

---

## Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII

Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee;  
zomerperiode

Cubicle housing system with a grooved floor for dairy cattle; summer  
period

Ing. J.W.H. Huis in 't Veld  
Ir. G.J. Monteny  
Ir. R. Scholtens

---

## Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII

Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee;  
zomerperiode

Cubicle housing system with a grooved floor for dairy cattle; summer  
period

Ing. J.W.H. Huis in 't Veld  
Ir. G.J. Monteny  
Ir. R. Scholtens

IMAG Rapport 2001-03  
februari 2001

## **CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG**

J.W.H. Huis in 't Veld, G.J. Monteny, R. Scholtens

Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII – Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee; zomerperiode = Cubicle housing system with a grooved floor for dairy cattle; summer period

J.W.H. Huis in 't Veld, G.J. Monteny., R. Scholtens. – Wageningen: IMAG. – (Rapport / Stichting Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek; 2001-03).

Met lit.opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-191-X

NUGI 849

Trefwoorden: ammoniakemissie, melkvee, stallen

C 2001-03 IMAG

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317-476300

Telefax 0317-425670

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het instituut.

All rights 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 institute.

## Abstract

J.W.H. Huis in 't Veld, G.J. Monteny en R. Scholtens. Research into the ammonia emission from livestock production systems XLVIII: Cubicle house for dairy cows with a grooved floor system. Institute of Agricultural and Environmental Engineering, report 2001-03, in Dutch, with summary in English, 20 pp.

Ammonia emission from animal husbandry in the Netherlands has to be reduced by 70% in the year 2005, as compared with the emission level in 1980. Research was carried out into the emission of ammonia from a cubicle house for dairy cows during a summerperiod. This housing system was provided with a grooved floor which consisted of solid, leveled prefabricated concrete elements. The grooves parallel to the alley were 35 mm wide and 30 mm deep and the in-between distance was 160 mm. Perforations in the grooves were at 1,1 m apart. This floor system allowed the urine to drain along the grooves, through the perforations into the underfloor slurry pit. The faeces were dragged on a regular basis to one end of the alley using a scraper. During the measuring period the dairy house was occupied by 73 lactating cows. Between 8:30 AM till 14:00 PM and between 19:30 PM till 24:00 PM the milking cows were grazing outside. On the base of a summerperiod of 175 days the ammonia emission was 5.5 NH<sub>3</sub> per cow. This was 36% higher than the ammonia emission from the same building during the winterperiod and was caused by the higher temperatures and probably also by the differences in diets between the summer (grass) and the winter period (grass and maize silage).

*Keywords: ammonia emission, dairy cattle, cubicle house*

## Voorwoord

Onderzoek naar de ammoniakemissie onder bedrijfsomstandigheden vormt een belangrijke basis voor de ontwikkeling van kennis over de vermindering van de milieubelasting door de veehouderij. In dit kader is onderzoek verricht naar de ammoniakemissie van een ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee gedurende de zomerperiode. Het onderzoek is uitgevoerd door de IMAG-meetploeg op het bedrijf van de familie de Lange in Arriën. Wij zijn hen zeer erkentelijk voor de goede en prettige samenwerking bij de uitvoering van de metingen.

Ir. A.A. Jongebreur

Directeur  
IMAG Wageningen

# Inhoud

Abstract	2
Voorwoord	6
1 Inleiding	8
2 Materiaal en methode	9
2.1 Stal- en bedrijfssituatie	9
2.1.1 Bedrijfssituatie	9
2.1.2 Huisvesting	9
2.1.3 Ventilatie	10
2.1.4 Ammoniakreducerend principe	10
2.2 Bedrijfsvoering	10
2.2.1 Zoötechniek	10
2.2.2 Voeding	10
2.3 Metingen	11
2.3.1 Algemeen	11
2.3.2 Productiegegevens	12
2.3.3 Klimaat	12
2.3.4 Concentratietingen	12
2.4 Dataverwerking	13
3 Resultaten en discussie	15
3.1 Klimaat en ventilatiedebiet	15
3.2 Ammoniakconcentraties en -emissie	15
4 Conclusie	19
Literatuur	20
Samenvatting	21
Summary	22
Bijlagen	23

# 1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ), stikstofoxiden (stikstofmonoxide ( $\text{NO}$ ) en stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ )) en ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), samen met hun reactieproducten, in het kort  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_y$  en  $\text{NH}_x$  genoemd. In 1993 was 86% van de verzuring door  $\text{NH}_x$  uit eigen land afkomstig en kwam 92% daarvan uit de landbouw. De bijdrage van  $\text{NH}_x$  aan de totale verzuring in Nederland was in dat jaar 47% (Heij en Schneider, 1995). 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% moet zijn afgenomen (Notitie Mest- en Ammoniakbeleid Derde Fase, 1993; Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid, 1995). Om dit te kunnen realiseren is invoering van emissiebeperkende technieken en systemen noodzakelijk.

Behalve via onderzoek komen ook uit de praktijk ideeën en initiatieven om de ammoniakemissie terug te dringen. Om deze op hun waarde te schatten dient aan, in potentie emissie-arme maatregelen, onder normale bedrijfsomstandigheden te worden gemeten. De aanvragen voor emissiemetingen kunnen worden ingediend bij het secretariaat van de IMAG-meetploeg. De Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen van de IMAG-meetploeg (zie Bijlage A) beoordeelt ten behoeve van de selectie de aanvragen op de volgende criteria: perspectief voor wat betreft de vermindering van de ammoniakemissie, toepasbaarheid in de praktijk en mogelijke negatieve milieu-effecten. Tevens worden aanvragen voor traditionele huisvestings-systemen geselecteerd die nog niet eerder gemeten zijn. De Begeleidingscommissie bestaat uit vertegenwoordigers van de overheid.

In bovenstaand kader werd de ammoniakemissie uit een natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee bepaald. Het loopgedeelte van de dieren was uitgevoerd met een sleufvloer. De urine kon door kleine perforaties in de sleuven naar de onderliggende mestkelder aflopen. Hierdoor werd de ammoniakemissie uit de mestkelder geminimaliseerd. De vaste mest werd regelmatig met een mestschuif naar het einde van het looppad geschoven en afgestort in de onderliggende kelder. De mestschuif ging over de vloer en door de sleuven. Van dit stalsysteem was reeds de ammoniakemissie tijdens de winterperiode bepaald. In het onderhavige onderzoek werd de zomeremissie vastgelegd.

De gemeten ammoniakemissie uit de stal werd vergeleken met de emissiefactor voor melkkoeien die gehuisvest zijn in een ligboxenstal met roostervloer en mestkelder zoals die is opgenomen in de Wijziging Uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij (1999). Tevens werd de gemeten ammoniakemissie vergeleken met eerdere metingen uit dezelfde stal tijdens de winterperiode (Huis in 't Veld en Scholtens, 1998).

## 2 Materiaal en methode

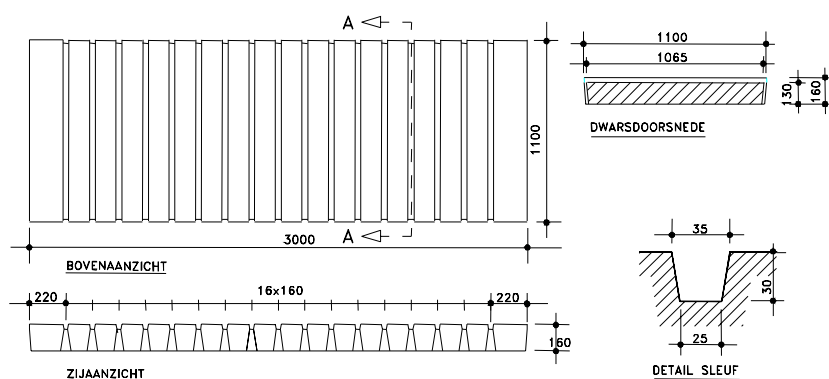
### 2.1 Stal- en bedrijfssituatie

#### 2.1.1 Bedrijfssituatie

De metingen zijn uitgevoerd in een bestaande ligboxenstal voor melkkoeien. De meetperiode was van 8 juli tot en met 5 oktober 1999. In de stal was het loopgedeelte van de dieren uitgevoerd met een sleufvloer met gierafvoer en mestschuif. Tijdens de meetperiode waren in de stal gemiddeld 62 melkgevende koeien en 11 droogstaande koeien aanwezig. Alle wijzigingen in de groep-samenstelling werden geregistreerd.

