

# Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXII

Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met  
sleufvloer voor melkvee

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

# Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXII

Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met  
sleufvloer voor melkvee

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

Rapport 98-1006

© 1998  
Dienst Landbouwkundig Onderzoek  
Postbus 59, 6700 AB Wageningen

**Alle informatie beschikbaar bij  
IMAG-DLO  
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, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

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 written permission of the publisher.

# Inhoud

Samenvatting .....	1
1 Inleiding.....	2
2 Materiaal en methode .....	3
2.1 Stal en bedrijfsvoering.....	3
2.2 Meetopstelling .....	5
2.2.1 Besturingsprogramma en data-acquisitie .....	5
2.2.2 Injectie tracergas.....	5
2.2.3 Bemonstering van de stallucht .....	6
2.2.4 Gas-analysers .....	6
2.2.5 Overige metingen.....	7
2.3 Temperatuur, windrichting en -snelheid tijdens de meetperiode .....	7
2.4 Bronsterkte-tracermethode.....	9
2.5 Berekeningswijze.....	9
2.6 Bruikbare dagen .....	11
3 Resultaten.....	12
4 Discussie .....	15
5 Conclusies .....	15
Literatuur.....	16
Bijlagen	

## Samenvatting

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) 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 in 1980 in het jaar 2000 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 aantal ligboxen in de stal bedroeg 97. Het emissiebeperkende principe berust op het feit dat de mestkelder voor nagenoeg 99% wordt afgesloten, terwijl de urine vrij kan wegstromen.

De metingen vonden plaats van 26 januari tot en met 29 april 1998 en werden uitgevoerd met een tracergas sulphur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) volgens de bronsterktracermethode. 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 stalperiode (190 dagen) bedroeg 4,40 kg ammoniak per N-equivalente melkkoe. Per dierplaats in de stal was de emissie 3,81 kg en per gemiddeld aanwezig dier 4,21 kg.

# 1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  en  $\text{NO}_2$ ) en  $\text{NH}_3$ , 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 bedroeg in 1993 47% (Heij en Schneider, 1995). De overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau in 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn (Notitie Mest- en Ammoniakbeleid derde fase, 1993). Om dit te kunnen realiseren wordt momenteel veel onderzoek verricht naar emissie-arme huisvestingsystemen voor landbouwhuisdieren.

Behalve via onderzoek komen er ook vanuit de praktijk vele ideeën en initiatieven om de ammoniakemissie terug te dringen. Om deze op waarde te schatten dient aan, in potentie, emissiearme huisvestingsystemen onder normale bedrijfsomstandigheden te worden gemeten. De aanvragen hiervoor komen binnen bij de Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen, die hieruit de aanvragen selecteert die wat betreft de  $\text{NH}_3$ -emissievermindering perspectief bieden. Tegelijkertijd dienen de systemen geen andere negatieve milieueffecten te veroorzaken. De begeleidingscommissie bestaat uit vertegenwoordigers van de overheid en het landbouwbedrijfsleven. Het onderzoek wordt vervolgens uitgevoerd door de DLO-meetploeg.

In bovenstaand kader werd de ammoniakemissie uit een natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee gemeten. 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 aangepaste mestschuif naar het einde van het looppad geschoven en afgestort in de kelder.

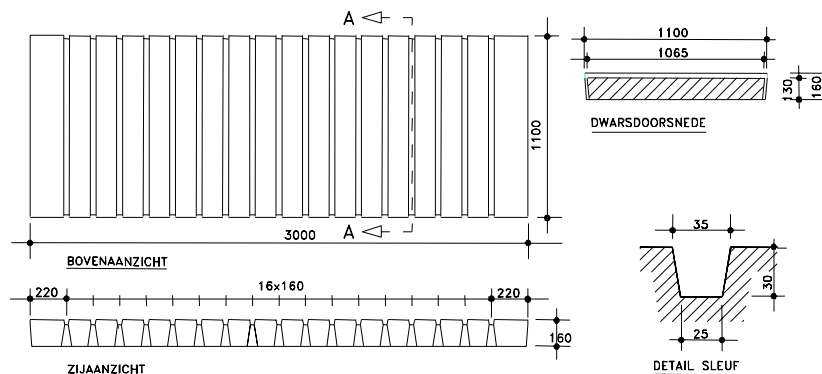
## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Stal en bedrijfsvoering

Van 26 januari tot en met 29 april 1998 werd de ammoniakemissie gemeten in een natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee. 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 69 melkgevende koeien, 8 droogstaande koeien en 10 stuks jongvee aanwezig. Omgerekend naar het aantal "equivalente melkkoeien", op basis van N-uitscheiding (Scherphof, 1996), waren gemiddeld 84 dieren in de stal aanwezig. Tot 29 april verbleven de dieren continu in de stal. Alle wijzigingen in de groep-samenstelling werden geregistreerd.

De onderzoekstal was een natuurlijk geventileerde 2+2 rijige ligboxenstal met 97 dierplaatsen. De ligboxen, uitgevoerd met koe-matrassen, waren ingestrooid met stro. De mestgang was voorzien van een sleufvloer. 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.

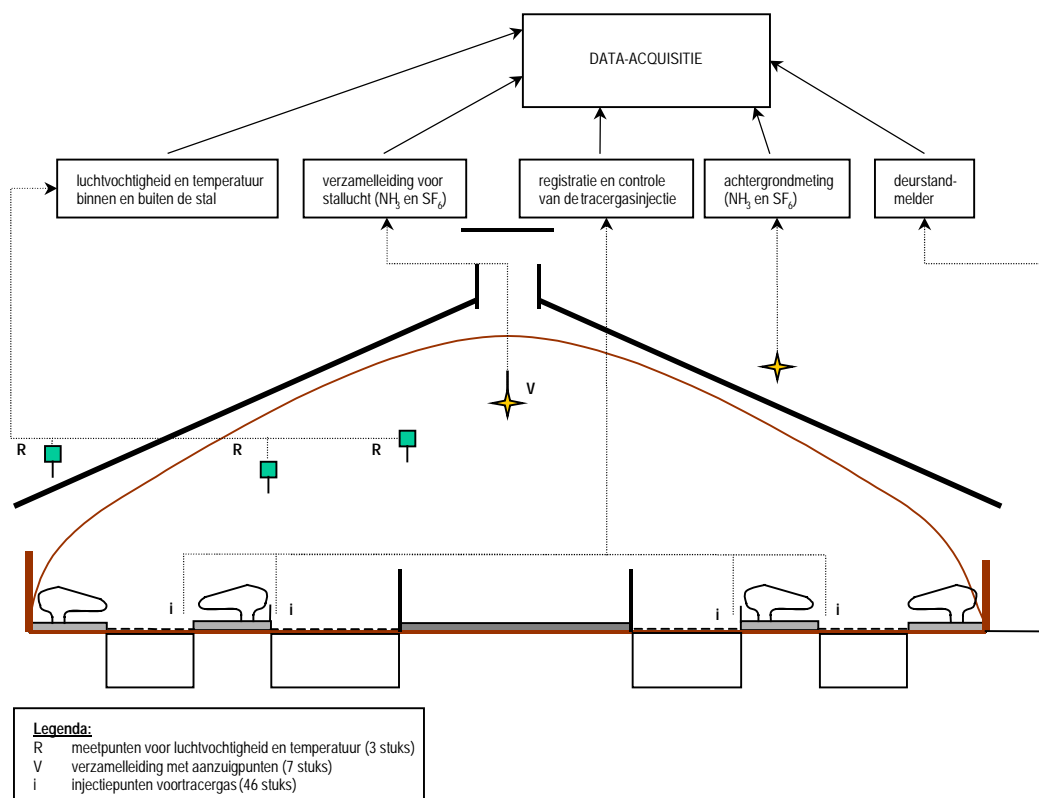
Het oppervlak van iedere perforatie bedroeg  $700 \text{ mm}^2$ . Het totale oppervlak van de perforaties bedroeg 0,36% van het totale sleufvloeroppervlak. Gemiddeld werd de sleufvloer iedere vijf kwartier met een aangepaste mestschuif schoon geschoven. De schuifrequentie was ingesteld met een tijdschakelaar en werd gecontroleerd middels een verzegelde bedrijfsurenteller. 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  $400 \text{ m}^3$ . Handelingen met de mest, zoals mixen of leeghalen van de kelder, werden geregistreerd.

