

# Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LXI

Stal voor vleeskalveren (witvlees productie)

A.G.C. Beurskens  
J.M.G. Hol

Rapport 220





# Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LXI

Stal voor vleeskalveren (witvlees productie)

A.G.C. Beurskens  
J.M.G. Hol

Rapport 220

## Colophon

Title	Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LXI; Stal voor vleeskalveren (witvlees productie)
Author(s)	A.G.C. Beurskens, J.M.G. Hol
A&F number	Rapport nr. 220
ISBN-number	90-6754-803-0
Date of publication	Augustus, 2004
Confidentiality	N/A
Project code.	N/A

Agrotechnology & Food Innovations B.V.  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 (0)317 475 024  
E-mail: [info.agrotechnologyandfood@wur.nl](mailto:info.agrotechnologyandfood@wur.nl)  
Internet: [www.agrotechnologyandfood.wur.nl](http://www.agrotechnologyandfood.wur.nl)

© 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.*

This report is authorised by: J.M.G. Hol



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

## 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 legislations require measurements of the odour emissions of the main conventional and newly developed housing systems. Within this framework research was carried out into the emission of ammonia and odour from a mechanically ventilated housing system for veal cattle (white meat). The calves were housed individually during the first 7 till 8 weeks. The rest of the fattening period (17-18 weeks) the calves were housed in small groups of 5 animals. The manure was collected below the wooden slatted floor. The ration of the animals contained mainly milk and some maize.

The research was carried out during two fattening periods: April - September 2002 and October 2002 - April 2003. The first 83 days of the first fattening period wasn't measured but estimated on basis of the second period. The average ammonia emissions during the two periods amounted to 4.1 (including calculations) and 2.7 kg/year per animal, including a correction for the non-occupied periods (7.3%). The geometrical mean odour emission was 43.9  $\text{OU}_E$  /s per animal.

Keywords: Ammonia, Odour, Emission, Veal calves, Field measurement



# Inhoud

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Materiaal en methode</b>	<b>8</b>
2.1 Stal- en bedrijfssituatie	8
2.1.1 Bedrijfssituatie	8
2.1.2 Huisvesting	8
2.1.3 Ventilatie	9
2.2 Bedrijfsvoering	10
2.2.1 Zoötechniek	10
2.2.2 Klimaatregeling	10
2.2.3 Voeding	11
2.2.4 Gezondheid	11
2.3 Metingen	11
2.3.1 Algemeen	11
2.3.2 Productiegegevens	12
2.3.3 Klimaat	12
2.3.4 Ventilatie-debiet	12
2.3.5 Ammoniakconcentratie	13
2.3.6 Geurconcentratie	14
2.4 Dataverwerking	14
<b>3 Resultaten</b>	<b>16</b>
3.1 Productieresultaten	16
3.2 Klimaat en ventilatie-debiet	16
3.3 Ammoniakconcentratie en –emissie	17
3.4 Geurconcentratie en –emissie	20
<b>4 Discussie</b>	<b>23</b>
<b>5 Conclusies</b>	<b>25</b>
<b>Literatuur</b>	<b>27</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>29</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>31</b>
<b>Summary</b>	<b>33</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>35</b>





## 1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn  $\text{SO}_2$  (zwaveldioxide),  $\text{NO}_x$  (stikstofoxiden;  $\text{NO}$  en  $\text{NO}_2$  (stikstofmonoxide en stikstofdioxide)) en  $\text{NH}_3$  (ammoniak), samen met hun reactieproducten, in het kort  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_y$  en  $\text{NH}_x$  genoemd. In 1999 was 66% van de  $\text{NH}_x$  depositie uit eigen land afkomstig. De landbouw droeg in 2000 voor 94% bij aan de nationale emissie van  $\text{NH}_3$ . 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  $\text{NH}_3$  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 2001 zijn deze cijfers niet veranderd. Voor het jaar 2010 geldt als doelstelling geen ernstige hinder (VROM, 1989). 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).

Op voordracht van de Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen van de A&F-meetploeg (Bijlage A) werd de ammoniakemissie van vleeskalveren nogmaals bepaald op een tweede locatie. In 1995 en 1996 was A&F onderzoek uitgevoerd naar de ammoniakemissie vanuit vier afdelingen met verschillende huisvestingssystemen voor vleeskalveren (Hol en Groenestein, 1997). Met de tweede meetlocatie kon de nauwkeurigheid van de geschatte ammoniak- en geuremissie gemeten van een stal voor vleeskalveren (witvlees productie). Het betrof hier een stal met traditionele huisvesting (combinatie individuele en groepshuisvesting). In de bedrijfsvoering waren geen ammoniakemissiereducerende handelingen opgenomen. De gemeten ammoniakemissie werd vergeleken met de resultaten uit het vorige onderzoek en met de emissiefactor voor vleeskalveren tot 8 maanden (code A4.2) zoals die is opgenomen in de Wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij (Infomil, 2004).

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Stal- en bedrijfssituatie

#### 2.1.1 *Bedrijfssituatie*

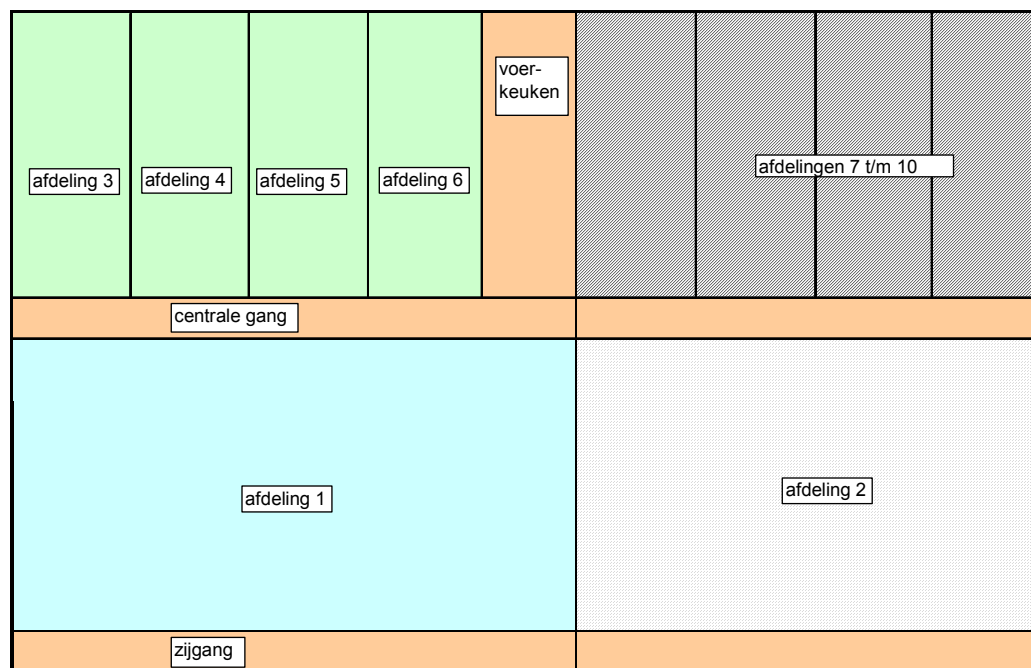
Het onderzoek werd gedurende twee productieperiodes uitgevoerd in een stal voor vleeskalveren (bouwjaar 1979, uitbreiding 1999). De metingen tijdens de eerste productieperiode (maart 2002 - september 2002) vonden plaats in één afdeling van de stal (nieuwe deel, bouwjaar 1999). Gedurende de tweede productieperiode (oktober 2002 - april 2003) vonden als gevolg van ervaringen in de eerste meetperiode ook metingen plaats in vier naastgelegen afdelingen in de stal (oude deel, bouwjaar 1979). In de stal waren naast deze vijf afdelingen nog vijf afdelingen aanwezig waarin ook vleeskalveren werden gehuisvest. Op het bedrijf waren verder nog twee stallen aanwezig waarin rundvee werd gehuisvest. Tevens bevond zich op het bedrijf een stal waarin een aantal paarden werden gehuisvest. In Bijlage B wordt de situering van de genoemde gebouwen weergegeven.

#### 2.1.2 *Huisvesting*

De kalveren werden gehuisvest in een stal (60 m lang en 36 m breed) bestaande uit tien gescheiden afdelingen en 1 voerkeuken. In Figuur 1 wordt de indeling van de stal schematisch weergegeven. In Bijlage C wordt een schematisch bovenaanzicht gegeven van het deel van de stal waarin de metingen hebben plaatsgevonden.

Het in 1979 gebouwde staldeel bestond uit acht even grote (6,8 bij 15 m), naast elkaar gelegen afdelingen met in het midden een voerkeuken. In de afdelingen 3 t/m 6 werden in de tweede productieperiode metingen uitgevoerd. De naastgelegen nieuwbouw bestond uit twee afdelingen (32,5 bij 16 m en 27,5 bij 16 m), waarvan afdeling 1 gedurende twee productieperioden werd gemeten. In de lengterichting van de stal bevonden zich twee gangen: een langs de westelijke stalgevel (zijgang) en een tussen het oude en nieuwe staldeel (centrale gang). Halverwege beide gangen bevonden zich houten klapdeuren.

De afdelingen 1 en 2 bestonden uit tien rijen hokken met daartussen vijf voerpaden. De afdelingen 3 t/m 10 bestonden elk uit twee rijen hokken met in het midden een voerpad. De kalveren werden opgezet op een leeftijd van 10-14 dagen. In het begin van de productieperiode werden de kalveren individueel gehuisvest in boxen van 0,80 m x 1,20 m. Na 7-8 weken werd overgeschakeld op traditionele groepshuisvesting. Hierbij werden gemiddeld 5 kalveren per hok geplaatst, wat neerkwam op 1,8 m<sup>2</sup> leefoppervlak per kalf. De hokken waren in beide afdelingen uitgevoerd met een houten roostervloer (8 cm lat en 4 cm spleet). Het emitterend oppervlak per dier was gelijk aan het leefoppervlak per dier bij groepshuisvesting. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van een aantal kenmerken van de afdelingen van het huisvestingssysteem waarin de metingen hebben plaatsgevonden.



Figuur 1 Schematische weergave van de stal.  
 Figure 1 Schematic view of the house.

In de periode van individuele huisvesting werden de dieren ook individueel gevoed, bij groepshuisvesting was per hok een trog aanwezig. In de afdelingen 1 en 2 bevond zich onder de roosters een 90 cm diepe mestkelder. In de overige afdelingen was de mestkelder 8 cm diep bij het begin en 50 cm onder de achterste meter van de hokken. Daartussen liep de kelder schuin af. Wanneer het mestniveau in de kelders tot aan de roosters was gestegen werden de kelders gelegegd. Dit gebeurde in afdeling 1 en 2 gemiddeld 1 keer per productieperiode, in de overige afdelingen 2 à 3 keer. Daarnaast werd op momenten dat mest kon worden afgezet voordat de kelders vol waren (een deel van de) mest uit de kelders gehaald.

Tabel 1 Kenmerken van het huisvestingssysteem.  
 Table 1 Characteristics of the housings system.

