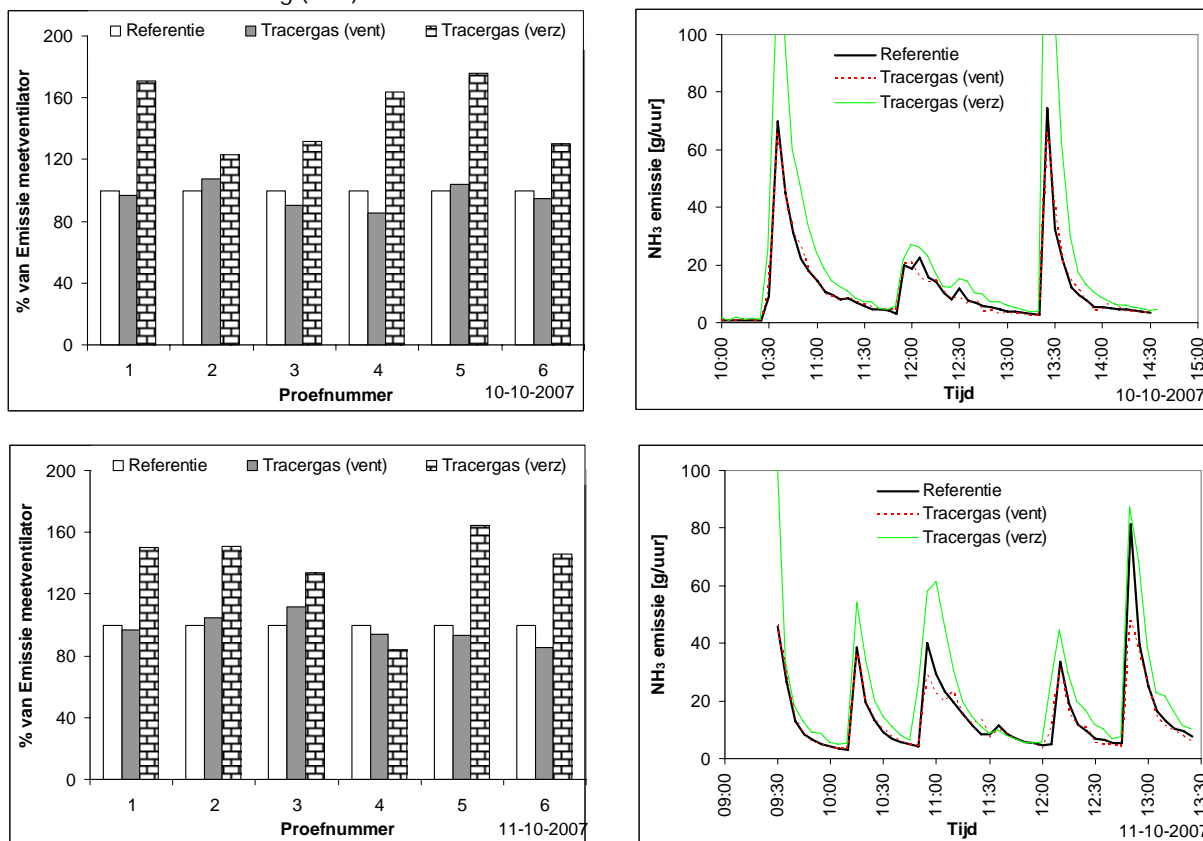
Gedurende de testperiode werden alle geselecteerde meetmethoden met elkaar en met een referentiemethode (huidige methode voor mechanisch geventileerde stallen) vergeleken. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van deze metingen gepresenteerd.

3.1.1 Intern tracergas ratiomethode

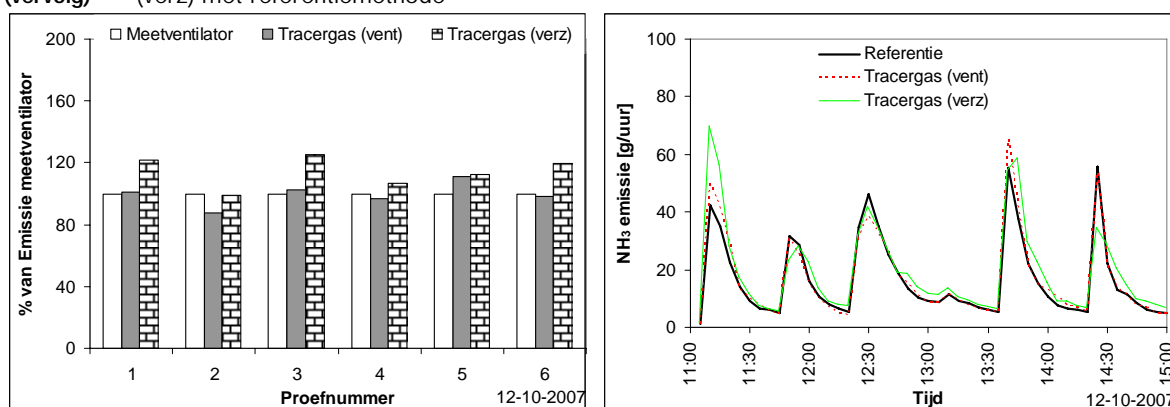
De interne tracergas ratiomethode is gebaseerd op een adequaat menging van het tracergas in de meetruimte. Bij mechanisch geventileerde ruimtes verlaat de lucht de meetruimte via de aanwezige ventilatoren, en zorgen de ventilatoren voor een goede menging in de meetruimte. Figuur 9 laat zien dat door de lucht bij de ventilatoren te bemonsteren (voor ammoniak en tracergas), de ammoniakemissie die bepaald wordt na toepassing van de interne tracergas ratiomethode vergelijkbaar is met de emissie die gemeten is met de referentiemethode.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een verzamelleiding midden in de meetruimte om de lucht te bemonsteren kan (bij niet ideale menging) de situatie ontstaan waarin een deel van het geïnjecteerde tracergas direct naar de ventilatiekoker gaat, en daardoor niet bij de verzamelleiding worden bemonsterd. Vooral aan het begin van iedere proef, tijdens het opbrengen van de ammoniakbron en het plaatsen van de boxmethoden, kan de luchtbeweging in de ruimte verstoord worden. In deze situaties wordt de tracergasconcentratie bij de verzamelleiding onderschat, met als gevolg een overschatting van de ammoniakemissie wanneer de interne tracergas ratiomethode wordt toegepast. Dit effect (hogere emissiepiek wanneer de interne tracergas ratiomethode bij de verzamelleiding wordt toegepast) is in figuur 9 en tabel 4 duidelijk te zien. In dag 3 (12-10-2007) is voor gekozen om de injectieleiding een halve meter in de richting van het midden van de meetruimte te verplaatsen, om de ammoniakbron beter te simuleren. Dit heeft geresulteerd in een betere schatting van de ammoniakemissie uit de meetruimte. Uit figuur 9 blijkt dat het verloop van de emissies bij de drie rekenmethoden nagenoeg gelijk zijn.

