

# Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIX

*Welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem voor dragende zeugen in kleine groepen*

M.J.M. Wagemans

J.M.G. Hol

C.M. Groenestein

Rapport B740

# Colofon

Title	Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIX; Welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem voor dragende zeugen in kleine groepen
Author(s)	M.J.M. Wagemans, J.M.G. Hol en C.M. Groenestein
A&F number	Report nr. B740
ISBN-number	90-5406-241-X
Date of publication	November, 2003
Confidentiality	n.v.t.
Project code.	n.v.t.
Price	n.v.t.

Agrotechnology and Food Innovations B.V.  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 317 475 024  
E-mail: [info.agrotechnologyandfood@wur.nl](mailto:info.agrotechnologyandfood@wur.nl)  
Internet: [www.agrotechnologyandfood.wur.nl](http://www.agrotechnologyandfood.wur.nl)

© 2003 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.  
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.  
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

## **Abstract**

Ammonia emission from animal husbandry has to be reduced in the Netherlands by 70% in the year 2005, compared with the emission level in 1980. Moreover, new odour legislation requires measurements of the odour emissions of the main conventional and newly developed housing systems. Research was carried out into the emission of ammonia and odour from a naturally ventilated and animal friendly house for pregnant sows. The reducing principle of this house was based on separation of the dunging area by providing a comfortable and spacious lying area with straw bedding. The pens housed 8 sows and provided individual feeding boxes for each of them.

The research was carried out during a summer and winter period. The emission of ammonia from the house amounted to 6.3 (summer period) and to 5.5 (winter period) kg/year per animal with 5% correction for under-occupation. The odour emission was 26.1  $\text{OU}_E$  /s per animal.

Keywords: Ammonia, Odour, Sows, Group housing, Field experiment



# Inhoud

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Materiaal en methode</b>	<b>9</b>
2.1 Stal- en bedrijfssituatie	9
2.1.1 Bedrijfssituatie	9
2.1.2 Huisvesting	9
2.1.3 Ventilatie	10
2.1.4 Ammoniakemissiereducerend principe	10
2.2 Bedrijfsvoering	11
2.2.1 Zoötechniek	11
2.2.2 Klimaat	11
2.2.3 Voeding	11
2.2.4 Gezondheid	12
2.2.5 Mestmanagement	12
2.3 Metingen	12
2.3.1 Algemeen	12
2.3.2 Klimaat	14
2.3.3 Interne tracergasratio-methode	14
2.3.3.1 Tracergasinjectie en -concentratie	15
2.3.3.2 Ammoniakconcentratie	15
2.3.3.3 Geurconcentratie	15
2.4 Dataverwerking	16
<b>3 Resultaten</b>	<b>19</b>
3.1 Klimaat en luchtverversing	19
3.2 Ammoniakconcentratie en -emissie	19
3.3 Geurconcentratie en -emissie	21
<b>4 Discussie</b>	<b>24</b>
<b>5 Conclusies</b>	<b>26</b>
<b>Literatuur</b>	<b>28</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>31</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>32</b>
<b>Summary</b>	<b>33</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>35</b>
<b>Publicatieoverzicht</b>	<b>49</b>



# 1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn SO<sub>2</sub> (zwaveldioxide), NO<sub>x</sub> (stikstofoxiden; NO en NO<sub>2</sub> (stikstofmonoxide en stikstofdioxide)) en NH<sub>3</sub> (ammoniak), samen met hun reactieproducten, in het kort SO<sub>x</sub>, NO<sub>y</sub> en NH<sub>x</sub> genoemd. In 1999 was 66% van de NH<sub>x</sub> depositie uit eigen land afkomstig. De landbouw droeg in 2000 voor 94% bij aan de nationale emissie van NH<sub>3</sub>. De Nederlandse overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau van 2000 (157 kton) in 2010 tot 100 kton gedaald moet zijn. De bijdrage van de landbouw aan de NH<sub>3</sub> emissie moet dan gedaald zijn tot 86%, ofwel 86 kton (Sliggers, 2001). Om de tot doel gestelde emissiereductie te kunnen realiseren is onder andere invoering van emissiebeperkende staltechnieken en -systemen noodzakelijk.

Naast de problematiek van de emissies van ammoniak speelt ook de geurhinder, die wordt veroorzaakt door landbouwactiviteiten een steeds belangrijkere rol in de wet- en regelgeving. De landbouwsector is, samen met de industrie en het wegverkeer, een belangrijke bron van geurhinder in Nederland (VROM, 1998). In het Nationaal Milieubeleidsplan van 1989 is hierover opgenomen dat maximaal 750.000 woningen in 2000 geurbelast mogen zijn. Voor het jaar 2010 geldt als doelstelling geen ernstige hinder (VROM, 1989, 2001). Geurhinder in de landbouw wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door twee bronnen, namelijk het toedienen van dierlijke mest en het vrijkomen van geur uit de veehouderijgebouwen. Momenteel wordt voor veehouderijbedrijven de Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996 toegepast (VROM en LNV, 1996). Sedert 1999 voert de stalmeetploeg geurmetingen uit aan de stalsystemen die zijn opgenomen in het ammoniakmeetprogramma, met gebruikmaking van een standaard meetprotocol voor geuremissiemeting (Ogink en Klarenbeek, 1997; Ogink en Mol, 2002).

Behalve via onderzoek komen er ook vanuit de praktijk ideeën en initiatieven om de ammoniakemissie terug te dringen. Om deze op waarde te schatten dienen in potentie emissiearme maatregelen onder normale bedrijfsomstandigheden te worden gemeten. De aanvragen voor emissiemetingen konden tot 2003 worden ingediend bij het secretariaat van de stalmeetploeg (Bijlage A). De Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen van de meetploeg beoordeelt alle aanvragen op de volgende criteria: perspectief voor wat betreft de vermindering van de ammoniakemissie, toepasbaarheid in de praktijk en mogelijk negatieve milieueffecten.

In bovenstaand kader is door de stalmeetploeg onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een welzijnsvriendelijk groepshuisvestingssysteem voor dragende zeugen. Dit nieuwe stalconcept combineerde strogebruik met huisvesting van de dragende zeugen in kleine groepen. De belangrijkste emissiereducerende maatregelen berustten op het bestrijden van hokbevuiling en het beperken van het emitterend oppervlak via de hokinrichting. De gemeten ammoniakemissie werd vergeleken met emissiefactoren voor stallen voor dragende zeugen zoals die zijn opgenomen in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (Infomil, 2002).





## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Stal- en bedrijfssituatie

#### 2.1.1 Bedrijfssituatie

De metingen zijn uitgevoerd aan een nieuw welzijnsvriendelijk groepshuisvestingssysteem voor dragende zeugen dat eind mei 2000 in gebruik werd genomen. De ammoniakemissie werd gedurende twee maanden gemeten namelijk één maand in de zomer en één maand in de winter. In Bijlage B is een plattegrond van het meetobject weergegeven.

#### 2.1.2 Huisvesting

De stal bestond uit 2 rijen van ieder 10 hokken met een diepte van 7,40 m, waarvan 18 hokken een breedte van 4,40 m hadden. Twee hokken in de zuidwest hoek van de stal waren 0,80 m breder. Tussen de hokken aan de oostzijde bevond zich een berenhok van 1,60 m bij 7,40 m. Centraal in de stal, tussen beide rijen bevond zich een werkgang van 2,00 m breed met aan beide kopeinden een schuifdeur. In Bijlage B is een plattegrond van 1 hok en een zijaanzicht weergegeven. Eén hok bood plaats aan maximaal 8 zeugen en kon worden opgedeeld in verschillende functionele gebieden, namelijk: een voerruimte, een ligruimte en een mestruimte. In Tabel 1 zijn de oppervlakten van de zeugenhokken en de functionele gebieden daarbinnen weergegeven.

	Oppervlaktes normaal hok (m <sup>2</sup> ) 18 van de 20 hokken	Oppervlaktes groot hok (m <sup>2</sup> ) 2 van de 20 hokken
Hok	32,56	38,48
Voerruimte	10,56	12,48
- ingemetselde trog	1,76	2,08
- roostervloer	1,32	1,56
Ligruimte	11,00	13,00
Mestruimte	11,00	13,00
-geperforeerde vloer	3,08	3,64
Beschikbare ruimte per zeug	3,85	4,55

Tabel 1 Oppervlakte van de functionele gebieden in een zeugenhok en de beschikbare ruimte per zeug.  
*Table 1 Area of the different elements of the sow pens and the available area per sow.*

De voerruimte bestond uit 8 individuele voerboxen. Een box was 0,55 m breed en bestond uit een 0,40 m brede trog met een drinkwaternippel, een hellende dichte vloer van 1,70 m en een betonnen roostervloer van 0,30 m. Onder de roostervloer lag een mestkelder van 1,00 m diep. Per box was een voerautomaat geïnstalleerd waarmee de dieren tweemaal per dag simultaan werden gevoerd. De voerbox was niet afsluitbaar.

De hokken lagen met de ligruimte tegen de centrale werkgang. Een ligruimte bestond uit één ruimte met een betonnen dichte vloer welke dagelijks werd ingestrooid met gerstestro en

functioneerde als rustplaats. De ligruimte was rondom begrensd met een dichte hokafscheiding uitgezonderd van een 1,40 m brede doorgang naar de mestruimte.

De mestruimte lag tussen de voerruimte en de ligruimte. De vloer in de mestgang was dicht en liep af naar een smalle strook met gaatjes in de vloer. Onder de geperforeerde vloer lag een mestkelder van 1,00 m diep. Deze mestkelders stonden via openingen onder in de scheidingswand in verbinding met de aangrenzende kelder onder de roosters van de voerruimte. In het verlengde van de mestgangen aan beide kopeinden waren schuifdeuren geplaatst. Deze werden geopend bij het mestvrij maken van de mestgangen.

In de stal was een berenhok aanwezig met een oppervlak van 11,84 m<sup>2</sup>, waarvan 10,24 m<sup>2</sup> dichte vloer, 1,12 m<sup>2</sup> geperforeerde vloer en 0,48 m<sup>2</sup> betonroostervloer. De mestkelder onder de twee laatstgenoemde vloeren was eveneens 1,00 m diep.

### 2.1.3 Ventilatie

De stal werd natuurlijk geventileerd. Hiervoor waren in beide zijgevels van de stal over de gehele lengte ventilatieopeningen aangebracht. De openingen zaten direct onder de goot en waren voorzien van windbreekgaas. In de stal zorgde lange ventilatiekleppen voor de geleiding van de ingaande lucht. Via de open nok kon de lucht wegstromen. In de nok was een kantelklep geplaatst. Dak en gevels waren geïsoleerd, met uitzondering van de schuifdeuren.

### 2.1.4 Ammoniakemissiereducerend principe

Van stalsystemen met strogebruik zijn slechts weinig emissiegegevens beschikbaar. Dit was een voornaam argument om emissiemetingen aan dit nieuwe welzijnsvriendelijke stalconcept uit te voeren. Bovendien bevatte het stalontwerp enkele aspecten waarmee de ammoniakemissie beteugeld zou kunnen worden. Via de hokinrichting werd beoogd het lig- en mestgedrag van de zeugen te beheersen. Onderzoek naar de ammoniakemissie bij een stalsysteem met een uitgekiende stalinrichting leverde een reductie van 38% t.o.v. een traditioneel stalsysteem (Hol en Grootkoerkamp, 1999).

In het onderhavige stalontwerp werd emissiereductie beoogd door:

1. fysieke scheiding van het lig- en mestgebied in combinatie met een lage bezetting,
2. het dagelijks schoonhouden van het liggebied,
3. continue afvoer van urine via afschot van de mestgang en dagelijks verwijderen van de mest uit de mestgang,
4. een klein uitwisselend oppervlak van de mestkelder onder een strook met perforaties in de vloer aan de lage kant van de mestgang.

Een lage bezetting werkt doorgaans emissieverhogend, maar omdat de ligruimte met dichte afscheidingen begrensd was, werd bevuilding van de ligruimte bestreden. In een varkensstal wordt het emitterend oppervlak gevormd door het totale oppervlak van (rooster-)vloer en wanden die bevuild zijn met urine en mest inclusief het mestkelderoppervlak. Aangezien het oppervlak van de gaatjes in de mestgang minder dan 5% van het vloeroppervlak omvatte kon de vloer als dicht

aangemerkt worden en het onderliggende mestkelderoppervlak buiten beschouwing gelaten worden. Het emitterend oppervlak (mestgang, roostervloer en kelderoppervlak onder de betonroostervloer) bedroeg in deze stal slechts 42% van het hokoppervlak en was daarmee relatief klein.

Opname van stro geeft een verschuiving van de hoeveelheid stikstof van de urine naar feces (Cahn *et al.*, 1998) en kan de ammoniakemissie reduceren. Het stro in de ligruimten werd dagelijks aangevuld. Volgens Aarnink (1997) kan natuurlijke ventilatie een reducerend effect op de ammoniakemissie hebben omdat bij koele weersomstandigheden een lage staltemperatuur optreedt.

## **2.2 Bedrijfsvoering**

### **2.2.1 Zoötechniek**

Volgens de welzijnsnormen voor dragende zeugen in groepshuisvesting moet het minimale beschikbare oppervlak 2,25 m<sup>2</sup> per zeug zijn (Varkensbesluit, 1998). In deze stal was op basis van 8 dierplaatsen per hok 3,85 m<sup>2</sup> per zeug beschikbaar. In de twee afwijkende hokken was 4,55 m<sup>2</sup> per zeug beschikbaar. In de stal werden de dragende zeugen (40 stuks zuiver NL en 120 stuks F1-zeugen Y x NL) vanaf de 1e dracht gehuisvest. Een week voor de verwachte werpdatum werden de zeugen naar de kraamstal verplaatst. Verplaatsing van de zeugen vond zoveel mogelijk op vaste dagen in de week plaatst.