	Afdeling 1	Afdeling 3-6
aantal hokken per afdeling (-)	40	8
afmetingen groepshok	2,25 * 4,00	2,50 * 3,60
leefoppervlak per dier individueel huisvesting (m <sup>2</sup> )	0,96	0,96
leefoppervlak per dier groepshuisvesting (m <sup>2</sup> ) vanaf 7-8 weken	1,80	1,80
type mestopslag	horizontale	schuin aflopend
minimale diepte mestopslag (cm)	n.v.t.	8
maximale diepte mestopslag (cm)	90	50

### 2.1.3 Ventilatie

De afdelingen werden gedurende de volledige productieperiode mechanisch geventileerd. Hiertoe werd lucht via inlaatopeningen de afdelingen ingebracht en waren in de afdelingen ventilatoren in de nok aangebracht voor de afvoer van de lucht. In afdeling 1 waren dit vijf nokventilatoren en in afdeling 3 t/m 6 één nokventilator per afdeling. In alle afdelingen

bevonden de ventilatoren zich boven een voerpad. De ventilatoren hadden een diameter van 45 cm, wat overeenkomt met een maximale capaciteit van 3.000 m<sup>3</sup>/uur per ventilator. De inlaatopeningen bestonden uit kleppen, ramen en deuren. In Bijlage C zijn alle inlaatopeningen in een tekening weergegeven.

## 2.2 Bedrijfsvoering

### 2.2.1 Zoötechniek

Bij aanvang van de eerste productieperiodes werden 780 kalveren in de gehele stal geplaatst. Bij het begin van de tweede productieperiode waren dit er 757. De dieren werden vanaf een startgewicht van ca. 45 kg tot een eindgewicht van ca. 240 kg gedurende een productieperiode van ca. 6 maanden gehouden. Gedurende een korte periode (gewenningsperiode) werden de dieren individueel gehuisvest en werden groepen geselecteerd met een gelijke opnamesnelheid van de melk. Daarna werd de hokinrichting voor individuele huisvesting verwijderd en bleven de dieren in de resterende periode meestal in hetzelfde hok gehuisvest.

Voor de vleeskalverensector geldt het Kalverenbesluit (LNV, 1997) waarin als o.a. worden genoemd:

- verplichte groepshuisvesting voor kalveren die ouder zijn dan 8 weken;
- de breedte van een eenlingbox moet minimaal gelijk zijn aan de schofthoogte van het daarin gehouden kalf;
- een kalf tot 150 kg moet over ten minste 1,5 m<sup>2</sup> vrije ruimte beschikken, een kalf van 150 kg of meer maar minder dan 220 kg, over ten minste 1,7 m<sup>2</sup> en een kalf van 220 kg of meer over ten minste 1,8 m<sup>2</sup>.

In de eerste meetperiode werden 210 dieren in de onderzoeksafdeling geplaatst terwijl op basis van het Kalverbesluit 200 dierplaatsen beschikbaar waren. Dit betekende dat in 10 van de 40 hokken de dieren een leefoppervlak van 1,5 m<sup>2</sup> per dier tot hun beschikking hadden en in de overige 30 hokken 1,8 m<sup>2</sup> leefoppervlak per dier. Voor de tweede meetperiode werden 370 dieren geplaatst terwijl op basis van het Kalverbesluit 360 dierplaatsen beschikbaar waren. In 10 van de 72 hokken waren 6 dieren geplaatst waardoor het leefoppervlak per dier 1,5 m<sup>2</sup> werd.

### 2.2.2 Klimaatregeling

Het stalklimaat werd geregeld met een klimaatcomputer op basis van de temperatuur. Hiertoe was per afdeling één temperatuursensor ongeveer in het midden van de afdeling boven de kalveren geïnstalleerd. Bij oplopende temperatuur nam de ventilatie toe en werden de luchtinlaten in de buitengevels verder open gezet. De ventilatie werd gestuurd middels de klimaatcomputer. Hierbij was een minimale ventilatie geïnstalleerd van 7,5 m<sup>3</sup>/uur per dier. Gedurende de eerste 4 à 5 weken van een productieperiode werd met het oog op de kwetsbaarheid van de dieren niet of nauwelijks mechanisch geventileerd. Het verder open zetten van de luchtinlaten gebeurde handmatig. Aan het begin van meetperiode 2 (lage buitentemperatuur, jonge dieren) werd enige

tijd bijverwarmd met behulp van gaskappen bij de luchtinlaatopeningen in de buitengevels. Gedurende de rest van de meetperiodes was bijverwarmen niet nodig.

### 2.2.3 Voeding

De kalveren werden dagelijks om half 10 's ochtends en half 8 's avonds gevoerd. Gedurende de gehele productieperiodes kregen de kalveren melk, aangevuld met wat maïs. Het bijvoeren van maïs vond 's ochtends enige tijd na het verstrekken van de melk plaats (rond het middaguur), en 's avonds direct aansluitend aan het verstrekken van de melk. Dit verschil in manier van voerverstrekking had een logistieke reden. Hoewel de dieren een enkele keer ook extra water te drinken kregen, werd dit in beginsel niet verstrekt.

In het begin van de productieperiodes kregen de kalveren startvoer. Op het moment dat de dieren een gewicht van 70 kg bereikt hadden werd overgestapt op groeivoer. Tabel 2 toont de energiewaarde en het ruw eiwitgehalte van de verschillende gebruikte voersoorten.

Tabel 2 Energiewaarde en ruw eiwitgehalte van de verschillende voersoorten.

Table 2 Energy and crude protein content of the various foodstuffs.

	Energiewaarde (kcal/kg)	Ruw eiwit (g/kg)
Startvoer	4431	236
Groeivoer periode 1	4320	201
Groeivoer periode 2	4325	181

### 2.2.4 Gezondheid

De dieren werden tijdens het voeren visueel gecontroleerd. Medicijnen werden individueel verstrekt of als kuur via de melk aan de kalveren toegediend. In Bijlage K wordt een overzicht gegeven van de als kuur toegediende medicijnen. Via ramen en lichtplaten in het dak kon buitenlicht in de stal komen. Indien nodig werd tijdens het voeren de stal verlicht met TL-balken.

## 2.3 Metingen

### 2.3.1 Algemeen

De meetperiodes liepen parallel aan de productieperiodes. De eerste meetperiode (27 april t/m 22 september 2002) begon een maand later dan de productieperiode. De tweede meetperiode (20 oktober 2002 t/m 8 april 2003) liep gelijk op met de productieronde. Tijdens de meetperiodes werden de productiegegevens (§2.3.2) geregistreerd door de veehouder. De geurconcentratie werd 5 maal per meetperiode bepaald (§2.3.6).

Gedurende de meetrondes zijn de volgende variabelen (semi-)continu gemeten:

- het klimaat in de stal en buiten (§2.3.3);
- het ventilatiedebiet (§2.3.4);
- de ammoniakconcentratie van de in- en uitgaande lucht (§2.3.5).

De meetapparatuur voor de (semi-)continue metingen werd bestuurd door een data-acquisitiesysteem, aangestuurd door een computer. Eenmaal per 3 minuten werden alle variabelen gemeten en weggeschreven naar het data-acquisitiesysteem. Iedere week werd de apparatuur gecontroleerd en werd de algemene situatie in de stal opgenomen. Hiervan werden notities gemaakt in een logboek.

### 2.3.2 *Productiegegevens*

Gedurende de twee meetperiodes werden de volgende productiegegevens geregistreerd:

- het aantal geplaatste dieren;
- het aantal productiedagen;
- het gemiddelde voerverbruik per dier (kg);
- het gemiddelde startgewicht per dier (kg);
- het gemiddelde eindgewicht per dier (kg);
- de uitval (%).

Uit deze gegevens werden de groei per dag (kg) en de voerconversie (kg voer/kg groei) berekend.

### 2.3.3 *Klimaat*

De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) werden semi-continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensoren is voor de temperatuur  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$  en voor de relatieve luchtvochtigheid  $\pm 2\%$  (absoluut). Dit werd vóór en na elke meetperiode gecontroleerd.

In afdeling 1 werd het klimaat gedurende de eerste meetperiode gemeten op twee punten in de luchtstroom vlak bij twee ventilatoren. Gedurende de tweede meetperiode werd ook het klimaat gemeten in afdeling 4 en 6. Temperatuur en relatieve vochtigheid van de buitenlucht werden gedurende beide meetperiodes gemeten aan de noordzijde van de stal.

### 2.3.4 *Ventilatie-debiet*

Het ventilatie-debiet ( $\text{m}^3/\text{uur}$ ) werd continu gemeten met behulp van meetventilatoren met een diameter van 45 cm. Deze werden horizontaal onder de ventilatiekokers geplaatst en hing in meetkokers met dezelfde diameter als de ventilatiekokers. De meetkokers waren luchtdicht aan de ventilatiekokers bevestigd. Alle lucht die via de ventilatiekokers de stal verliet werd op deze manier met de meetventilatoren gemeten. In het begin van de eerste meetperiode was naast de mechanische ventilatie ook (gedeeltelijk) natuurlijke ventilatie mogelijk op die momenten dat de grote luchtinlaatopeningen (deuren) in de buitengevel ver geopend waren. Het op deze manier ventileren was onderdeel van de bedrijfsvoering, maar resulteerde mogelijk in dwarsventilatie, waardoor de metingen gedurende het eerste deel (tot dag 84) van meetperiode 1 onbetrouwbaar werden. Om dit probleem te ondervangen is besloten een aantal aanpassingen in de stal aan te brengen. Daartoe werden de luchtinlaatopeningen aan de kant van de centrale gang voorzien van zware, doorzichtige tochtflappen. De 5 luchtinlaten aan de gevelzijde werden voorzien van gelijkrichters en windbreekgaas, opdat de wind die veelal uit westelijke richting komt niet

ongehinderd de stal in kon blazen. Hiermee werd voorkomen dat al meteen onder invloed van de wind een duidelijke preferente luchtstroming in de stal ontstond. Na de aanpassingen aan de stal trad genoemde dwarsventilatie niet of nauwelijks nog op. Na afloop van de eerste meetperiode werden de tochtflappen bij de luchtinlaatopeningen in de centrale gang weer verwijderd. Bescherming tegen dwarsventilatie was niet meer noodzakelijk omdat afdeling 3 t/m 6 ook werden gemeten.

Per omwenteling van een meetventilator werden vier pulsen afgegeven en het aantal pulsen per seconde werd geregistreerd. De relatie tussen het aantal pulsen en het debiet werd bepaald met behulp van een windtunnel (Berckmans *et al*, 1991; Scholtens en Van 't Klooster, 1993). Het kalibreren van een meetventilator vond plaats na afloop van de metingen. Het resultaat staat vermeld in Bijlage D. Voor de overige meetventilatoren werd hetzelfde resultaat gebruikt. Uit ervaring is gebleken dat meetventilatoren met dezelfde diameter onder dezelfde omstandigheden nagenoeg hetzelfde functioneren.

#### 2.3.5 *Ammoniakconcentratie*

De ammoniakconcentratie werd semi-continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Advanced Pollution Instrumentation Inc., model 200A). Deze methode staat beschreven in Scholtens (1993); een korte beschrijving staat in Bijlage E. Om NH<sub>3</sub> met de NO<sub>x</sub>-monitor te kunnen meten moet het eerst door een convertor worden omgezet tot NO. Het gevormde stabiele NO werd met een pomp door teflon slangen naar de monitor gezogen (ca. 250 ml/min) en aldaar gemeten. De gemeten NH<sub>3</sub>-concentratie in ppm werd met een factor 0,71 (bij 20°C en 1 atm.) omgerekend naar mg NH<sub>3</sub> per m<sup>3</sup> lucht (Weast *et al*, 1986).