De ligging van de ligboxenstal ten opzichte van overige gebouwen is weergegeven in Bijlage A. Aan de oostzijde van de ligboxenstal bevond zich, op ca. 15 m afstand, een jongveestal. Aan de overige zijden van de stal bevonden zich geen obstakels c.q. dierverblijven die de metingen negatief konden beïnvloeden.

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. De stal had een open nok en was voorzien van een zgn. venturie-kap.

De melktijden waren van circa 6.00 tot 7.15 uur en van circa 18.00 tot 19.15 uur. De gemiddelde melkproductie bedroeg 29,4 kg per koe per dag met 4,1 % vet en 3,57 % eiwit. De melkproductiegegevens van de dieren tijdens de meetperiode staan vermeld in Bijlage B.

Het ruwvoer van de melkkoeien bestond uit grassilage, maïskuil en bijproducten als bierborstel, maïsgluten, aardappelen en meelmengsel. Tijdens de meetperiode is het basisrantsoen van de melkkoeien driemaal aangepast. Het voer werd gemengd en verstrekt met een voermengwagen. De basisrantsoenen van zowel de melk- als droogstaande koeien zijn vermeld in Bijlagen C en D. In Bijlage C staan ook de voertijden vermeld. In Figuur 2 is de dwarsdoorsnede van de ligboxenstal opgenomen met een schematische opzet van het meetsysteem.



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

## 2.2 Meetopstelling

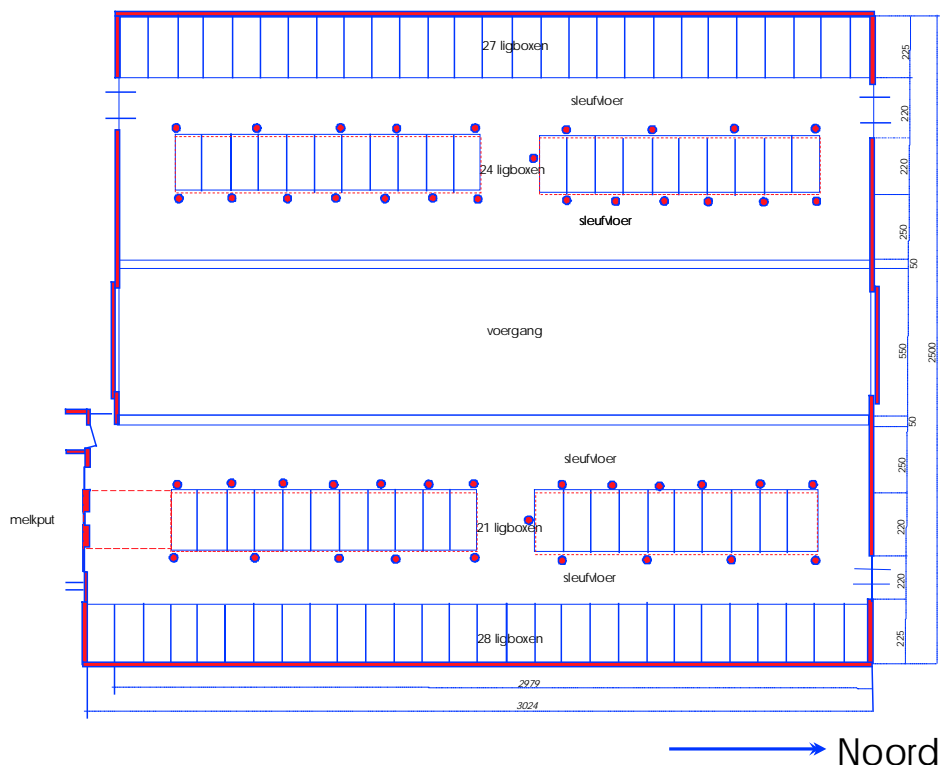
### 2.2.1 Besturingsprogramma en data-acquisitie

De meetopstelling was geautomatiseerd door middel van PC gestuurde data-acquisitieapparatuur. Scholtens en Huis in 't Veld (1998) geven een uitgebreide beschrijving van de toegepaste meetopstelling. 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 tracergasmetingen, werd aangestuurd door Chrom-Card software (versie 1.2). De Notebook Pro-applicatie verzorgde de timing van de tracergasanalyse. Het meetsysteem bestond uit de volgende onderdelen (zie Figuur 2):

- besturingsprogramma en data-acquisitieapparatuur;
- module voor injectie van het tracergas ( $\text{SF}_6$ ) in de stal;
- module voor bemonsteren van de stal- buitenlucht;
- gasanalyzers voor tracergas en  $\text{NH}_3$ ;
- deurstandmelders;
- klimaatsensoren (temperatuur en relatieve luchtvochtigheid).

### 2.2.2 Injectie tracergas

In totaal werden 46 injectiepunten aangebracht, verdeeld over de gehele stal. Dit kwam overeen met één injectiepunt per  $6,8 \text{ m}^2$  emitterend vloeroppervlak. In Figuur 2 en Figuur 3 is te zien op welke plaatsen het kunstmatige tracergas sulphur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) in de stal werd geïnjecteerd, te weten op de scheidslijn tussen de sleufvloer en de ligboxen. De injectiepunten bevonden zich voor en achter de vier middelste ligboxenrijen op circa 25 cm boven de sleufvloer.