#### 2.1.2 Huisvesting

De onderzoekstal was een natuurlijk geventileerde 2+2 rijige ligboxenstal met 95 dierplaatsen. De ligboxen, uitgevoerd met koe-matrassen, waren ingestrooid met stro. In de stal waren twee krachtvoerboxen aanwezig. De vier mestgangen waren voorzien van een sleufvloer met een totaal oppervlak van 288 m<sup>2</sup>. De doorgangen tussen twee mestgangen waren voorzien van vlakke, dichte betonvloeren met een totaal oppervlak van 29 m<sup>2</sup>. De sleufvloer bestond uit dichte, vlakke betonplaten met een breedte van 1,10 m. De platen lagen vlak en waren voorzien van sleuven die evenwijdig aan het voerhek liepen. De sleuven in de betonplaat hadden een hartafstand van 160 mm en waren 35 mm breed en 30 mm diep. In de sleuven bevonden zich om de 1,10 m openingen (perforaties) die naar beneden toe wijder uitliepen. In totaal waren in de breedte van de elementen 17 parallel lopende sleuven aangebracht. Via de sleuven en deze tapse openingen werd de urine en een klein gedeelte van de mest naar de onderliggende mestkelder afgevoerd. In Figuur 1 zijn een bovenaanzicht, een zijaanzicht, een dwarsdoorsnede en een detail van een sleufvloerelement weergegeven (Swierstra *et al.*, 1997).



**Figuur 1** Dicht vloerelement van beton met sleuven en perforaties.

**Figure 1** Concrete floor with grooves and perforations.

Het oppervlak van iedere perforatie bedroeg 700 mm<sup>2</sup>. Het totale oppervlak van de perforaties was 0,36% van het totale sleufvloeroppervlak. Gemiddeld werd de sleufvloer iedere vijf kwartier met een speciale mestschuif schoon geschoven. Het schuifblad van de mestschuif was geschikt gemaakt voor het reinigen van de sleuven en voor het voorkomen van het met mest verstopten van de perforaties. De schuifrequentie was ingesteld met een tijdschakelaar en werd gecontroleerd middels een verzegelde bedrijfsurenteller. De tijden zijn weergegeven in Bijlage F. Het schuifblad van de mestschuif was uitgevoerd met een geprofileerde rubberstrip, die de sleuven reinigde en voorkwam dat de openingen verstopt raakten. De vaste mest werd door de mestschuif naar het uiteinde van het looppad geschoven en afgestort via openingen aan de



vloereinden in de onderliggende mestkelder. De openingen waren voorzien van kunststof flappen om luchtuitwisseling tussen mestkelder en de stalruimte te voorkomen. Door de ongelijkmatige verdeling van vaste- en vloeibare mest in de kelder was het noodzakelijk de kelderinhoud regelmatig te mixen, hetgeen wekelijks plaatsvond. De stal was alleen onder de sleufvloer onderkelderd; de totale opslagcapaciteit bedroeg circa 400 m<sup>3</sup>. Handelingen met de mest, zoals mixen of leeghalen van de kelder, werden geregistreerd. Ten opzichte van eerdere metingen (winterperiode) in deze stal was de zuidzijde uitgebouwd met een nieuw gedeelte. Hier werden de kleinste kalveren gehuisvest en tevens waren er twee afkalfboxen gevuld met stro. Dit stalgedeelte was gescheiden van de melkkoeien door een gevelmuur en een grote schuifdeur. De ligging van de ligboxenstal ten opzichte van overige gebouwen is weergegeven in Bijlage B. Rondom de ligboxenstal waren geen obstakels c.q. dierverblijven die de metingen negatief konden beïnvloeden.

### 2.1.3 Ventilatie

Langs de beide zijmuren van de stal was over de gehele lengte op een hoogte van 1,5 m een ventilatieopening aangebracht. De beide openingen in de zijmuren waren 60 cm hoog en uitgerust met windbreekgaas. Overdag, als de dieren in de wei liepen, waren de grote schuifdeuren van de voergang meestal open geschoven. De stal had een open nok en was voorzien van een zgn. venturie-kap. Het dak was geïsoleerd.

### 2.1.4 Ammoniakreducerend principe

Het ammoniakreducerend principe berust op het feit dat de mestkelder nagenoeg wordt afgesloten. De kelder zal hierdoor niet bijdragen tot de stalemissie. Ook het afstromen van de urine via de sleuven en perforaties naar de kelder zal de emissie beperken.

## 2.2 Bedrijfsvoering

### 2.2.1 Zoötechniek

Tijdens de meetperiode was de stal bezet met gemiddeld 62 melkkoeien en 11 droogstaande koeien (Holstein Frisian). De bezettingsgraad was 77%. Per aanwezig dier was circa 4,3 m<sup>2</sup> vloeroppervlak beschikbaar. De droogstaande dieren bleven in de stal terwijl voor de melkkoeien het zgn. siësta-beweidingsstelsel (zie tabel 1) werd toegepast. De melktijden waren 's ochtends van circa 6.00 tot 7.15 uur en 's avonds van circa 18.00 tot 19.15 uur.

### 2.2.2 Voeding

In tabel 1 staat vermeld waar de melkkoeien gedurende de dag verbleven en welk rantsoen ze tijdens iedere periode konden opnemen.

**Tabel 1.** Verblijf van de melkkoeien tijdens de siësta-beweidingsperiode en het rantsoen tijdens de perioden.

*Table 1. Stay of the dairy cows during the day and the rationing during the several periods.*

Periode (uren)	Verblijfplaats melkkoeien	Rantsoen
8.30-14.00	weide	vers gras
14.00-19.30	stal	10 kg mais, 5 kg maisgluten, 5 kg bierborstel
19.30-24.00	weide	vers gras
24.00-8.30	stal	5 kg mais

Afhankelijk van de weersomstandigheden konden bovenstaande tijden een half uur verschuiven. Gemiddeld verbleven de melkkoeien 10 uren per dag in de weide, waar ze onbeperkt gras konden opnemen. Zoals in de tabel staat aangegeven werden de melkkoeien rond middernacht naar binnen gehaald waar ze nog wat mais konden opnemen. De stikstofbemesting van het grasland was 350 kg per hectare. Smits e.a. (1998) toonden aan dat de hoogte van de N-gift op het grasland van grote invloed kan zijn op de emissie van ammoniak in de zomer. De basisrantsoenen en de voederwaardegegevens van zowel de melkkoeien als de droogstaande koeien zijn vermeld in Bijlage G. Water was zowel in de weide als in de stal onbeperkt beschikbaar.

## 2.3 Metingen

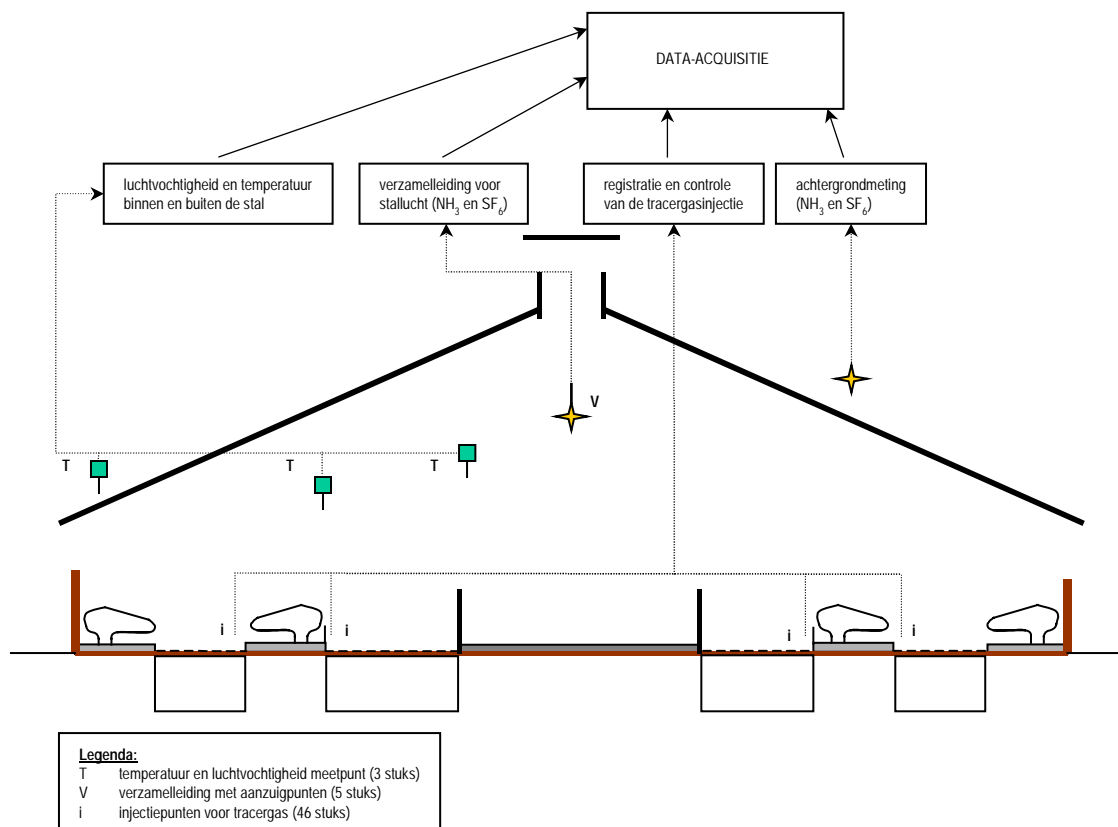
### 2.3.1 Algemeen

De meetperiode begon op 8 juli 1999 en eindigde op 5 oktober 1999. In Figuur 2 is de dwarsdoorsnede van de ligboxenstal opgenomen met een schematische opzet van het meetsysteem. Gedurende de meetperiode zijn de volgende variabelen continu gemeten:

- relatieve luchtvochtigheid RV (%) van de stal- en buitenlucht (zie § 2.3.3);
- temperatuur T (°C) van de stal- en buitenlucht (zie § 2.3.3);
- NH<sub>3</sub>-concentratie (ppm) van de gemiddelde stallucht die de stal via de nok verliet, en de achtergrondconcentratie rondom de stal (zie § 2.3.4);
- SF<sub>6</sub>-concentratie (ppb) van de gemiddelde stallucht die de stal via de nok verliet, en de achtergrondconcentratie rondom de stal (zie § 2.3.4).

De meetopstelling was geautomatiseerd door middel van PC gestuurde data acquisitie-apparatuur. De besturingsprogrammatuur voor de data acquisitie werd geschreven in Notebook Pro (versie 10.1) van de firma Labtech. De Notebook Pro-applicatie verzamelde alle meetwaarden met uitzondering van de tracergasmetingen. De gaschromatograaf, gebruikt voor bepaling van de tracergasconcentratie, werd aangestuurd door Chrom-Card software. Wekelijks werd de meetapparatuur gekalibreerd. Alle veranderingen en werkzaamheden werden genoteerd in een logboek.

Het tracergas SF<sub>6</sub> werd op 46 plaatsen, bij de voerpaden, verdeeld over de stal de stal ingebracht (geïnjecteerd). In Bijlage B is een plattegrond van de ligboxenstal met de injectie-plaatsen weergegeven. In de meetruimte werd met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF<sub>6</sub> gas en perslucht met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel werd in de stal geïnjecteerd. De injectieleidingen bestonden uit ¼" polyetheenslang (PE) en gewapende waterslangen met speciaal ontworpen injectiepunten. In ieder injectiepunt was een orifice (plaatje met klein gaatje) geplaatst. Hierdoor werd het tracergas gelijkmatig over de injectiepunten in de stal verdeeld. Door de aangepaste vorm en het gebruik van een sinterfilter voor ieder orifice werd voorkomen dat de injectiepunten verstopt raakten. De flow van ieder injectiepunt werd wekelijks gecontroleerd.



**Figuur 2** Dwarsdoorsnede van de ligboxenstal met een schematische opzet van het meetsysteem.

**Figure 2** Cross section of the cubicle house with a diagram form of the measuring system.

### 2.3.2 Productiegegevens

Tijdens de meetperiode werden de melkcontrolegegevens geregistreerd. De gemiddelde melkproductie bedroeg 27,1 kg per koe per dag met 3,93% vet en 3,60% eiwit. In verband met de vakantieperiode heeft in augustus geen melkcontrole plaats gevonden. De melkproductiegegevens van de dieren tijdens de meetperiode staan vermeld in Bijlage F.

### 2.3.3 Klimaat

De temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid werden continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De sensoren hingen op eenderde en tweederde van de lengte van de stal op ongeveer 2,5 m hoogte boven het looppad van de koeien. De sensor voor de buitenlucht hing op circa 2,5 m hoogte aan de noordzijde van de stal. De sensoren werden voor en na de meetperioden gekalibreerd.

### 2.3.4 Concentratieingen

De ammoniakconcentratie werd continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Bijlage C). Om NH<sub>3</sub> te kunnen meten moet het eerst door een convertor omgezet worden tot NO (Scholtens en van 't Klooster, 1993). Het gevormde stabiele NO werd door teflonslangen naar de monitor geleid en 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). Ieder week werd de monitor gekalibreerd met 7,8 ppm NO-gas. Zonodig

werden de filters van de convertors vervangen. De resultaten van de kalibraties van de monitor zijn vermeld in Bijlage C. Volgens het gebruikte meetprincipe was het signaal van de monitor lineair met de ammoniakconcentratie. De convertors werden voor en na de beide meetperioden gekalibreerd. Deze resultaten zijn vermeld in Bijlage D.

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 E). De GC werd wekelijks gecalibreerd met een ijkgas van SF<sub>6</sub> in N<sub>2</sub> (50,5 ppb; ± 2%). De resultaten van de kalibraties van de GC zijn eveneens vermeld in Bijlage E.

De stallucht werd bemonsterd met een ¼" verzamelleiding van polyethyleen. Deze verzamelleiding hing in de lengte van de stal en over deze lengte verdeeld werd op vijf punten stallucht aangezogen met een debiet van 1 l/min per monsternapunt. De monsternapunt bevonden zich in het midden boven de voergang op circa 3,5 m hoogte.

Aan de buitenkant van de beide lange zijden van de stal werd de buitenlucht bemonsterd op 1,5 m hoogte. Ook werd de buitenlucht bemonsterd aan beide gevelzijden van de stal en wel boven de grote schuifdeuren op circa 4 meter hoogte. De buitenlucht werd zodoende op de vier plaatsen rondom de stal afzonderlijk geanalyseerd op NH<sub>3</sub>- en SF<sub>6</sub>-concentratie.

## 2.4 Dataverwerking

Ammoniakconcentraties werden gecorrigeerd voor de rendementen van de convertors en de monitorkalibraties. De tracergasconcentraties werden gecorrigeerd voor de gaschromatograafkalibraties. Missende uurwaarnemingen (als gevolg van kalibraties en storingen van de apparatuur) van ventilatiedebieten, gasconcentraties en klimaat werden niet geïnterpoleerd.

De ammoniakemissie uit de ligboxenstal werd berekend volgens de bronsterktetracer-methode. Bij deze methode wordt uitgegaan van de aanname dat het tracergas (SF<sub>6</sub>) en het gas (NH<sub>3</sub>) waarvan de bronsterkte bepaald moet worden, zich op dezelfde wijze vanaf het bronniveau door de stal verdelen (Scholtens en Huis in 't Veld, 1997). In dat geval is de verhouding van de bronsterktes van beide gassen af te leiden uit de verhouding van de gemeten gasconcentraties. Voorwaarden voor deze metingen zijn dat:

- het tracergas bij de ammoniakbron wordt geïnjecteerd;
- de bulk van de lucht die de stal verlaat wordt bemonsterd.

Aangenomen werd dat de bronsterkten van het tracergas en ammoniakemissie gelijk waren.

De volgende vergelijking beschrijft de berekeningswijze van de ammoniakemissie volgens de bronsterkte-tracermethode in de praktijk:

$$Q_{\text{NH}_3}^{\text{NTP}}(i, j) = \frac{Q_{\text{SF}_6}^{\text{NTP}}(i, j)}{C_{\text{SF}_6}^{\text{V}}(i, j)} * C_{\text{NH}_3}^{\text{V}}(i, j) = K_{\text{M}} * C_{\text{NH}_3}^{\text{V}}(i, j) \quad (1)$$

met:

- $Q_{\text{NH}_3}(i,j)$ :  $\text{NH}_3$ -bronsterkte op uur  $i$  van dag  $j$  [ml/min];  
 $K_M$ : mengfactor [ $\text{m}^3/\text{min}$ ];  
 $Q_{\text{SF}_6}(i,j)$ : uurgemiddeld  $\text{SF}_6$ -injectieniveau tijdens uur  $i$  van dag  $j$  [ml/min];  
 $C_{\text{NH}_3}(i,j)$ : uurgemiddelde  $\text{NH}_3$ -concentratie tijdens uur  $i$  van dag  $j$  [ $\text{ml}/\text{m}^3$ ];  
 $C_{\text{SF}_6}(i,j)$ : uurgemiddelde  $\text{SF}_6$ -concentratie tijdens uur  $i$  van dag  $j$  [ $\text{ml}/\text{m}^3$ ];  
 $v$ : verschilmeting tussen binnen- en buitenlucht;  
 $i = 1 \dots 24$ : uur op een dag;  
 $j = 1 \dots N$ : nummer van een meetdag in de meetperiode;  
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  $\text{SF}_6$ -verschilmetingen ( $\text{ml}/\text{m}^3$ ) tussen binnen- en buitenlucht. De aldus berekende ammoniakemissie werd verondersteld gelijk te zijn aan de  $\text{NH}_3$ -bronsterkte van de stal. De mengfactor  $K_M$  ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) 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 vervolgens omgerekend naar de ammoniakemissie:

$$E(i, j) = Q_{\text{NH}_3}^{\text{NTP}}(i, j) * \rho^{\text{NTP}} * \frac{60}{1000} \quad (2)$$

met:

- $E(i, j)$ : 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.

