

*Handwritten notes:*  
10-92  
10-92

*Handwritten:* 10-92

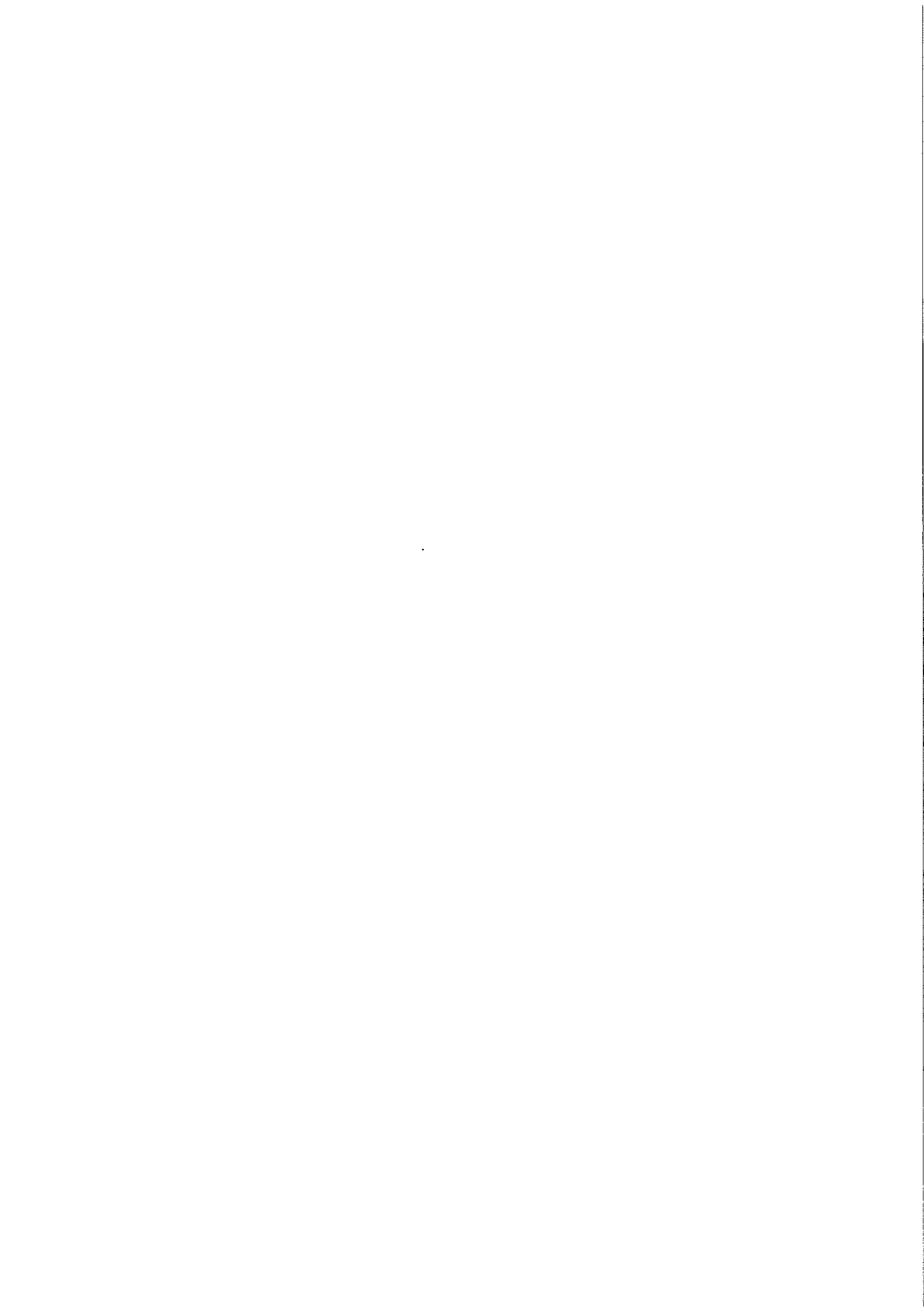
# De ammoniakemissie uit een volièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroogtunnel

Ir. P.W.G. Groot Koerkamp  
Ing. H. Montsma

*Faint, illegible text, possibly a stamp or reference code.*

imag-dlo





# De ammoniakemissie uit een vlièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroogtunnel

*The ammonia emission from an aviary house  
with the multifloor system and a manure  
drying tunnel*

Ir. P.W.G. Groot Koerkamp  
Ing. H. Montsma

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Groot Koerkamp, P.W.G.