**Figuur 3** Plattegrond van de ligboxenstal met 46 injectie-plaatsen (•).



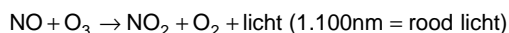
In de meetshelter werd met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF<sub>6</sub>-gas en perslucht met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel werd in de stal geïnjecteed. De injectieleidingen bestonden uit ¼" polyetheenslang (PE) en 1" metalen gasbuis op dierniveau met speciaal ontworpen 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.

### 2.2.3 Bemonstering van de stallucht

Met een ¼" roestvrijstalen (rvs) verzamelleiding werd op 7 punten stallucht aangezogen met een debiet van 1 l/min per monsternamepunt. De monsternamepunten bevonden zich in het midden boven de voergang op ca. 3,5 m hoogte. Stallucht werd op ieder aanzuigpunt gefilterd met een 1,7µ glasvezel filter in een rvs filterhuis. De filters werden wekelijks vervangen. Voor het aanzuigen van de gemonsterde lucht werd een rvs pomp gebruikt. Het materiaal van alle leidingen, koppel- en verbindingstukken van de monsternamepunten naar de pomp was rvs (type 316). Vanaf de pomp ging één PE-leiding naar de gaschromatograaf voor bepaling van de SF<sub>6</sub>-concentratie en één teflonleiding naar twee parallel geschakelde NH<sub>3</sub>-convertors en de NO<sub>x</sub>-monitor voor bepaling van de NH<sub>3</sub>-concentratie.

### 2.2.4 Gas-analysers

De NH<sub>3</sub>-concentratie werd continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Monitor Labs nitrogen oxide analyser model 8840). De meting is gebaseerd op de chemieluminescentie na de reactie tussen O<sub>3</sub> en NO:



Deze methode is uitgebreid beschreven door Scholtens (1993). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van het systeem.

Om NH<sub>3</sub> te kunnen meten moet het eerst door een convertor omgezet worden tot NO. In de convertor passeert de luchtstroom een teflon filter (5 µ) waarna het verhit wordt tot 775 °C. Bij deze temperatuur wordt NH<sub>3</sub> aan een roestvrijstalen (rvs-316) katalysator geoxideerd tot NO. De convertor dient zo dicht mogelijk bij het monsternamepunt gemonteerd te worden om het transport van NH<sub>3</sub> tot een minimum te beperken. NH<sub>3</sub> adsorbeert makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen verstoord kunnen worden. Om condensvorming in de leidingen en slangen te voorkomen werd verwarmingslint en buisisolatie aangebracht. Het in de convertors gevormde stabiele NO werd door de verwarmde en geïsoleerde leidingen naar de monitor geleid. De maximaal meetbare NH<sub>3</sub>-concentratie was 10 ppm. De convertors werden voor en na de meetperiode geijkt. Voor aanvang van de metingen werd gemiddeld 95% van de aangeboden NH<sub>3</sub> als NO gemeten; na de metingen was dat 92%. Hiervoor werd gecorrigeerd.

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 5 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: diam. 1/8", lengte 1m; kolom 2: diam. 1/8", lengte 2m). 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.

Iedere week werd de apparatuur gecontroleerd, werden de monitoren gejusteerd (controle en afstelling met behulp van een ijkgas) en filters zonodig vervangen. De controle (justering) van de NO<sub>x</sub>-analyser werd uitgevoerd met een ijkgas van NO in N<sub>2</sub> (circa 9,3 ppm; ± 1 %). De GC werd gejusteerd met een ijkgas van SF<sub>6</sub> in N<sub>2</sub> (circa 50,5 ppb; ± 2%). Het SF<sub>6</sub>-ijkgas was door het NMI gecontroleerd. De gebruikte NO-ijkgasen werden gecontroleerd met een primaire standaard (± 0,5 %) van het Nederlands Meetinstituut (NMI).

### 2.2.5 Overige metingen

Op twee plaatsen in de stal werd op ca. 2 respectievelijk 3 m hoogte een gecombineerde relatieve luchtvochtigheid- en temperatuurmeting uitgevoerd (Rotronic Hygromer<sup>®</sup> type I-200). De relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur van de buitenlucht werden met een zelfde type sensor geregistreerd op 2,5 m hoogte aan de noordgevel van de stal. De deurstand van de grote schuifdeuren werd geregistreerd met behulp van twee deurmeters. De overige kleine deuren bleven tijdens de stalperiode gesloten.

Achtergrondmetingen voor NH<sub>3</sub> en SF<sub>6</sub> vonden plaats op vier punten rondom de stal. Deze meetpunten waren tegen de muur en de gevel van de stal geplaatst. Bij het KNMI in de Bilt werden aanvullende meteorologische gegevens opgevraagd over temperatuur, windrichting en -snelheid van het op 20 kilometer afstand gelegen KNMI station Heino.

## 2.3 Temperatuur, windrichting en -snelheid tijdens de meetperiode

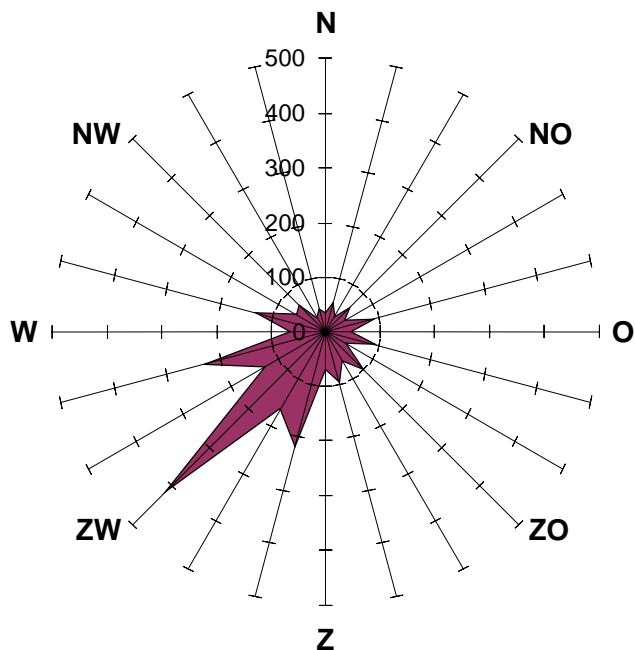
De gemiddelde waarden van temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid tijdens de meetperiode staan in Tabel 1. Voor de staltemperatuur is het gemiddelde van beide sensoren weergegeven.