De monsternamenpunten van de uitgaande lucht bevonden zich in de meetventilatiekokers tussen de ventilator en de meetventilator. Gedurende de eerste meetperiode werd de uitgaande lucht in 2 meetventilatiekokers bemonsterd; tijdens de tweede meetperiode werd het aantal monsternamenpunten van de uitgaande lucht uitgebreid tot 4. Aan het begin van de eerste meetperiode werd de ingaande lucht op 3 plaatsen bemonsterd: 1 maal aan de buitengevel van de stal en 2 maal in de centrale gang. Na aanpassing van de stal werd de ingaande lucht op 2 punten aan de buitengevel bemonsterd. Gedurende de tweede meetperiode werd de ingaande lucht aan beide lange zijgevels van de stal op 2 plekken bemonsterd (dus in totaal op 4 punten).

Iedere week werd de NO<sub>x</sub>-monitor gekalibreerd met NO-gas. De gemiddelde NO-concentratie van dit gas bedroeg in de eerste meetperiode 10,6 ppm en in de tweede meetperiode 40,1 ppm. De gemiddelde kalibratieresultaten van de monitor zijn vermeld in Bijlage E. Bij het gebruikte meetprincipe is het signaal van de monitor lineair met de ammoniakconcentratie. De ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht werd regelmatig bepaald met behulp van gasdetectiebuisjes om de omzetting van de convertors te controleren. De stoffilters in de luchtleidingen voor de convertors werden regelmatig vervangen. De convertors werden voor en

na beide meetperiodes gekalibreerd. De gemiddelde omzettingpercentages van de convertors zijn vermeld in Bijlage F.

### 2.3.6 Geurconcentratie

De geurmetingen werden uitgevoerd volgens het meetprotocol voor geuremissies uit de veehouderij (Werkgroep Emissiefactoren, 1996). De geuranalyses zijn uitgevoerd conform de Nederlandse voornorm NVN2820 met wijzigingsblad A1 (NNI, 1995/1996). Het geurlaboratorium van A&F is onder nummer L313 (voorheen K072) door de Raad voor Accreditatie te Utrecht geaccrediteerd voor het uitvoeren van geuranalyses. De geurconcentraties en -emissies worden vermeld in resp.  $OU_E/m^3$  en  $OU_E/dierplaats/s$ , waarbij 'OU<sub>E</sub>' staat voor 'European Odour Units'.

Het monsternamepunt voor de geur bevond zich in een ventilatiekoker tussen de ventilator en de meetventilator. Het nemen van een geurmonster bestaat eruit dat tussen 10 en 12 uur 's ochtends met een constant debiet (500 ml/min) een zak van 60 liter wordt volgezogen met stallucht. Dit gebeurt volgens de zogenaamde longmethode waarbij in een gesloten vat, waarin een monsterzak geplaatst is, een onderdruk wordt gecreëerd, waardoor de aanvankelijk lege zak die is aangesloten op de teflon leiding uit de stal zich langzaam vult met stallucht. Voor het monstervat wordt de aangezogen stallucht nog gefilterd met een stoffilter (1-2  $\mu m$ ). Om condensvorming te voorkomen werd verwarmingslint langs de monsternameleiding aangebracht. Ook in het monstervat bevond zich verwarmingslint dat indien nodig kon worden aangezet.

Het monster werd zo snel mogelijk na bemonstering naar het geurlaboratorium van A&F vervoerd om binnen 30 uur gemeten te worden. Aan de geuranalyses die werden uitgevoerd met behulp van een olfactometer werd deelgenomen door een groep van 4 tot 6 panelleden in wisselende samenstelling.

## 2.4 Dataverwerking

Van de geregistreeerde waarnemingen (concentratie, debiet en klimaat) werden uurgemiddeldes berekend. Voor elke ventilatiekoker werd de ammoniakemissie (g/uur) berekend, zijnde het product van de ammoniakconcentratie ( $g/m^3$ ) en het ventilatiedebiet ( $m^3/uur$ ). Wanneer er geen ammoniakconcentratie bij een ventilatiekoker werd gemeten, werd het meetpunt dat het dichtst bij lag gebruikt voor de berekening van de emissie. Bij de berekening van de emissie werd de ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht verminderd met de gemiddelde ammoniakconcentratie van de ingaande lucht. In de eerste meetperiode was dit na aanpassing van de stal met behulp van tochtflappen, gelijkrichters en windbreekgaas een gemiddelde van 2 meetpunten, in de tweede meetperiode een gemiddelde van 4 meetpunten. Van de metingen in de eerste meetperiode voor de aanpassing van de stal zijn geen resultaten in dit rapport opgenomen. De geuremissie ( $OU_E/s$ ) werd berekend als het product van de geurconcentratie ( $OU_E/m^3$ ) en het ventilatiedebiet ( $m^3/uur$ ) gedeeld door 3.600 (s/uur).



De meetperiodes werden zo snel mogelijk nadat alle dieren geplaatst waren gestart. Doordat aan het begin van de eerste productieperiode nog niet alle meetapparatuur operationeel was kon de eerste meetperiode pas op dag 31 van de betreffende productieperiode beginnen. Daarna volgde een periode met onbetrouwbare resultaten. Hierdoor waren pas vanaf dag 84 in de eerste meetperiode betrouwbare data beschikbaar. De tweede meetperiode begon op de tweede dag van de betreffende productieperiode. Als gevolg van storingen aan apparatuur en software kon gedurende (een deel van) 6 dagen in de eerste en 8 dagen in de tweede meetperiode geen data worden geregistreerd. Het einde van beide meetperiodes (resp. dag 179 en dag 172) viel vlak voor het einde van de productieperiodes (resp. dag 180 en dag 179).

De ammoniakconcentraties werden gecorrigeerd voor de rendementen van de convertors en voor de kalibraties van de NO<sub>x</sub>-monitor. Ontbrekende uurwaarnemingen (als gevolg van kalibraties en technische storingen) van het ventilatiedebiet, de ammoniakconcentratie, de temperatuur en de relatieve vochtigheid werden niet geïnterpoleerd. Uit de uurwaarnemingen van deze parameters werden daggemiddeldes berekend. De daggemiddelde ammoniakemissie van dagen met minder dan 20 uren gegevens werd niet meegenomen in verdere berekeningen.

Voor beide meetperiodes werd de ammoniakemissie per dierplaats per jaar (kg NH<sub>3</sub>/dierplaats/jaar) berekend, uitgaande van een leegstand van 13 dagen per productieperiode dit is 7,3% op jaarbasis (KWIN, 2003). De berekende ammoniakemissies werden vergeleken met de resultaten uit eerder praktijkonderzoek en met de emissiefactor voor vleeskalveren tot 8 maanden (code A4) zoals die is opgenomen in de Wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij (2004).

Per gemeten geurconcentratie en –emissie werd de natuurlijke logaritme (ln) berekend, waarna de berekende ln-getallen werden gemiddeld. Dit geometrische gemiddelde werd vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt. Tenslotte werd de geuremissie per geplaatst dier berekend.

## 3 Resultaten

### 3.1 Productieresultaten

In Tabel 3 staan de bedrijfsresultaten van de twee productieperiodes weergegeven. Om een indruk van de technische resultaten te krijgen wordt in de tabel eveneens het landelijk gemiddelde voor de verschillende kengetallen van vleeskalveren (witvlees productie) gegeven, die vermeld staan in de Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2003-2004 (KWIN, 2003).

Tabel 3 Bedrijfsresultaten en –kenmerken van productieperiodes en landelijk gemiddelde (KWIN, 2003).  
Table 3 Production results and features of the fattening periods and the national standard (KWIN, 2003).

	Productieperiode 1	Productieperiode 2	Landelijk gemiddelde
Aantal dagen (-)	180	179	178
Aantal geplaatste dieren (-)	210	370	-
Aantal afgeleverde dieren (-)	201	367	-
Uitval, incl. selectie (%)	2,4	1	3
Gemiddeld opleggewicht (kg)	44	44	45
Gemiddeld aflevergewicht (kg)	240	235	237
Groei (g/dag)	1.059	1.067	1.079
Voerverbruik (kg startvoer/dier)	43	43	40
Voerverbruik (kg groeivoer/dier)	270	257	280
Voerverbruik (kg maïs/dier)	200	137	50*
Voederconversie**	1,60	1,57	1,67

\* kg ds snijmaïs

\*\* kg melkpoeder per kg groei, dus exclusief de maïs

Het uitvalpercentage in de gemeten afdeling lag in de eerste meetperiode hoger (4,0%) dan in de tweede periode. De oorzaak lag in relatief veel problemen met maagzweren gedurende de eerste meetperiode. Voor de gehele stal (dus inclusief de afdeling waarin niet gemeten werd) gold in de eerste meetperiode een uitvalpercentage van 3,3%. De bezetting in de gemeten afdeling werd op peil gehouden door na uitval deels te herbezetten met kalveren uit andere afdelingen. Op het einde van de eerste meetperiode bevonden zich hierdoor in de gemeten afdeling 2,4% minder kalveren dan aan het begin van die meetperiode. Op basis van het kalverenbesluit was in het laatste deel van de productieperiode sprake van een overbezetting van ca. 2% ( $[\text{geplaatste dieren} - (0,5 * \text{uitval}) - \text{aantal dierplaatsen}] / \text{dierplaatsen}$ ). Het maïsverbruik lag in de tweede meetperiode beduidend lager dan in de eerste meetperiode. Een duidelijke oorzaak was hier niet voor te geven.

### 3.2 Klimaat en ventilatiedebit

In Tabel 4 staan de klimaat- en ventilatiegegevens voor beide meetperiodes vermeld. In Bijlage G en H zijn de daggemiddeldes van temperatuur en relatieve vochtigheid van de stal- en buitenlucht grafisch weergegeven. In Bijlage I staan de uurgemiddeldes van het ventilatiedebit voor beide meetperiodes

Tabel 4 Gemiddelde temperatuur en relatieve vochtigheid van de buiten- en stallucht en het gemiddelde ventilatiedebiet per geplaatst dier per meetperiode.

Table 4 Mean temperature and relative humidity of the outdoor and indoor air and ventilation rate per placed animal per measuring period.

	Meetperiode 1	Meetperiode 2
Gemiddelde buitentemperatuur (°C)	17,4	4,4
Gemiddelde staltemperatuur (°C)	21,1	13,7
Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid buiten (%)	75	80
Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid stal (%)	72	73
Gemiddeld ventilatiedebiet per geplaatst dier (m <sup>3</sup> /uur)	98*	59 (68*)

\* berekend vanaf dag 84

Uit de tabel blijkt dat de gemiddelde buitentemperatuur gedurende de gehele eerste meetperiode aanzienlijk hoger was dan in de tweede meetperiode. Dit gold ook voor de staltemperatuur. De hogere buitentemperatuur in de eerste meetperiode had tot gevolg dat het ventilatiedebiet per geplaatst dier in deze periode ook aanzienlijk hoger was ten opzicht van de tweede meetperiode, ook na correctie voor de ontbrekende meetperiode.