### **2.2.2 Klimaat**

De stal was natuurlijk geventileerd en had geen verwarming. Via lange, verstelbare kleppen van isolatiepanelen kon de werp van de binnenkomende lucht worden geregeld. Met behulp van een handbediende kantelklep kon de nokopening aangepast worden. Overwogen werd om bij zeer lage buitentemperaturen de helft van de inlaatopeningen in de zijgevels af te sluiten.

### **2.2.3 Voeding**

De dieren werden twee maal per dag, 's ochtends tussen 7:00 en 8:30 uur en 's middags om 15:30 uur, gevoerd. Daarvoor was per voerbox een voerautomaat boven de trog gemonteerd. Afhankelijk van het drachtigheidsstadium werd de verstrekte hoeveelheid per hok aangepast. Verder konden de dieren onbeperkt water opnemen via de drinknippels die boven de trog aangebracht waren. De zeugen konden onbeperkt eten van het stro in de ligruimte. Tabel 2 geeft de samenstellingen van het krachtvoer en stro. Hoeveel de zeugen van het stro opnamen is onbekend.

Voersoort	Energiewaarde (-)	Ruw eiwit (g/kg)
Krachtvoer	1,0	133
Gerstestro (geschat door Centraal Veevoeder Bureau)	0,3	34

Tabel 2 Energiewaarde en ruw eiwitgehalte van krachtvoer en stro.

*Table 2 Energy value and crude protein content of concentrate and straw.*

## 2.2.4 Gezondheid

De dieren werden dagelijks tussen 9:00 en 10:00 uur visueel gecontroleerd en indien nodig individueel behandeld. Via de ramen in de zijgevels kwam het daglicht naar binnen. De TL-verlichting in de stal werd automatisch van 6:00 uur tot 22:00 uur ontstoken.

## 2.2.5 Mestmanagement

Iedere dag werd de mestgang met een shovel mestvrij gemaakt, waarbij de dieren in de ligruimte opgesloten werden. Vooraf werden bevulde plekken handmatig uit de ingestrooide ligruimte verwijderd en in de mestgang gedeponereerd. Als er al bevulling van de ligruimte plaatsvond dan was dat voornamelijk bij de doorgang naar de mestruimte. Dagelijks werd direct na het mestschuiven uit de mestgang het stro in de ligruimte aangevuld. Per dag werd gemiddeld ongeveer 360 gram gerstestro per dierplaats verstrekt. Deze handelingen vonden in de ochtend na de het voeren plaats. Gedurende beide meetperioden werden geen mestkelders geleegd.

## 2.3 Metingen

### 2.3.1 Algemeen

In Tabel 3 worden de data en het totaal aantal dagen van beide meetperioden vermeld. In dit verslag zijn geen productiekentallen opgenomen aangezien het voer- en water verbruik van de dieren niet werd geregistreerd. De zeugen zijn slechts gedurende een fase van de reproductieketen drachtig en in het meetobject aanwezig, hieraan zijn geen directe productiekentallen te koppelen. Bovendien was de stal bij aanvang van de metingen slechts enkele maanden in gebruik.

	Zomerperiode	Winterperiode
Start metingen	1 augustus 2000	14 november 2000
Einde metingen	31 augustus 2000	14 december 2000
Aantal meetdagen	25	29

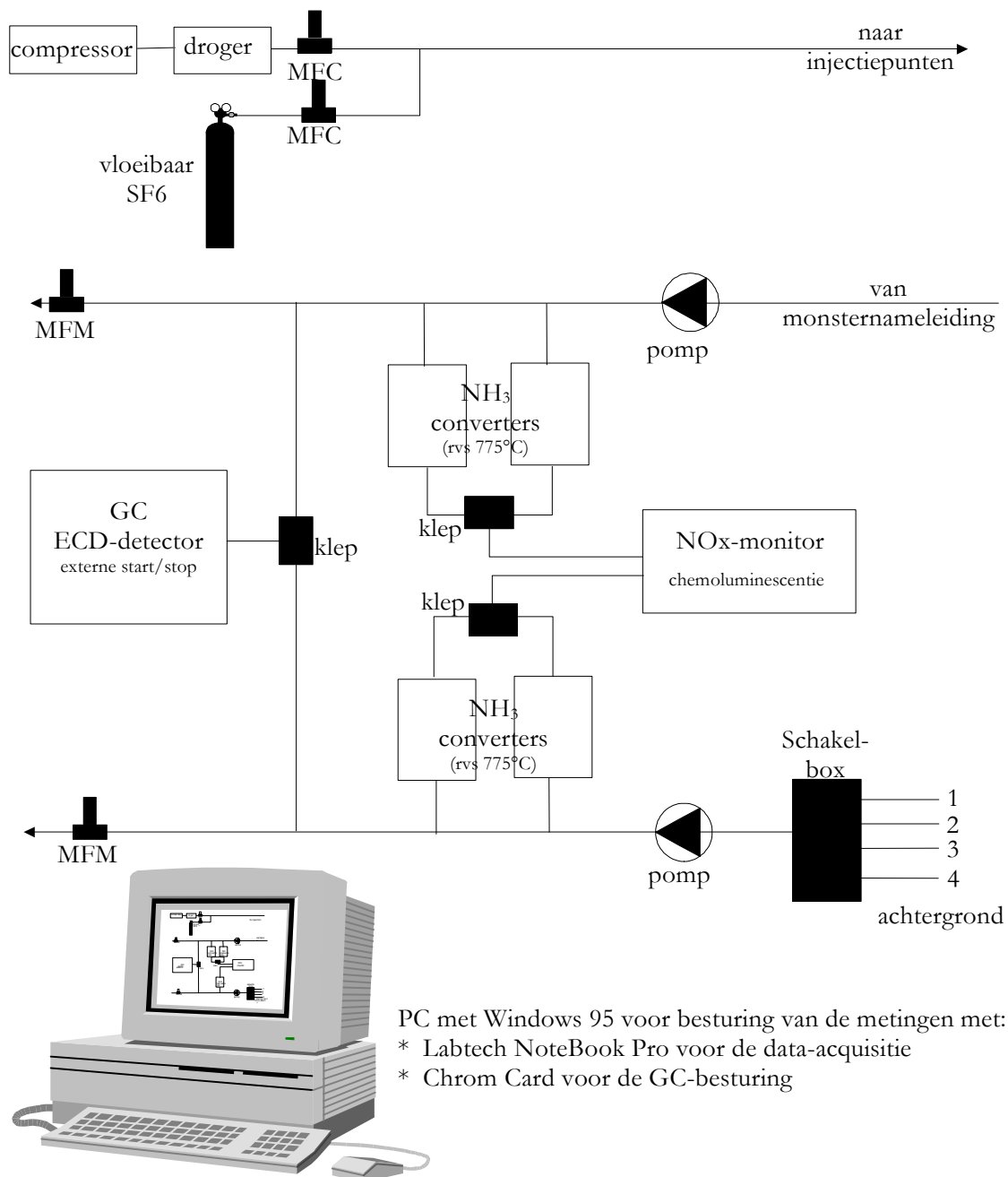
Tabel 3 Start- en einddata van beide meetperioden en het aantal meetdagen.

*Table 3 Begin and end date of the two periods and the number of measuring days.*

Gedurende de meetperioden zijn de volgende variabelen semi-continu gemeten:

- Relatieve luchtvochtigheid en temperatuur in de stal en buiten (§ 2.3.2);
- Tracergasinjectie en -concentratie ( $SF_6$ ) in de stal en de achtergrondconcentratie rondom de stal (§ 2.3.3.1);
- $NH_3$ -concentratie in de stal en de achtergrondconcentratie aan alle gevels van de stal (§ 2.3.3.2).

De geurconcentratie werd per meetperiode 5 keer bepaald (§2.3.3.3). In Figuur 1 zijn de tracer gasinjectie en de gasanalyseapparatuur schematisch weergegeven.



Figuur 1 Schema van de meetopstelling voor de tracer gasinjectie en de gasanalyse  
 Figure 1 Scheme of the experimental setup for tracer gas injection and gas analysis

De meetopstelling was geautomatiseerd met data-acquisitieapparatuur die door een industriële PC aangestuurd werd. Het besturingsprogramma voor de data acquisitie was met Notebook Pro (versie 10.1) van de firma Labtech ontwikkeld. De gaschromatograaf, gebruikt voor bepaling van

de tracergasconcentratie, werd aangestuurd door Chrom-Card software. De Notebook Pro-applicatie registreerde alle meetwaarden, inclusief de tracergasconcentraties die door Chrom-Card-software uitgelezen werden. Wekelijks werd de meetapparatuur gekalibreerd. Alle veranderingen en werkzaamheden werden in een logboek bijgehouden.

### 2.3.2 Klimaat

De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) werden continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensoren was resp.  $\pm 1,0$  °C en  $\pm 2$  %. Twee sensoren voor de binnenlucht hingen op eenderde en tweederde van de lengte van de stal op ongeveer 2,5 m hoogte en boven de hokafscheiding tussen de ligruimte en de mestgang. De sensor voor de buitenlucht hing op circa 5 m hoogte aan de noordzijde van de stal. De sensoren werden vóór en na de metingen gecontroleerd.

### 2.3.3 Interne tracergasratio-methode

De interne tracergasratio-methode gaat uit van de aanname dat een geïnjecteerd tracergas en het gas waarvan de emissie bepaald moet worden, in dit geval ammoniak en geur, zich op dezelfde manier door de stal verspreiden en zo een vergelijkbaar concentratieprofiel in de stal geven. Onder deze aanname is de verhouding van de bronsterkten van beide gassen direct terug te vinden in de verhouding van de gemeten gasgehalten. In het onderhavige meetobject werd verondersteld dat de ammoniak en geur vrijkomen vanaf de vloer van de mestruimte. Uitgangspunt voor de emissie van ammoniak en geur uit de stal is dat alle gevormde ammoniak en geur uiteindelijk de stal verlaat en daarmee de bronsterkte van ammoniak en geur gelijk te stellen is aan de ammoniak- en geuremissie.

Door een tracergas vrij te laten in de mestruimte, de oppervlaktebron van ammoniak, zullen de verdelingen van de tracergas en ammoniak door de stal vergelijkbaar zijn (Scholtens en Huis in 't Veld, 1997). Aangenomen wordt dat de injectie van tracergas als een oppervlaktebron beschouwd mag worden en dat geur zich hetzelfde gedraagt als ammoniak. Na het vrijkomen van een gas vindt transport door en menging met stallucht plaats, waarna het gas de stal via een ventilatieopening verlaat. Uit de gemeten tracergas injectiehoeveelheid ( $Q_{tr}$ ) en de concentratieverschillen tussen binnen- en buitenlucht voor tracergas ( $\Delta C_{tr}$ ) en ammoniak ( $\Delta NH_3$ ) kan de emissie ( $E_{NH_3}$ ) uit navolgende vergelijking berekend worden:

$$E_{NH_3} = \frac{\Delta C_{NH_3}}{\Delta C_{tr}} * Q_{tr} \quad (1)$$

De voornaamste voorwaarden voor emissiebepalingen volgens deze methode zijn dat:

- het tracergas nabij de ammoniakbron wordt geïnjecteerd;
- het verschil in dichtheid van het ingeblazen gasmengsel en de stallucht minimaal is;
- de lucht in de stal representatief bemonsterd wordt.

Verondersteld werd dat de emissiebron overeenkwam met de vervluchtiging van ammoniak in de mestruimte.

### 2.3.3.1 Tracergasinjectie en -concentratie

In de meetruimte werden met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF<sub>6</sub>-gas en droge perslucht met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel werd door een ringleiding met speciaal ontworpen injectiepunten in de stal gebracht. In ieder injectiepunt was een orifice (plaatje met zeer kleine doorstroomopening) geplaatst. Hierdoor werd het tracergas gelijkmatig over de 18 injectiepunten in de stal verdeeld. De injectiepunten bevonden zich bij de doorgang van de ligruimte naar de mestgang en waren 5 cm boven de vloer aangebracht. In Bijlage B is een plattegrond van de stal met de injectieplaatsen weergegeven. Door de aangepaste vorm en het gebruik van een sinterfilter voor ieder orifice werd voorkomen dat de injectiepunten verstopt raakten. De doorstroming van ieder injectiepunt werd wekelijks gecontroleerd.

De stallucht werd bemonsterd met een verzamelleiding van polyethyleen en een diameter van ¼ inch (0,635 cm). Deze verzamelleiding hing op 4 meter hoogte midden boven de centrale gang. Over de lengte van stal verdeeld werd op zes punten stallucht aangezogen met een debiet van 500 ml/min per monsternamepunt. De buitenlucht werd aan beide zijgevels van de stal op circa 1,5 m hoogte aangezogen. Ook aan beide kopgevels van de stal werd buitenlucht aangezogen en wel boven de grote schuifdeuren op circa 5 meter hoogte. Voor de analyse van het SF<sub>6</sub> tracergas werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (GC), die was uitgerust met een ECD-80 detector (Bijlage C). De GC werd wekelijks gekalibreerd met een gecertificeerd ijkgas van SF<sub>6</sub> in N<sub>2</sub> (50,5 ppb; ± 2%). De resultaten van de kalibraties van de GC zijn vermeld in Bijlage C.

### 2.3.3.2 Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie werd semi-continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Monitor Labs Inc., model ML 8840). Deze methode is door Scholtens (1993) beschreven en een korte omschrijving is in Bijlage D opgenomen. De luchtmonsters voor de tracergasmetingen werden ook voor de bepaling van ammoniakconcentraties gebruikt. Om NH<sub>3</sub> met de NO<sub>x</sub>-monitor te kunnen meten moet het eerst door een converter omgezet worden tot NO. Het gevormde stabiele NO werd met een pomp door polyethyleen slangen naar de monitor gezogen (circa 250 ml/min) en gemeten.

Iedere week werd de monitor gekalibreerd met NO-gas van ca. 10 ppm in stikstof. De resultaten van de kalibraties van de monitor zijn vermeld in Bijlage D. Bij het gebruikte meetprincipe is het signaal van de monitor lineair met de ammoniakconcentratie. De stoffilters in de luchtleiding voor de converters werden regelmatig vervangen. De converters werden voor en na beide meetperioden gekalibreerd. De gemiddelde omzettingspercentages zijn vermeld in Bijlage E.