**Tabel 1.** Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal en buiten en de gemiddelde windsnelheid.

Staltemperatuur (°C)	12,2
Buitemtemperatuur (°C)	6,9
Relatieve luchtvochtigheid stal (%)	72,9
Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)	80,1
Windsnelheid (m/s)	3,6

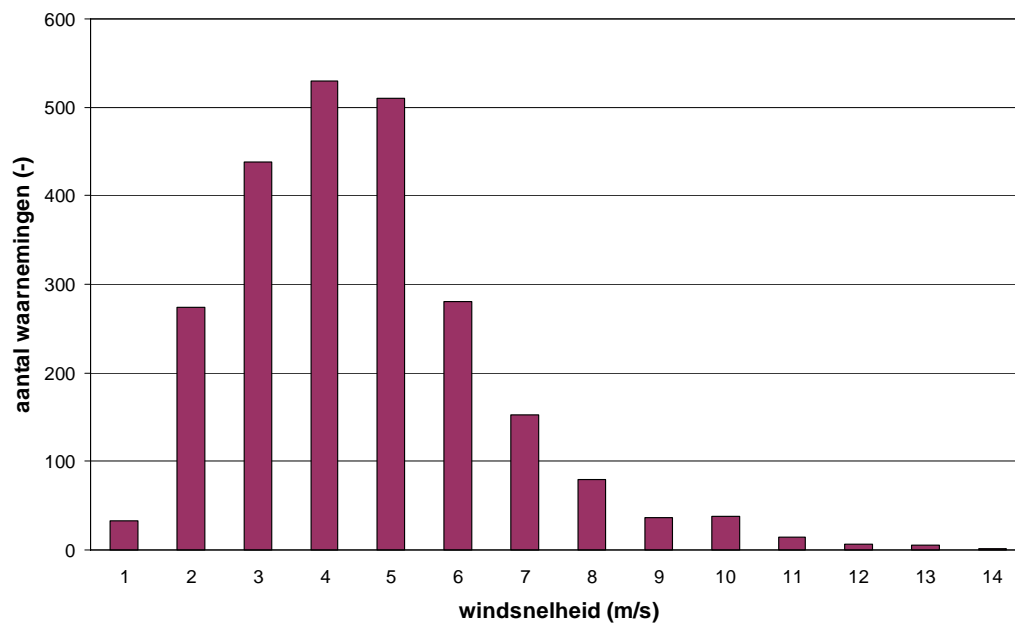
Het KNMI (1998) karakteriseerde het weer tijdens de meetperiode als volgt: de januarimaand was zacht, zonnig en gemiddeld over het land aan de natte kant. Februari was zeer zacht, zeer zonnig en droog. Deze karakterisering van de maand was ongewoon. Meestal is een zeer zachte februari nat en minder zonnig. Ook in maart was het zeer zacht maar ook nat en somber. Hetzelfde was het geval in april. Bijna de gehele maand werd het weer beïnvloed door lagedrukgebieden, die langs of over ons land trokken. Door de overheersende bewolking was het overdag vrij koel en 's nachts tamelijk zacht. Met slechts 91 uren zon tegen 153 normaal, behoorde deze maand tot de somberste drie aprilmaanden van deze eeuw.

Figuur 4 laat de verdeling van de windrichting zien. Tijdens de meetperiode kwam de wind overwegend uit zuid-westelijke richting.

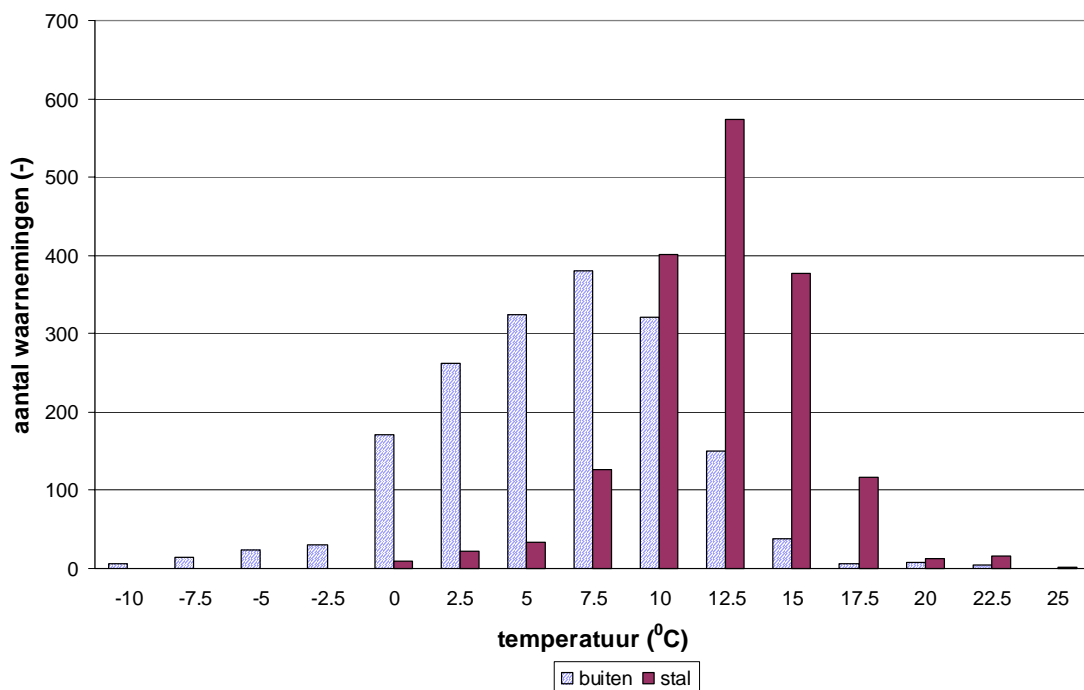


**Figuur 4** Frequentieverdeling van de uurgemiddelde windrichting over de meetperiode.

De verdeling van de windsnelheden is in Figuur 5 te zien. De gemiddelde windsnelheid tijdens de meetperiode was 3,6 m/s.



**Figuur 5** Frequentieverdeling van de uurgemiddelde windsnelheid in m/s over de meetperiode.



**Figuur 6** Frequentieverdeling van de stal- en buitentemperatuur in °C over meetperiode.

De in de figuur weergegeven waarnemingen van bijvoorbeeld 5 °C vielen binnen de range 3,75-6,25 °C. De staltemperatuur was tijdens de meetperiode tamelijk constant en lag voornamelijk binnen het traject van 10 tot 17,5 °C. Het bereik van de buitenluchttemperatuur was breder. Tijdens de meetperiode kwam de buitenluchttemperatuur slechts sporadisch boven de 15 °C.

#### 2.4 Bronsterkte-tracermethode

Bij de bronsterkte-tracermethode wordt uitgegaan van de aanname dat het tracergas en het gas (ammoniak) 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 direct terug te vinden in de verhouding van de gemeten gasgehalten. 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 wordt dat de bronsterkte van het tracergas en ammoniakemissie gelijk zijn.

#### 2.5 Berekeningswijze

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

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

met:

$Q_{\text{NH}_3}(i, j)$ :  $\text{NH}_3$ -bronsterkte op uur  $i$  van dag  $j$  [ml/min];

$K_{\text{M}}$ : 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....24: uur op een dag;  
 j = 1....N: nummer van een meetdag in de meetperiode;  
 NTP: normaaltemperatuur (273,15 K) en -druk (1013,25 hPa).