Het in de tabel vermelde ventilatiedebiet kon voor periode 1 enkel bepaald worden vanaf het moment dat aanpassingen in de vorm van tochtflappen en windbreekgaas aan de stal waren verricht (dag 84). Als het ventilatiedebiet voor periode 2 vanaf hetzelfde moment (dag 84) wordt berekend, blijkt dat het debiet in dat geval (68 m<sup>3</sup>/uur) weliswaar hoger ligt dan het gemiddelde debiet voor de hele tweede meetperiode, maar nog steeds aanzienlijk lager dan het debiet in eerste meetperiode.

### 3.3 Ammoniakconcentratie en –emissie

In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde ammoniakconcentraties en –emissies gedurende beide meetperiodes. Tevens wordt de ammoniakemissie per geplaatst dier per jaar inclusief leegstand vermeld. In Bijlage J zijn de gemiddelde ammoniakconcentraties van de uitgaande stallucht en de ingaande lucht voor beide meetperiodes grafisch weergegeven.

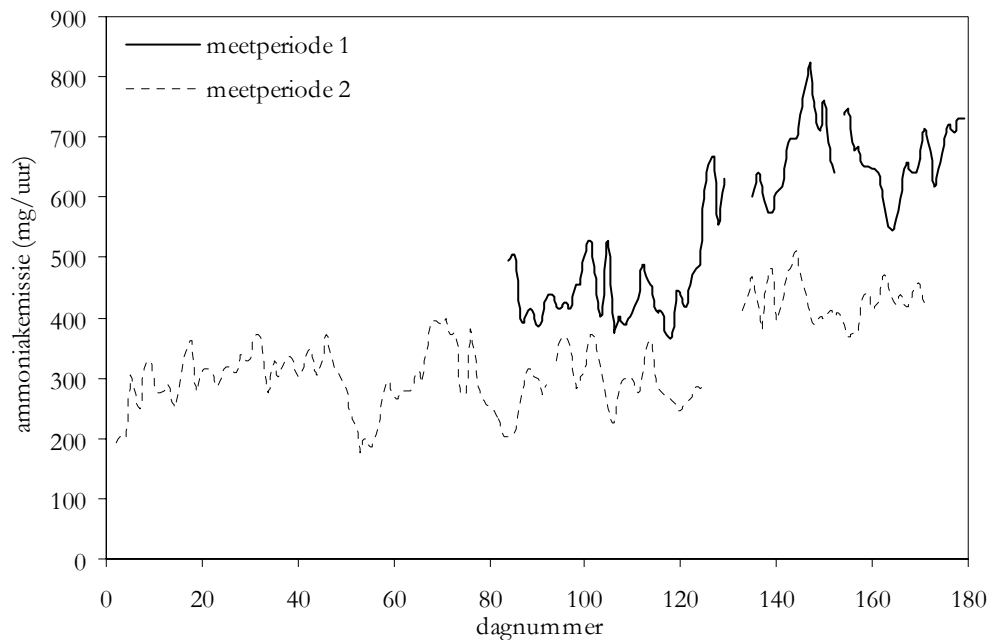
Tabel 5 Aantal meetdagen, aantal dieren, gemiddelde ammoniakconcentraties van de buiten- en stallucht, gemiddelde ammoniakemissie van de stal en per dierplaats per jaar.

Table 5 Number of measuring days, number of placed animals, average ammonia concentration of the outdoor and indoor air, mean ammonia emission from the house and per animal place per year.

	Meetperiode 1	Meetperiode 2
Aantal meetdagen	148	170
Aantal bruikbare meetdagen	90	163
Aantal geplaatste dieren	210	370
Aantal dierplaatsen	200	360
Gemiddelde NH <sub>3</sub> -concentratie uitgaande lucht (mg/m <sup>3</sup> )	5,63*	5,78
Gemiddelde NH <sub>3</sub> -concentratie ingaande lucht (mg/m <sup>3</sup> )	0,02*	0,06
Gemiddelde NH <sub>3</sub> -emissie (g/ uur)	112*	118
Gemiddelde NH <sub>3</sub> -emissie per dierplaats per jaar incl. 7,3% leegstand (kg)	-	2,7

\* berekend vanaf dag 84

Gedurende de tweede meetperiode was de gemiddelde ammoniakemissie 2,7 kg per dierplaats per jaar (met 7,3% leegstand). Voor de eerste meetperiode werd geen emissie op jaarbasis berekend. Figuur 2 toont de daggemiddelde ammoniakemissies per dierplaats voor beide meetperiodes.

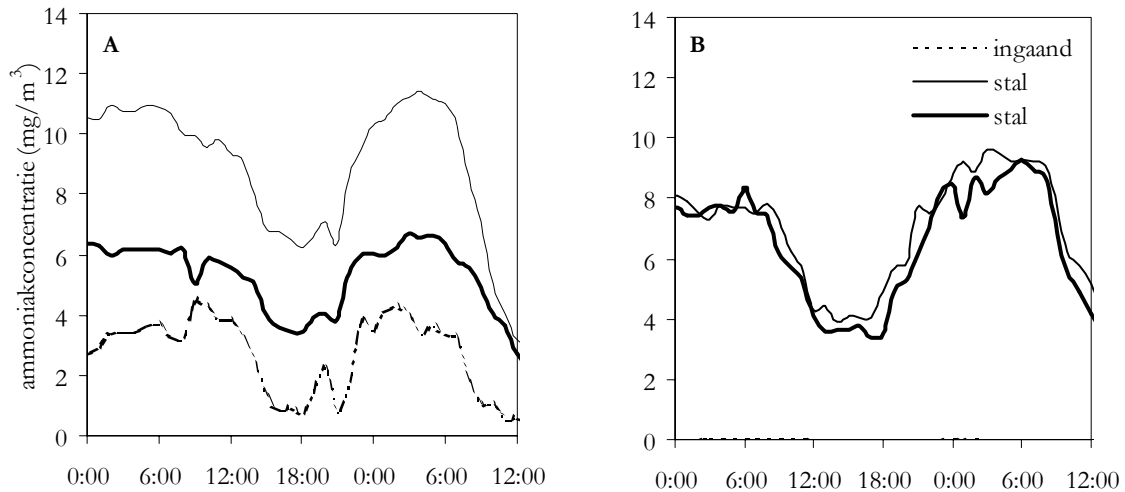


Figuur 2 Daggemiddelde ammoniakemissie per dierplaats (mg/uur) uit de stal gedurende de eerste meetperiode na aanpassing van de stal en de tweede meetperiode.

*Figure 2 Average daily ammonia emission per animal place (mg/hour) from the house during the first measuring period after adjustments to the house and during the second measuring period.*

Uit Figuur 2 blijkt dat de daggemiddelde ammoniakemissie per geplaatst dier gedurende beide meetperiodes in de loop der tijd toenam. De gemiddelde ammoniakemissie per dier lag in de eerste meetperiode bij gelijk dagnummer hoger dan in de tweede meetperiode. Dit kan worden toegeschreven aan de hogere temperatuur in de eerste t.o.v. de tweede meetperiode.

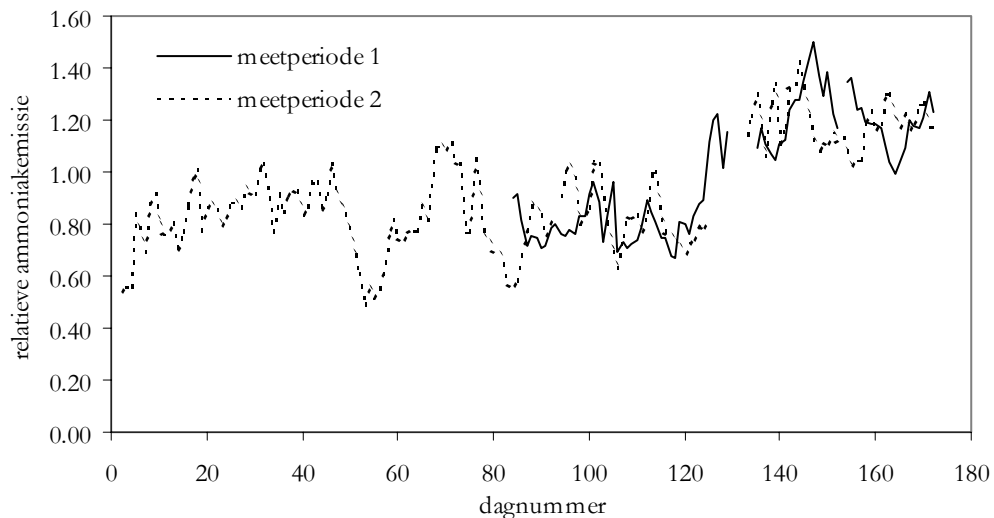
Figuur 3 laat het effect zien van de maatregelen die in de stal zijn getroffen om dwarsventilatie tegen te gaan. Figuur 3a laat een onregelmatig patroon zien van de stalconcentratie met hoge concentratie van de ingaande lucht als gevolg van dwarsventilatie van stallucht naar de inlaatpunten. Figuur 3b laat een stabiel dag-nachtritme in de stalconcentratie zien en een lage (normale) achtergrondconcentratie.



Figuur 3 Uurgemiddelde ammoniakconcentratie in 2 ventilatiekokers in de stal en van 1 meetpunt van de ingaande lucht gedurende 1,5 dag; **A**: voor de aanpassingen aan de stal en **B**: na de aanpassing in de stal.

Figure 3 Average hour ammonia concentrations in 2 ventilation shafts in the house and 1 measure point for incoming air for 1,5 day; **A**: before adjustments to the house and **B**: after adjustments to the house.

Om toch een jaaremisse voor de eerste meetperiode te berekenen is een schatting gemaakt van de ammoniakemissie gedurende het eerste deel van meetperiode 1. Voor beide meetperiodes zijn de gemeten daggemiddelde ammoniakemissies (mg/dier/uur) relatief gemaakt t.o.v. de gemiddelde daggemiddelde ammoniakemissie van meetdag 84 t/m 172 van de betreffende meetperiode. Deze relatieve emissies zijn in figuur 4 weergegeven.



Figuur 4 Relatieve daggemiddelde ammoniakemissie t.o.v. de gemiddelde ammoniakemissie per geplaatst dier van dag 84 t/m 172 in beide meetperiodes.

Figure 4 Relative daily average ammonia emission in relation to the average ammonia emission per animal of day 84 till 172 for both measuring periods.

Het verloop van de relatieve ammoniakemissies vanaf dag 84 komt voor beide meetperiodes in grote lijn met elkaar overeen. Voor de berekening van het ontbrekende deel is verondersteld dat deze overeenkomst in ontwikkeling ook voor dit deel geldt. Voor de berekening van de emissie gedurende de eerste 83 dagen van de eerste meetperiode werd gebruik gemaakt van de gemeten emissies gedurende het resterende deel van de eerste meetperiode en de gemeten emissies in de tweede meetperiode. Aangenomen wordt dat de verhouding (V) tussen de gemiddelde daggemiddelde ammoniakemissie over de gehele meetperiode en het gemiddelde vanaf dag 84, voor beide meetperiodes gelijk is.

$$V = \frac{E_{2,172}}{E_{2,84-172}}$$

waarin:

V: verhouding tussen daggemiddelde gehele periode en gedeelte van de meetperiode

$E_{2,172}$ : gemiddelde emissie over de gehele tweede meetperiode (mg/geplaatst dier/uur);

$E_{2,84-172}$ : gemiddelde emissie vanaf dag 84 in de tweede meetperiode (mg/geplaatst dier/uur).