Om het verloop van de emissie weer te geven werd de daggemiddelde waarden van de ammoniakemissie in een figuur uitgezet tegen de tijd. Het verloop van de ammoniakemissie over een dag werd zichtbaar gemaakt door van iedere meetdag de ratio's tussen de uurgemiddelde ammoniakemissies en de daggemiddelde ammoniakemissie van die dag te berekenen. De ratio's ( $R_e(i)$ ) werden grafisch uitgezet tegen de uren van een dag. 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. Daar waar in dit rapport sprake is van spreiding, komt deze overeen met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

## 3 Resultaten en discussie

### 3.1 Klimaat en ventilatie-debiet

In Tabel 2 zijn de gemiddelde temperaturen en relatieve luchtvochtigheden van de stal- en buitenlucht vermeld. Ook de ventilatie-debieten per gemiddeld aanwezig dier staan in de tabel vermeld. In Bijlagen H en I zijn het verloop van bovengenoemde parameters gedurende de meetperiode grafisch weergegeven.

**Tabel 2.** Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht en de stallucht en de ventilatie-debieten gemiddeld over de meetperiode en gemiddeld per aanwezig dier.

*Table 2. Mean temperature and relative humidity of the outdoor air, indoor air and the ventilation rate per animal per measuring period.*

Temperatuur (°C)	stal	18,9
	buiten	17,8
Relatieve luchtvochtigheid (%)	stal	74,2
	buiten	73,6
Debiet (m <sup>3</sup> /uur gemiddeld)	stal	58.163
Debiet (m <sup>3</sup> /uur per gemiddeld aanwezig dier)	stal	804

Aan het geringe verschil tussen het klimaat binnen en buiten de stal is af te leiden dat de stal goed isoleerde en ventileerde.

Het KNMI (1999) beschreef de zomer van 1999 als lang en warm. Juli was een zeer warme maand. Met een gemiddelde temperatuur van 19,1 °C tegen 16,8 °C normaal kwam juli bij de warmste 6 maanden van de eeuw. Van 28 juli tot en met 4 augustus was sprake van een hittegolf. Mede door de hittegolf was augustus ook warmer dan normaal. Toch vielen er regelmatig hevige regen- en onweersbuien en was augustus iets natter dan normaal. De septembermaand was extreem warm, zonnig en aan de droge kant. In De Bilt bedroeg de gemiddelde temperatuur 17,4 °C tegen 14,0 °C normaal. Hiermee was het de warmste septembermaand sinds het begin van de regelmatige temperatuurmetingen in Nederland in 1706. Begin oktober was guur met veel wind en buien. Door dit slechte weer zijn de dieren enkele dagen binnen gehouden.

### 3.2 Ammoniakconcentraties en -emissie

In Tabel 3 zijn de basisgegevens voor en de resultaten van de berekening van de ammoniakemissie per dierplaats per jaar weergegeven. Van de totale meetperiode vielen 14 dagen af (15,5%) door storingen.

**Tabel 3.** Lengte van de meetperiode, aantal bruikbare dagen, het aantal melkkoeien en de gemiddelde ammoniakconcentratie en –emissie.

*Table 3. Length of the measuring period, number of days, number of cows and the mean ammonia concentration and emission.*

Lengte meetperiode (dagen)	90
Aantal bruikbare dagen	76
Aantal koeien	73
Ammoniakconcentratie (mg/m <sup>3</sup> )	
Stal	3,09
Achtergrond	0,45
Ammoniakemissie (g/uur)	94,8
Ammoniakemissie (kg/koe/zomerperiode)*	5,5

\*zomerperiode van 175 dagen

De ammoniakemissie uit rundveestallen is veelal gebaseerd op een winterperiode van 190 dagen. Om een vergelijking met het hier beschreven onderzoek mogelijk te maken is de ammoniakemissie teruggerekend naar het aantal grammen NH<sub>3</sub> per melkkoe per dag. In tabel 4 is voor de zomer- en winterperiode (Huis in 't Veld en Scholtens, 1998) van de gemeten stal de ammoniakemissie per dier per dag berekend. Tevens is dit gedaan voor emissiefactor van 8,8 kg NH<sub>3</sub> per koe per 190 dagen voor een traditionele ligboxenstal met roostervloer, zoals die is weergegeven in de Uitvoeringsregeling ammoniak en veehouderij (1999).

**Tabel 4.** Gemiddelde ammoniakemissie per koe per dag van de ligboxenstal met sleufvloer in zowel de zomer- als winterperiode als van de emissiefactor en het percentage ten opzichte van laatstgenoemde.

*Table 4. Mean ammoniaemission per cow per day of the cubicle house with the grooved floorsystem during the summer- and winterperiod compared to the ammoniaemission per cow per day of the emissionfactor.*

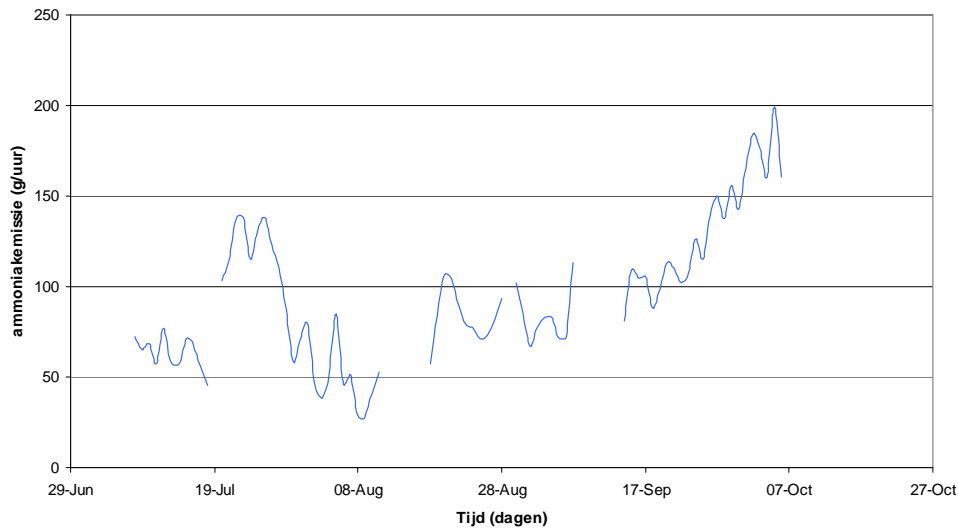
	Gemiddelde emissie (g NH <sub>3</sub> per koe per dag)	In % t.o.v. emissiefactor
Sleufvloer en mestchuif (zomerperiode)	31,4	68
Sleufvloer en mestschuif (winterperiode)	23,1	50
Emissiefactor traditionele ligboxenstal (winterperiode)	46,3	--

Uit deze gegevens blijkt dat de de ligboxenstal met een sleufvloer in de zomer 32% en in de winter 50% minder emiteerde dan een ligboxenstal met roostervloer. Opmerkelijk is dat de daggemiddelde emissie tijdens de zomerperiode met 31,4 g NH<sub>3</sub> 36% hoger was dan tijdens de winterperiode, ondanks het feit dat de melkkoeien dagelijks circa 10 uren in de weide verbleven. Dit is met name het gevolg van een hogere gemiddelde temperatuur tijdens de zomermetingen, mogelijk in combinatie met het rantsoen. Tijdens de wintermetingen aan dezelfde stal (Huis in 't Veld en Scholtens, 1998) bedroeg de gemiddelde temperatuur in de stal 12,2 °C, tegen 18,9 °C tijdens de zomermetingen. Daarnaast toonden Smits *et al.* (1998) aan dat de ammoniakemissie van een zomerrantsoen van vers gras hoger is dan van een winterrantsoen met gemengd kuilvoer (gras- en maiskuil als basis), uitgaande van een gelijk gebleven niveau van graslandbemesting.