Het SF<sub>6</sub>-injectieniveau (ml/min) werd vermenigvuldigd met de verhouding tussen NH<sub>3</sub>- en SF<sub>6</sub>-verschilmetingen in ppm (ml/m<sup>3</sup>) tussen binnen- en buitenlucht. De berekende ammoniakemissie werd verondersteld gelijk te zijn aan de NH<sub>3</sub>-bronsterkte van de stal. Voor het berekenen van de ammoniakemissie van de stal werden uit de ruwe meetgegevens eerst uurgemiddelde ammoniakemissiewaarden berekend. De uurgemiddelde NH<sub>3</sub>-bronsterkte getallen in ml/min werden als volgt omgerekend naar ammoniakemissiewaarden in g/uur:

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

met:

E(i,j) : ammoniakemissie op uur i van dag j [g/uur];  
 Q<sub>NH<sub>3</sub></sub>(i,j) : NH<sub>3</sub>-bronsterkte op uur i van dag j [ml/min];  
 ρ : soortelijk gewicht van ammoniak [g/l];  
 60 : aantal minuten in een uur;  
 1000 : omrekeningsfactor van mg naar g;  
 i = 1....24 : uur op een dag;  
 j = 1....N : nummer van een meetdag in de meetperiode;  
 NTP : normaaltemperatuur (273,15 K) en -druk (1013,25 hPa).

De tijdbasis van de ruwe meetgegevens was voor de ammoniakmetingen twee minuten en voor de SF<sub>6</sub>-metingen vijf minuten. Een volledige meetcyclus duurde 40 minuten. In Tabel 2 zijn het aantal concentratiemetingen binnen een meetcyclus weergegeven:

**Tabel 2.** Het aantal uitgevoerde concentratiemetingen binnen een meetcyclus van 40 minuten

	SF <sub>6</sub>	NH <sub>3</sub>
stallucht	4	20
achtergrond-1	1	5
achtergrond-2	1	5
achtergrond-3	1	5
achtergrond-4	1	5

De overige metingen die binnen een meetcyclus werden uitgevoerd waren; relatieve luchtvochtigheden en temperaturen, deurmeters, Massflowcontrollers, drukmeters en klepstanden.

Om het verloop van de emissie weer te geven werden de daggemiddelde waarden van de ammoniakconcentratie, -emissie en de mengfactor in een figuur uitgezet in de tijd. Deze figuur laat tevens zien of een hogere ammoniakconcentratie overeenkomt met een lagere waarde voor de mengfactor oftewel een lager ventilatiedebiet.

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 ammoniakemissies van die dag. Deze ratio's (R<sub>E</sub>(i)) werden als volgt berekend:

$$R_E(i) = \frac{\sum_{j=1}^N E(i, j)}{N}$$

met:

R<sub>E</sub>(i) : gemiddelde ratio op uur i over alle meetdagen;  
 E(i,j) : ammoniakemissie op uur i van dag j [g/uur];  
 E(j) : gemiddelde ammoniakemissie op dag j [g/uur];  
 i = 1....24 : uur op een dag;

$j = 1 \dots N$  : nummer van een meetdag in de meetperiode;  
 $N$  : aantal meetdagen.

De ratio's ( $R_E(i)$ ) werden grafisch uitgezet tegen de uren van een dag. Door te delen door het dagniveau  $E(j)$  werd gecorrigeerd voor een eventuele stijgende of dalende trend tijdens de meetperiode.

De ammoniakemissie van de stal werd berekend door als volgt de gemiddelde dagemissie te berekenen:

$$E^{\text{dag}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} \frac{\sum_{j=1}^N E(i, j)}{N}}{24}$$

met:

$E^{\text{dag}}$  : daggemiddelde ammoniakemissie over de meetperiode (g/uur)  
 $E(i, j)$  : ammoniakemissie op uur  $i$  van dag  $j$  [g/uur];  
 $i = 1 \dots 24$  : uur op een dag;  
 $j = 1 \dots N$  : nummer van een meetdag in de meetperiode;  
 $N$  : aantal meetdagen;  
 $24$  : aantal uren van een dag.

Vermenigvuldigd met 24 uur en 190 dagen geeft dit de ammoniakemissie van de stal over een gestandaardiseerde winterperiode. Dit getal werd gedeeld door het aantal berekende  $N$ -equivalente melkkoeien dat tijdens de meetperiode in de stal aanwezig was. De bovenstaande berekeningswijze zorgt ervoor dat alle uurgemiddelde ammoniakemissies even zwaar meetellen in het berekenen van de stalemissie. Uren met bijvoorbeeld 130 bruikbare metingen tellen even zwaar mee als uren waarvoor 150 bruikbare metingen beschikbaar waren.

Waar in dit rapport sprake is van spreiding rond waarden werd deze berekend op basis van de standaardfout van het gemiddelde volgens:

$$s = \pm 2 * \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}$$

met:

$s$  : spreiding;  
 $N$  : aantal waarnemingen;  
 $\sigma$  : standaarddeviatie.

Deze spreiding komt overeen met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