### 2.3.3.3 Geurconcentratie

Gedurende beide meetperioden zijn 5 geurmonsters verzameld (in totaal 10 metingen). Voor de geuranalyse werd hetzelfde stalluchtmonster gebruikt als voor de bepaling van de mengfactor gebruikt werd. Het stalluchtmonster werd via de verzamelleiding boven het centrale pad aangezogen en door de pomp in geurzakken geblazen. Voorafgaand werden de glasvezel filters in alle aanzuigpunten van de verzamelleiding vervangen. Monstername vond altijd plaats tussen

10:00 en 12:00 uur, waarbij minimaal een uur werd bemonsterd. Voordat de emissiemetingen begonnen is deze werkwijze vergeleken met de gebruikelijke monsternamen waarbij lucht vanaf een punt in het centrum van de stal direct in een geurzak gezogen werd.

De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium volgens de voornorm NVN 2820 met wijzigingsblad A1 (NNI, 1995). Het gebruik van het wijzigingsblad houdt in dat gebruik werd gemaakt van het zogenaamde zekerheids criterium bij het vaststellen van de geurdrempel van het geurpaneel, hetgeen een verbetering is ten opzichte van de eerste versie van NVN 2820. Het geurlaboratorium van Agrotechnology & Food Innovations is onder nummer L313 (voorheen K072) geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses. Aan de geuranalyses werd deelgenomen door een groep van 4 tot 6 panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en –emissies worden vermeld in resp.  $OU_E/m^3$  en  $OU_E/s$ . De eenheid ‘ $OU_E$ ’ staat hierbij voor ‘European Odour Units’. Deze aan de Pre European Norm (PrEN) ‘Odours’ ontleende terminologie sluit beter aan bij de internationale literatuur op het betreffende vakgebied. Tot aan de invoering van de PrEN geldt voor binnenlands gebruik:  $1 OU_E/m^3 = 2 \text{ g.e.}/m^3$  (g.e. = geureenheid). De eenheid g.e. wordt gebruikt voor metingen volgens de eerste versie van de NVN 2820 waarin geen gebruik werd gemaakt van het zekerheids criterium.

## 2.4 Dataverwerking

De geregistreerde meetwaarden werden omgerekend naar uurgemiddelde waarden voor de betreffende fysische grootheden. Voor de injectie van het tracergas werd voor aanvang van de metingen een ijkcurve van de betreffende Mass Flow Controller opgesteld. Deze ijkcurve werd gebruikt voor de bepaling van de injectiehoeveelheid. De uurgemiddelde ammoniakconcentraties werden gecorrigeerd voor de rendementen van de converters en voor het verloop van de monitor die uit de kalibraties met ijkgas volgde. Aan de hand van de wekelijkse kalibraties met een ijkgas werden de uurgemiddelde tracergasconcentraties lineair gecorrigeerd voor het verloop van de GC tussen twee kalibraties. Missende uurwaarnemingen (als gevolg van kalibraties en technische storingen) van tracergas- en ammoniakconcentraties, temperaturen en relatieve luchtvochtigheden werden niet geïnterpoleerd. De ammoniakemissie uit de stal werd berekend volgens de interne tracergasratio-methode. De volgende vergelijking beschrijft de berekeningswijze van de ammoniakemissie volgens de interne tracergasratio-methode in de praktijk:

$$Q_{NH_3}^{NTP}(i,j) = \frac{Q_{SF_6}^{NTP}(i,j)}{\Delta C_{SF_6}(i,j)} * \Delta C_{NH_3}(i,j) = K_M * \Delta C_{NH_3}(i,j) \quad (2)$$

waarin:

$Q_{NH_3}(i,j)$ :  $NH_3$ -bronsterkte op uur i van dag j [ml/min];

$K_M$ : mengfactor [ $m^3/min$ ];

$Q_{SF_6}(i,j)$ : uurgemiddeld  $SF_6$ -injectie tijdens uur i van dag j [ml/min];



$\Delta C_{\text{NH}_3}(i,j)$ : uurgemiddelde  $\text{NH}_3$ -concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht tijdens uur  $i$  van dag  $j$  [ppm];  
 $\Delta C_{\text{SF}_6}(i,j)$ : uurgemiddelde  $\text{SF}_6$ -concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht tijdens uur  $i$  van dag  $j$  [ppm];  
 $i = 1 \dots 24$ : uur op een dag;  
 $j = 1 \dots N$ : nummer van een meetdag in de meetperiode;  
 $T^{\text{NTP}}$ : normaaltemperatuur [273,15 K] en -druk [1013,25 hPa].

De  $\text{NH}_3$ -bronsterkte werd berekend door het  $\text{SF}_6$ -injectieniveau (ml/min) te vermenigvuldigen met de verhouding tussen  $\text{NH}_3$ - en  $\text{SF}_6$ -concentratieverschillen (ppm) tussen binnen- en buitenlucht. De ammoniakemissie werd verondersteld gelijk te zijn aan de aldus berekende  $\text{NH}_3$ -bronsterkte van de stal. De mengfactor KM ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) werd berekend uit de verhouding tussen het  $\text{SF}_6$ -injectieniveau en de gemeten verschilconcentratie van  $\text{SF}_6$ .

De ammoniak-bronsterkte in ml/min werd als volgt omgerekend naar de ammoniakemissie:

$$E(i,j) = Q_{\text{NH}_3}^{\text{NTP}}(i,j) * \rho^{\text{NTP}} * \frac{60}{1000} \quad (3)$$

waarin:

$E(i,j)$ : ammoniakemissie op uur  $i$  van dag  $j$  [g/uur];  
 $\rho$ : soortelijk gewicht van ammoniak [g/l];  
 60: aantal minuten in een uur;  
 1000: omrekeningsfactor van mg naar g.

De gemeten  $\text{NH}_3$ -concentratie in ppm werd met een factor 0,76 (bij 0 °C en 1 atm.) omgerekend naar mg  $\text{NH}_3$  per  $\text{m}^3$  lucht (Weast *et al*, 1986).

Uit de uurwaarnemingen werden daggemiddelden berekend. Indien een daggemiddelde emissie (g/uur) uit minder dan 20 uurwaarnemingen bestond werd deze gehele dag als missend beschouwd. Van beide meetperioden werd de gemiddelde emissie berekend (g/uur). Hieruit werd voor beide meetperioden, op basis van 161 dierplaatsen (160 zeugen + 1 beer), de ammoniak-emissie per dierplaats per jaar berekend. Volgens de Beoordelingsrichtlijn emissie-arme stalsystemen (1996) is de leegstand voor guste- en dragende zeugen 5% op jaarbasis. Hiervoor is gecorrigeerd. De berekende ammoniakemissie werd vergeleken met de emissiefactor voor guste- en dragende zeugen in traditionele stallen met groepshuisvesting en zonder strobed, code D 1.3.13 en een rondloopstal met groepshuisvesting met strobed, code D 1.3.10 (Infomil, 2002).

Om te zien of de emissie een bepaald patroon volgde werden de daggemiddelde waarden van de ammoniakemissie grafisch uitgezet tegen de tijd. Het verloop van de ammoniakemissie over een dag werd zichtbaar gemaakt door van ieder uur op een meetdag de ratio tussen de uurgemiddelde ammoniakemissies en de daggemiddelde ammoniakemissie van die dag te berekenen. Door te delen door de gemiddelde emissie van de betreffende dag ( $E(j)$ ) werd gecorrigeerd voor een

eventuele stijgende of dalende trend tijdens de meetperioden. De ratio's ( $R_E(i)$ ) werden grafisch uitgezet tegen de uren van een dag.

De geuremissie ( $OU_E/s$ ) werd berekend als het product van geurconcentratie ( $OU_E/m^3$ ) en de mengfactor  $K_m$  ( $m^3/min$ ) gedeeld door 60 (aantal seconden per minuut). Per geuremissie werd het natuurlijk logaritme ( $LN$ ) berekend en deze werden gemiddeld. Dit geometrisch gemiddelde werd vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt. Tenslotte werd de geuremissie per dierplaats berekend. Daarbij werden 8 dierplaatsen aan de zeugenhokken en 1 dierplaats aan het berenhok werd toegekend.

## 3 Resultaten

### 3.1 Klimaat en luchtverversing

In Tabel 4 zijn de gemiddelde temperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de berekende mengfactor per dierplaats tijdens beide meetperioden weergegeven. De mengfactor is de verhouding tussen de geïnjecteerde hoeveelheid tracergas en het concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht van het tracergas en geeft als het ware aan hoeveel lucht er nodig is geweest om het geïnjecteerde tracergas te verdunnen tot de gemeten concentratie. De mengfactor wordt hier als maat voor de luchtverversing gebruikt.

In bijlagen F en G zijn van de stallucht en van de buitenlucht respectievelijk de daggemiddelden van de temperatuur en van de relatieve luchtvochtigheid in een grafiek uitgezet. In de zomerperiode was het verschil tussen gemiddelde staltemperatuur en de gemiddelde buitentemperatuur klein ten opzichte van het verschil in de winterperiode.

	Zomer		Winter	
	buiten	stal	buiten	stal
Temperatuur (°C)	19,2	23,2	8,9	17,4
Relatieve luchtvochtigheid (%)	79	66	99	76
Luchtverversing per dierplaats (m <sup>3</sup> /uur)	-	94,0	-	55,3

Tabel 4 Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten en in de stal en verversing per dierplaats voor beide meetperioden.

*Table 4 Mean temperature and relative humidity outdoor and indoor and exchange rate per animal for both measuring periods.*

De luchtverversing was in de zomerperiode beduidend hoger dan in de winterperiode maar de ventilatiekleppen waren in het najaar dan ook verder gesloten. In Bijlage H is het begrip mengfactor nader toegelicht en zijn de uurgemiddelden van de mengfactor voor beide meetperioden grafisch weergegeven.

### 3.2 Ammoniakconcentratie en -emissie

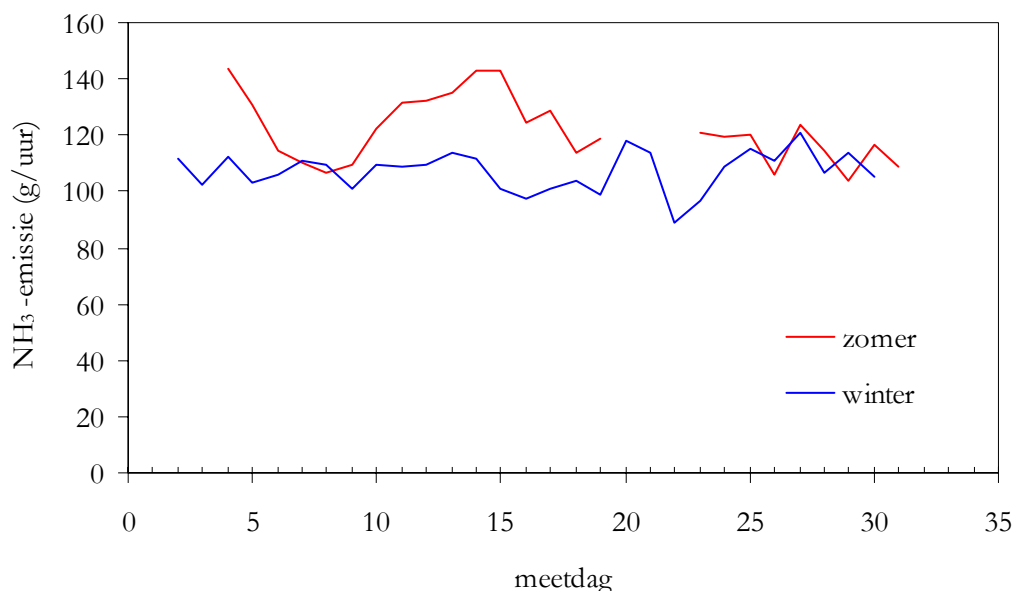
In Bijlage I zijn de gemeten NH<sub>3</sub>-concentraties in de stal en van de buitenlucht voor beide meetperioden opgenomen. In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde ammoniakconcentraties en -emissie tijdens beide meetperioden.

	Zomerperiode	Winterperiode
Aantal meetdagen (-)	25	29
Aantal dierplaatsen (-)	161	161
NH <sub>3</sub> -concentratie stal (mg/m <sup>3</sup> )	8,26	12,54
NH <sub>3</sub> -concentratie ingaande lucht (mg/m <sup>3</sup> )	0,09	0,10
NH <sub>3</sub> -emissie (g/uur)	121,6	107,2
NH <sub>3</sub> -emissie per dierplaats (kg/jaar), incl. 5% leegstand	6,3	5,5

Tabel 5 Gemiddelde NH<sub>3</sub>-concentratie ingaande stallucht en in de stal en NH<sub>3</sub>-emissie uit de stal per dag en per dierplaats per jaar voor beide meetperioden.

*Table 5 Average daily NH<sub>3</sub>-concentration of ambient and indoor air and NH<sub>3</sub>-emission from the sow house per animal place per day and per year for both measuring periods.*

De gemiddeld ammoniakemissie bedroeg in de zomer 6,3 kg per dierplaats per jaar en in de winter 5,5 kg per dierplaats per jaar (met 5% leegstand). In Figuur 2 is het verloop van de daggemiddelde ammoniakemissie uit de stal van de beide meetperioden weergegeven.