De ammoniakemissie uit een volièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroog-tunnel / P.W.G. Groot Koerkamp en H. Montsma – Wageningen : IMAG-DLO. – III. (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek ; 94-28)

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

ISBN 90-5406-103-0

NUGI 849

Trefw.: ammoniakemissie ; pluimveeteelt.

© 1995

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

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.

## Abstract

Groot Koerkamp, P.W.G. and H. Montsma. *The ammonia emission from an aviary house with the multifloor system and a manure drying tunnel*. DLO Institute of Agricultural and Environmental Engineering, report 94-28, in dutch, with summary in english, 43 pp.

Ammonia emissions from husbandry systems in the Netherlands must be reduced to prevent detrimental effects on the environment. The ammonia concentrations and ventilation rates in a welfare-friendly aviary system for laying hens were measured. The calculated ammonia emission from the Multifloor aviary system together with a manure drying tunnel varied between 7.5 and 40.1 g NH<sub>3</sub> per animal per year. This was low compared with the emission from battery cages and other aviary systems. The emission increased as the faeces stayed longer in the animal sections plus tunnel. No effect of ventilation air pattern in the tunnel and ventilation rate was found. The chemical composition of litter and manure was analysed. Nitrogen and moisture balances were compared with the measurements.

Keywords: Ammonia emission, aviary system, laying hens, drying tunnel

## Voorwoord

Sinds een aantal jaren wordt door het IMAG-DLO en het ID-DLO (voormalige COVP-DLO) onderzoek verricht naar welzijnsvriendelijke huisvesting voor leghennen. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van het etagesysteem, of de zogenaamde volièrestal. Tijdens de beproeving van deze nieuwe huisvestingsvorm bleek dat de ammoniakemissie hoger was dan uit een batterijstal met mestbanden.

De overheid heeft in het milieubeleid een aanzienlijke beperking van de ammoniakemissie ten doel gesteld. Hier zullen ook welzijnsvriendelijke stalvormen aan moeten beantwoorden. Dit is aanleiding geweest tot een breder opgezet onderzoek naar de ammoniakemissie uit volièrestallen en de mogelijkheden tot beperking daarvan. In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de emissiemetingen in een praktijkstal met het Multifloorsysteem. Het draagt bij aan de kennis omtrent de ammoniakemissie uit deze nieuwe huisvesting.

Het onderzoek is uitgevoerd door de stalmeetploeg van het intensiveringsonderzoek. Medefinanciering is toegekend door het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA). Wij zijn de heer Siemons en zijn medewerker(s) te Rosendaal erkentelijk voor de goede en prettige samenwerking tijdens de periode dat het onderzoek op zijn bedrijf plaatsvond.

Ir. A.A. Jongebreur  
directeur

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	6
<b>1 Inleiding</b>	8
<b>2 Materiaal en methode</b>	10
2.1 Stal en inrichting	10
2.2 Zoötechnische gegevens	12
2.3 Klimaatregeling en voerverstrekking	13
2.4 Mestbehandeling	13
2.5 Meetperioden en proefbehandelingen	13
2.6 Luchtmetingen	15
2.7 Mest- en strooiselmetingen	16
2.8 Dataverwerking	17
<b>3 Resultaten</b>	19
3.1 Ammoniakemissie	19
3.2 Klimaat	21
3.3 Ventilatie	22
3.4 Mestanalyses	24
3.5 Vochtbalans	25
<b>4 Discussie</b>	27
4.1 Ammoniakemissie	27
4.2 Klimaat	29
4.3 Ventilatie en droging in de tunnel	29
4.4 Strooiselkwaliteit en laagdikte	30
4.5 N-balans	30
4.6 Ammoniakemissie en strooiselkwaliteit	31
4.7 Vochtbalans droogtunnel	32
4.8 Vochtbalans afdelingen	33
<b>5 Conclusies</b>	34
<b>Summary</b>	35
<b>Literatuur</b>	36
<b>Bijlagen</b>	38

## Samenvatting

In het kader van het onderzoek naar alternatieve, diervriendelijke huisvesting van leghennen werd onderzoek verricht naar de ammoniakemissie uit een praktijkstal met het Multifloorsysteem en een mestdroogtunnel. Het Multifloorsysteem bestond uit twee stellingen met ieder drie etages, die met de ruggen tegen elkaar waren geplaatst. Een etage was een schuin naar de buitenkant aflopend kunststofrooster met daaronder een mestband. De onderste etages steunden op de stalvloer. Er waren ca. 23.000 leghennen in de stal gehuisvest. 24% van het totale leefoppervlak ( $987 \text{ cm}^2/\text{dier}$ ) was bedekt met strooisel. Het systeem was geplaatst in twee gescheiden afdelingen met daartussen een mestdroogtunnel met zes mestbanden. Faeces die op de mestbanden terechtkwam, werd via vizzels achterin de stal naar de droogtunnel getransporteerd. Ventilatielucht werd via een gaatjesplafond door de afdelingen naar de droogtunnel gezogen. Bij lage buitenluchttemperaturen werd het totale ventilatiedebiet gebruikt voor droging van de mest in de tunnel.