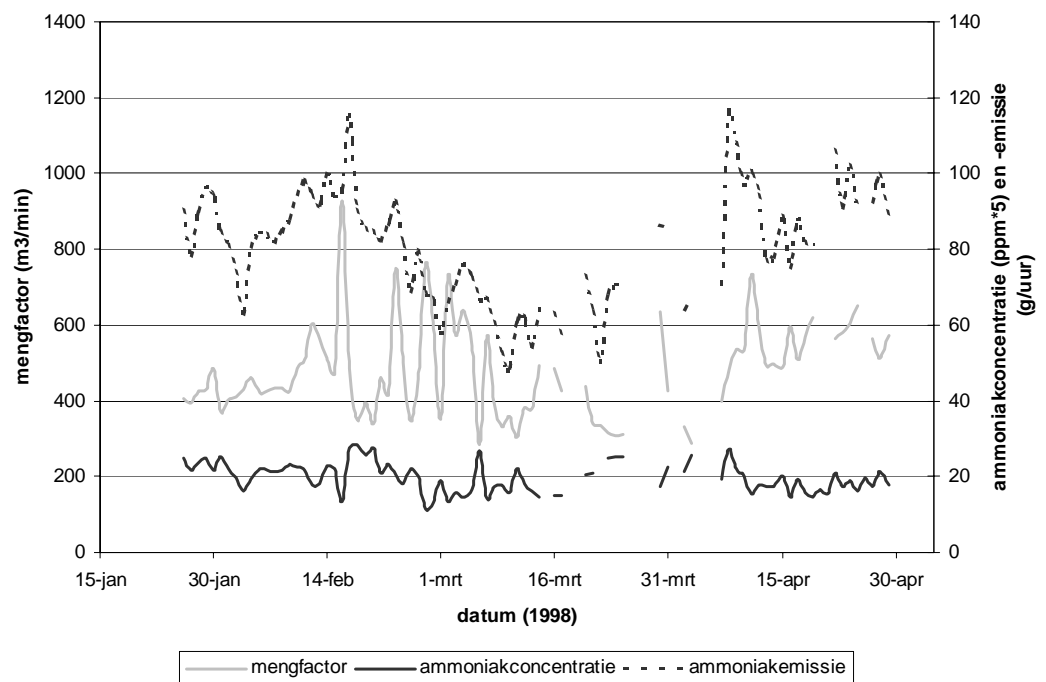
## 2.6 Bruikbare dagen

In de meetperiode van 26 januari t/m 29 april 1998 was het aantal meetdagen 94. Maximaal konden binnen deze periode 2244 uurwaarnemingen worden verzameld. Het werkelijk beschikbare aantal uurwaarnemingen bedroeg 1599 (71%). Op 19 dagen waren geen meetwaarden beschikbaar. Van de overgebleven dagen werd 90% van het maximale aantal meetwaarden verzameld. Het wegvallen van hele dagen en dagdelen werd veroorzaakt door storingen in de stroomvoorziening, de apparatuur en de software. De officiële meetperiode voor melk- en kalkkoeien is van 1 december tot 1 april (121 dagen). In totaal vielen 64 dagen in deze periode (53%).

### 3 Resultaten

De gemeten ammoniakemissie bedroeg 4,4 kg NH<sub>3</sub> per N-equivalente melkkoe, berekend voor een stalperiode van 190 dagen. Dit is een reductie van 50% ten opzichte van de emissiefactor (Wijziging uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij, 1998).

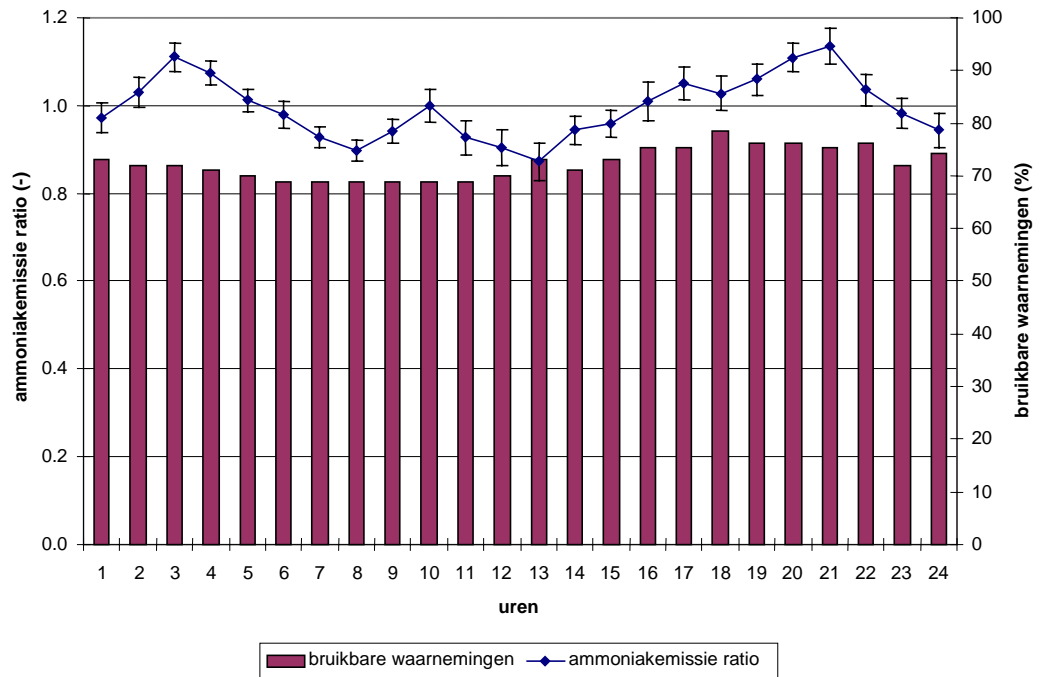
Figuur 7 toont het concentratieverloop, de ammoniakemissie en de mengfactor. Per gemiddeld aanwezig dier bedroeg de ammoniakemissie 4,21 kg NH<sub>3</sub> en per dierplaats 3,81 kg NH<sub>3</sub>.



**Figuur 7** Het verloop van de daggemiddelde mengfactor  $K_M$  in m<sup>3</sup>/min, ammoniakconcentratie (ppm\*5) en ammoniakemissie (g/uur) over de meetperiode.

Uit figuur 7 blijkt dat in de stal de concentratie redelijk constant is geweest. De ammoniakconcentratie in de stal bedroeg gemiddeld circa 4 ppm. De fluctuaties van de ammoniakconcentratie waren een direct gevolg van veranderingen van de mengfactor. De mengfactor vertoonde op bepaalde dagen duidelijke pieken (hoge ventilatievouden). Deze verhoogde mengfactoren werden veroorzaakt door de hoge windsnelheden op die dagen. Op 16 februari bijvoorbeeld registreerde het KNMI station Heino 6 maal een uurgemiddelde windkracht van 9 en 3 maal een gemiddelde windkracht van 10. Deze benamingen gelden voor storm en zware storm. In de avond en ochtend van 3 en 4 april was het weer nog extremer met zeer zware storm. De windsnelheden behaalden zelfs orkaankracht (12 Beaufort). Door de toename van de mengfactor daalde de ammoniakconcentratie en omgekeerd. Zo was 6 maart een zeer rustige dag met als gevolg een verhoogde ammoniakconcentratie.

In Figuur 8 is de gemiddelde ammoniakemissie ratio ( $R_E(i)$ ) uitgezet tegen de 24 uren van een dag. Tevens is het percentage bruikbare waarnemingen vermeld. Gegevens bij bijvoorbeeld 2 uur hebben betrekking op de tijd een half uur voor en na dit tijdstip.



**Figuur 8** De gemiddelde ammoniakemissie ratio ( $R_E(i)$ ) over een etmaal plus het 95% betrouwbaarheidsinterval en het percentage bruikbare waarnemingen.

De dieren werden driemaal per dag gevoerd om 8.30, 13.30 en 24.00 uur (Bijlage C). Na deze voertijden nam de emissie toe, waarschijnlijk deels als gevolg van de extra activiteit van de dieren in combinatie met mesten en urineren. Opmerkelijk is dat de dieren ook na het voeren om middernacht nog enkele uren actief blijven. Een effect van het melken op de ammoniakemissie werd niet gevonden. Zowel 's ochtends als 's middags waren tijdens de melktijden geen duidelijke emissieveranderingen waarneembaar.