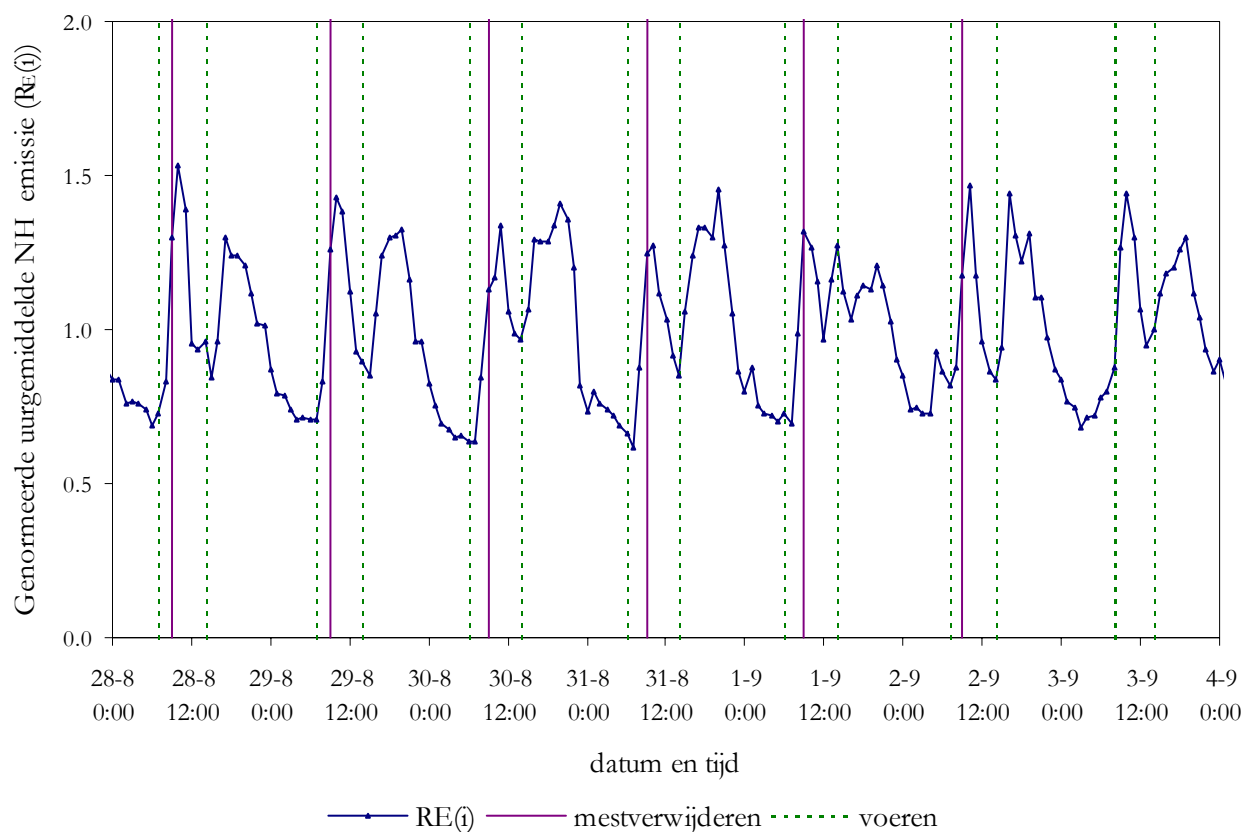


Figuur 2 Daggemiddelde NH<sub>3</sub>-emissie (g/uur) uit de stal voor beide meetperioden.

*Figure 2 Daily average NH<sub>3</sub>-emission (g/h) from the sow house for both measuring periods.*

Figuur 2 laat zien dat de emissie in de zomerperiode in het algemeen hoger was dan in de winterperiode. De gemiddelde emissies vertonen in de zomer een grotere variatie dan in de winter. De metingen in de zomerperiode vonden in de maand augustus plaats. De missende waarnemingen in deze periode ontstonden door technische storingen aan de meetapparatuur (dag 1 t/m 5 en dag 20 t/m 22). Meetdag 1 van de tweede periode werd vastgesteld op 14 november, na kalibratie van de meetapparatuur. Daardoor resteerden er minder dan 20 uren voor deze dag en werd het daggemiddelde als missende waarde aangemerkt. Op meetdag 31 van deze periode was het omgekeerde het geval omdat de meetopstelling na de kalibratie op 14 december afgebroken werden.

In Figuur 3 zijn de uurgemiddelde emissies, genormeerd naar de daggemiddelde emissie, weergegeven voor de meetdagen 25 tot en met 28, dit is van 28 t/m 31 augustus van de zomerperiode. De ratio's geven een beeld van het emissiepatroon. Tevens zijn de voertijdstippen en de momenten van mestverwijdering met verticale lijnen gemarkeerd.



Figuur 3 NH<sub>3</sub>-emissiepatroon van de uurgemiddelde NH<sub>3</sub>-emissie genormeerd naar de daggemiddelde emissie gedurende enkele dagen in de zomerperiode.

*Figure 3 NH<sub>3</sub>-emission pattern of the hour average NH<sub>3</sub>-emission normalized to the daily average during several days in the summer period.*

De y-as van de figuur geeft het verloop van de emissie per uur weer ten opzichte van het daggemiddelde. Dit betekent dat bij waarde 1,0 de emissie gelijk was aan de daggemiddelde emissie. De figuur toont een verloop van twee uitgesproken emissiepieken per dag, waarbij na het voeren een toename in ammoniakemissie werd geregistreerd. Enkele uren na het voeren was de ammoniakemissie weer gedaald naar het laagste niveau.

### 3.3 Geurconcentratie en -emissie

In Tabel 6 wordt de geurconcentratie en -emissie per dierplaats voor beide meetperioden gegeven. In het najaar bleek bij 3 van de 5 monsters een betrouwbare emissie te kunnen worden berekend. Het missen van 2 metingen werd veroorzaakt door technische storingen in de

meetapparatuur. De geuremissie per dierplaats in de zomerperiode bedroeg 27,9  $\text{OU}_E/\text{s}$  en in de najaarsperiode 23,4  $\text{OU}_E/\text{s}$ . Van de 8 metingen was de geometrisch gemiddelde geuremissie gelijk aan 26,1  $\text{OU}_E/\text{s}$  per dierplaats. Dit is hoger dan de geuremissie van 20,3  $\text{OU}_E/\text{s}$  per dierplaats die voor traditionele stalsystemen voor guste- en dragende zeugen is vastgesteld (Mol and Ogink, 2002).

	Zomerperiode	Winterperiode
Aantal metingen (-)	5	3
Aantal dierplaatsen (-)	161	161
Geurconcentratie stal ( $\text{OU}_E/\text{m}^3$ )	1040	1399
Verversing ( $\text{m}^3/\text{uur}$ )	15543	9702
Geuremissie ( $\text{OU}_E/\text{s}$ )	4489	3772
Geuremissie per dierplaats ( $\text{OU}_E/\text{s}$ )	27,9	23,4

Tabel 6 Geometrisch gemiddelde geurconcentratie uitgaande stallucht, luchtverversing en geuremissie per seconde uit de stal en per dierplaats voor beide meetperiodes.

*Table 6 Geometrical mean odour concentration of indoor air, exchange rate and odour emission per second from the sow house and animal place for both measuring periods.*



## 4 Discussie

In het huidige onderzoek bleek dat de ammoniakemissie uit de stal hoog was. Ten opzichte van traditionele stalsysteem voor dragende zeugen werd ca. 40% meer geëmitteerd. Het grote emitterend oppervlak in dit huisvestingssysteem vormt de voornaamste verklaring voor de gemeten hogere emissie. Het aandeel van het emitterend oppervlak in het totale oppervlak in deze stal is relatief klein, maar in absolute zin toch gemiddeld 1,67 m<sup>2</sup> per dierplaats. Voor deze stal wordt het emitterend oppervlak gevormd door de mestgang en het kelderoppervlak onder de roostervloer in de voerboxen. De ligruimte wordt niet hierbij gerekend omdat deze dagelijks schoongehouden werd, fysiek gescheiden was van de mestruimte en er nauwelijks bevuiling geconstateerd werd. Aangezien de openingen in de geperforeerde vloer van de mestruimte minder dan 5% van het oppervlak omvatten is het onderliggende kelderoppervlak eveneens als emitterend oppervlak uitgesloten. Hoewel het emitterend oppervlak niet als enige verklarende variabele geldt wordt de vorming van ammoniak uit ureum gerelateerd aan het met urine bevuilde oppervlak (onder andere Aarnink en Elzing, 1996 en Aarnink *et al.*, 1998). Voor gangbare huisvestingsystemen voor dragende zeugen met minimaal 1,1 m<sup>2</sup> roostervloer per dierplaats is een emissiefactor van 4,2 kg ammoniak per dierplaats per jaar vastgesteld. Correctie van deze emissiefactor, lineair met de genoemde emitterende oppervlakten, zou voor deze stal een jaarlijkse ammoniakemissie van 6,1 kg per dierplaats opleveren.

De perforaties in de vloer van de mestruimte moesten zorgen voor een primaire scheiding tussen urine en feces. De gaatjes waren echter aan één zijde van de mestgang aangebracht waardoor de af te leggen weg voor de urine toch nog lang kon zijn en daarmee het bevuilde oppervlak onnodig groot kon worden. Een smallere mestgang met perforaties in het midden of een sleufvloer zou verbetering in deze situatie kunnen brengen (Swierstra *et al.*, 1999).

Het emissiepatroon (zie Figuur 3) vertoonde een karakteristiek verloop met twee uitgesproken pieken op een dag. De voornaamste verklaring voor dit patroon bestaat uit de activiteit van de dieren die door het voeren geïnitieerd werd, zoals ook door Groenestein *et al.* (2003) gerapporteerd wordt. Een à twee uren na het voeren in de ochtend werden de zeugen in de ligruimte opgesloten voor het mestverwijderen en kwamen ze opnieuw in de benen. Het schuiven van de mest uit de mestgang staat ook weergegeven in figuur 3. Het schuiven zou vergroting van het emitterend oppervlak door versmering van de mestgang kunnen veroorzaken, waardoor de emissie verhoogt zou kunnen worden. Op dagen zonder mestverwijdering zou de emissiepiek dan kleiner moeten zijn. Op 3 september 2003 (meetdag 31 van de zomerperiode) is het schuiven op verzoek achterwege gelaten. De hoogte van de emissiepiek wijkt dan nauwelijks af van de voorafgaande dagen. Het schuiven heeft op korte termijn geen aantoonbaar effect op de ammoniakemissie, waarmee bevindingen uit eerder praktijkonderzoek (Groenestein, 1994) bevestigd worden. De emissiepiek in de ochtend is smaller dan de piek in de middag. Dit zou verklaard kunnen worden doordat in de ochtend een deel van de bron, kort na het vrijkomen ervan, met de mest uit de stal verwijderd wordt. Dit effect van het mestverwijderen is echter moeilijk te kwantificeren omdat de temperatuur en de luchtverversing ook invloed hebben op de vervluchting van ammoniak.



De varkenshouder schatte het stroverbruik op een grote baal van ca. 400 kg per week voor de hele stal. Uit onderzoek naar de ammoniakemissie van diepstrooiselsystemen voor vleesvarkens is gebleken dat onder zuurstofarme condities in het bed minder ammoniak vervluchtigde en meer van het intermediaire gas  $N_2O$  gevormd werd (Groenestein, 1996). Gelet op de laagdikte van het stro in de ligruimte was de omschrijving “ingestrooide ligruimte” hier beter dan “een ligbed van stro” en zal in deze stal de zuurstofvoorziening in het stro toereikend zijn geweest. Bovendien werd bijna geen stro afgebroken omdat natte plekken dagelijks verwijderd werden, waardoor het stro nauwelijks kans kreeg om de koolstof, als energieleverancier voor de bacteriën, vrij te geven.

Het gebruik van stro kan emissiereducerend werken via de voeding. Het stro werd verstrekt voor het comfort van de zeugen, maar de dieren konden er ook van eten. Onderzoek heeft aangetoond dat bij opname van ruwe celstof het metabolisme van de dieren verandert. Dit heeft effect op de samenstelling van de mest. Het veroorzaakt een verschuiving van de hoeveelheid stikstof van de urine naar de feces en verlaagt de pH van de mest (Cahn *et al.*, 1998). Beide aspecten verlagen de ammoniakemissie. Volgens de varkenshouder aten de dieren nauwelijks van het stro. Ook tijdens de wekelijkse stalbezoeken is zelden waargenomen dat de dieren van het stro aten. Het emissiereducerend effect van het strogebruik zal in deze stal derhalve klein zijn.

De hokinrichting voorzag in een comfortabele ligruimte van minimaal 1,38 m<sup>2</sup> per zeug. Met name in de zomer lagen er regelmatig zeugen op de mestgang. Dit liggedrag was een aanwijzing dat de dieren verkoeling zochten. De mestgang biedt meer comfort dan de ligruimte omdat deze niet van een isolerende strolaag voorzien is en de warmte beter geleidt. Natte vloeroppervlakten geleiden de warmte beter dan droge vloeren en door de huid te bevochtigen kunnen de dieren de warmteafvoer eveneens via verdamping bevorderen. De bevuilde huid van de dieren veroorzaakt in voorkomende gevallen een toename van het emitterend oppervlak.

## 5 Conclusies

De ammoniakemissie uit de natuurlijk geventileerde stal voor dragende zeugen was gedurende de zomerperiode gemiddeld 6,3 en voor de winterperiode 5,5 kg per dierplaats per jaar (gecorrigeerd voor 5% leegstand). Dit is gemiddeld 40% hoger ten opzichte van traditionele huisvestings-systemen voor dragende zeugen, die 4,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bedraagt.

De geometrisch gemiddelde geuremissie voor dit huisvestingssysteem bedroeg 26,1 OU<sub>E</sub>/s per dierplaats.