Figuur 9 Per proef, vergelijking tussen intern tracergas (SF_6) ratiomethode bij ventilator (vent) en verzamelleiding (verz) met referentiemethode



Figuur 9 Per proef, vergelijking tussen tracergas (SF₆) ratiomethode bij ventilator (vent) en verzamelleiding (verz) met referentiemethode (vervolg)



Tabel 4 Vergelijking tracergas ratiomethode bij verzamelleiding en ventilator met referentiemethode over de gehele meetperiode

Dag	Tracergas (ventilator) [% van referentie]	Tracergas (verzamelleiding) [% van referentie]
10-10-2007	96 ± 8	149 ± 23
11-10-2007	98 ± 9	138 ± 28
12-10-2007	100 ± 8	114 ± 10

3.1.2 Boxmethoden

Bij boxmethoden (fluxkamers) wordt eerst de emissie uit een specifieke oppervlakte (meetoppervlakte onder de fluxkamer) gemeten, en daarna door opschaling de emissie uit de meetruimte bepaald. Wanneer lekkages optreden wordt de werkelijke emissie uit de gemeten oppervlakte onderschat, met als gevolg een onderschatting van de emissie uit de meetruimte na opschaling. Hoewel voor deze proeven de fluxkamers met een rubberen band werden voorzien om lekkages zoveel mogelijk te voorkomen, blijkt uit figuur 10 dat dit niet altijd is gelukt. Met name kleine fluxkamers waren te licht om voor goed afdichting te zorgen, met als gevolg dat ammoniak niet kon accumuleren in de fluxkamer. Daardoor konden met deze methode geen nauwkeurige emissies worden bepaald (tabel 5). Deze methode valt daardoor af voor de metingen in de praktijk.

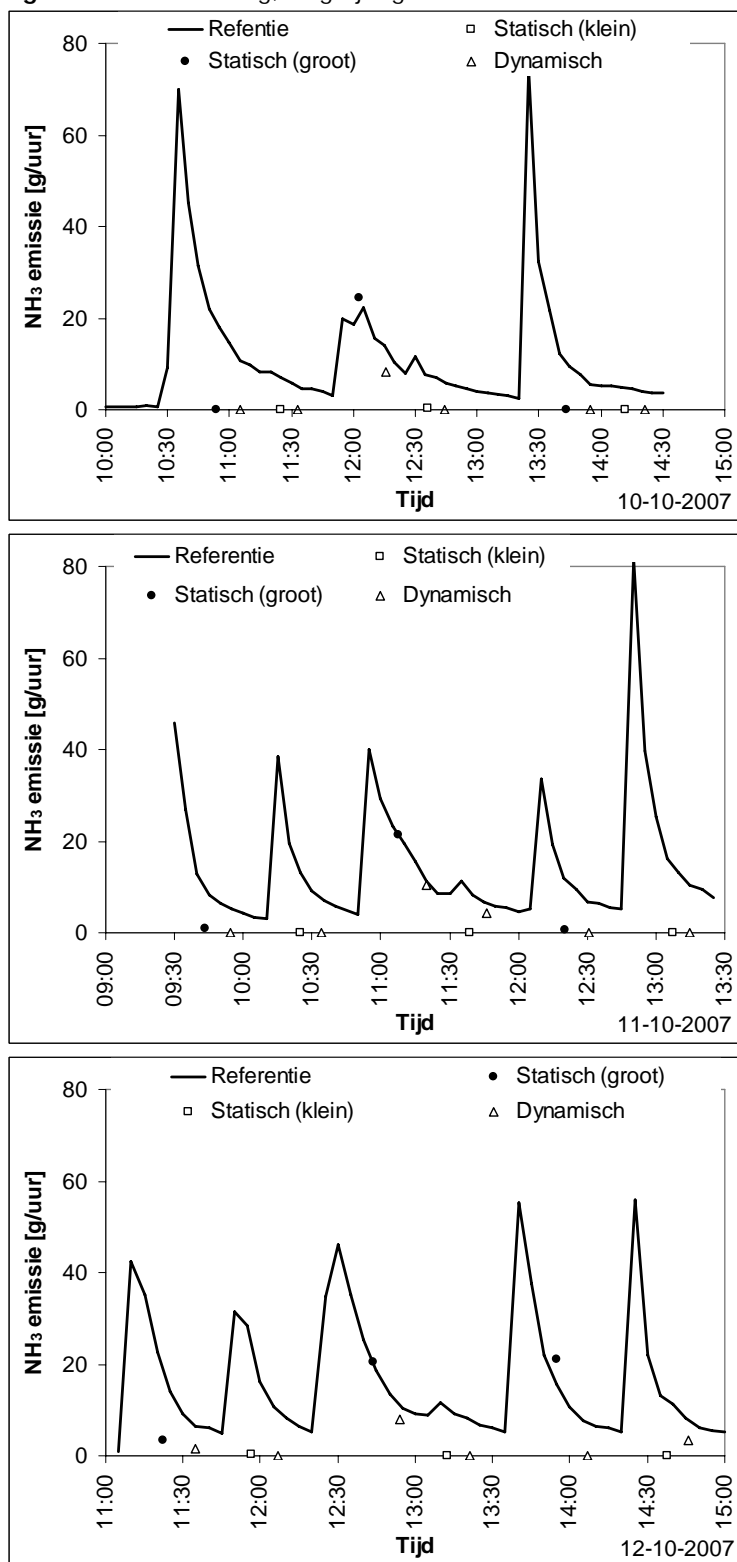
Voor de statische en dynamische fluxkamers zijn er twee verschillende effecten geconstateerd:

1. Bij metingen met de fluxkamers op de dichte betonvloer was het niet mogelijk om een goede schatting van de ammoniakemissie te bepalen. Het is mogelijk dat dit veroorzaakt werd door een slechte afdichting van de fluxkamer of een te snelle verdamping van de ammoniakoplossing, hoewel dit niet kon worden bewezen.
2. Bij metingen op de roostervloer (afgedicht met zeil) werden met de grote fluxkamer emissies bepaald die vergelijkbaar waren met de emissie gemeten met de referentiemethode. Met de dynamische fluxkamer lijkt de emissie op afdelingsniveau ook redelijk benaderd te worden, al is er sprake van een onderschatting. Het is niet duidelijk wat de reden is van deze onderschatting.

Tabel 5 Vergelijking tussen boxmethoden en de referentiemethode over de gehele meetperiode

Dag	Statische boxmethoden		Dynamische fluxkamer [% van referentie]
	Grote Fluxkamer [% van referentie]	Kleine fluxkamer [% van referentie]	
10-10-2007	119	3	58
11-10-2007	100	2	81
12-10-2007	110	2	65

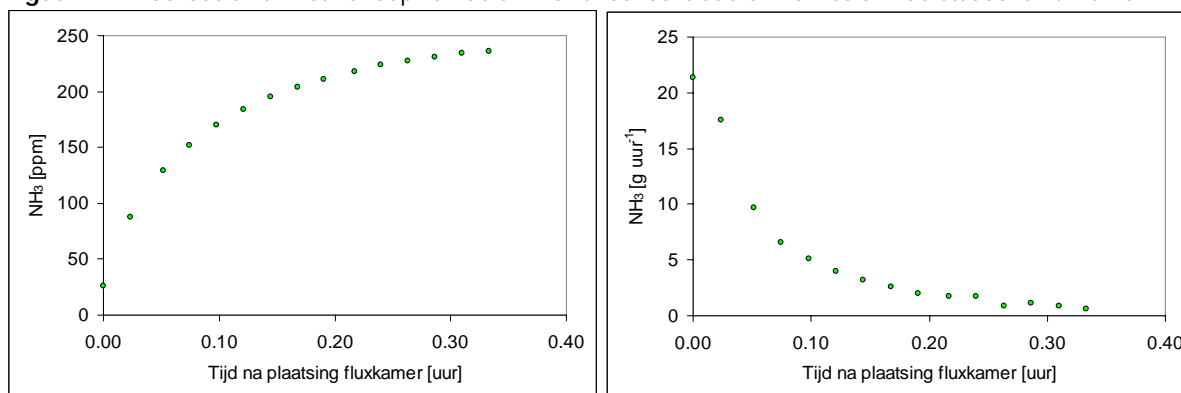
Figuur 10 Per meetdag, vergelijking tussen boxmethoden en de referentiemethode



Uit tabel 5 en figuur 10 lijkt dat zowel de statische als de dynamische fluxkamer perspectieven bieden voor het bepalen van de ammoniakemissie uit bemeste oppervlakten (uitloop). Een belangrijk nadeel van de grote fluxkamer (statisch boxmethode) is dat de emissieverloop na het plaatsen van de fluxkamer niet lineair is: de emissie neemt af naarmate het gas geaccumuleerd wordt in de fluxkamer. Dit effect is in figuur 11 duidelijk te zien. Daardoor is het noodzakelijk om de meetduur van de metingen met de statische fluxkamer zo kort mogelijk te houden, met als gevolg dat de ammoniakconcentratie (semi) continu dient te worden gemeten. Verzamelmetingen (bijvoorbeeld door NH₃ gedurende een langere periode in denuders te verzamelen) zijn

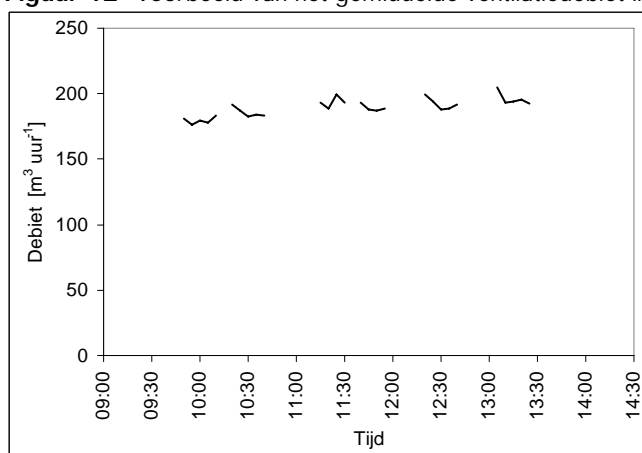
daardoor geen optie voor deze methode. Een tweede nadeel van de gebruikte fluxkamer is dat in zijn huidige uitvoering te groot is om door een persoon alleen te verplaatsen. Dit vereist meer mankracht voor de metingen, en beperkt de toepasbaarheid van deze methode in kleinere ruimtes. Voordeel is wel dat er een grotere oppervlakte gemeten wordt, waardoor minder metingen nodig zijn om de emissie te bepalen.

Figuur 11 Voorbeeld van het verloop van de ammoniakconcentratie en –emissie in de statische fluxkamer



Voordeel van de dynamische fluxkamer is dat de concentraties zowel met verzamelmonsters (bijvoorbeeld denuders) als (semi-) continu (bijvoorbeeld met een fotoakoestische monitor, mits de concentraties hoog genoeg zijn) gemeten kunnen worden. Nadeel van deze methode is dat het gemiddelde ventilatiedebiet over het emitterend oppervlak nauwkeurig gemeten dient te worden, aangezien dit niet constant over de gehele meetperiode blijft (figuur 12).