Hieruit volgt dat de gemiddelde daggemiddelde ammoniakemissie over de gehele eerste meetperiode kan worden geschat op basis van onderstaande vergelijking:

$$E_{1,172} = E_{1,84-172} * V$$

waarin:

$E_{1,172}$ : gemiddelde emissie over de gehele eerste meetperiode (mg/geplaatst dier/uur);

$E_{1,84-172}$ : gemiddelde emissie vanaf dag 84 in de eerste meetperiode (mg/geplaatst dier/uur);

V: verhouding tussen daggemiddelde gehele periode en gedeelte van de meetperiode

### 3.4 Geurconcentratie en –emissie

In Tabel 6 wordt de geurconcentratie en –emissie per geplaatst dier voor beide meetperiodes gegeven. In beide meetperiodes zijn 5 geurmetingen uitgevoerd. De geometrisch gemiddelde geuremissie in de eerste meetperiode was 55,4  $OU_E/s$  per geplaatst dier en in de tweede meetperiode was dit 34,7  $OU_E/s$  per geplaatst dier. De geometrisch gemiddelde geuremissie per geplaatst dier over 10 metingen was 43,9  $OU_E/s$ .

Tabel 6 Gemiddelde geurconcentratie van de uitgaande lucht, ventilatiedebiet en de geuremissie uit de stal en per geplaatst dier gedurende beide meetperiodes.

Table 6 Mean odour concentration of the outlet air, ventilation rate and the odour emission from the house and per place animal for both measuring periods.

	Meetperiode 1	Meetperiode 2
Aantal metingen	5*	5
Aantal geplaatste dieren	210	370
Gemiddelde geurconcentratie ( $OU_E/m^3$ )**	1.923	2.267
Gemiddeld debiet ( $m^3/$ uur)	21.983	21.071
Gemiddelde geuremissie ( $OU_E/s$ )**	11.642	12.838
Gemiddelde geuremissie per geplaatst dier ( $OU_E/s$ )**	55,4	34,7

\* genomen na dag 84

\*\* geometrisch gemiddelde







## 4 Discussie

De aanpassingen aan de stal zijn afdoende geweest om de slecht meetbare ventilatiesituatie te veranderen in een betrouwbare meetsituatie. Dit oordeel is gebaseerd op een tweetal bevindingen. Allereerst veranderen de gemeten patronen van de ammoniakconcentraties van een wisselend beeld naar een minder variërend, stabiel patroon dat normaal is voor stalconcentraties (figuur 3 a en b). De stabilisatie van de luchtstromingspatronen in de stal komt met name tot uitdrukking in het naar nul gaan van de gemeten achtergrondconcentraties en in het veel beter overeenkomen van de twee meetpunten voor de uitgaande lucht in de stal. Dergelijke verbeteringen in het emissiepatroon zijn alleen mogelijk als geen verstoring van de ventilatie plaatsvindt. Het tweede punt dat deze conclusie onderbouwt is dat een aantal extra rookproeven heeft uitgewezen dat de zijgevel als inlaat fungeert en dat bij de centrale gang vrijwel niets uit de stal verdwijnt.

Voor de berekening van de jaaremissie van de eerste meetperiode is een schatting gemaakt van de ammoniakemissie gedurende het eerste deel van meetperiode 1. De schatting is gemaakt op basis van de aanname dat het relatieve verloop van de ammoniakemissies gedurende de ronde voor beide perioden overeenkwam. Zoals uit figuur 4 blijkt komen deze inderdaad in grote lijn met elkaar overeen. De verhouding tussen het laatste deel van de meetperiode 2 (dag 84-172) en de totale meetperiode 2 was 0,91. Deze factor is toegepast om de emissie van de totale eerste meetperiode uit te rekenen ( $0,91 \times \text{gem. emissie dag 81-172}$ ). Uit de gemiddelde daggemiddelde ammoniakemissie (mg/uur) over de gehele eerste meetperiode wordt de gemiddelde ammoniakemissie per dierplaats per jaar berekend. Dit levert voor de eerste meetperiode een geschatte ammoniakemissie op van 4,1 kg per dierplaats per jaar. Gemiddeld over beide periodes was de ammoniakemissie uit het onderhavige onderzoek 3,4 kg per dierplaats per jaar, inclusief 7,3% leegstand. Dit is 35% hoger dan de emissiefactor zoals die voor vleeskalveren tot 8 maanden vermeld staat in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (code A4).

In Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde buiten- en staltemperatuur en van de gemiddelde ammoniakemissie per dier per jaar van de verschillende onderzoeken die plaats vonden in praktijkomstandigheden.

Tabel 7 Vergelijking meetresultaten van onderhavig en vorig onderzoek.

Table 7 Comparison of measuring results of present and previous research.

	2002-2003		1995-1996 <sup>1)</sup>		1998 <sup>2)</sup>	RAV
	apr-sep	okt-apr	apr-okt	okt-mei	jul-dec	code A4
Buitentemperatuur (°C)	17,4	4,4	15,9	3,3	11,5	-
Staltemperatuur (°C)	21,1	13,7	19,6	9,7	16,4	-
NH <sub>3</sub> -emissie incl. leegstand (kg/dierplaats/jaar)	4,1	2,7	2,7	2,4	3,5	2,5

<sup>1)</sup> Hol en Groenestein, 1997

<sup>2)</sup> Hol *et al*, 2004

Wanneer de gemeten ammoniakemissies per dierplaats uit het huidige onderzoek vergeleken worden met de ammoniakemissies zoals die in eerder onderzoek zijn gemeten blijkt dat periode 1 van het onderhavig onderzoek de hoogste emissie gaf. De vergelijking van de buiten- en staltemperatuur tussen de verschillende metingen gaf aan dat in periode 1 van het onderhavige onderzoek ook de hoogste emissie zou kunnen worden verwacht. De hogere buitentemperatuur zal ook een hogere ventilatie geven, de hogere staltemperatuur heeft nog eens een verhogend effect op de emissie. Uit de vergelijking tussen periode 1 van onderzoek uit 1995-1996 en het onderzoek uit 1998 blijkt dat de omstandigheden, die aangeven dat onderzoek uit 1998 een lager emissie zou kunnen hebben, niet alleen verantwoordelijk zijn voor de emissie. De luchtbeweging in de stal en het specifieke management van de veehouder zijn ook zeer belangrijke invloedsfactoren voor de emissie. Het gemiddelde van de 5 meetresultaten is 3,1 kg per dierplaats per jaar.

In hetzelfde onderzoek van 1998 werd naast de ammoniakemissie ook de geuremissie bepaald (Ogink en Lens, 2001). De geometrisch gemiddelde geuremissie was 37,7  $\text{OU}_E/\text{s}$  per dierplaats. Dit is vergelijkbaar met de geuremissie van 43,9  $\text{OU}_E/\text{s}$  per geplaatst dier uit het onderhavige onderzoek. Bij de bekende geuremissie is het eerste deel van meetperiode 1 niet meegenomen. In vergelijking met meetperiode 1 zijn in deze periode 2 van de 5 metingen uitgevoerd. Wanneer van hetzelfde uitgangspunt wordt uitgegaan als bij ammoniak, namelijk een vaste verhouding tussen de relatieve gemeten emissie en de gemiddelde emissie en bovendien dezelfde verhouding als bij ammoniak wordt aangehouden (0,91) zal de geometrische gemiddelde geuremissie 41,8  $\text{OU}_E/\text{s}$  per geplaatst worden.

## 5 Conclusies

De ammoniakemissie uit de mechanisch geventileerde stal voor vleeskalveren (wit vlees productie) bedroeg voor een volledig gemeten productieperiode 2,7 kg ammoniak per dierplaats per jaar (incl. 7,3% leegstand). De jaaremmissie van een tweede productieperiode werd voor een deel bepaald door metingen (dag 84 tot einde ronde) en voor een deel ingeschat. Dit resulteerde voor de betreffende meetperiode in 4,1 kg ammoniak per dierplaats per jaar (incl. 7,3% leegstand). Het betreft hier een stal met traditionele huisvesting (combinatie individuele en groepshuisvesting), houten roosters en mestopslag onder de roosters. Het rantsoen bestond voornamelijk uit melk. De gemiddelde geuremissie over beide meetperiodes was 43,9  $\text{OU}_E/\text{s}$  per geplaatst dier.



## Literatuur

- Berckmans, D., PH. Vandenbroeck en V. Goedseels. Sensor for continuous measurement of the ventilation rate in livestock buildings. *Indoor Air* 3, 1991, p. 323-336.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXI: verschillende huisvestingssystemen voor vleeskalveren. Wageningen, DLO, Rapport 97-1001, 1997, 15 pp.
- Hol, J.M.G., C. ter Beek, G.M. Nijeboer, L. Simonse, G. Mol en N.W. M. Ogink. Geuremissie uit de Veehouderij V: Technische rapportage Rundvee en melkgeiten, A&F rapport in voorbereiding, 2004.
- Infomil, Regeling nr. BWL/2004011692. Wijziging Handreiking Ammoniak en Veehouderij. Rapport, Den Haag, 26 maart 2004, 9 pp.
- KWIN, 2003. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 20030-2004. Praktijkboek 28. Praktijkonderzoek Veehouderij, september 2003, Lelystad, 431 pp.
- LNV. Kalverenbesluit. Den Haag, 1997.
- 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 P.N. Lens. Geuremissies uit de veehouderij. IMAG, Wageningen, 2000; nota V2000-11, 36 pp.
- 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>-analyser. 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, R. en C.E. van 't Klooster. Meetventilator. In: E.N.J. van Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij, DLO, Wageningen, 1993, p. 59-62.

- 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.
- VROM. Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen. Ministerie van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1989.
- 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.
- Werkgroep Emissiefactoren, 1996. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Verkrijgbaar via  
het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- 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 emissies uit veehouderijgebouwen onder praktijkomstandigheden vergroot het inzicht in en de kennis over de milieubelasting vanuit de agrarische sector. Met deze kennis nemen de mogelijkheden om deze belasting te verminderen c.q. te voorkomen toe. Op voordracht van de Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen is onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een stal voor vleeskalveren (witvlees productie). Het onderzoek is uitgevoerd door de meetploeg van Agrotechnology & Food Innovations op het bedrijf van de familie van Roekel te Ede. Wij zijn alle partijen zeer erkentelijk voor de gelegenheid die geboden is voor het meten van dit stalsysteem en voor de goede samenwerking. Wij vertrouwen er op dat van de resultaten een nuttig gebruik wordt gemaakt.

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 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  $\text{NH}_3$  emissie moet dan gedaald zijn tot 86%. Om deze emissiereductie te kunnen realiseren is onder andere invoering van emissiebeperkende staltechnieken en -systemen noodzakelijk. De landbouwsector is tevens een belangrijke bron van geurhinder in Nederland. Ter ondersteuning van de regelgeving voor geurhinder door de veehouderij voert A&F geuremissiemetingen uit aan stalsystemen waar ook  $\text{NH}_3$  gemeten wordt. In dit kader, en ter onderbouwing van de resultaten van een eerdere emissiemeting in 1995 en 1996, werd onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een stal voor vleeskalveren (witvlees productie). Het betrof hier een stal met traditionele huisvesting, houten roosters en mestopvang onder de roosters. Het rantsoen bestond voornamelijk uit melk. In de bedrijfsvoering waren geen ammoniakemissiereducerende handelingen opgenomen.