## Literatuur

- Aarnink, A.J.A.. Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behavior. Ph.D. thesis, Agricultural University Wageningen, 1997; 175 pp.
- Aarnink, A.J.A. en A. Elzing. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science*, 1998; 53: 153-169.
- Aarnink, A.J.A., A.J. van den Berg, A. Keen, P. Hoeksma en M.W.A. Verstegen. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on excretory and lying behaviour of growing pigs. *J. agric. Engng Res.*, 1996; 64(4): 299-310.
- Beoordelingsrichtlijn emissie-arme stalsystemen. Uitgave maart 1996 door Stichting Groen Label, Deventer, 1996.
- Cahn, T.T., J.W. Schrama, A.J.A. Aarnink, M.W.A. Verstegen, *et al.* Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Animal Science* 1998; 67: p. 583-590.
- Groenestein, C.M. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIII: zeugenstal met mestverwijdering door schuiven over een gecoate putvloer. Wageningen, DLO, 1994; rapport 94-1004, 11pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H.G. van Faassen. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *J. agric. Engng Res.* 1996; 65: p. 269-274.
- Groenestein, C.M., M.M.W.B. Hendriks en L.A. den Hartog. Effect of feeding schedule on ammonia emission from individual and group-housing systems for sows. *Biosystems Engineering* 2003; 85(1): p. 79-85.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIV, Rondloopstal voor dragende zeugen met voerstation en strobed. Wageningen, IMAG, 1999; Rapport 99-08, 22 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G., A.C. Wever en A.J.A. Aarnink. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen XLIX, Beddenstal voor vleesvarkens. Wageningen, IMAG, 2001; Rapport 2001-04, 24 pp. excl. bijlage.
- Infomil. LA04 Regelgeving. Handreiking Ammoniak en Veehouderij. Rapport, Den Haag, 2002; 86 pp.
- Mol, G. en N.W.M. Ogink. Geuremissies uit de veehouderij II: Overzichtsrapportage 2000 – 2002. IMAG, Wageningen 2002; nota P 2002-09, 68 pp.
- NNI. NVN 2820/A1 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Maart 1995. (met wijzigingsblad A1, in brief aan geaccrediteerde instellingen 1996), 1995

- Ogink, N.W.M en J.V. Klarenbeek. Evaluation of a standard sampling method for determination of odour emission from animal housing systems and calibration of the Dutch pig odour unit into standardised odour units. In: Proceedings of the International symposium. Ammonia and odour control from production facilities; 1997; Vinkeloord, The Netherlands, 1997; p. 231-238.
- Ogink, N.W.M. en G. Mol. Uitwerking van een meetprotocol voor het meten van geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG, Wageningen 2002; nota P2002-57, , 31 pp.
- Scholtens, R.. NH<sub>3</sub>-converter + NO<sub>x</sub>-analyzer. In: E.N.J. Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, 1993; p. 19-22.
- Scholtens, en J.W.H. Huis in 't Veld. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. Wageningen, DLO, 1997; Rapport 97-1006, 35 pp. excl. bijlage.
- Sliggers, J (Ed.). 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, Den Haag, oktober 2001; 229 pp.
- Swierstra, D. en C.R. Braam. Grooved floor systems to reduce ammonia emission and to prevent slipperiness in loose houses for cows. Proceedings: Die 4. Internationale Tagung: 'Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung', 9.-10. März, Freising (D), 1999; p. 487-490.
- Varkensbesluit. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatscourant 473, Den Haag, 1998
- VROM. Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1989.
- VROM. Nationaal Milieubeleidsplan 3. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1998.
- VROM. Nationaal Milieubeleidsplan 4; Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 2001.
- VROM en LNV. Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag, 1996.
- Weast, R.C., M.J. Astle and W.H. Beyer. Handbook of chemistry and physics, 67th Edition. Florida, CRC Press Inc. Insert here your references, 1986.



## Dankwoord

Onderzoek naar de emissie uit veestallen onder praktische omstandigheden vergroot het inzicht in en de kennis over de milieubelasting. Met deze kennis nemen de mogelijkheden om deze belasting te verminderen c.q. te voorkomen toe. Op voordracht van Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen is onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een welzijnsvriendelijk groepshuisvestingsstelsel voor dragende zeugen. Het onderzoek is uitgevoerd door de stalmeetploeg van IMAG (thans Agrotechnology & Food Innovations) op het bedrijf van de familie Verhoeven in Valkenswaard. Wij zijn alle partijen erkentelijk voor de gelegenheid die geboden is voor het meten van dit stalsysteem en voor de goede samenwerking. De resultaten dragen bij aan de kennis van ammoniakemissie uit stalsystemen met strogebruik.

Dr. Ir. C.E. van 't Klooster  
Directeur Business Unit Agrisystems & Environment

## Samenvatting

Ammoniak is naast  $\text{NO}_x$  en  $\text{SO}_x$  één van de meest belangrijke verzurende componenten in ons milieu. De overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau van 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn. Ter ondersteuning van de regelgeving voor geurhinder door de veehouderij voert de stalmeetploeg aanvullende geuremissiemetingen uit aan stalsystemen waar ook  $\text{NH}_3$  wordt gemeten. In dit kader werd onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een welzijnsvriendelijke en natuurlijk geventileerde stal voor dragende zeugen. Gebrek aan kennis van ammoniakemissie uit stalsystemen met stroverstreking en huisvesting van de dragende zeugen in kleine groepen vormde de aanleiding voor dit onderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd gedurende twee perioden van een maand in een nieuwe stal voor dragende zeugen. De hokken in de stal konden worden opgedeeld in een voer-, een mest- en een ligruimte. Het voergebied bestond uit 8 voerboxen met een dichte betonnen vloer en een smalle strook betonroosters aan de achterzijde. In iedere box was een drinknippel boven de trog aangebracht. Het rustgebied bestond uit een hellende betonnen vloer die werd ingestrooid. De stal werd natuurlijk geventileerd via openingen over de gehele lengte van de zijgevels en een nokopening die met een kantelklep regelbaar was. De zeugen werden tweemaal daags gevoerd en het water was *ad lib.* beschikbaar.

In de onderzoekstal waren op basis van 8 dieren per hok 160 dierplaatsen beschikbaar. Daarnaast bood de stal ruimte aan 1 beer. Van 1 tot 31 augustus 2000 (zomerperiode) en van 14 november 2000 tot 14 december 2000 (winterperiode) werden de ammoniak- en geuremissie en het klimaat gemeten. De ammoniakemissie en het klimaat werden semi continu gemeten, de geuremissie werd 5 maal per meetperiode tussen 10:00 en 12:00 uur gemeten.

De gemiddelde buitentemperatuur was voor de zomermeting  $19,2\text{ }^\circ\text{C}$  en voor de wintermeting  $8,9\text{ }^\circ\text{C}$ . De gemiddelde temperatuur in de stal in beide perioden was respectievelijk  $23,2\text{ }^\circ\text{C}$  en  $17,4\text{ }^\circ\text{C}$ . Als maat voor het bijbehorende debiet per dierplaats is de mengfactor van het tracergas gebruikt en deze bedroeg respectievelijk  $94,0\text{ m}^3/\text{uur}$  en  $55,3\text{ m}^3/\text{uur}$ . De ammoniakemissie was gedurende de zomerperiode gemiddeld  $6,3\text{ kg}$  per dierplaats per jaar en voor de winterperiode  $5,5\text{ kg}$  (gecorrigeerd voor 5% leegstand). De emissie van het onderzochte stalsysteem was gemiddeld 40% hoger dan de emissiefactor voor traditionele stalsystemen. Als belangrijkste verklaring hiervoor wordt het grote emitterend oppervlak per dierplaats aangedragen.

De geometrisch gemiddelde geuremissie bedroeg in de zomerperiode  $27,9\text{ OU}_E/\text{s}$  per dierplaats en in de winterperiode  $23,4\text{ OU}_E/\text{s}$  per dierplaats, waarmee de geometrisch gemiddelde geuremissie  $26,1\text{ OU}_E/\text{s}$  per dierplaats bedroeg.



## Summary

Deposition of ammonia, besides NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> deposition, causes acidification and eutrophication of the environment. The policy of the Dutch government aims at a reduction of 50% in the 2000 and 70% in 2005, compared with the emission level in 1980. Also, new legislation on odours from animal husbandry is being prepared. Within this framework research was carried out into the emission of ammonia and odour from a house for pregnant sows with pens for small groups. The emission reducing principal of the system was a combination of a reduced emitting surface area (slatted floors, pit), and a reduced temperature in the rooms. However the last principal was not applied in this research.

The research was conducted during one summer period and one winter period. The measurements were conducted in a naturally ventilated sow house with 20 pens. The pens could be divided in a foraging area, an area for resting and a dunging area. The foraging area contained 8 feeding boxes with a trough and a drinking nipple above the trough in each box. The resting area was a solid floor with limited straw bedding. The dunging area was 22% of the total compartment surface area. Ventilation air entered through inlet openings that were situated on the whole length of both sidewalls. Manually adjusting inlet and outlet hatches controlled the ventilation rate. Feeding took place twice a day and water was *ad lib.* available.

The sow house could contain 160 pregnant sows, based on 8 sows per pen, and 1 boar. The measurements (ammonia and odour emissions, climate) were carried out from 1 to 31 August 2000 (summer period) and from 14 November 2000 to 14 December 2000 (winter period). The measurements of ammonia and climate were semi continuously. Odour was measured 5 times per measuring period between 10:00 and 12:00 hours.

Average outside temperature was 19.2 °C during the summer and 8.9 °C during the winter measuring period. The average room temperatures were 23.2 °C and 17.4 °C, respectively. Per animal, the dispersion factor of the tracer gas amounted 94.0 m<sup>3</sup> per hour and 55.3 m<sup>3</sup> per hour. These factors were used as a measure for the ventilation rate during the summer and the winter period, respectively. The ammonia emission was 6.3 kg per animal place per year for the summer period and 5.5 kg per animal place per year for the winter period and exceeded the Dutch emission factor with 40%. The large emitting areas mainly explained the high emission rates.

The geometrical mean odour emission amounted in the summer period was 27.9 OU<sub>E</sub>/s per animal place and 23.4 OU<sub>E</sub>/s per animal place in the winter period. The geometrical mean odour emission over all the measurements was 26.1 OU<sub>E</sub>/s per animal place.



## Bijlagen

- Bijlage A Kader en contactpersonen stalmeetploeg
- Bijlage B Plattegrond van de stal en situatiefoto
- Bijlage C Kalibratieresultaten van de gaschromatograaf
- Bijlage D Principe en kalibratieresultaten NO<sub>x</sub>-monitor
- Bijlage E Omzettingspercentage convertors
- Bijlage F Temperatuur
- Bijlage G Relatieve luchtvochtigheid
- Bijlage H Mengfaktor
- Bijlage I Ammoniakconcentraties

## **Bijlage A Kader en contactpersonen stalmeetploeg**

### **Kader**

De stalmeetploeg verricht ammoniak- en geurmetingen ten behoeve van het ondersteunen van beleidsdoelstellingen van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Deze metingen vinden plaats aan bestaande en nieuw ontwikkelde systemen, voorzieningen en methoden tot het verminderen van de ammoniak- en geuruitstoot uit stallen. Het gaat hierbij met name om systemen waarvan de emissie nog niet eerder is gemeten (categorie I), systemen waarvan die uitstoot verandert als gevolg van beleidswijzigingen door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (categorie II) en systemen voor diersoorten waarvoor nog nauwelijks emissiearme systemen beschikbaar zijn (categorie III). Door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij zijn financiële middelen beschikbaar gesteld voor het meten van ammoniak- en geuremissies aan voornoemde systemen. Deze systemen worden uit de aanvragen geselecteerd door de Begeleidingscommissie van onderzoeksprogramma 309 of haar gedelegeerde. Voor het uitvoeren van metingen beschikt de Begeleidingscommissie over een meetploeg. De uitvoerende instelling waaronder de meetploeg ressorteert is Agrotechnology & Food Innovations (voorheen IMAG). De metingen worden uitgevoerd volgens de beoordelingsrichtlijn “Emissiearme stallen” die is opgesteld door de Stichting Groen Label. De daarin genoemde landbouwkundige voorwaarden vallen onder de verantwoordelijkheid van de aanvrager.