Figuur 12 Voorbeeld van het gemiddelde ventilatiedebiet in de dynamische fluxkamer



3.2 Praktijkmetingen

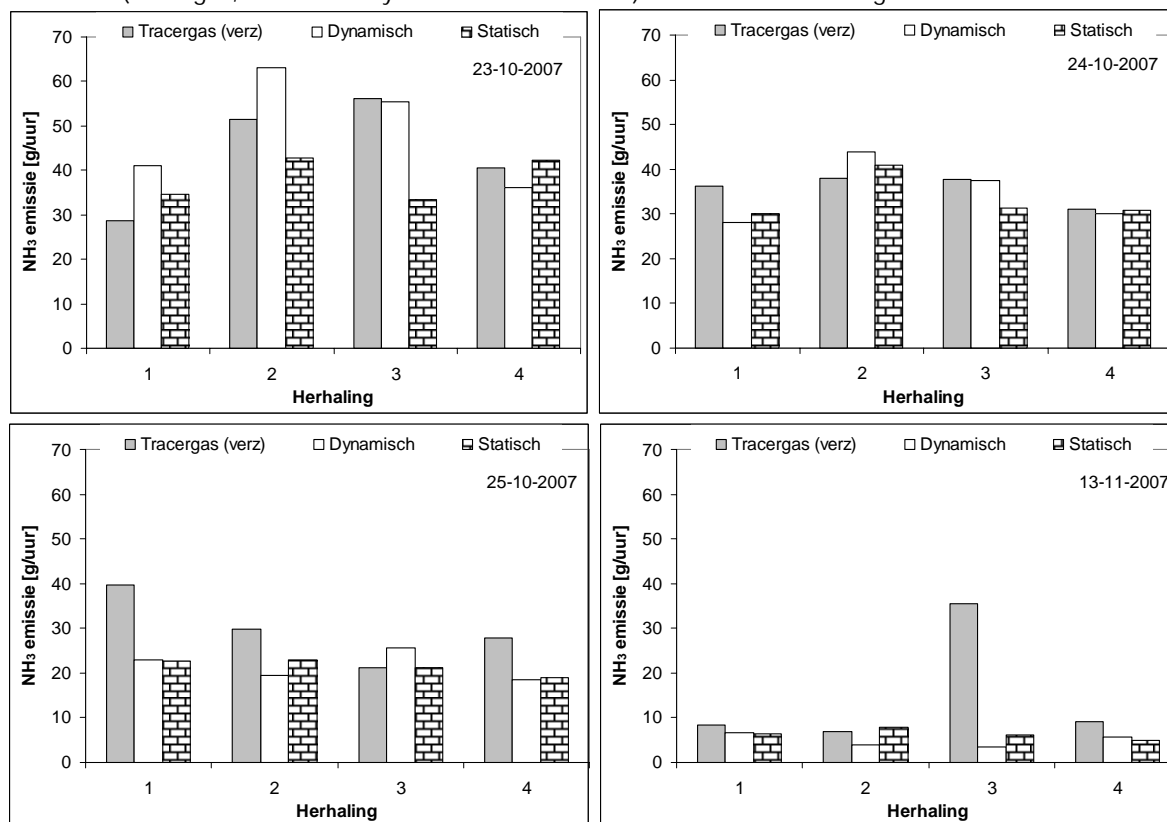
Voor de praktijkmetingen werden alle meetmethoden die getest waren in de testfase (behalve de kleine fluxkamers die niet optimaal werkten) gebruikt om de emissies uit de uitloop te bepalen. Er werd gedurende 2 perioden van 3 dagen gemeten. Een belangrijk verschil tussen beide perioden is de graad van bevuiling van de uitloop. De uitloop was de eerste drie dagen zwaar bevuild, in de laatste drie dagen was de uitloop minder bevuild, en was de mest wat droger dan in de eerste periode. Daarnaast werd tijdens de eerste vier meetdagen de uitloop aan alle kanten voorzien van een windbreekgaas om de windsnelheid binnen de uitloop te beperken, waardoor een “afgedekte uitloop” gesimuleerd kon worden. In de laatste twee meetdagen werd de windbreekgaas uit alle kanten van de uitloop verwijderd, waardoor een “open uitloop” situatie onderzocht kon worden.

3.2.1 Afdgedekte uitloop

Voorafgaande aan de metingen in de eerste meetdag werden de guste zeugen uit ruimte A en B en de beren uit de hokken van ruimte C (zie figuur 7) verwijderd. Ruimte A en B waren zwaar bevuild. Er lag een natte mestlaag op de vloer. In ruimte C waren de hokken waarin de beren waren gehuisvest ook zwaar bevuild (een mestlaag op de dichte vloer, echter niet zo smerig als ruimte A en B. In de nacht tussen meetdag 1 en meetdag 2, en tussen meetdag 2 en meetdag 3 werden alleen de 3 beren teruggeplaatst in ruimte C van de uitloop, ruimte A en B werden niet opnieuw bevuild. Alle drie ruimtes waren in meetdag 2 en 3 nog steeds zwaar bevuild hoewel de mest in ruimte A en B was ouder t.o.v. meetdag 1, waardoor de potentie voor NH₃-emissie lager was t.o.v. de eerste meetdag. Dit is in figuur 13 duidelijk te zien. Door de aanwezigheid van een grote hoeveelheid mest op de vloer was de lekkage uit de boxen beperkt (dit is ook getest met rookproeven).

Tussen meetdag 3 (25-10-2007) en meetdag 4 (13-11-2007) konden de zeugen opnieuw gebruik maken van de uitloop. Echter was de graad van bevuiling van de uitloop in meetdag 4 duidelijk lager en de mest droger dan in de eerste drie meetdagen. Dit heeft geresulteerd in een nog lagere NH₃-emissie voor dag 4 (figuur 13).