## 4 Discussie

Scholtens en Huis in 't Veld (1997) bepaalden met de bronsterkte-tracermethode een ammoniakemissie van 8,9 kg NH<sub>3</sub> per N-equivalente melkkoe in een natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters. Deze waarde kwam vrijwel overeen met de huidige emissiefactor voor melkkoeien die 8,8 kg per dierplaats bedraagt (Wijziging Uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij, 1998).

De ammoniakemissie uit de onderzochte natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met sleufvloer bedroeg 4,40 kg NH<sub>3</sub> per N-equivalente melkkoe, berekend voor een stalperiode van 190 dagen. Dit is een reductie van 50% ten opzichte van de emissiefactor. De gemeten ammoniakemissie kwam overeen met 4,21 kg NH<sub>3</sub> per gemiddeld aanwezig dier en met 3,81 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats.

Swierstra *et al.* (1997) registreerden met 46% een vergelijkbare reductie. Dit onderzoek vond plaats in een mechanisch geventileerde onderzoekstal met sleufvloer en als referentie werd gelijktijdig in een identieke stal met roostervloer de ammoniakemissie gemeten.

Tijdens de meetperiode zijn vier maal ureummonsters genomen van de tankmelk. Deze analyses maakten deel uit van een ureumonderzoek (bijlage E) dat in opdracht van milieucoöperatie "De Ommermarke" werd uitgevoerd door studenten van de C.A.H. te Dronten (Kempen *et al.*, 1998). Het ureumgehalte in de melk wordt gezien als een maatstaf voor de efficiëntie van de stikstofbenutting in de koe. De streefwaarde voor het ureumgehalte in de melk ligt tussen 25 en 30 mg per 100 gram. Het gemiddelde ureumgehalte in de melk van de dieren in de meetstal bedroeg 30,5 mg per 100 gram. Dit ureumgehalte in de melk tijdens de meetperiode is een representatieve waarde en geeft aan dat een normaal rantsoen werd gevoerd.

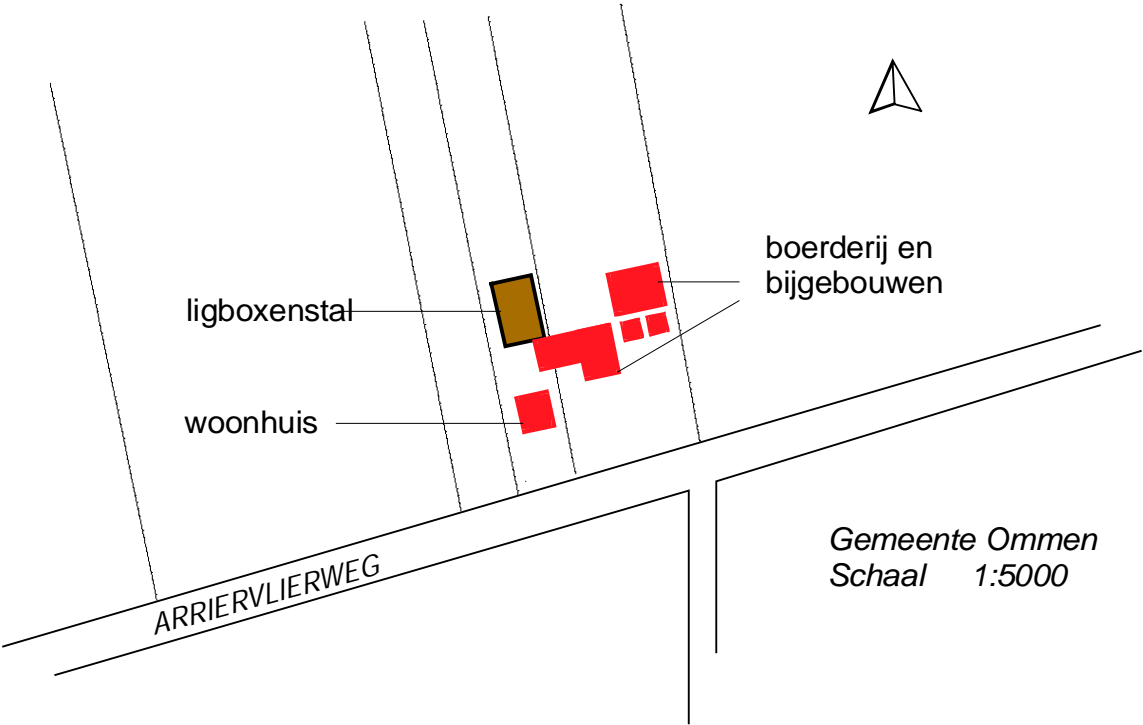
## 5 Conclusies

De ammoniakemissie van de natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met sleufvloer en mestschuif was tijdens de stalperiode (op basis van 190 dagen) 4,40 kg  $\text{NH}_3$  per N-equivalente melkkoe. Dit komt overeen met een emissiereductie van 50% ten opzichte van de emissiefactor van 8,8 kg  $\text{NH}_3$  per melkkoe voor een traditionele ligboxenstal met roostervloer. Per dierplaats in de stal was de emissie 3,81 kg  $\text{NH}_3$  en per gemiddeld aanwezig dier bedroeg de emissie 4,21 kg  $\text{NH}_3$  voor een stalperiode van 190 dagen.

## Literatuur

- Heij, G.J. en T. Schneider, 1995. Dutch priority programme on acidification. Final report third phase Additional programme on acidification no. 300-05, 160 pp.
- Kempen, J. van, J. Kortmann, D. Kremer en A. van der Wouden, 1998. 'Ureumproject' Ommermarke. Eindverslag Projectgroep L4182, Christelijke Agrarische Hogeschool Dronten, 21 pp.
- K.N.M.I., 1998. Maandoverzicht van het weer in Nederland. Jaargang 95 nrs. 1, 2, 3 en 4, De Bilt.
- Notitie Mest- en Ammoniakbeleid derde fase, 1993. Tweede kamer, vergaderjaar 1992-1993, 19882, nr. 34, SDU-Uitgeverij, Den Haag, 55 pp.
- Scherphof, W., 1996. Omrekening jongvee/melkvee. Notitie voor Werkgroep Emissiefactoren (persoonlijke mededeling).
- Scholtens, R., 1993. NH<sub>3</sub>-converter + NO<sub>x</sub>-analyzer. In: E.N.J. van Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 19-22.
- 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, DLO, Rapport 97-1006, Wageningen, 26 pp.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1998. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXI: Natuurlijk geventileerde vleesstierenstal met betonroosters, DLO, Rapport 98-1005, Wageningen, 16 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, 14 pp.
- Wijziging Uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij, 1998. Interimwet Ammoniak en Veehouderij. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatscourant nr. 132, Den Haag, p. 10-11.