Op basis van het onderhavige onderzoek en het eerdere onderzoek aan dezelfde stal is de ammoniakemissie op jaarbasis 9,9 kg per koe, uitgaande van een zomerperiode van 175 dagen en een winterperiode van 190 dagen. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de gemiddelde buitentemperatuur tijdens de zomer-

en de winterperiode ca. 2 °C hoger lag dan het 30-jarig gemiddelde (zie Monteny en Scholtens, 1999) en dat de genoemde jaaremisse onder gemiddelde omstandigheden iets lager zou zijn geweest. Daarnaast was de stalbezetting tijdens de metingen in zowel de zomerperiode (77%) als in de winterperiode (88%) minder dan 100%. Aangenomen mag worden dat de ammoniakemissie per koe bij een optimale stalbezetting lager zal uitkomen dan de genoemde jaaremisse. Een emissieniveau bij volledige stalbezetting is echter niet aan te geven.

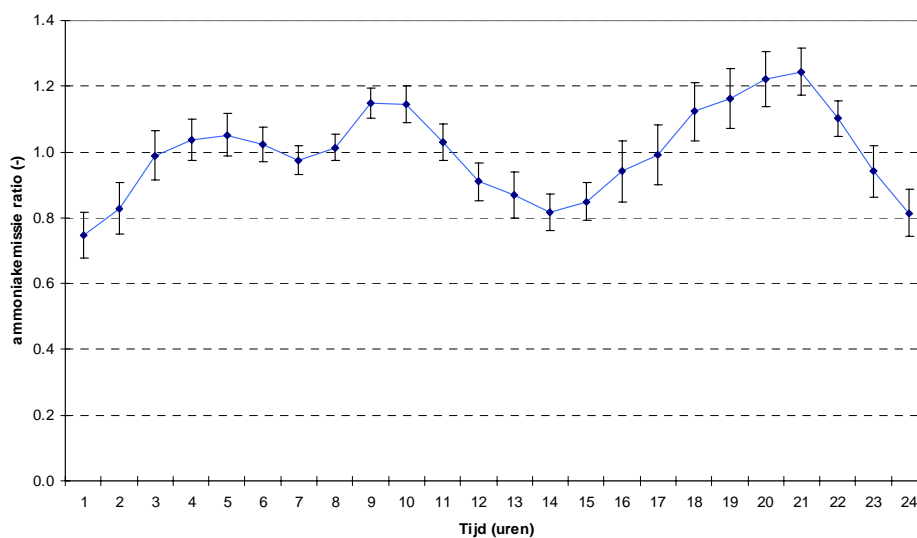
In Figuur 3 is het verloop van de ammoniakemissie tijdens de meetperiode weergegeven. De hoge emissiewaarden eind juli en begin oktober werden veroorzaakt doordat de melkkoeien door slechte weersomstandigheden enkele dagen werden binnen gehouden.



**Figuur 3** Daggemiddelde ammoniakemissie (g/uur).

*Figure 3* Mean ammonia emission (g/hour).

In Figuur 4 is het verloop van de emissie over een dag zichtbaar gemaakt. De waarde die bij 1 uur staat genoteerd is berekend uit de data van 1 tot 2 uur.



**Figuur 4** Per uur gemiddelde ammoniakemissie ratio ( $R_e(i)$ ) uit de ligboxenstal over een etmaal plus het 95% betrouwbaarheidsinterval.

*Figure 4* Mean ammonia emission ratio ( $R_e(i)$ ) from the cubicle house in a day and the 95% confidence interval.



Figuur 4 laat zien dat de ammoniak uit de ligboxenstal volgens een patroon emitterde dat overeenkwam met de beweidingstijdstippen van het siësta-systeem. Wanneer de dieren 's nachts de stal inkwamen, nam de emissie toe. Ook 's ochtends rond melktijd nam de emissie toe als gevolg van de extra dieractiviteit rond dit tijdstip. Na het melken gingen de dieren naar de weide en nam de emissie duidelijk af. In het begin van de middag kwamen de dieren weer terug in de stal met als gevolg de toename van de ammoniakemissie. 's Avonds na het melken gingen de dieren weer naar buiten waardoor de ammoniakemissie uit de stal weer afnam tot het moment dat de dieren rond middernacht weer terug in de stal kwamen.

## **4 Conclusie**

De ammoniakemissie van de natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met sleufvloer en mestschuif was tijdens de zomerperiode 5,5 kg NH<sub>3</sub> per koe. Deze waarde komt overeen met een gemiddelde dagelijkse emissie van 31,4 gram per koe.

## Literatuur

- Beoordelingsrichtlijn emissie-arme stallen, 1996. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 36 pp.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en R. Scholtens, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee. Wageningen, DLO, Rapport 98-1006, 16 pp. excl. bijlage.
- Heij, G.J. en T. Schneider, 1995. Dutch priority programme on acidification. Final report third phase Additional programme on acidification no. 300-05, RIVM, Bilthoven, 160 pp.
- Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid, 1995. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer en Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, SDU-uitgeverij, Den Haag, 36 pp.
- KNMI, 1999. Jaaroverzicht van het weer in Nederland. Jaargang 96 nr. 13, De Bilt.
- Monteny, G.J. en R. Scholtens, 1999. Monitoring ammoniakemissie natuurlijk geventileerde melkveestal. IMAG-DLO nota V 99-44, 18 pp.
- Notitie Mest- en Ammoniakbeleid derde fase, 1993. Tweede kamer, vergaderjaar 1992-1993, 19882, nr. 34, SDU-Uitgeverij, Den Haag, 55 pp.
- 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.
- Scholtens, R. en C.E. van 't Klooster, 1993. NH<sub>3</sub>-converter + NO<sub>x</sub>-analyser. In: E.N.J. van Ouwkerk (Ed.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 19-21.
- Smits, M.C.J., G.J. Monteny en H. Valk, 1998. Effecten van bijvoeding, N-bemesting en beweiding op de ammoniakemissie van melkkoeien: een deskstudie. IMAG-DLO rapport 98-07, 62 pp.
- Swierstra, D., M.C.J. Smits en H. Gunnink, 1997. Ammoniakemissie uit een ligboxenstal voor rundvee met een sleufvloer en mestkelder. IMAG-DLO nota V 97-16, Wageningen, 14pp.
- Swierstra, D., C.R. Braam and M.C.J. Smits, 1999. Grooved floor system for cattle housing: Ammonia emission reduction and good slip resistance. In Proc. ASAE/CSAE-SCGR Annual international meeting, eds. Paper No. 994012, July 18-22, Toronto.
- Waest, R.C., M.J. Astle and W.H. Beyer, 1986. Handbook of chemistry and physics, 67th Edition. Florida, CRC Press Inc.
- Wijziging Uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij, 1999, (Wijziging UAV), Interimwet Ammoniak en Veehouderij, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatscourant 139, Den Haag, p. 16-18.

## 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 en met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn. In dit kader werd onderzoek verricht naar de ammoniakemissie uit een natuurlijk geventileerde 2+2 rijige ligboxenstal voor melkvee. De stal was voorzien van een sleufvloer met gierafvoer en mestschuif. Het emissiebeperkende principe berust op het feit dat de mestkelder nagenoeg wordt afgesloten, terwijl de urine vrij kan wegstromen. De emissiefactor van dit staltype tijdens de winterperiode was reeds vastgelegd. In het onderhavige rapport wordt het onderzoek naar de emissiefactor voor de zomerperiode beschreven.

In de stal waren 97 ligboxen aanwezig. Tijdens de metingen was de stal bezet met gemiddeld 62 melkkoeien en 11 droogstaande koeien. Voor de melkkoeien werd het siësta beweidingssysteem toegepast. Tijdens het verblijf in de stal werden de koeien bijgevoerd met maïs, maïsgluten en bierborstel.

De emissiemetingen vonden plaats van 8 juli tot en met 5 oktober 1999 en werden uitgevoerd volgens de bronsterkte-tracermethode. Als tracergas voor de debietmetingen werd zwavel hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) gebruikt. Het tracergas werd zodanig in de stal geïnjecteerd dat het zich vergelijkbaar met ammoniak vanaf de sleufvloer kon verspreiden. Met een verzamelleiding boven de voergang werd een mengmonster van de stallucht genomen. In dit mengmonster werden de tracergas- en de ammoniakconcentratie gemeten. Uit deze concentraties en het injectieniveau van het tracergas werd de ammoniakemissie berekend.

De emissie tijdens de zomerperiode bedroeg 5,5 kg ammoniak per koe per 175 dagen. Om een vergelijking mogelijk te maken met bestaande emissiecijfers voor ligboxenstallen voor melkvee is dit cijfer teruggerekend naar een gemiddelde ammoniakemissie per dag. Daaruit blijkt dat de zomeremissie van de stal gemiddeld 31,4 g  $\text{NH}_3$  per koe per dag was, terwijl tijdens eerder onderzoek was gebleken dat de emissie tijdens de winterperiode van dezelfde stal gemiddeld 23,1 g  $\text{NH}_3$  per koe per dag bedroeg. De hogere zomeremissie werd waarschijnlijk vooral veroorzaakt door hogere temperaturen, in combinatie met het rantsoen, ondanks het feit dat de dieren 10 uur per dag werden geweid.