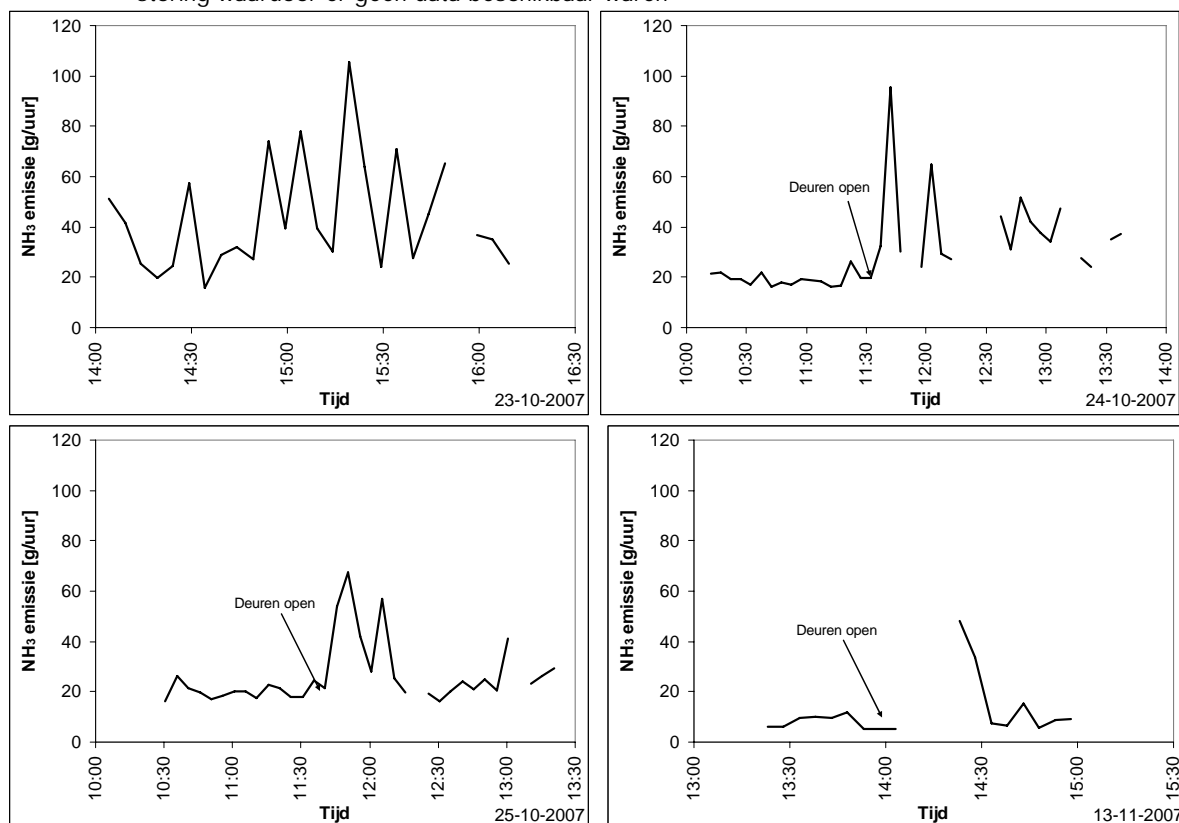
Figuur 13 Afdgedekte uitloop. Per meetdag, de NH₃ emissie uit de uitloop voor alle toegepaste meetmethoden (tracergas, statisch en dynamisch boxmethoden) voor alle vier herhalingen



Voor de tracergas ratiomethode is de invloed van omgevingsfactoren groot aangezien voor deze methode een goede menging van de lucht in de uitloop een noodzaak is. Voor de boxmethoden is dit minder relevant, aangezien met deze methoden de bemeste oppervlakte afgeschermd wordt. De hoeveelheid luchtbeveiliging tussen afdeling en uitloop is sterk afhankelijk van de windsnelheid en windrichting rondom de uitloop. Door de aanwezigheid van windbreekgaas wordt deze invloed beperkt. Ook van belang is de luchtuitwisseling tussen uitloop en afdeling. Tijdens de metingen in meetdag 1 waren de deuren tussen de uitloop en de afdeling de hele tijd open. In de praktijk zullen de uitgangen (deuren) van de stal naar de uitloop altijd als in- en uitlaat van stallucht fungeren. Het werd duidelijk (figuur 14) dat met deze opstelling de luchtuitwisseling tussen afdeling en uitloop aanzienlijk was en dat de emissiepatroon niet stabiel was, vooral de tracergas ratiomethode had hier last van. Om dit te testen werd in de dagen daarna gedurende een deel van de tijd de deuren dicht gehouden. Figuur 14 laat een stabielere emissiepatroon (met tracergas ratiomethode bepaald) zien wanneer de deuren tussen uitloop en afdeling dicht waren. Een mogelijke verklaring voor dit effect is de aanwezigheid van een aantal injectiepunten dicht bij de deuren. Er kunnen situaties ontstaan (momentaan hogere windvlaag, deur van de controle gang in de

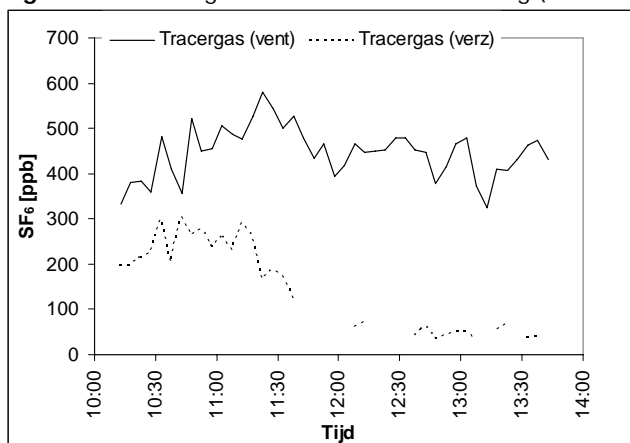
afdeling open) waarbij de luchtuitwisseling tussen uitloop en afdeling groter is. In deze situaties gaat een deel van de SF₆ die geïnjecteerd wordt direct de stal binnen, waardoor in de berekeningsmethode relatief te hoge verdunning van de lucht in de uitloop wordt berekend. Dit heeft als gevolg dat het ventilatiedebiet (en daardoor de emissie) in de uitloop overschat kan worden. Dit probleem speelde ook bij de testfase. Hieruit blijkt dat het plaatsen van injectiepunten belangrijk is voor de meetnauwkeurigheid van de meetmethode.