Tijdens één legronde werden gedurende vijf perioden van ca. 35 dagen de ammoniakemissie, het stalklimaat, het buitenklimaat, de samenstelling van het strooisel en de bandmest, de laagdikte en de kwaliteit van het strooisel en het luchtstromingspatroon in de droogtunnel gemeten. Om te weten of de droging van de bandmest in de tunnel is te verbeteren en de ammoniakemissie uit de stal is te verminderen, werd het effect van de verblijftijd van de bandmest in de stal en het stromingspatroon van lucht door de tunnel onderzocht.

De klimaatregeling functioneerde goed. Het drogestofgehalte van de bandmest steeg in de tunnel van gemiddeld 284 tot 520 g/kg. De verblijftijd van de mest in de tunnel en het luchtstromingspatroon hadden hier geen invloed op. Ook bij een hoger ventilatiedebiet door de tunnel was de droging niet beter.

Door meettechnische oorzaken kon de netto-ammoniakemissie uit de tunnel niet worden vastgesteld. De verschillen in ammoniakconcentraties die optraden in de stal waren hiervoor mede verantwoordelijk. De ammoniakemissie uit de totale stal varieerde tussen 7,5 en 33,6 g per dierplaats per jaar bij een verblijftijd van de bandmest in de afdelingen en de tunnel van ca. 40 uur. Er kon geen effect worden aangetoond van het luchtstromingspatroon door de tunnel en het ventilatiedebiet op de emissie. De hoogste emissie, 87,5 g  $\text{NH}_3$  per dierplaats per jaar, werd gemeten bij een verblijftijd van ca. 70 uur.

Het strooisel was altijd droog en rul. Tegen het einde van de legronde steeg de laagdikte tot ca. 8 cm, terwijl ook het ammoniakgehalte en de pH van het strooisel enigszins toenamen, tot respectievelijk 2,0 g/kg en 8,3. Hoewel deze waarnemingen in verband werden gebracht met de hogere emissies tijdens de laatste meetperiode, kon geen kwantitatief verband worden gelegd tussen de strooiselkwaliteit en de ammoniakemissie.

De berekende en gemeten vochemissies kwamen redelijk met elkaar overeen. De vochtverdamping uit het strooisel, de bandmest in de stal, de bandmest in de droogtunnel en de vochtproductie door de leghennen bedroeg respectievelijk ca. 20, 36, 27 en 17% van



de totale vochtbalans.

De stikstofverluchting op basis van de stikstofbalans van de bandmest en het strooisel was respectievelijk 73 en 109 g NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar.

Door de regelmatige afvoer van bandmest en een goede strooiselkwaliteit was de ammoniakuitstoot uit het onderzochte stal laag ten opzichte van de norm voor leghennen gehuisvest in een batterijstal met mestbanden (35 g NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar) en gemeten emissies bij andere volièresystemen.

# 1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten in 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  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  en  $\text{NH}_x$  genoemd. In 1989 was  $\text{NH}_x$  verantwoordelijk voor 46% van de totale verzuring in Nederland. Het aandeel in de zure depositie van  $\text{NH}_x$  uit Nederlandse bronnen was 81%; 19% was afkomstig uit het buitenland. De door Nederlandse  $\text{NH}_x$ -bronnen veroorzaakte verzuring kwam voor 94% uit de landbouw (Hey en Schneider, 1991). De Nederlandse overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak in de veehouderij in het jaar 2000 t.o.v. 1980 met 50% afgenomen moet zijn (Nationaal Milieubeleidsplan, 1989). Om dit te kunnen realiseren wordt momenteel onderzoek verricht naar emissie-arme huisvestingssystemen voor landbouwhuisdieren (Groot Koerkamp *et al.*, 1990). De ammoniakemissie uit stallen en opslagen in de leghennensector bedroeg in 1986 ca. 4% van de totale ammoniakemissie (Oudendag en Wijnands, 1989). In Groot Koerkamp en de Haan (1990) is aangegeven dat aanzienlijke emissiereducties bereikt worden als wordt overgeschakeld naar batterijsystemen met mestbanden; regelmatige verwijdering van de mest uit de stal, indien wenselijk in combinatie met droging van de mest, is zodoende mogelijk. In alternatieve systemen heeft het drogestofgehalte van het strooisel grote invloed op de ammoniakemissie uit het strooisel. Bij hogere drogestofgehalten worden microbiologische afbraakprocessen geremd, waardoor minder ammoniak wordt gevormd. Echter, in bijvoorbeeld scharrelstallen voor leghennen droogt het strooisel onvoldoende, zodat de ammoniakemissie hieruit vele malen hoger is dan uit batterijstallen met mestbanden (35 g  $\text{NH}_3$  per dierplaats per jaar; Richtlijn Ammoniak en Veehouderij, 1991). De vochtbalans van strooisel is derhalve van groot belang in relatie tot de emissie uit strooisel.