Op basis van beide onderzoeken is de ammoniakemissie van een ligboxenstal met sleufvloer 9,9 kg  $\text{NH}_3$  per koe per jaar, waarbij dient te worden opgemerkt dat de gemiddelde temperatuur iets hoger was dan het 30-jarig gemiddelde.

## Summary

Deposition of ammonia, besides  $\text{NO}_x$  and  $\text{SO}_x$  deposition, causes acidification and eutrophication of the environment. Animal husbandry is the main source of ammonia emission in the Netherlands. The policy of the Dutch government aims at a reduction of 50% in the year 2000 and 70% in 2005, as compared with the emission level in 1980. Within this framework research was carried out by IMAG into the emission from a cubicle housing system for dairy cows. The housing system was provided with a grooved floor which consisted of solid, leveled prefabricated concrete elements.

In the Netherlands most of the dairy cows are kept in cubicle houses in which the walking areas consist of a concrete slotted floor covering a slurry pit. The principle of the emission reduction of the cubicle housing system for dairy cows with a grooved floor compared to traditional housing systems was based on the fact that by the small perforations in the grooved floor, ammonia volatilisation from the slurry pit was limited. On the grooved floor the urine could drain along the grooves and through the perforations into the slurry pit. The feces were dragged regular to one end of the alley using a scraper.

The grooved floor system had the following characteristics (Swierstra *et al.*, 1999): solid, leveled prefabricated concrete elements with a span length of 3,0 m and a width of 1,1 m. The elements had a thickness of 160 mm and covered a slurry pit. The top surface of the elements were provided with 17 parallel grooves. The grooves parallel to the alley were 35 mm wide and 30 mm deep and the in-between distance was 160 mm.

Emission measurements were carried out according the 'source strength-tracer gas method'. The tracer gas  $\text{SF}_6$  was injected uniformly over the ammonia emission sources to ensure the same distribution as the ammonia gas. A mixed sample of air from the house and from the outside air were analysed for the gas concentrations, and subsequently emission of ammonia was calculated. The measurements took place during the summer period. Some parts of the day the milking cows were grazing outside.

The emission of the cubicle dairy housing system with a grooved floor amounted 5.5 kg  $\text{NH}_3$  per animal place per 175 days during the measuring period. This was 36% higher than the ammonia emission from the same cow house during the winterperiod. The increased emission was caused by the higher temperatures in the summer periode, whereas also the grass diet may have played a role.

## Bijlagen

- BIJLAGE A Kader en contactpersonen IMAG-meetploeg
- BIJLAGE B Ligging en plattegrond van de ligboxenstal
- BIJLAGE C Kalibratieresultaten NO<sub>x</sub> monitor
- BIJLAGE D Omzettingspercentage convertors
- BIJLAGE E Kalibratieresultaten gaschromatograaf
- BIJLAGE F Stalbezetting, melkproductiegegevens en schuiffrequenties
- BIJLAGE G Rantsoenen en voederwaardegegevens voor melkvee en droogstaande koeien
- BIJLAGE H Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid
- BIJLAGE I Mengfactor en ammoniakconcentratie

## **BIJLAGE A Kader en contactpersonen IMAG-meetploeg**

### ***Kader***

De IMAG-meetploeg 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 emissie-arme 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 Begeleidings-commissie van DLO onderzoeksprogramma 309 of haar gedelegeerde. Voor het uitvoeren van metingen beschikt de Begeleidingscommissie over een meetploeg. De uitvoerende instelling waaronder de meetploeg ressorteert is het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG). De metingen worden uitgevoerd volgens de beoordelingsrichtlijn emissie-arme stallen (1996) die is opgesteld door de Stichting Groen Label. De daarin genoemde landbouwkundige voorwaarden vallen onder de verantwoordelijkheid van de aanvrager.

### ***Contactpersonen***

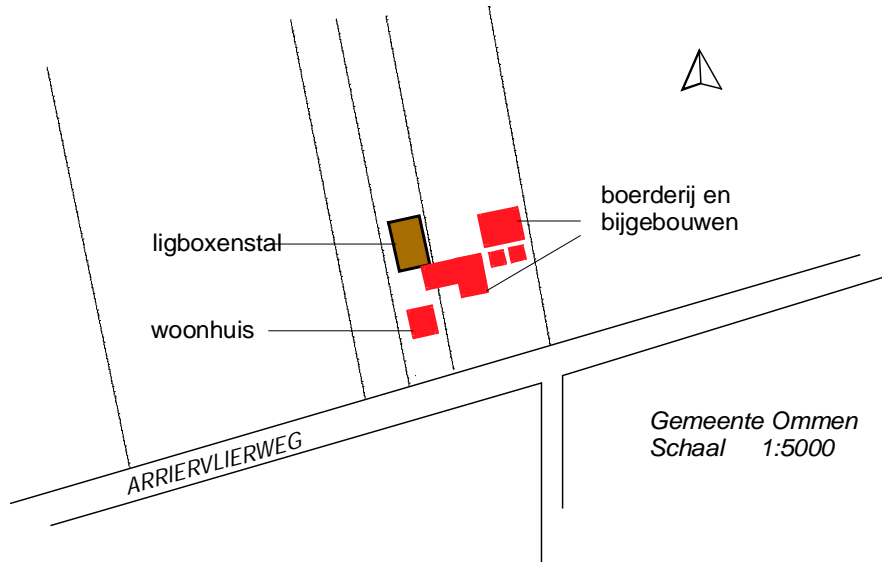
#### **Voorzitter Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen**

Ir. J.H.G. Tuinte  
Informatie- en Kennis Centrum Landbouw  
Bezoekadres: Pascalstraat 10  
6716 AZ Ede  
Postadres: Postbus 482  
6710 BL Ede  
Telefoon: 0318 67 14 33

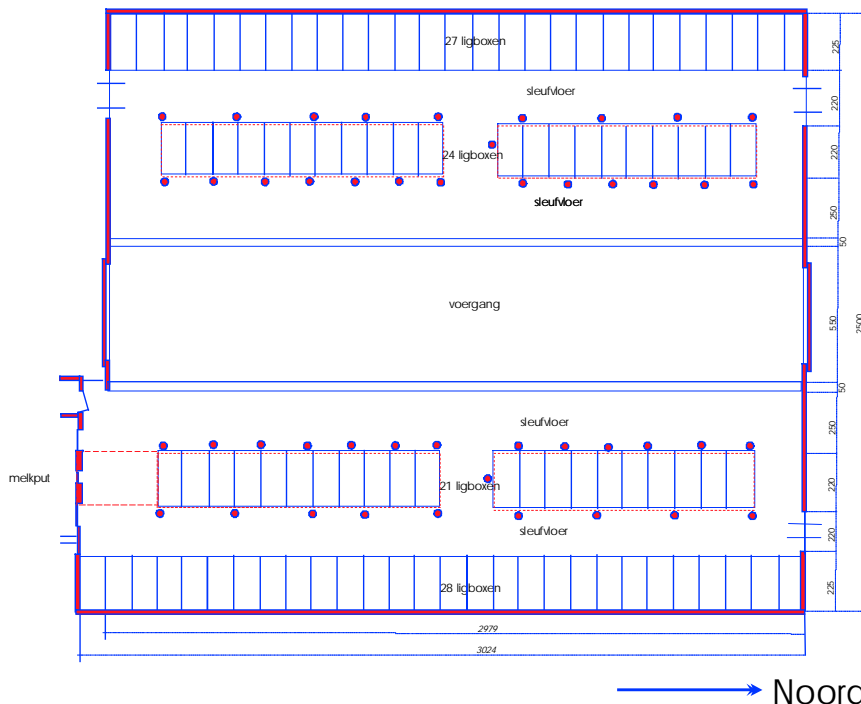
#### **Coördinator IMAG-meetploeg**

Dr. Ir. Peter W.G. Groot Koerkamp  
Instituut voor Milieu- en Agritechniek IMAG  
Bezoekadres: Mansholtlaan 10-12  
6708 PA Wageningen  
Postadres: Postbus 43  
6700 AA Wageningen  
Telefoon: 0317 47 63 00

## BIJLAGE B Ligging en plattegrond van de ligboxenstal



Ligging van de ligboxenstal



Plattegrond van de ligboxenstal met 46 injectie-plaatsen (•).  
Twee ligboxen waren ingericht als krachtvoerbox



## BIJLAGE C Kalibratieresultaten NO<sub>x</sub>-monitor

### *Ammoniakconcentratie*

De ammoniakconcentratie werd continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Monitor Labs nitrogen oxydes analyzer, model 8840). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentiereactie 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. Deze methode is uitgebreid beschreven door Scholtens en van 't Klooster (1993, NH<sub>3</sub>-converter + NO<sub>x</sub>-analyser. In: E.N.J. van Ouwkerk (Ed.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 19-21.). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van het systeem en de meetopstelling.