Figuur 14 Afdgedekte uitloop. Emissiepatroon volgens tracergas ratiomethode voor alle vier meetdagen. Bij de punten waar de lijn wordt onderbroken werden de metingen verstoord door een technische storing waardoor er geen data beschikbaar waren



Opvallend was de meetbare SF₆ concentratie binnen in de afdeling (bij de ventilator) ook in de perioden dat de deuren gesloten waren (figuur 15). Waarschijnlijk komt een deel van de lucht die de uitloop verlaat daarna via de inlaatopeningen van de stal de stal binnen. Daardoor kon op basis van de gemeten SF₆ concentratie bij de ventilator in de afdeling geen schatting worden gemaakt van de hoeveelheid lucht die vanuit de uitloop in de afdeling was binnengekomen. Daarnaast fungeren de deuren niet alleen als inlaat maar soms ook als uitlaat van de stallucht. Dit maakt het niet mogelijk om met één tracergas de luchtuitwisseling tussen uitloop en afdeling te bepalen. Voor de bepaling van de emissie uit de afdeling is echter noodzakelijk om naast de NH₃-concentratie in de ingaande lucht nauwkeurig te bepalen ook duidelijkheid te krijgen over de rol van de deuren als in- of uitlaat. Door een tweede tracergas in de afdeling te injecteren, en de concentraties van ammoniak en beide tracergassen bij de ventilator in de afdeling, in de verzamelleiding in de uitloop, en in de inlaatopeningen van de stal te meten kan een beter inzicht gekregen worden over de luchtuitwisseling door de deuren. Dit was echter niet de doelstelling van dit onderzoek, waardoor geen aanvullende metingen werden uitgevoerd om dit te bewijzen.

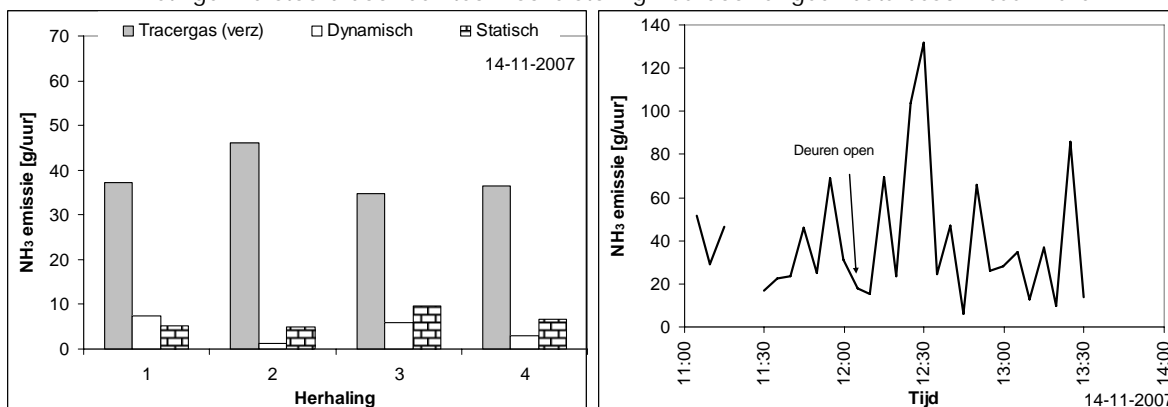
Figuur 15 Tracergas concentratie in de afdeling (ventilator) en in de uitloop (verzamelleiding) voor dag 2



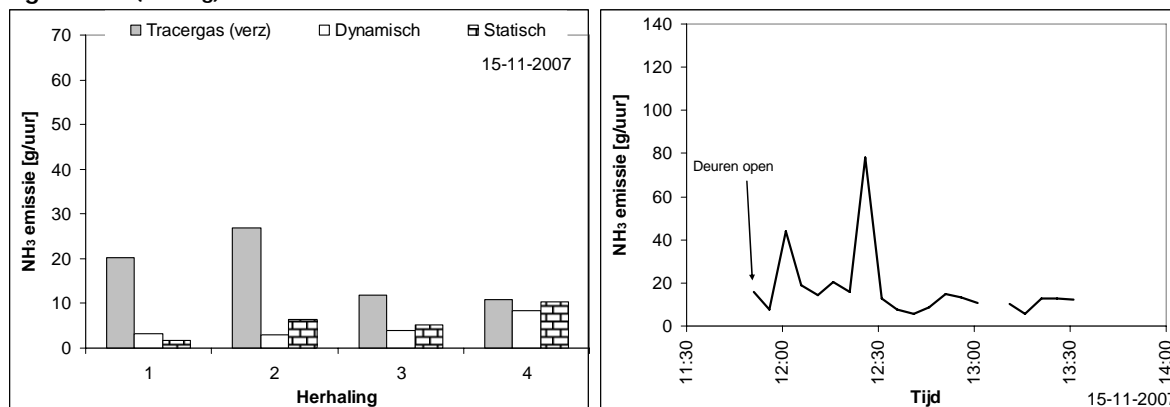
3.2.2 Open uitloop

Na meetdag 4 werd de windbreekgas verwijderd om een open uitloop beter te kunnen simuleren, en gedurende twee dagen (meetdag 5 en 6) de emissies uit de uitloop bepaald. De bevulling van de uitloop in deze twee dagen was vergelijkbaar met de bevulling in meetdag 4 (minder bevulling en drogere mest dan in de eerste drie meetdagen). In figuur 16 worden de resultaten van deze metingen gepresenteerd. Figuur 16 laat vergelijkbare emissies zien voor beide boxmethoden (statisch en dynamisch). Dit is niet het geval met de tracergas ratiomethode. Zoals eerder aangegeven, de tracergas ratiomethode berust op een goede menging van de tracergas in de meetruimte (uitloop). Voor een open uitloop kunnen situaties ontstaan waar de geïnjecteerde tracergas meteen uit de uitloop verdwijnt (bijvoorbeeld door de deuropeningen tussen uitloop en afdeling). In deze situaties wordt een overschatting gemaakt van de luchtuitwisseling, met als gevolg een overschatting van de werkelijke emissie. Dit maakt de tracergas ratiomethode niet geschikt voor open uitlopen. In tegenstelling met een afgedekte uitloop is de emissiepatroon (volgens de tracergas ratiomethode bepaald) ook niet zo stabiel wanneer de deuren tussen de uitloop en de afdeling dicht zijn.