### **Contactpersonen**

Voorzitter Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen

Ir. J.H.G. Tuinte

Expertisecentrum LNV

Bezoekadres: Galvanistraat 7  
6716 AE Ede

Postadres: Postbus 482  
6710 BL Ede

Telefoon: 0318 67 14 00

Coördinator stalmeetploeg

Ing. J.M.G. Hol

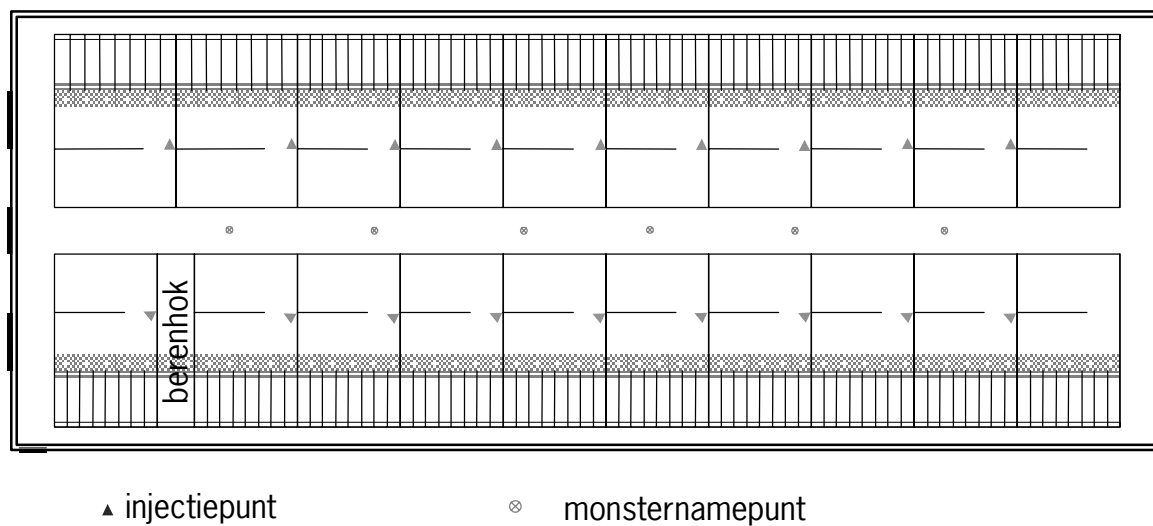
Agrotechnology & Food Innovations

Bezoekadres: Mansholtlaan 10-12  
6708 PA Wageningen

Postadres: Postbus 43  
6700 AA Wageningen

Telefoon: 0317 47 65 97

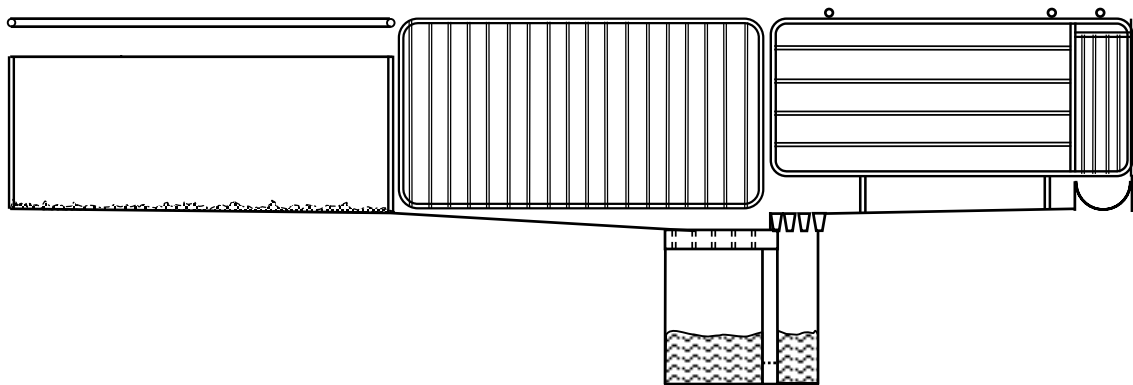
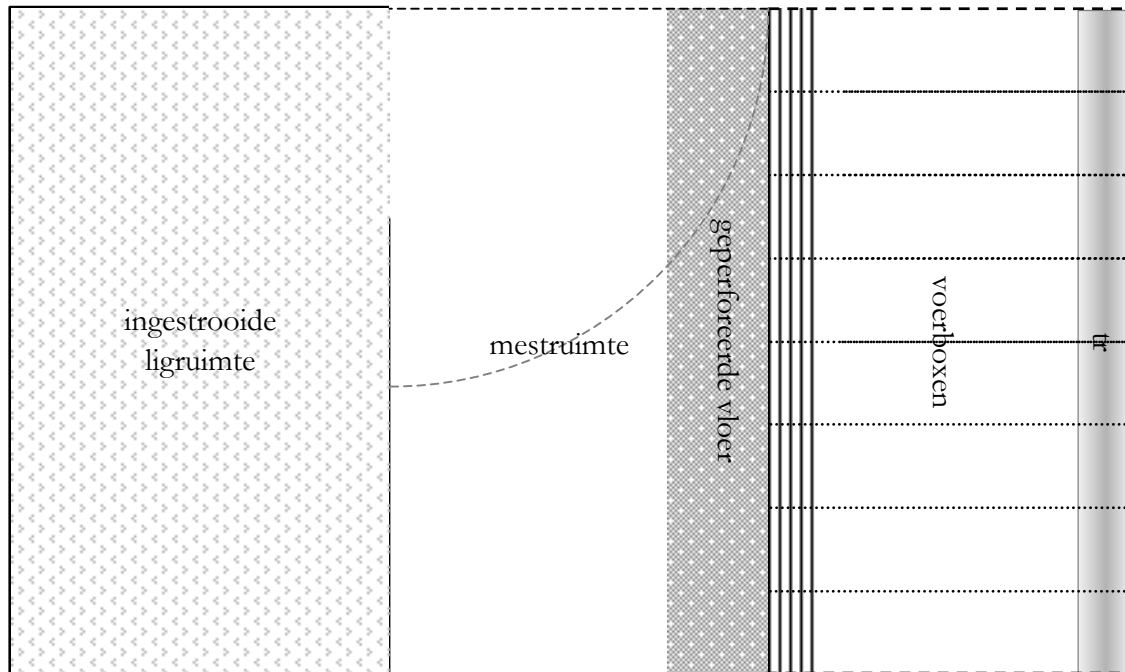
## Bijlage B Plattegrond van de stal en situatiefoto



Figuur B1 Plattegrond van de stal met daarin aangegeven de injectie- en monsternamepunten  
*Figure B1 Plan of the house with marked injection and sampling positions*



Figuur B2 Aanzicht van de stal vanuit het noorden  
*Figure B2 View from the north of the house*



Figuur B3 Inrichting en doorsnede van een hok  
 Figure B3 Lay out and cross section of a pen

## Bijlage C Kalibratieresultaten van de gaschromatograaf

### Tracergasconcentratie

Voor de analyse van het SF<sub>6</sub> tracergas werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (GC 8000 series van Fisons Instruments). Deze was uitgerust met een ECD-80 detector (Electron Capture Detection). Tevens was de GC voorzien van een automatisch injectiesysteem met een injectielus van 500 ml. De stallucht werd continu langs het monsternamepunt van de GC geleid. Iedere 3 minuten werd een luchtmonster genomen en geanalyseerd. De scheiding van de gassen in de GC vond plaats over twee gepakte Molsieve 5A kolommen (kolom 1: diameter 1/8", lengte 1 m; kolom 2: diameter 1/8", lengte 2 m). Nadat het SF<sub>6</sub> de eerste kolom was gepasseerd werd deze middels een backflush-systeem schoongespoeld. Op deze wijze raakten analysekolom 2 en de ECD detector minder snel vervuild. Als dragergas werd zuiver N<sub>2</sub>-gas gebruikt.

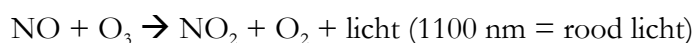
### Kalibratieresultaten

De wekelijkse kalibraties van de gaschromatograaf zijn uitgevoerd met 49,7 ppb SF<sub>6</sub>-gas in N<sub>2</sub> tijdens beide meetperioden. Tijdens de eerste meetperiode bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 5,9%, en tijdens de tweede meetperiode gemiddeld 4,8%.

## Bijlage D Principe en kalibratieresultaten NO<sub>x</sub> monitor

### Meetprincipe

De ammoniakconcentratie wordt continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Advanced Pollution instrumentation Inc., model 200A). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentie-reactie tussen ozon (O<sub>3</sub>) en NO. Bij deze reactie komt NO<sub>2</sub>, zuurstof (O<sub>2</sub>) en licht vrij. De stroom lichtdeeltjes is evenredig met de NO-concentratie van de aangezogen lucht.



Om NH<sub>3</sub> te kunnen meten moet het eerst door een converter omgezet worden tot NO. In de converter passeert de luchtstroom een stoffilter (5-6 μm) waarna het verhit wordt tot circa 775°C. Bij deze temperatuur wordt NH<sub>3</sub> aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De converters zijn in de meetruimte gemonteerd verliezen van NH<sub>3</sub> tijdens transport tot een minimum te beperken worden de luchtmonsters continu via verwarmde polyethyleenslangen aangezogen. NH<sub>3</sub> adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord. Om condensvorming in de slangen te voorkomen worden alle slangen verwarmd met een verwarmingslint en omwikkeld met isolatiemateriaal.

Voor het meten van NO<sub>2</sub>-concentraties kan een molybdeenconverter worden toegepast. In deze converter wordt NO<sub>2</sub> vrijwel voor 100% omgezet naar NO door oxidatie van NO<sub>2</sub> op molybdeen bij ca. 325°C. Een molybdeenconverter kan noodzakelijk zijn als, door transport van NO in zeer lange leidingen, NO wordt omgezet in NO<sub>2</sub>. Tijdens testmetingen met een slang van 350 m is geen verschil gemeten in NO-concentraties voor en na transport door deze slang (Bleijenbergh, R en Ploegaert, J.P.M.. Handleiding meetmethoden ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. Wageningen, IMAG-DLO, 1994; Rapport 94-1, 76 pp). Gedurende dit onderzoek is geen gebruik gemaakt van een molybdeenconverter in de monitor. Onder de gegeven meetomstandigheden vond tijdens het transport van lucht van de NH<sub>3</sub>-converter naar de NO<sub>x</sub>-monitor geen aantoonbare omzetting plaats van NO in NO<sub>2</sub>.

### Kalibratieresultaten

De maximaal meetbare NH<sub>3</sub>-concentratie was 25 ppm tijdens de eerste meetperiode en 20 ppm tijdens de tweede meetperiode. De wekelijkse kalibratie van de monitor werd uitgevoerd met 9,3 ppm NO-gas in N<sub>2</sub> tijdens beide meetperiodes. Tijdens de eerste meetperiode bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 0,9% en tijdens de tweede meetperiode gemiddeld 7,3%. Deze grote afwijking tijdens de tweede meetperiode is hoofdzakelijk toe te schrijven aan een kapotte converter waardoor de meetkamer gedurende een korte periode vervuild is geraakt door ammoniak. Voor het verloop in ammoniakconcentratie tussen 2 kalibraties zijn de concentraties lineair op basis van de duur sinds de voorafgaande kalibratie gecorrigeerd.



## Bijlage E Omzettingspercentage converters

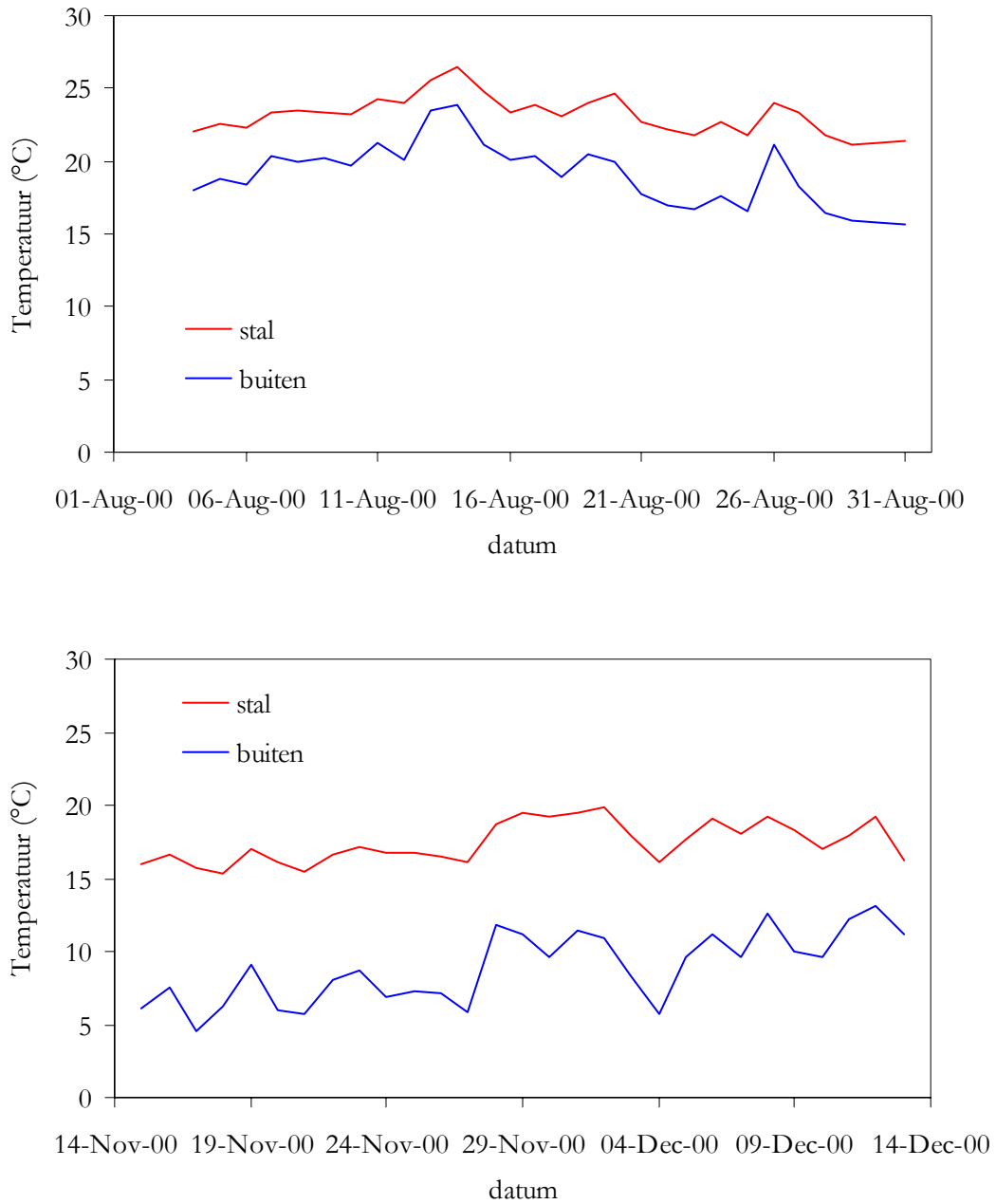
In onderstaande tabel staat per meetpunt het gemiddelde omzettingspercentage van de converters weergegeven bij aanbieding van ongeveer 10 ppm NH<sub>3</sub> in N<sub>2</sub>. De omzettingspercentages van converters zijn bepaald voor het begin en na het einde van de meetperioden. Zowel voor de hoge concentraties (verzamelleiding uit stal) als voor de lage concentraties (achtergrond) zijn 2 converters gebruikt. Na iedere meting wordt het aangevoerde luchtmonster middels een driewegklep door een andere converter geleid. Per kanaal is het gemiddelde van de omzettingspercentages van de aanwezige converters gebruikt voor de correctie van de ammoniakconcentratie.

	Zomerperiode	Winterperiode
Stal	95%	94%
Ingaande stallucht	92%	92%

Tabel E1 Gemiddeld omzettingsrendement van de converters voor beide meetperioden.