Het onderzoek werd uitgevoerd gedurende twee meetperiodes die parallel liepen aan de productieperiodes van de dieren. De stal bestond uit 10 afdelingen. De metingen tijdens de eerste meetperiode vonden plaats in één afdeling van de stal. Deze afdeling bestond uit 10 rijen hokken met daartussen 5 voerpaden. Gedurende de tweede periode vonden als gevolg van ervaringen in de eerste meetperiode ook metingen plaats in vier naastgelegen afdelingen in de stal. Deze afdelingen bestonden elk uit 2 rijen hokken met in het midden een voerpad. De stal was uitgerust met een mechanisch ventilatiesysteem. Boven elk voerpad hing in de nok van de stal een ventilator met een maximale capaciteit van  $3.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Buitenlucht kwam de stal binnen via kleppen, ramen en deuren in de zijgevels van de stal. De stal werd niet extra verlicht en de dieren werden 2 maal daags gevoerd.

In het begin van de productieperiode werden de kalveren individueel gehuisvest in boxen. Na 7-8 weken werd overgeschakeld op traditionele groepshuisvesting. Hierbij werden gemiddeld 5 kalveren per hok geplaatst. Van 27 april tot en met 22 september 2002 (meetperiode 1) en van 20 oktober 2002 tot en met 8 april 2003 (meetperiode 2) werden de ammoniakemissie en het klimaat gemeten. Tijdens elke meetperiode werd tevens 5 maal de geuremissie gemeten. De ammoniakemissie en het klimaat werden (semi-)continu gemeten; de geuremissie werd telkens tussen 10 en 12 uur gemeten. Het aantal dierplaatsen, gebaseerd op het kalverenbesluit was 200 in de eerste meetperiode en 360 in de tweede meetperiode. Het aantal geplaatste dieren lag hoger (210 en 370).

Gedurende de eerste helft van de eerste meetperiode (dag 1 - 83) bleek de ventilatie niet nauwkeurig te meten doordat dwarsventilatie mogelijk was. Om dit probleem te ondervangen is een aantal aanpassingen aan de stal aangebracht, waardoor een betrouwbare meetsituatie ontstond. Voor de berekening van de emissie gedurende de eerste 83 dagen van de eerste

meetperiode werd gebruik gemaakt van de gemeten emissies gedurende het resterende deel van de eerste meetperiode en de gemeten emissies in de tweede meetperiode.

De gemiddelde buitentemperatuur was in de eerste meetperiode 17,4°C en in de tweede meetperiode 4,4°C. De gemiddelde staltemperatuur was in deze periodes achtereenvolgens 21,1°C en 13,7°C. Het gemiddelde ventilatiedebiet per geplaatst dier was respectievelijk 98 m<sup>3</sup>/uur en 59 m<sup>3</sup>/uur. De ammoniakemissie bedroeg voor een volledig gemeten productieperiode 2,7 kg ammoniak per dierplaats per jaar (incl. 7,3% leegstand). De jaaremissie van een tweede productieperiode werd voor een deel bepaald door metingen (dag 84 tot einde ronde) en voor een deel ingeschat. Dit resulteerde in 4,1 kg ammoniak per dierplaats per jaar (incl. 7,3% leegstand). De geometrisch gemiddelde geuremissie over 10 metingen bedroeg 43,9 OU<sub>E</sub>/s per geplaatst dier.

## Summary

Deposition of ammonia, besides  $\text{NO}_x$  and  $\text{SO}_x$  deposition, causes acidification and eutrophication of the environment. The policy of the Dutch government aims at a reduction of the emission of ammonia of 70% in 2005, compared with the emission level in 1980. Also, new legislation on odour from animal husbandry is being prepared. Within this framework, research was carried out into the emission of ammonia and odour from a house for veal cattle (white meat production). The house consisted of a traditional housing system with wooden slatted floors, under which manure was collected. The ration contained mainly milk.

The research was conducted during two measuring periods that ran simultaneously with the 2 production cycles of the animals. The house had 10 compartments. During the first measuring period, measurements were done in one of the 10 compartments. This compartment was divided in 10 rows of boxes with 5 feed alleys in between. Based on experiences from the first measuring period, measurements were also carried out in 4 other compartments during the second period. These 4 compartments were each divided in 2 rows of boxes with a food alley in between. The house was mechanically ventilated. The ventilators had a maximum capacity of  $3.000 \text{ m}^3/\text{hour}$  and were placed in the ridge above a food alley. Ventilation air entered the house through inlet openings situated on the whole length of both sidewalls. Daylight came into the house through windows and feeding took place twice a day.

The calves were housed individually during the first 7 or 8 weeks of a production period. During the rest of the fattening period they were held in small groups of 5 animals. The measurements (ammonia and odour emissions, climate) were carried out from the 27<sup>th</sup> of April till the 22<sup>nd</sup> of September 2002 (first measuring period) and from the 20<sup>th</sup> of October 2002 till the 8<sup>th</sup> of April 2003 (second measuring 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. The number of animal places according to legislation for animal welfare (kalverenbesluit) was 200 for the first period and 360 for the second period. The number of placed animals was higher (210 and 370).

It appeared that during the first half of the first measuring period (day 1 – 83) the measurements of the ventilation rate were not reliable due cross ventilation. To tackle this problem, some adjustments were done to the house that made the measuring situation reliable. For calculating the emission during the first 83 days of the first measuring period, the measured emissions during the rest of the first period and the results of the second measuring period were used.

The average outside temperature was  $17,4^\circ\text{C}$  during the first measuring period and  $4,4^\circ\text{C}$  during the second measuring period. The average room temperatures were  $21,1^\circ\text{C}$  and  $13,7^\circ\text{C}$  respectively. The average ventilation rate was  $98 \text{ m}^3/\text{hour}$  and  $59 \text{ m}^3/\text{hour}$  per placed animal during the measuring periods. The ammonia emission was 2,7 kg per animal per year for the

second measuring period. The first 83 days of the first fattening period wasn't measured but estimated on basis of the second period. The average ammonia emissions during this period amounted to 4.1 kg/year per animal (including calculations) The ammonia emissions included a correction for the non-occupied periods of 7.3%. Based on 10 measurements, the geometrical mean odour emission amounted to 43,9  $\text{OU}_E/\text{s}$  per animal.

## **Bijlagen**

- Bijlage A Kader en contactpersonen A&F-meetploeg
- Bijlage B Plattegrond bedrijf
- Bijlage C Schematisch bovenaanzicht stal
- Bijlage D Kalibratieresultaten meetventilator
- Bijlage E Principe en kalibratieresultaten NO<sub>x</sub>-monitor
- Bijlage F Omzettingspercentage convertors
- Bijlage G Temperatuur
- Bijlage H Relatieve luchtvochtigheid
- Bijlage I Ventilatie-debiet
- Bijlage J Ammoniakconcentratie
- Bijlage K Lijst van medicijngebruik

## **Bijlage A      Kader en contactpersonen A&F-meetploeg**

Tot 2003 verrichtte de meetploeg van A&F ammoniak- en geurmetingen ten behoeve van het ondersteunen van beleidsdoelstellingen van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Deze metingen vonden plaats aan bestaande en nieuw ontwikkelde systemen, voorzieningen en methoden tot het verminderen van de ammoniak- en geuruitstoot uit stallen. Het ging hierbij met name om systemen waarvan de emissie nog niet eerder was gemeten (categorie I), systemen waarvan de uitstoot veranderde als gevolg van beleidswijzigingen door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (categorie II) en systemen voor diersoorten waarvoor nog nauwelijks emissiearme systemen beschikbaar waren (categorie III). Door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit waren financiële middelen beschikbaar gesteld voor het meten van ammoniak- en geuremissies aan voornoemde systemen. Deze systemen werden uit de aanvragen geselecteerd door de Begeleidingscommissie van DLO onderzoeksprogramma 309 of haar gedelegeerde. Voor het uitvoeren van metingen beschikte de Begeleidingscommissie over een meetploeg. De uitvoerende instelling waaronder de meetploeg ressorteerde is Agrotechnology & Food Innovations, het voormalige IMAG. De metingen werden uitgevoerd volgens de beoordelingsrichtlijn “Emissiearme stallen” die is opgesteld door de Stichting Groen Label. De daarin genoemde landbouwkundige voorwaarden vielen onder de verantwoordelijkheid van de aanvrager.

Voor emissiemetingen vanaf 2003 is volledige financiering (eventueel met subsidie) door de aanvrager noodzakelijk. Nadere informatie hierover kan verkregen worden bij de coördinator van de A&F-meetploeg.

Coördinator meetploeg

Ing. J.M.G. Hol

[annemieke.hol@wur.nl](mailto:annemieke.hol@wur.nl)

Agrotechnology & Food Innovations

[www.agrotechnologyandfood.wur.nl](http://www.agrotechnologyandfood.wur.nl)

Bezoekadres: Bornsesteeg 59

Gebouw 118

6708 PD Wageningen

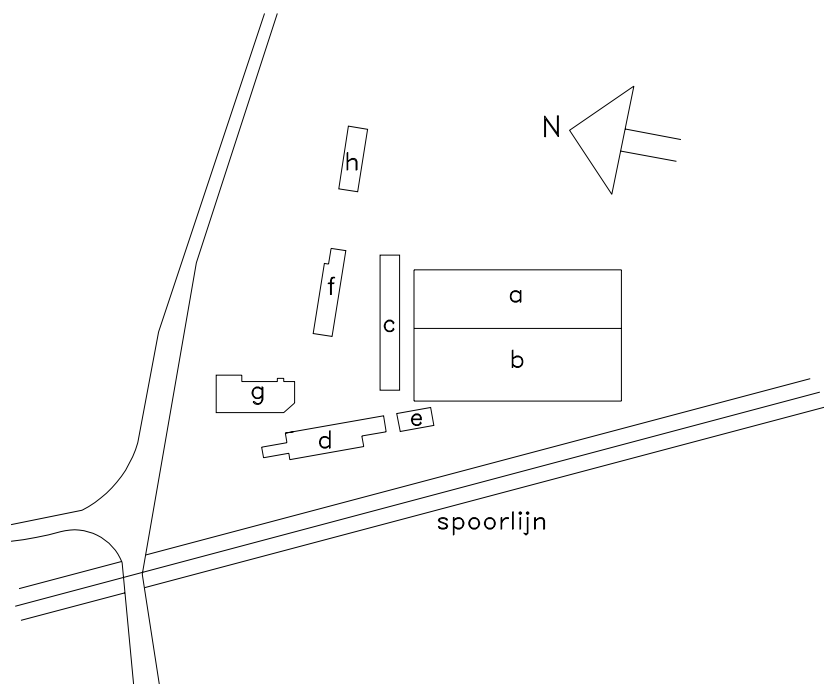
Postadres: Postbus 17

6700 AA Wageningen

Telefoon: 0317 47 65 97

## Bijlage B Plattegrond bedrijf

In Figuur B1 is de plattegrond van het bedrijf weergegeven. De letters a en b geven het oude (bouwjaar 1979) respectievelijk het nieuwe staldeel (bouwjaar 1999) aan, waarin de metingen hebben plaatsgevonden. Verder zijn in de figuur o.a. nog een stal voor rosé vleeskalveren (c) en het woonhuis (g) zichtbaar.