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 waarna het verhit wordt tot circa 775 °C. Bij deze temperatuur wordt NH<sub>3</sub> aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De converter is zo dicht mogelijk bij het monsternamapunt gemonteerd om het transport van NH<sub>3</sub> tot een minimum te beperken. NH<sub>3</sub> adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord. De stallucht werd continu aangezogen via PE-slangen. Om condensvorming in de slangen te voorkomen waren 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 (R. Bleijenberg en J.P.M. Ploegaert, 1994. Handleiding meetmethoden ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. Wageningen, IMAG-DLO rapport 94-1, 76 pp). Gedurende dit onderzoek werd 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 50 ppm. De wekelijkse kalibratie van de monitor werd uitgevoerd met 7,8 ppm NO-gas. Gedurende de eerste meetperiode bedroeg de gemiddelde afwijking tijdens de kalibratie 1,4%.

## BIJLAGE D Omzettingspercentage convertors

In onderstaande tabel staat per meetpunt het gemiddelde omzettingspercentage van de convertors weergegeven bij aanbieding van 10 ppm NH<sub>3</sub>. De omzettingspercentages van convertors werd bepaald voor het begin en na het einde van de meetperiode. Zowel voor de hoge concentraties (verzamelleiding uit stal) als voor de lage concentraties (achtergrond) werden 2 convertors gebruikt. Na iedere meting werd het aangevoerde gas middels een driewegklep door een andere convertor geleid. De gemiddelde waarden werden gebruikt voor de correctie van de ammoniakconcentraties. Eén van de twee converters voor de achtergrondbepaling bleek sterk in rendement te zijn gedaald.

Meetperiode	begin converter 1	eind converter 1
Stal	96%	93%
Achtergrond	93%	80%

## BIJLAGE E Kalibratieresultaten 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 µl. De stallucht werd continu langs het monsternamepunt van de GC geleid. Iedere 2 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 N<sub>2</sub> gebruikt.

### *Kalibratieresultaten*

De wekelijkse kalibratie van de monitor werd uitgevoerd met 50,5 ppb SF<sub>6</sub>-gas. Gedurende de eerste meetperiode was de gemiddelde afwijking tijdens de kalibratie 2,7%.

## BIJLAGE F Stalbezetting, melkproductiegegevens en schuiffrequenties

### Stalbezetting

Datum	Aantal dieren		
	melkgevend	droogstaand	totaal
3-juli	64	8	72
23-juli	60	13	73
7-september	60	12	72
30-september	62		
gemiddeld	61,5	11,0	72,3

### Melkproductiegegevens per drie weken

Datum	Melkvee				
	aantal	melkgift kg/(koe.dag)	vet %	eiwit %	BSK
3-juli	64	28,4	3,98	3,58	44,4
23-juli	60	28,1	3,80	3,54	44,3
7-september	60	25,1	3,97	3,72	42,2
30-september	62	26,7	3,96	3,55	42,8
gemiddeld	61,5	27,1	3,93	3,60	43,4

### Schuiffrequenties (uren)

Westzijde	Oostzijde
1.00	1.30
2.15	3.00
4.00	4.30
5.15	6.30
6.30	handmatig
9.00	handmatig
16.30	16.45
17.45	18.00
21.00	handmatig

Aan de oostzijde van de stal was de melkput. Tijdens en na het melken werd de meschuif aan deze zijde handmatig bediend.

## BIJLAGE G Rantsoenen en voederwaardegegevens voor melkvee en droogstaande koeien

### Basisrantsoen melkvee:

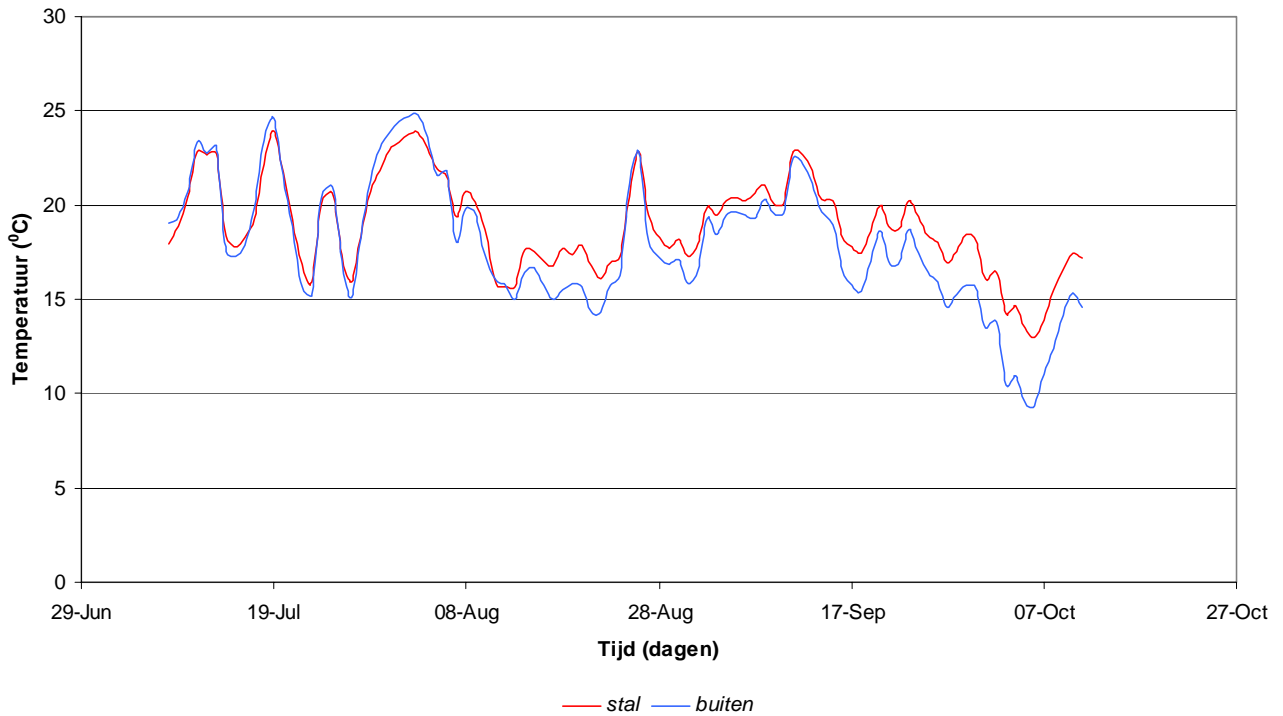
Voersoort	Gift kg	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg DS	OEB g/kg DS
graskuil	4,0	450			
snijmais (98)	15,0	4,9			
maisgluten	4,0	1,8			
bierborstel	6,0	1,5			
supp. r. eiwit	0,5	0,4			
vruba mix	0,1	0,1			
krijt+mineralen	0,1	0,05			
<b>mengsel voermengwagen</b>	<b>29,6</b>	<b>10,5</b>	<b>961</b>	<b>79</b>	<b>4</b>