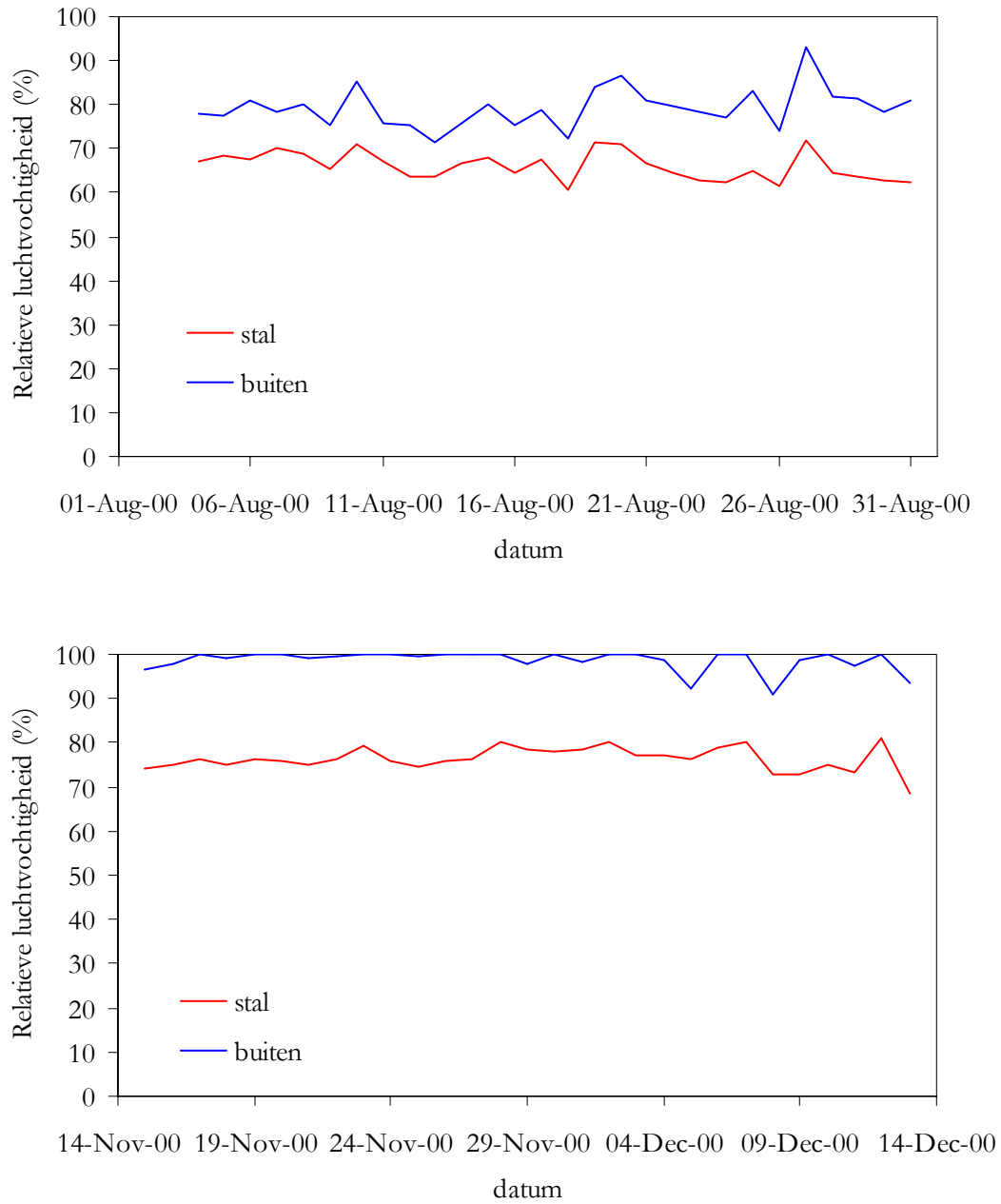
*Table E1 Mean conversion efficiency of converters for both measuring periods.*

## Bijlage F Temperatuur



Figuur F1 Daggemiddelde stal- en buitentemperaturen van beide meetperioden  
*Figure F1 Average daily indoor and outdoor temperatures during both periods*

## Bijlage G Relatieve luchtvochtigheid



Figuur G1 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheden binnen en buiten de stal in beide meetperioden  
*Figure G1 Average daily indoor and outdoor relative humidities during both periods*

## Bijlage H Mengfactor

De ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen wordt bepaald volgens de interne tracergasratio-methode. Bij deze methode wordt aangenomen dat het kunstmatig vrijgelaten tracergas en het gas waarvan de bronsterkte bepaald moet worden, zich op dezelfde wijze vanaf het bronniveau door de stal verdelen. In dit geval is de verhouding van de bronsterktes van beide gassen af te leiden uit de verhouding van de gemeten gasconcentraties.

Tracergasexperimenten zijn in principe bruikbaar voor alle geventileerde ruimten, zolang er een goede menging van de ruimtelucht optreedt. Bij grote concentratiegradiënten of duidelijke stagnatie zones verliest de methode aan nauwkeurigheid indien de aanname van ideale menging van de binnenlucht gehandhaafd wordt. Voor zeer open stallen kan dit een probleem zijn. De verblijftijd van de lucht in de stal kan zodanig laag zijn, dat geen goede menging in de stal optreedt.

In een ideale situatie is voor een oppervlakte met afmeting  $A_O$  de bronsterkte van het tracergas bekend en constant ( $Q_{tr,O}$ ), terwijl de bronsterkte van het te meten gas ( $NH_3$ ) niet bekend en variabel ( $Q_{NH_3,O}$ ) is. Er zijn geen andere storende bronnen aanwezig. Op enige afstand van de bron is, in het gebouw, een concentratiemeetpunt gesitueerd. De op dat punt gemeten concentraties van tracergas ( $C_{tr}$ ) en  $NH_3$  ( $C_{NH_3}$ ) zijn afhankelijk van het mengproces dat het bemonsterde pakketje lucht heeft ondergaan. In een formule kan dit proces als volgt worden weergegeven:

$$C = K \cdot Q \cdot L$$

De weglente  $L$  is de lengte van de door het luchtpakketje afgelegde weg van de bron tot meetpunt. De dispersiefactor  $K$  is een maat voor de menging van het luchtpakketje met stallucht (diffusie en turbulente menging). De constante weglente  $L$  kan met de dispersiefactor worden opgenomen in een dispersiefactor  $K'$  ( $K'=K*L$ ) met dimensie ( $s \cdot m^{-1}$ ).

Uit de bekende bronsterkte van het tracergas en de tracergasconcentratie op het meetpunt kan de dispersiefactor  $K'$  voor het pakketje lucht worden berekend:

$$K' = \frac{C_{tr}}{Q_{tr,O}}$$

Met de berekende dispersiefactor en het oppervlak  $A_O$  wordt de sterkte van de  $NH_3$ -bron bepaald volgens:

$$Q_{NH_3} = \frac{A_O * C_{NH_3}}{K'} = K_M * C_{NH_3}$$

Omdat  $A_O$  constant is kunnen  $K'$  en  $A_O$  samengevoegd worden tot de mengfactor  $K_M (=A_O/K')$  met dimensie ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

Randvoorwaarden voor de interne tracergasratiomethode zijn dat:

- Een goede menging plaatsvindt tussen het tracergas en ammoniak
- Het tracergas nabij de ammoniakbron wordt geïnjecteerd
- Een representatief luchtmonster wordt genomen

In een stal treden de volgende afwijkingen van het bovenstaande model op:

- De NH<sub>3</sub>-bron is niet homogeen in tijd en plaats
- De weglengte en bewegingssnelheid zijn niet gelijk voor alle pakketjes lucht
- De tracergasinjectie is geen echte oppervlaktebron, terwijl de NH<sub>3</sub>-bron dat wel is

De eerste twee afwijkingen hebben ieder tot gevolg dat niet volstaan kan worden met een enkel meetpunt in de stal. Er kan gekozen worden voor meerdere aparte meetpunten in de stal of een verzamelleiding. Aparte in de stal gemeten concentraties worden gemiddeld om de NH<sub>3</sub>-productie te berekenen. Een verzamelleiding op basis van dezelfde meetpunten geeft, mits van ieder meetpunt een gelijke volumestroom wordt bemonsterd, dezelfde gemiddelde concentratie. De volgende vergelijking verduidelijkt het bovenstaande. De gemiddelde concentratie van N meetpunten wordt als volgt berekend:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

De concentratie in de verzamelleiding kan worden berekend met de volgende vergelijking. Aangenomen wordt dat de flow ( $f_i$ ) op ieder meetpunt gelijk is aan  $f$ .

$$C_v = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^N f_i} = \frac{f \cdot \sum_{i=1}^N C_i}{N \cdot f} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

Doordat de flows van meetpunten van de verzamelleiding gelijk zijn komt de gemeten concentratie van de verzamelleiding ( $C_v$ ) overeen met de gemiddelde concentratie op de meetpunten ( $C_p$ ).

Systematische afwijkingen in de interne tracergasratiomethode door de hierboven aangehaalde punten zijn naar verwachting gering, omdat een goed verzamelmonster van de stallucht hiervoor corrigeert. De invloed van de laatste afwijking is sterk afhankelijk van de uitvoering van het injectiesysteem. Geschikte tracergassen dienen aan de volgende voorwaarden te voldoen:

- Lage achtergrondconcentratie
- Het gas mag geen gevaar vormen voor mensen en dieren in het geval van inhalatie, voor de toegepaste concentraties in het gebouw
- Veilig met betrekking tot vuur en explosie bij de gebruikte concentratie
- Lage tracergasconcentraties dienen gemakkelijk en nauwkeurig gemeten te kunnen worden

- Geen invloed van andere gassen die in het gebouw voorkomen op de metingen van tracergasconcentraties
- Geen directe of indirecte invloed van het tracergas op de gemeten gassen
- Goedkoop en eenvoudig te verkrijgen
- Lage milieubelasting

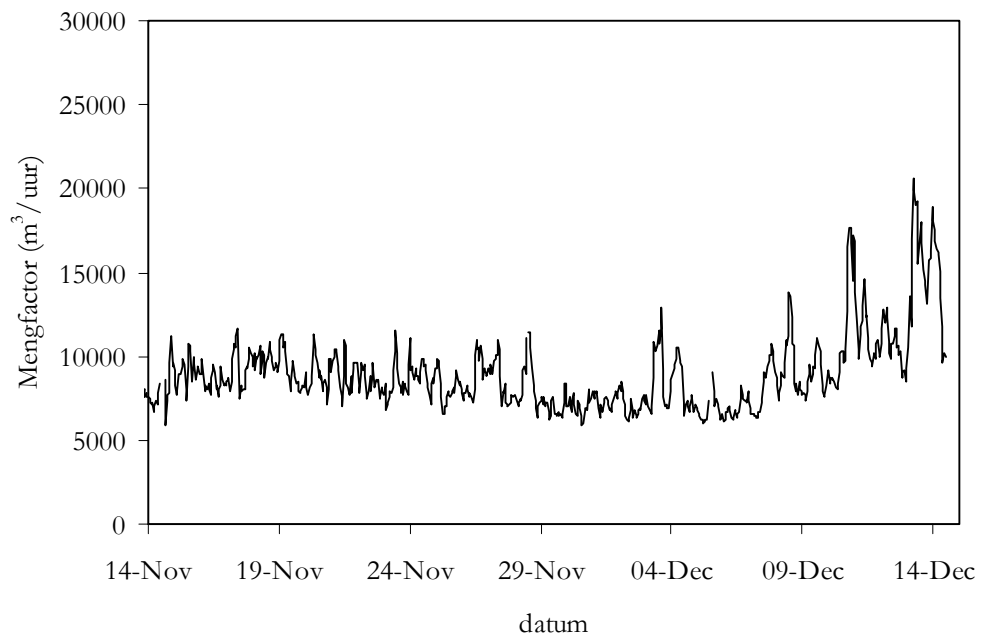
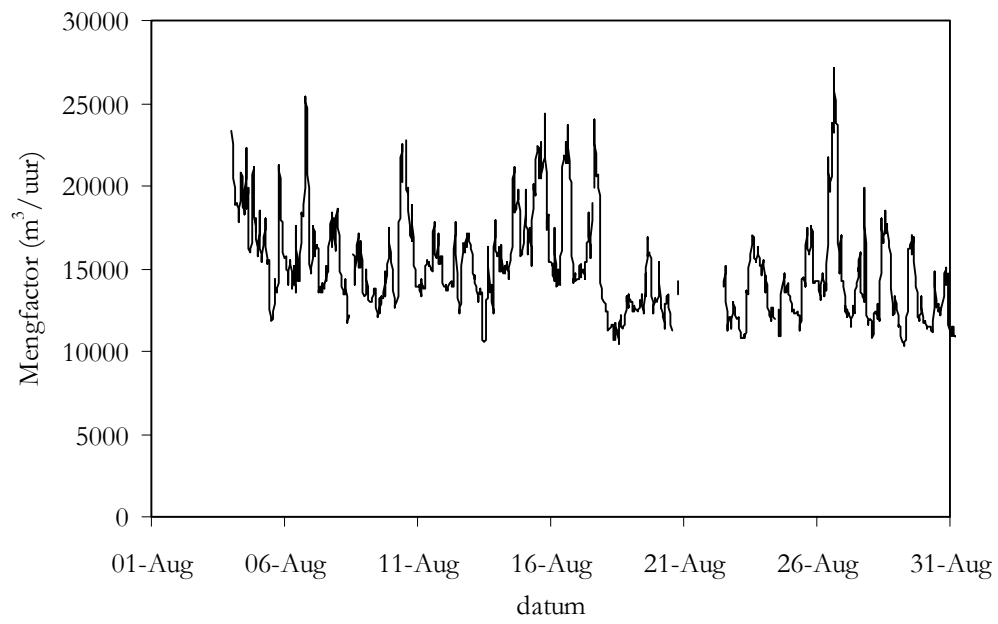
Zwavel hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) is het meest gebruikte tracergas voor ventilatiedoeleinden. Met een gaschromatograaf voorzien van een ECD (Electron Capture Detector) kunnen zeer lage  $\text{SF}_6$  concentraties (ppt's) gemeten worden. Dit betekent dat slechts kleine hoeveelheden van het tracergas geïnjecteerd moeten worden. Bovendien is de natuurlijke achtergrondconcentratie voor  $\text{SF}_6$  erg laag (ppt's). Andere factoren die maken  $\text{SF}_6$  het ideale tracergas is:

- 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:
  - o spuitjes, canisters (gemiddelde concentratie over een meetperiode)
  - o GC-ECD (semi-continu concentratiemetingen)
- Commercieel beschikbaar

Voor toepassing in praktijkstallen heeft  $\text{SF}_6$  de volgende nadelen:

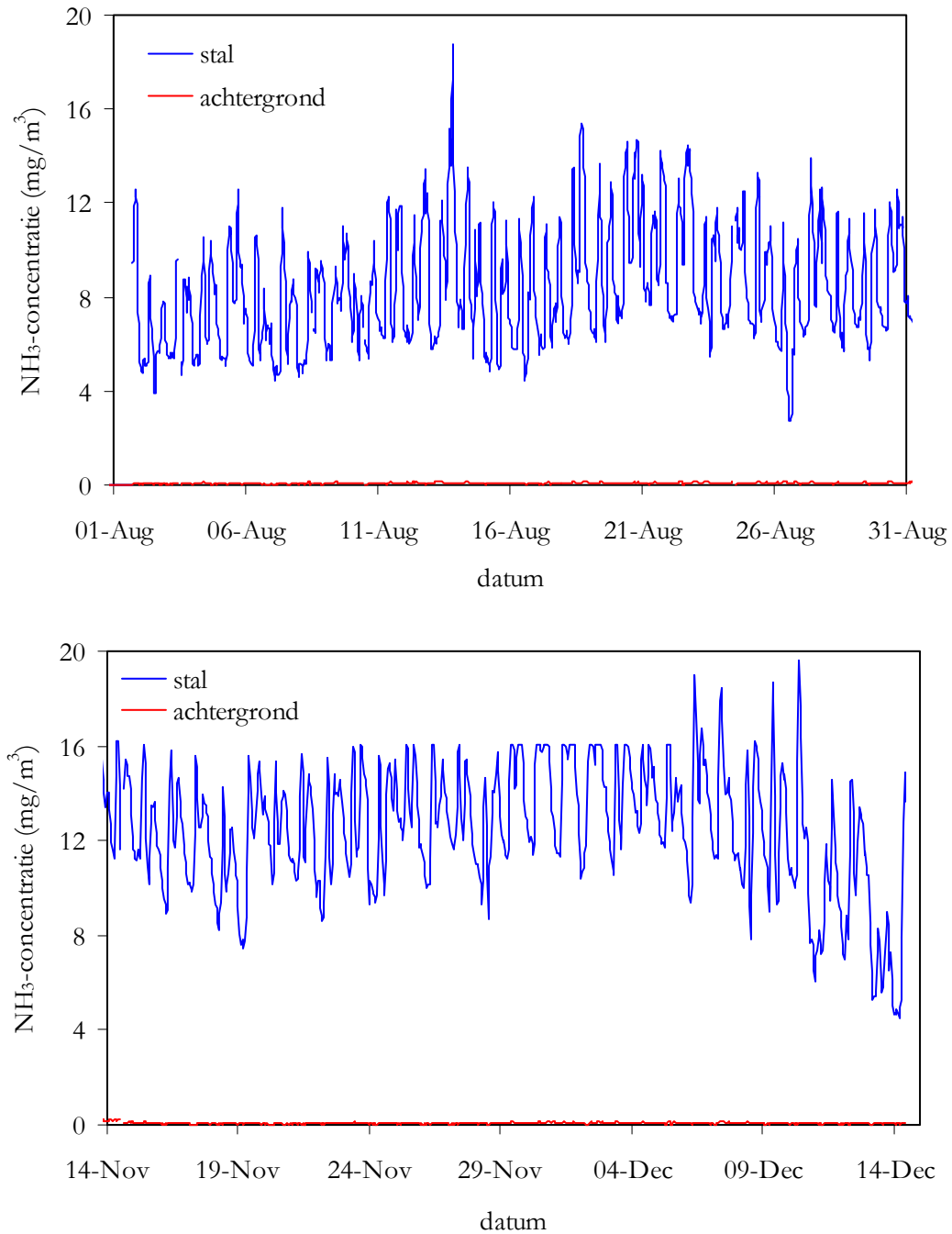
- $\text{SF}_6$  heeft een zeer hoog molecuulgewicht, waardoor een geïnjecteerde gasstroom met puur  $\text{SF}_6$  een hogere dichtheid heeft dan de omgevende lucht. Dit maakt menging in de stal problematisch. Bij sterk voorverdunde injectiestromen speelt dit probleem niet.
- Om te voorkomen dat  $\text{SF}_6$  in de injectie- en monsternaleidingen geabsorbeerd wordt moeten polyethyleen (PE) leidingen worden gebruikt (geen teflon).
- Het broeikasgaseffect van  $\text{SF}_6$  is groot in vergelijking met andere gassen. Aangezien zeer lage  $\text{SF}_6$  concentraties gemeten kunnen worden, blijven de geïnjecteerde hoeveelheden  $\text{SF}_6$  beperkt.

De mengfactor is te interpreteren als de hoeveelheid lucht die nodig is om het bij de oppervlaktebron geïnjecteerde tracergas te verdunnen tot de in de monsternaleiding gemeten concentratie en vormt daarmee een maat voor de verversing. In onderstaande grafiek zijn de daggemiddelde mengfactoren in beide meetperioden weergegeven.



Figuur H1 Uurgemiddelde mengfactor in beide meetperioden  
 Figure H1 Average hour dispersion factor during both periods

## Bijlage I Ammoniakconcentraties



Figuur I1 Uurgemiddelde NH<sub>3</sub>-concentratie van de stal- en achtergrondlucht in beide meetperioden.  
Figure I1 Average hour NH<sub>3</sub>-concentration of indoor and background air during both periods.



## Publicatieoverzicht

- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1991 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen I: slachtkuikenstal met vloerventilatie. Wageningen, DLO, rapport 91-1001, 14 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1991 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen II: grupstal voor melkvee. Wageningen, DLO, rapport 91-1002, 14 pp. excl. bijlage.
- Montsma, H. en C.M. Groenestein, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen III: biggenopfokstal met frekwente en restloze mestverwijdering. Wageningen, DLO, rapport 92-1001, 12 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IIIa: aanvullend onderzoek aan een biggenopfokstal met frekwente en restloze mestverwijdering. Wageningen, DLO rapport 93-1001, 9 pp excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IV: kraamopfokstal met gladde hellende vloer, giergoot en mestschuiven. Wageningen, DLO, Rapport 92-1002, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IVa: aanvullend onderzoek aan een kraamopfokstal met gladde hellende vloer, giergoot en mestschuiven. Wageningen, DLO, Rapport 94-1003, 13 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen V: vleesvarkensstal met dikstrooiselsysteem. Wageningen, DLO, Rapport 92-1003, 18 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen VI: vleesvarkensstal met diepstrooiselsysteem. Wageningen, DLO, Rapport 92-1004, 20 pp. excl. bijlage.
- Montsma, H. en C.M. Groenestein, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen VII: konijnenstal met mestscheiding, frekwente mestverwijdering en luchtafzuiging boven de giergoot. Wageningen, DLO rapport 93-1002, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen VIII: vleesvarkensstal met overdrukventilatie en luchtverdeling via slangen. Wageningen, DLO rapport 93-1003, 14 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IX: kraamzeugenstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO rapport 93-1004, 13 pp.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X: potstal voor melkvee. Wageningen, DLO, Rapport 93-1005, 15 pp. excl. bijlage.

- Groenestein, C.M. en J.M.G. Hol, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XI: zeugenstal met gereduceerd roosteroppervlak. Wageningen, DLO, Rapport 94-1001, 12 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XII: kraamzeugenstal met mestverwijdering door schuiven over een gecoate putvloer. Wageningen, DLO, Rapport 94-1002, 11 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M., 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIII: zeugenstal met mestverwijdering door schuiven over een gecoate putvloer. Wageningen, DLO, Rapport 94-1004, 11 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIV: biggenopfokstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO rapport 94-1005, 12 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien. Wageningen, DLO, Rapport 94-1006, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVI: vleesvarkensstal met mestverwijdering door schuifsystemen. Wageningen, DLO, Rapport 94-1007, 19 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G., R. Bleijenberg en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVII: vleeskuikenouderdierenstal met halfroostervloer. Wageningen, DLO rapport 94-1008, 11 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVIII: compactbatterij voor leghennen met tweemaal daags verwijderen van natte mest. Wageningen, DLO rapport 95-1001, 11 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIX: hellingstal voor vleesvarkens. Wageningen, DLO, Rapport 95-1002, 13 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XX: stal voor guste en dragende zeugen met mestopslag onder betonroosters. Wageningen, DLO rapport 95-1003, 10 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXI: zeugenstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO, Rapport 95-1004, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., C.M. Groenestein en J.W.H. Huis in 't Veld, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXII: zeugenstal, kraamzeugenstal en biggenopfokstal met reductie van mestoppervlak en verdunning van mest. Wageningen, DLO, Rapport 95-1005, 23 pp. excl. bijlage.

- Hol, J.M.G., J.W.H. Huis in 't Veld en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIII: Bandbatterij voor leghennen met geoptimaliseerde mestdroging. Wageningen, DLO rapport 95-1006, 12 pp. excl. bijlage.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIV: vleesvarkensstal met verdunning van mest door opvang in ammoniakvrije vloeistof. Wageningen, DLO, Rapport 95-1007, 15 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXV: zeugenstal, kraamzeugenstal en biggenopfokstal met pH-verlaging van de mest door spoelen met aangezuurde dunne mestfractie. Wageningen, DLO, Rapport 96-1001, 26 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXVI: zeugen- en kraamzeugenstal met mestverwijdering door schuiven en reductie van mestoppervlak. Wageningen, DLO, Rapport 96-1002, 15 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXVII: vleesvarkensstal met koeling van mestoppervlak in de kelder. Wageningen, DLO, Rapport 96-1003, 15 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXVIII: biggenopfokstal met mestverwijdering door hellende mestband. Wageningen, DLO, Rapport 96-1004, 15 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIX: scharrelstal voor leghennen. Wageningen, DLO, Rapport 96-1005, 12 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R., J.J.C. van der Heiden-de Vos en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXX: natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met hellende dichte vloer en zelfrijdende sproeischuiven. Wageningen, DLO, Rapport 96-1006, 15 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXI: verschillende huisvestingsystemen voor vleeskalveren. Wageningen, DLO, Rapport 97-1001, 15 pp. excl. bijlage.
- Satter, I.H.G., H. Gunnink, B. Reitsma en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXII: zeugenstal, kraamzeugenstal en biggenopfokstal met koeling van het mestoppervlak in de kelder. Wageningen, DLO, Rapport 97-1002, 23 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIII: behandeling van lucht uit een composteringsbak voor voorgedroogde leghennenmest door een fysisch-chemische wasser. Wageningen, DLO, Rapport 97-1003, 15 pp. excl. bijlage.
- Satter, I.H.G., J.M.G. Hol, J.H.W. Huis in 't Veld en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIV: vleesvarkensstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO, Rapport 97-1004, 17 pp. excl. bijlage.

- Satter, I.H.G., H. Gunnink en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXV: Zeugenstal met reductie van mestoppervlak en verdunning van mest door opvang in ammoniakvrije vloeistof. Wageningen, DLO, Rapport 97-1005, 12 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1997 – Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. Wageningen, DLO, Rapport 97-1006, 35 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVII: Vleesvarkensstal met specifieke hokinrichting en gereduceerd emitterend oppervlak. Wageningen, DLO, Rapport 98-1001, 13 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVIII: Behandeling van lucht uit een scharrelstal voor leghennen met een chemische wasser. Wageningen, DLO, Rapport 98-1002, 13 pp. excl. bijlage.
- Satter, I.H.G. en H. Gunnink, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIX: Scharrelstal voor leghennen met droging van de mest op banden onder de beun. Wageningen, DLO, Rapport 98-1003, 15 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXX: Vleeskuikenstal met verwarming en koeling van de vloer. Wageningen, DLO, Rapport 98-1004, 16 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXI: Natuurlijk geventileerde vleesstierenstal met betonroosters. Wageningen, DLO, Rapport 98-1005, 16 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkkoeien. Wageningen, DLO, Rapport 98-1006, 16 pp. excl. bijlage.
- Wever, A.C. en J.M.G. Hol, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIII: Twee traditionele huisvestingssystemen voor vleeseenden. Wageningen, IMAG, Rapport 99-07, 25 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIV: Rondloopstal voor dragende zeugen met voerstation en strobed. Wageningen, IMAG, Rapport 99-08, 22 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en P.W.G. Grootkoerkamp, 2001 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LII: Voliërestal voor opfokhennen. Wageningen, IMAG Rapport 2001-12, 24 pp. excl. bijlage.
- Beurskens A.G.C., J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIII: Stal voor vleeskalkoenen met frequente strooiselverwijdering. Wageningen, IMAG Rapport 2002-14, 29 pp. excl. bijlage.

- Scheer, A., J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIV: Stal voor vleeskuikenouderdieren met continue drogen van mest. Wageningen, IMAG Rapport 2002-15, 23 pp. excl. bijlage.
- A.G.C. Beurskens, J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LV: Volière stal voor leghennen. Wageningen, IMAG, Rapport 2002-16, 28 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVI: Scharrelstal voor leghennen met frequente mest- en strooiselverwijdering. Wageningen, IMAG Rapport 2002-17, 21 pp. excl. bijlage.
- Huis in 't Veld, J.W.H., E. Evers en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII: Natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. Wageningen, IMAG Rapport 2002-18, 19 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en G. Mol, 2003 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVIII: Stal voor vleeskuikens met vloerverwarming en mixluchtventilatoren voor het drogen van de strooisellaag. Wageningen, IMAG Rapport 2003-15, 34 pp. excl. bijlage.