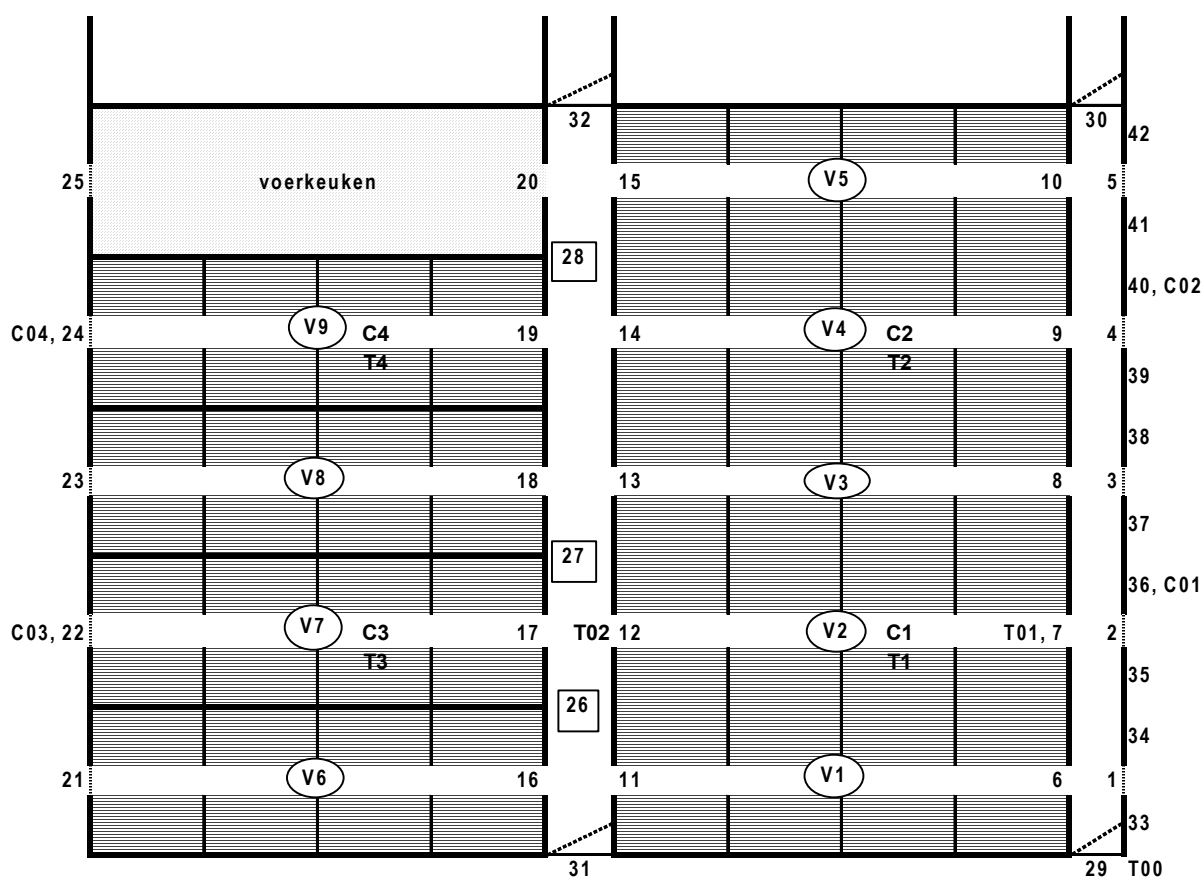


Figuur B1 Plattegrond van het bedrijf.

*Figure B1 Map of the farm.*

## Bijlage C Schematisch bovenaanzicht stal

In Figuur C1 wordt een schematisch bovenaanzicht van dat deel van de stal weergegeven waar de metingen uit het onderhavige onderzoek hebben plaatsgevonden. De verhoudingen in deze figuur komen niet overeen met de werkelijkheid. De locaties van de ventilatoren in de stal worden aangeduid met  $V_x$ , de plekken waar de ammoniakconcentratie en het klimaat gemeten werd zijn aangegeven met  $C_y$  resp.  $T_z$ . De nummers 1 t/m 42 geven de openingen aan die als ventilatieopening gebruikt konden worden.



Figuur C1 Schematisch bovenaanzicht van de stal.  
 Figure C1 Schematic view from above the house.

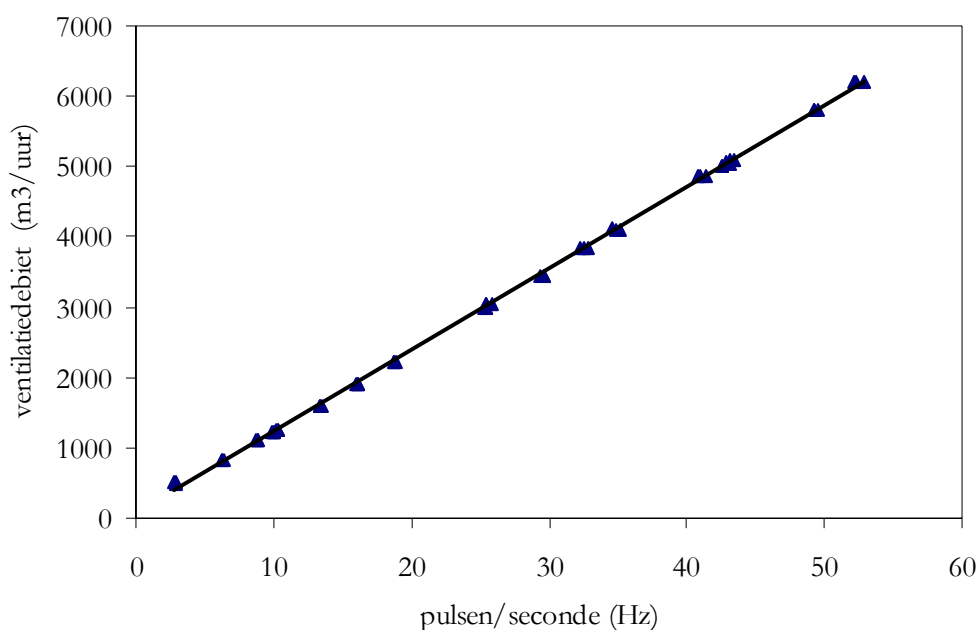


## Bijlage D Kalibratieresultaten meetventilator

Op 14 mei 2003 werd een meetventilator met een diameter van 45 cm en 3 bladen gekalibreerd. De relatie tussen het ventilatiedebiet  $V$  ( $\text{m}^3/\text{uur}$ ) en het geregistreerde aantal pulsen per seconde (Hz) was:

$$V = 115,9 * (\text{aantal pulsen/sec}) + 76$$

Aan de hand van deze kalibratielijns zijn de debieten berekend voor alle gebruikte meetventilatoren.



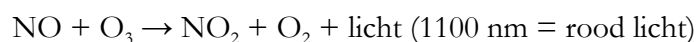
Figuur D1 Kalibratielijns van gebruikte meetventilator.

Figure D1 Calibration line of used measuring fan.

## **Bijlage E    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 instimulation Inc., model 200A). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentiereactie tussen ozon (O<sub>3</sub>) en stikstofmonoxide (NO). Bij deze reactie komtstikstofdioxide (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 ammoniak (NH<sub>3</sub>) te kunnen meten moet het eerst door een convertor worden omgezet tot NO. In de convertor wordt de lucht verhit tot circa 775°C. Bij deze temperatuur wordt NH<sub>3</sub> aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De luchtmonsters worden continu via verwarmde en geïsoleerde teflon slangen aangezogen. NH<sub>3</sub> adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord (Bleijenberg, R en Ploegaert, J.P.M.. Handleiding meetmethoden ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. Wageningen, IMAG-DLO, 1994; Rapport 94-1, 76 pp).

### **Kalibratieresultaten**

Tijdens de meetperiodes was de maximaal meetbare NH<sub>3</sub>-concentratie 50 ppm. De wekelijkse kalibratie van de NO<sub>x</sub>-monitor werd gedurende de meetperiodes uitgevoerd met NO-gas. De gemiddelde NO-concentratie van dit gas bedroeg in de eerste meetperiode 10,5 ppm en in de tweede meetperiode 40,1 ppm. Tijdens de eerste meetperiode bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibraties gemiddeld 3,4%, tijdens de tweede periode gemiddeld 1,5%. Voor het verloop in ammoniakconcentratie tussen 2 kalibraties zijn de concentraties lineair op basis van de duur sinds de voorafgaande kalibratie gecorrigeerd.

## Bijlage F Omzettingspercentage convertors

In onderstaande tabel staat per meetpunt het gemiddelde omzettingspercentage van de convertors weergegeven bij een aanbieding van 10 ppm NH<sub>3</sub>. Deze waarden werden gebruikt voor de correctie van de ammoniakconcentraties.

Tabel F1 Omzettingspercentage convertors bij aanbieding van 10 ppm NH<sub>3</sub>.

*Table F1 Percentage of conversion when 10 ppm NH<sub>3</sub> is offered to the convertors.*

Converterlocatie	Meetperiode 1	Meetperiode 2
Ingaand west 1	91%	91%
Ingaand west 2 <sup>1</sup>	93%	91%
Ingaand oost 1 <sup>2</sup>	91%	93%
Ingaand oost 2 <sup>2</sup>	93%	92%
Uitgaand 1	90%	91%
Uitgaand 2	92%	91%
Uitgaand 3 <sup>3</sup>	-	91%
Uitgaand 4 <sup>3</sup>	-	95%

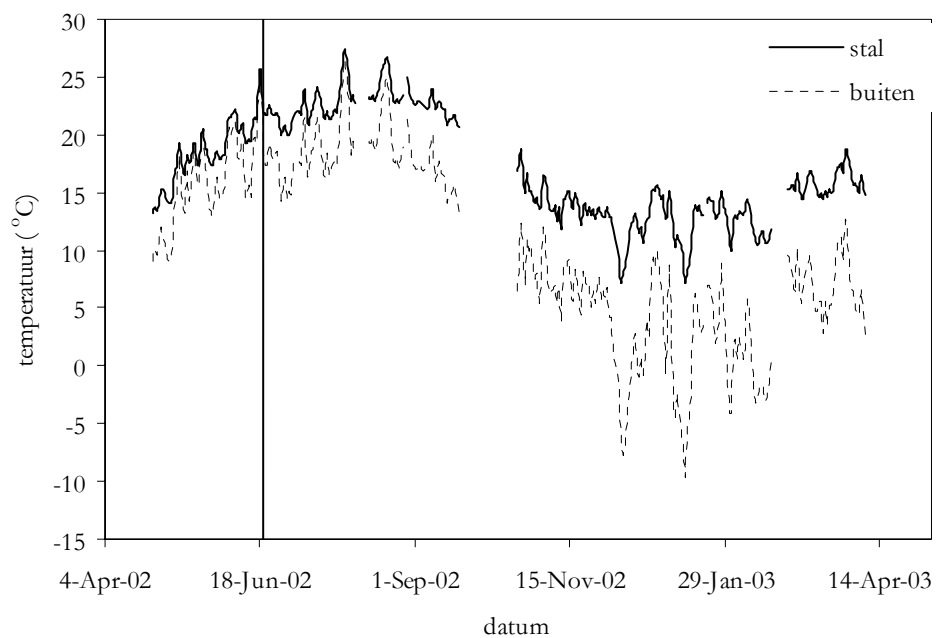
<sup>1</sup> gedurende eerste meetperiode gemeten vanaf 19 juni 2002