Figuur 16 Open uitloop. Per meetdag, de NH₃ emissie uit de uitloop voor alle toegepaste meetmethoden (tracergas, statisch en dynamisch boxmethoden) voor alle vier herhalingen en de emissiepatroon volgens de tracergas ratiomethode. Bij de punten waar de lijn wordt onderbroken werden de metingen verstoord door een technische storing waardoor er geen data beschikbaar waren



Figuur 16 (vervolg)



3.2.3 Vergelijking emissies uitloop en afdeling

De gemeten ammoniakemissies zijn niet zondermeer om te rekenen naar jaaremmissies, aangezien gewerkt wordt met vaste luchtsnelheden over het emitterend oppervlak en er alleen gedurende bepaalde dagen en op bepaalde tijdstippen, gemeten is. Om enig inzicht te krijgen in de getallen is deze exercitie toch uitgevoerd. Op basis van minimaal 1,9 m² uitloopoppervlak per zeug (www.skal.nl) bood de uitloop plaats aan 48 zeugen. Dit is gelijk aan het aantal dierplaatsen in de afdeling. In tabel 6 worden, per meetdag, de emissies uit de afdeling en uit de uitloop (met alle drie verschillende methoden) weergegeven. Gemiddeld komt de ammoniakemissie uit de afdeling op 4,0 kg dierplaats⁻¹ per jaar, uitgaande van een leegstand van 5% voor dragende zeugen. Dit is vergelijkbaar met de emissiefactor in de Rav (4,2 kg dierplaats⁻¹ per jaar). De emissie uit de afdeling werd in het onderhavige onderzoek in de ventilatiekamer gemeten. Uitwisseling van lucht vanuit de uitloop of naar de uitloop is niet meegenomen voor de emissiebepaling. Voor de uitloop komt de ammoniakemissie op jaarbasis op 3,2-3,4 kg dierplaats⁻¹. Dit is lager dan de emissie uit de afdeling maar zeker niet verwaarloosbaar. Voor deze schatting werd de data afkomstig uit de tracergas ratiomethode niet gebruikt, aangezien deze methode niet nauwkeurig genoeg was voor metingen bij de open uitloop.

Tabel 6 Omgerekende jaaremmissies [kg dierplaats⁻¹ jaar⁻¹] uit de uitloop en uit de afdeling

Meetdag	Uitloop			Afdeling
	Tracergas	Dynamische fluxkamer	Statische fluxkamer	Ventilator
23-10-2007	7,7 ± 2,1	8,5 ± 2,2	6,6 ± 0,9	3,1 ± 0,3
24-10-2007	6,2 ± 0,6	6,0 ± 1,3	5,8 ± 0,9	4,4 ± 0,5
25-10-2007	5,1 ± 1,3	3,7 ± 0,6	3,7 ± 0,3	4,4 ± 0,5
13-11-2007	2,6 ± 2,4	0,9 ± 0,3	1,1 ± 0,2	2,9 ± 0,4
14-11-2007	6,7 ± 0,9	0,8 ± 0,5	1,1 ± 0,4	4,2 ± 0,4
15-11-2007	3,0 ± 1,3	0,8 ± 0,4	1,0 ± 0,6	5,0 ± 0,5
GEMIDDELDE	5,2	3,4	3,2	4,0

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van emissiemetingen die met verschillende methoden uitgevoerd waren om de emissies uit uitloopsystemen te bepalen. De belangrijkste conclusies uit deze studie voor alle verschillende methoden worden hieronder samengevat.

1. De tracergas ratiomethode kan in principe toegepast worden voor "afgedekte uitlopen". Voorwaarde is dat de injectiepunten zodanig geplaatst zijn dat de tracergas eerst goed gemengd wordt met de lucht in de uitloop voordat de lucht de uitloop verlaat (naar buiten of richting de stal). Wanneer dit niet gegarandeerd kan worden is de kans groot dat er een lagere tracergasconcentratie gemeten wordt bij de verzamelleiding, met als gevolg een overschatting van de emissie. Deze methode is daardoor niet geschikt voor "open uitlopen".
2. Statische boxmethoden kunnen zowel voor "afgedekte" als voor "open uitlopen" worden toegepast. Deze methoden hebben als voordeel dat ammoniak zich binnen de fluxkamer ophoopt, waardoor hoge concentraties gemeten kunnen worden. Nadeel van deze methode is dat de emissieverloop na het plaatsen van de fluxkamer niet lineair is: de emissie neemt af naarmate het gas geaccumuleerd wordt in de fluxkamer. Om de invloed van fluxkamers op de emissie te beperken moet de fluxkamer zo kort mogelijk gebruikt worden om de metingen uit te voeren. Dit vereist een hoge meetfrequentie voor de metingen, waardoor verzamelmetingen geen optie zijn. Daarnaast moet worden voorkomen dat er lekkages in de fluxkamer ontstaan.
3. Dynamische boxmethoden kunnen ook toegepast worden om de emissies van zowel "afgedekte" als "open uitlopen" te meten. Voordeel van deze methode is dat de concentraties zowel met verzamelmethode (bijvoorbeeld denuders) als (semi-)continue gemeten kunnen worden, mits de concentraties hoog genoeg zijn voor de gebruikte meetapparatuur. Nadeel is dat ook het ventilatiedebiet langs de emitterende oppervlakte nauwkeurig gemeten moet worden. Dynamische boxmethoden beïnvloeden ook de emissie. Echter, doordat lucht met een lage (ingestelde) snelheid over het emitterend oppervlak wordt getransporteerd, benadert deze methode meer de praktijk situatie dan de statische boxmethode.
4. Vergelijkbare ammoniakemissies werden gemeten met beide boxmethoden (statisch en dynamisch) voor zowel afgedekte als open uitlopen. Voor beide methoden geldt echter dat er een optimalisatie van de methode plaats moet vinden om betrouwbare metingen uit te kunnen voeren (bijvoorbeeld de grootte van de fluxkamer (inhoud t.o.v. oppervlakte), aantal fluxkamers per meetruimte (voor de ruimtelijk variabiliteit van de emissies), lengte meetperiode per meting (om de invloed van de fluxkamers op de emissies te beperken), afsluiting en menging statische boxmethode (om lekkage te voorkomen en de representativiteit van de monsters te garanderen), gelijkdruk ventilatoren voor dynamische boxmethode).
5. Alle metingen zijn uitgevoerd op een dichte vloer. Voor uitlopen met een roostervloer kunnen in principe dezelfde meettechnieken worden gebruikt, mits de meetoppervlakte onder de fluxkamer goed geïsoleerd is van de rest van de kelder (gelijke meetoppervlakte onder en boven de roosters). De emissie uit de roostervloer zou ook via modellen afgeleid kunnen worden. Dit vereist echter validatie met praktijkmetingen.