Bijlage A Ligging van de ligboxenstal



## Bijlage B Stalbezetting en melkproductiegegevens

### Stalbezetting

Datum	Aantal dieren		
	melkgevend	droogstaand	pinken 1.5-2 jr.
15-jan	65	12	11
1-feb	65	11	10
15-feb	71	8	12
1-mrt	70	9	12
15-mrt	70	8	12
1-apr	70	9	10
15-apr	70	5	8
1-mei	70	5	8
gemiddeld	68,9	8,4	10,4

### Aantal N-equivalente koeien volgens Scherphof (1996)

Periode	Aantal				N-equivalente melkkoeien
	melkgevend	droogstaand	pinken	totaal	
stal 15-jan-1-mei	68,9	8,4	10,4*	87,7	84,0

\*omrekeningsfactor bij een leeftijd 21 maanden is 0,65

### Melkproductiegegevens per drie weken

Datum melkcontrole	Melkvee				
	aantal	melkgift kg/(koe.dag)	vet %	eiwit %	BSK
8-jan	65	29,5	4,25	3,53	45,8
28-jan	65	28,5	4,21	3,62	44,6
19-feb	71	28,3	4,22	3,59	45,4
12-mrt	70	30,9	4,13	3,54	46,8
3-apr	70	29,8	4,22	3,54	45,9
24-apr	70	29,6	4,09	3,59	46,0
gemiddeld	68,5	29,4	4,19	3,57	45,8
standaarddeviatie	2,7	0,9	0,1	0,0	0,7

## Bijlage C Rantsoenen en voederwaardegegevens

### Basisrantsoen melkvee (23/1 tot 9/2 1998):

Voersoort	Gift kg	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg DS	OEB g/kg DS
kuil 1 (1/8/97) 30%	8,0	365	894	67	80
maïs (97) 70%	17,9	381	955	47	-30
aardappelen	5,0	220	1062	61	-8
maïsgluten	5,0	420	1102	87	22
bierborstel	5,0	250	945	91	102
meelmengsel	4,0	880	1023	216	125
krijt+mineralen	0,3	990	-	-24	-
molacto	8,1	880	1080	125	23

### Basisrantsoen melkvee (9/2 tot 21/4 1998):

Voersoort	Gift kg	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg DS	OEB g/kg DS
kuil 1 (10/9/97) 30%	6,0	450	923	79	66
maïs (97) 70%	16,5	381	955	47	-30
aardappelen	8,0	220	1062	61	-8
maïsgluten	5,0	420	1102	87	22
bierborstel	5,0	250	945	91	102
meelmengsel	3,5	880	1023	216	125
Lakto-startbrok *	2,0	880	1108	159	28
krijt+mineralen	0,3	990	-	-24	-
molacto	6,7	880	1080	125	23

### Basisrantsoen melkvee (21/4 tot 30/4 1998):

Voersoort	Gift kg	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg DS	OEB g/kg DS
gras 45%	26,5	180	1060	103	93
maïs (97) 55%	15,3	381	955	47	-30
aardappelen	6,0	220	1062	61	-8
maïsgluten	4,0	420	1102	87	22
bierborstel	5,0	250	945	91	102
meelmengsel	3,0	880	1023	199	68
krijt+mineralen	0,3	990	-	-24	-
molacto	7,4	880	1080	119	11

### Voertijden melkvee

Voersoort	Voertijd	Opmerkingen
maïs kuil meelmengsel maïsgluten	8.30	* Molacto-brok werd verstrekt in melkstal * Lakto-startbrok is tijdens het voeren om 24.00 uur handmatig aan het voerhek verstrekt aan de hoog-productieve koeien
maïs kuil bierborstel meelmengsel		
maïs kuil aardappelen meelmengsel		

Middels een voermengwagen werden de voedermiddelen gemengd, aan de dieren verstrekt.

## Bijlage D Rantsoenen en voederwaardegegevens droogstaande koeien en jongvee

### Basisrantsoen droogstaande koeien en jongvee:

Voersoort	Gift kg	DS g/kg	VEM g/kg DS	DVE g/kg DS	OEB g/kg DS
kuil 4 (10/9/97)	19,0	348	869	66	74
maïs (oogst 97)	5,2	381	955	47	-30
stro	2,7	840	432	3	-29
mineralen	0,1	990	0	0	0

De droogstaande koeien en jongvee liepen in dezelfde groep en werden derhalve gelijktijdig met hetzelfde rantsoen gevoerd.

Van het ingekuilde gras en de snijmaïs waren voederwaardegegevens, bepaald door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek beschikbaar. Van de overige voersoorten werden de door de leveranciers verstrekte gegevens gebruikt.

## Bijlage E Ureumproject “De Ommermarke”

In de winterperiode 1996-1997 is in opdracht van milieucoöperatie “De Ommermarke” een ureumonderzoek gestart dat werd uitgevoerd door studenten van de C.A.H. te Dronten (Kempen *et al.*, 1998). Het ureumgehalte in de melk wordt gezien als een maatstaf voor de efficiëntie van de stikstofbenutting (eiwitbenutting) in de koe. Een hoog ureumgehalte in de melk is een indicatie dat niet alle, in de pens gevormde ammoniak kon worden benut door de pensflora. Een gedeelte van de overmaat aan ammoniak wordt dan via het bloed naar de lever geleid waar het wordt omgezet in ureum. Via de nieren wordt het ureum vervolgens met melk en urine afgescheiden. Deze stikstof is dus verloren gegaan.

Voor het onderzoek werden ureummonsters genomen van de tankmelk op 30 bedrijven in de omgeving van Ommen. Vervolgens zijn van alle participerende bedrijven gegevens verzameld zoals melkcontrole uitslagen en rantsoengegevens. De streefwaarde voor het ureumgehalte in de melk ligt tussen de 25 en 30 mg per 100 gram. Tijdens de onderzochte periode was het gemiddelde ureumgehalte van de 30 bedrijven 30,6 mg per 100 gram melk, met uitersten van 18 tot en met 43 mg per 100 gram. Het aangeboden OEB en RE gehalte bepaalden voor circa eenderde de hoogte van het ureumgehalte.

Als vervolg op dit onderzoek zijn tijdens de meetperiode van de ammoniakemissie ook ureummonsters genomen van de tankmelk. De door de boer verstrekte resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Het aantal participerende bedrijven in het ureumproject bedroeg ditmaal 42 en het gemiddelde ureumgehalte in de melk van alle deelnemende bedrijven was 26,8 mg per 100 gram. Het gemiddelde ureumgehalte in de melk van de dieren in de meetstal bedroeg 30,5 mg per 100 gram. Dit ureumgehalte in de melk tijdens de meetperiode is een representatieve waarde en geeft aan dat een normaal rantsoen werd gevoerd.

### Ureumproject “De Ommermarke”

Datum monstername	Ureumgehalte (mg/100g melk)	
	Meetlocatie	Gemiddeld (n=42)
29-dec	34	29
28-jan	30	27
25-feb	28	25
20-apr	30	26
gemiddeld	30,5	26,8