<sup>2</sup> gedurende eerste meetperiode gemeten tot 19 juni 2002

<sup>3</sup> niet gemeten gedurende eerste meetperiode

## Bijlage G Temperatuur

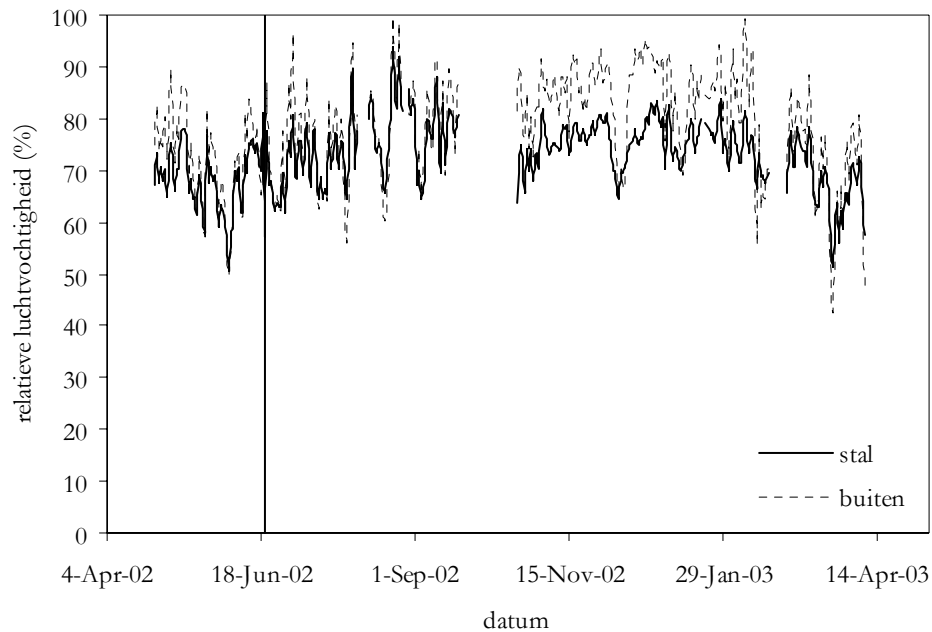
Daggemiddeldes van de temperatuur (°C) in de stal en de buitentemperatuur gedurende de beide meetperiodes. De verticale lijn in figuur G1 geeft het moment aan waarop tochtflappen en windbreekgaas zijn geïnstalleerd.



Figuur G  
Figure G1

## Bijlage H Relatieve luchtvochtigheid

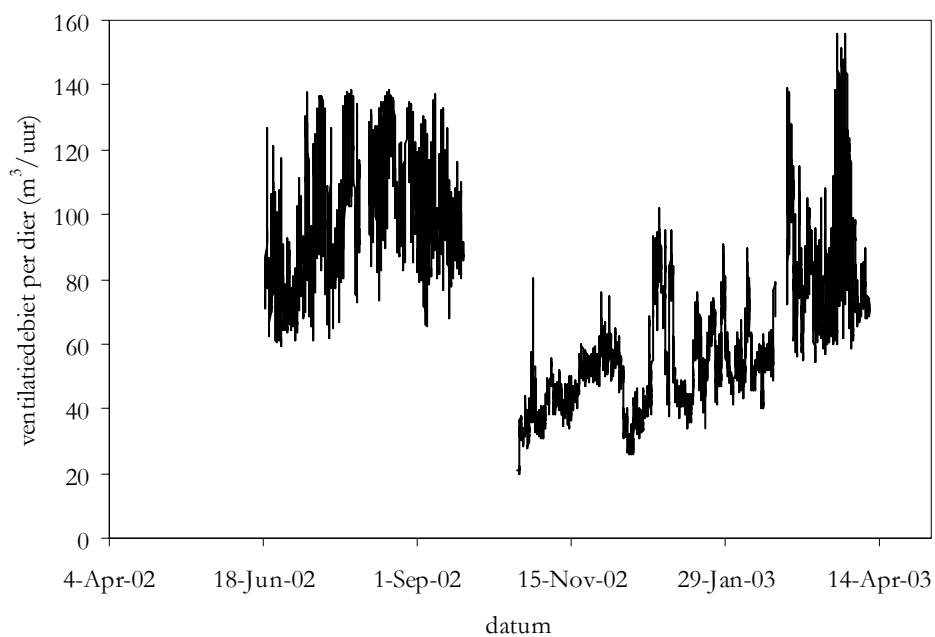
Daggemiddeldes van de relatieve luchtvochtigheid (%) in de stal en buiten gedurende beide meetperiodes. De verticale lijn in de grafiek geeft het moment aan waarop tochtflappen en windbreekgaas zijn geïnstalleerd.



Figuur H:

Figure H1

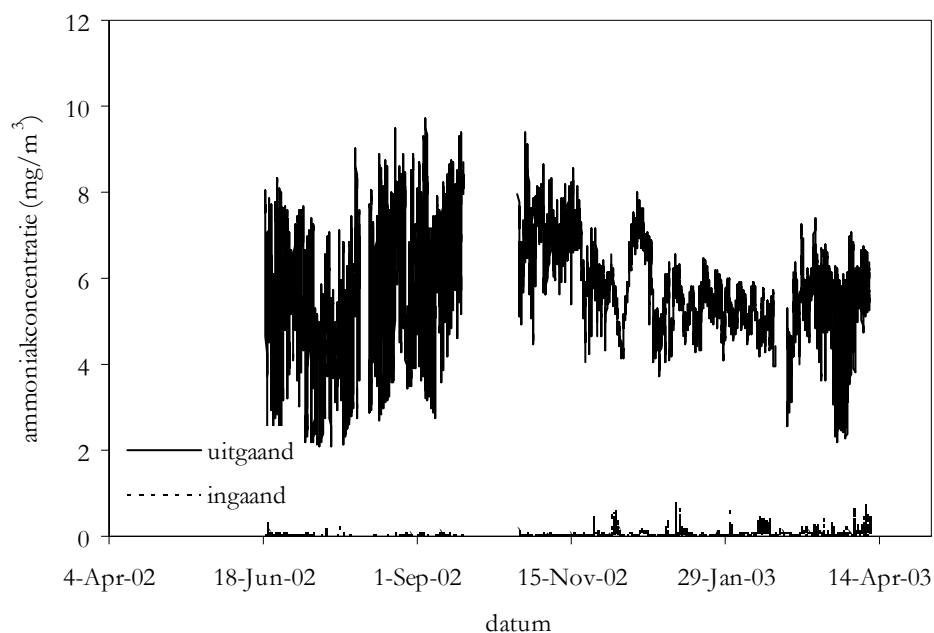
## Bijlage I Ventilatiedebiet



Figuur I1 Uurgemiddelde ventilatiedebiet gedurende de eerste meetperiode na aanpassingen aan de stal i.v.m. meetproblemen en gedurende de tweede meetperiode.

*Figure I1 Average hour ventilation rate during the first measuring period after adjustments to the house in connection with measuring problems and during the second measuring period.*

## Bijlage J Ammoniakconcentratie



Figuur J1 Uurgemiddelde ammoniakconcentratie van de stal- en achtergrondlucht gedurende de eerste meetperiode na aanpassingen aan de stal i.v.m. meetproblemen en gedurende de tweede meetperiode.

Figure J1 *Average hour ammonia concentration of the indoor and background air during the first measuring period after adjustments to the house in connection with measuring problems and during the second measuring period.*

## Bijlage K    Overzicht van medicijngebruik

Tabel L1    Lijst van toegediende medicijnen.

*Table L1    List of applied medicines.*

Meetperiode 1		
medicijn	begin	eind
OTC/Colistine (startkuur)	voorafgaand aan meetperiode	
OTC	10 april 2002	12 april 2002
Flumequine	18 april 2002	24 april 2002
Cubarmix 48%	6 mei 2002	11 mei 2002
Aspirine/Broomhexine	24 mei 2002	28 mei 2002
Ampiciline/OTC	19 juni 2002	25 juni 2002
OTC	23 augustus 2002	27 augustus 2002
OTC/Broomhexine	3 september 2002	7 september 2002
Meetperiode 2		
OTC/Colistine (startkuur)	15 oktober 2002	19 oktober 2002
Neomycine	23 oktober 2002	27 oktober 2002
Cubarmix 48%/Broomhexine	5 november 2002	10 november 2002
Doxycycline	11 november 2002	15 november 2002
Cubarmix 48%	22 novmeber 2002	26 november 2002
OTC/Aspirine	11 december 2002	17 december 2002
OTC	16 januari 2003	20 januari 2003
Aspirine	1 maart 2003	7 maart 2003
OTC	5 maart 2003	11 maart 2003
OTC	27 maart 2003	30 mart 2003



## 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.
- Scholten, 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 huisvestingssystemen 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.
- Wever, A.C. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLV: Vleeskuikenstal met isolatie en ventilatie volgens het VEA-concept. Wageningen, IMAG, Rapport 99-09, 21 pp. excl. bijlage.
- Huis in 't Veld, J.W.H., P.W.G. Groot Koerkamp en R. Scholtens, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVI: Voletage volièresysteem voor legouderdieren en een droogtunnel. Wageningen, IMAG, Rapport 99-10, 23 pp. excl. bijlage.

- Hol, J.M.G., J.V. Klarenbeer en P.W.G. Groot Koerkamp, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVII: Biothermische droogunit voor voorgedroogde leghennenmest met luchtbehandeling door een chemische wasser. Wageningen, IMAG, rapport 99-11, 23 pp. excl. bijlage.
- 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, 20 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G., A.C. Wever en A.J.A. Aarnink, 2001 – Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIX: Beddenstal voor vleesvarkens. Wageningen, IMAG, Rapport 2001-04, 24 pp. excl. bijlagen.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en P.W.G. Groot Koerkamp, 2001 – Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen L: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een geprofileerde vloer voor melkvee; winterperiode. Wageningen, IMAG, Rapport 2001-08, 16pp. excl. bijlagen.
- Hol, J.M.G., C.M. Groenestein en E. Evers, 2001 – Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen LI: Beddenstal voor gespeende biggen. Wageningen, IMAG, Rapport 2001-09, 21 pp. excl. bijlagen.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en P.W.G. Grootkoerkamp, 2001 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LII: Volière stal 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.
- Beurskens, A.G.C., 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, 25 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.

Wagemans, M.J.M., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 2003 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIX: Welzijnsvriendelijk huisvestingsstelsel voor dragende zeugen in kleine groepen. Wageningen, Agrotechnology and Food innovations, Rapport B740, 33 pp. excl. bijlage.

Hol, J.M.G., A. Scheer en N.W.M. Ogink, 2004 – Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LX: Stal voor voedsters en vleeskonijnen. Wageningen, Agrotechnology and Food innovations, Rapport 219, 39 pp. excl. bijlage.