### Basisrantsoen droogstaande koeien (tot 2 weken voor afkalven):

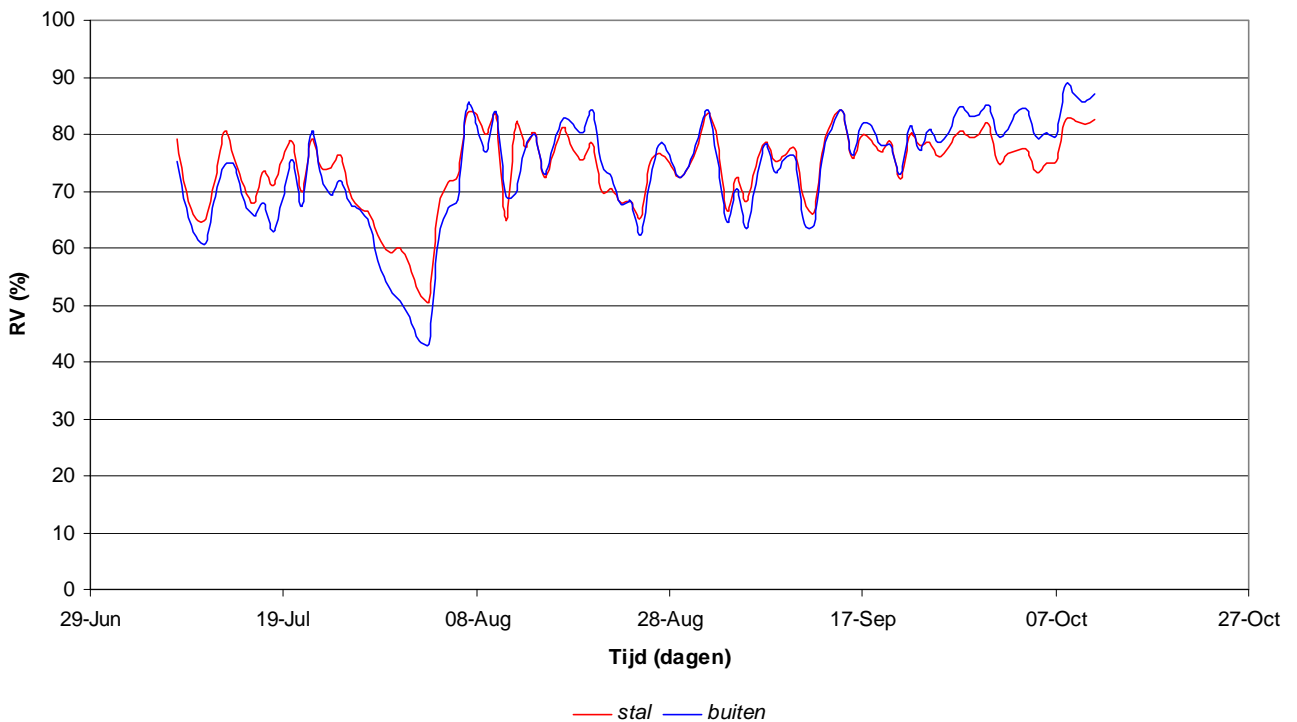
Voersoort	Gift kg	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg DS	OEB g/kg DS
graskuil	8,0	3,2			
mais (98)	8,0	2,6			
bierborstel	3,0	0,7			
drosta mix	0,1	0,1			
gerste stro	2,0	1,7			
	<b>21,1</b>	<b>8,3</b>	<b>788</b>	<b>58</b>	<b>7</b>

Vanaf 2 weken voor afkalven kregen de droogstaande koeien het basisrantsoen van melkgevende koeien plus 2 kg eiwitrijk krachtvoer (1050 VEM en 115 DVE).

## BIJLAGE H Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

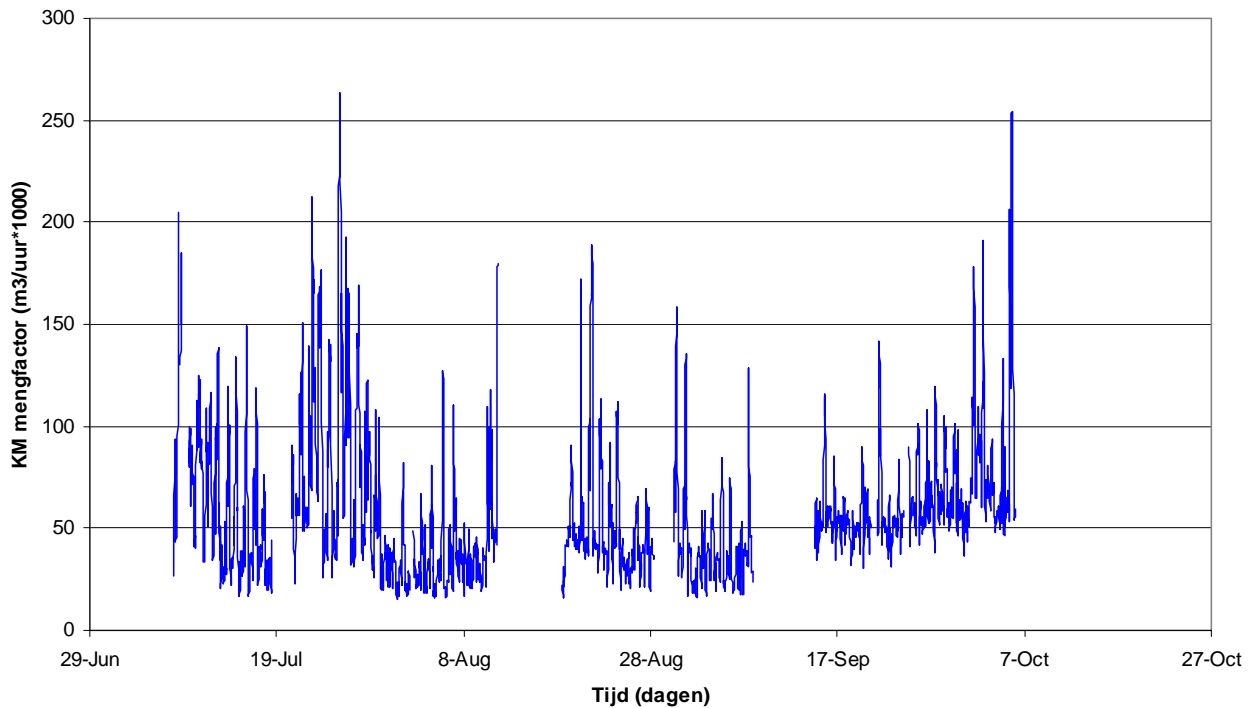


Daggemiddelden van de temperatuur van de stal- en buitenlucht.

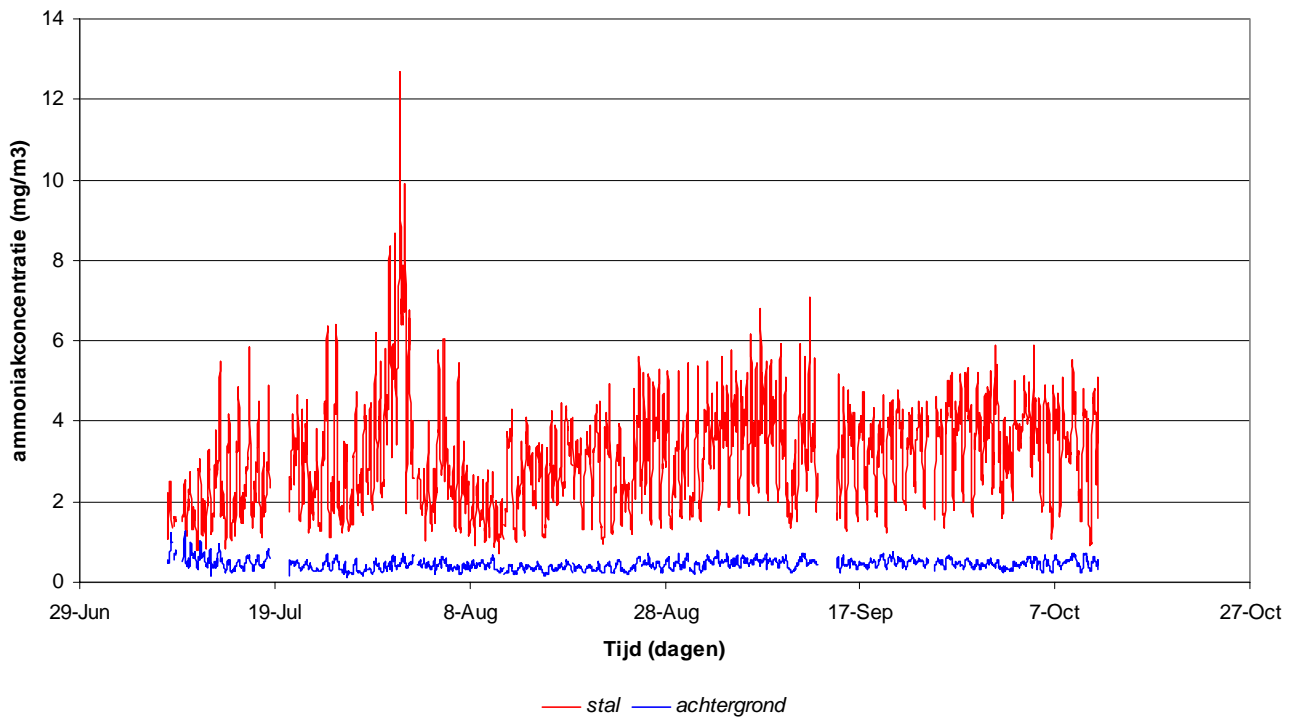


Daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid van de stal- en buitenlucht.

## BIJLAGE I Mengfactor en ammoniakconcentratie



Uurgemiddelde mengfactor van de ligboxenstal zoals berekend met de tracergas-methode.



Uurgemiddelden van de NH<sub>3</sub>-concentratie van de stal- en achtergrondlucht