Literatuur

- Aarnink A.J.A. en A. Elzing (1998). Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science* **53 (2)**, 153-169.
- Aarnink, A.J.A., M. Wagemans en A. Beurskens (2002). Ontwikkeling procedure voor meten lokale ammoniakemissies in biologische varkensstallen. *IMAG Nota P 2002-54*.
- Aarnink, A.J.A., S.G. Ivanova-Peneva, W. Schouten en G. Nijeboer (2005). Ammoniak- en mineralenverliezen in de biologische varkenshouderij. *A&F Rapport 344*.
- Aarnink, A.J.A., J.M.G. Hol en A.G.C. Beurskens (2006). Ammonia emission and nutrient load in outdoor runs of laying hens. *NJAS* **54-2**, 223-234.
- Airoldi G., P. Balsari en F. Gioelli (2000). Ammonia emissions from dairy cattle exercise areas. Paper read at the *9th International Workshop of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture*, 6-9 September 2000 at Gargnano, Italy.
- Anonymous (1996). Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen Label stallen, uitgave maart 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieugeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Balsari, P., G. Airoldi en F. Gioelli (2002). Assessment of ammonia emissions from dairy cattle exercise areas. Paper presented the *2002 ASAE Annual International Meeting/CIGR XVIth World Congress*, 28-31 July 2002, Chicago, Illinois, USA.
- Binkley, D. en D. Richter (1987). Nutrient cycles and H⁺ budgets of forest ecosystems. *Advances in Ecological Research* **16**, 1-51.
- Bobbink, R., D. Boxman, E. Fremstad, G. Heil, A. Houdijk en J. Roelofs (1992). Critical loads for nitrogen eutrophication of terrestrial and wetland ecosystems based upon changes in vegetation and fauna. In *Critical loads for nitrogen* (eds. Grennfelt, P. and E. Thörnelöf), p.41. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Ellis, S., J. Webb, T. Misselbrook en D. Chadwick (2001). Emission of ammonia (NH₃), nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) from a dairy hardstanding in the UK. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **60**, 115-122.
- 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
- Heij, G.J., en T. Schneider (1991). Acidification research in the Netherlands. In *Studies in Environmental Science* **46** (eds. Heij, G.J. and Schneider, T.), pp. 3-24, Elsevier, Amsterdam.
- Heil, G.W. en M. Bruggink (1987). Competition for nutrients between *Calluna vulgaris* (L.) Hull and *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Oecologia* **73**, 105-107.
- 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 (1981). Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil sci. Soc. Am. J.* **45**, 311-316.
- Ivanova-Peneva, S.G., A.J.A. Aarnink en M.W.A. Verstegen (2006). Ammonia and mineral losses on Dutch organic farms with pregnant sows. *Biosystems Engineering* **93(2)**, 221-235.
- Keck, M. (1997). Ammonia emission and odour thresholds of cattle houses with exercise yards. In *Ammonia and odour emissions from animal production facilities* (eds. Voermans, J. en G.J. Monteny). NVTL, Rosmalen, Vinkeloord, The Netherlands, pp. 349-354.
- Keck, M., K. Zeyer en L. Emmenegger (2004). Emissions of NH₃ and PM10 from closed housing and housing combined with open exercise yards for growing-finishing pigs. In *AgEng 2004*, Leuven, 12-16 September 2004.
- Misselbrook, T.H., B.F. Pain en D.M. Headon (1998). Estimates of ammonia emission from dairy cow collecting yards. *J. Agric. Engng. Res.* **71**, 127-135.
- Misselbrook, T.H., J. Webb, D.R. Chadwick, S. Ellis en B.F. Pain (2001). Gaseous emissions from outdoor concrete yards used by livestock. *Atmospheric Environment* **35**, 5331-5338. MNP (2005). Milieucompodium 2005: Milieu en Natuur in cijfers.
- Misselbrook, T.H., J. Webb en S.L. Gilhespy (2006). Ammonia emissions from outdoor concrete yards used by livestock. Quantification and mitigation. *Atmospheric Environment* **40**, 6752-6763.
- MNP (2005). Milieucompodium 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, Wageningen, NL, 156 pp.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. van 't Klooster, N. Ogink, D. Swierstra en N. Verdoes, 2002. Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij. IMAG Rapport 2002-12, 247 pp.

- Ogink, N.W.M., J.M.G. Hol, J. Mosquera en H.M. Vermeer (2007). Aanpassing van het meetprotocol NH₃-emissiemetingen in de veehouderij. Rapport in druk, Animal Sciences Group, Wageningen.
- 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.
- Schulze, E.D., W. de Vries, M. Hauhs, K. Rosén, L. Rasmussen, S.O. Tamm en J. Nilsson (1989). Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution* 48, 451–456.
- 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.
- Van Breemen, N. en H.F.G. van Dijk (1988). Ecosystem effects of atmospheric deposition of nitrogen in the Netherlands. *Environmental Pollution* 54, 249–274.
- Van Dam, D., H.F. van Dobben, C.F.J. ter Braak en T. de Wit (1986). Air pollution as a possible cause for the decline of some phanerogamic species in the Netherlands. *Vegetatio* 65, 47–52.
- Van Wagenberg, A.V., M.T.J. de Leeuw, H. Gunnink en H. Altena (2004). Nieuwe meetmethode voor emissies uit stallen met buitenuitloop. *ASG Rapport opdrachtgever*.
- VROM (2001). National Environmental Policy Plan-4. VROM, The Hague, the Netherlands.
- Webb, J., T. Misselbrook, B.F. Pain, J. Crabb en S. Ellis (2001). An estimate of the contribution of outdoor concrete yards used by livestock to the UK inventories of ammonia, nitrous oxide and methane. *Atmospheric Environment* 35, 6447-6451.