Sinds een aantal jaren wordt onderzoek verricht naar welzijnsvriendelijke huisvesting van leghennen. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van zogenaamde volièresystemen, die beter voldoen aan de welzijnseisen voor de dieren dan de traditionele huisvesting in batterijkooien (Blokhuys en Metz, 1992). Tijdens de beproeving van het in Nederland ontwikkelde etagesysteem is uit oriënterende metingen gebleken dat de ammoniakemissie hoger was dan uit een batterijstal met mestbanden (Ehlhardt *et al.*, 1989; Groot Koerkamp, 1992a). Bij dit systeem is ca. 42% van het leefoppervlak van de dieren bedekt met strooisel, het overige deel bestaat uit roosters en zitstoken.

Door het IMAG-DLO is onderzoek verricht naar de ammoniakemissie uit een praktijkstal voor leghennen met het Multifloorvolièresysteem. Hierbij is ca. 20% van het leefoppervlak van de dieren bedekt met strooisel en wordt de mest op de banden onder de roosters dagelijks uit de stal naar een droogtunnel getransporteerd. De verwachting is dat de ammoniakemissie bij dit systeem lager is dan die bij het etagesysteem, omdat het strooiseloppervlak kleiner is. Groot Koerkamp (1992b) constateert dat het effect van verwijdering van bandmest op de emissie bij het etagesysteem gering was, zodat de vermindering van de ammoniakemissie door dagelijkse verwijdering van de bandmest laag wordt ingeschat.

Doel van het onderzoek was het vaststellen van de hoogte van de ammoniakemissie uit een stal met dit volièresysteem en na te gaan in welke mate de emissie beïnvloed werd

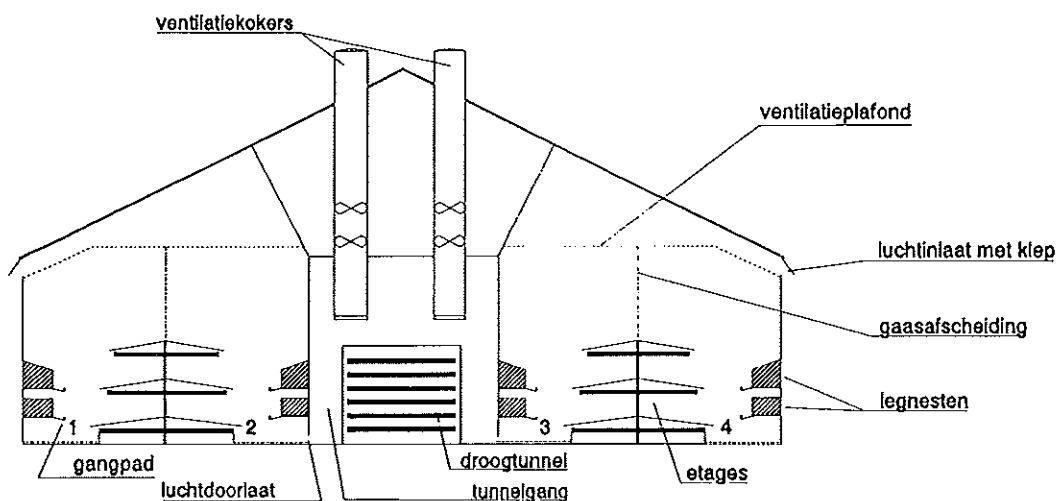
door de belangrijkste factoren: de behandeling van de bandmest (verblijftijd van de mest in de stal en de droogtunnel en de droging), de conditie en samenstelling van het strooisel en het buitenklimaat. Omdat het drogestofgehalte van zowel strooisel als bandmest grote invloed heeft op de emissie uit mest, is een vochtbalans van de stal opgesteld. Naast het meten van de ammoniakemissie is de stikstofvervluchting op basis van de stikstofbalans van mest en strooisel berekend.

## 2 Materiaal en methode

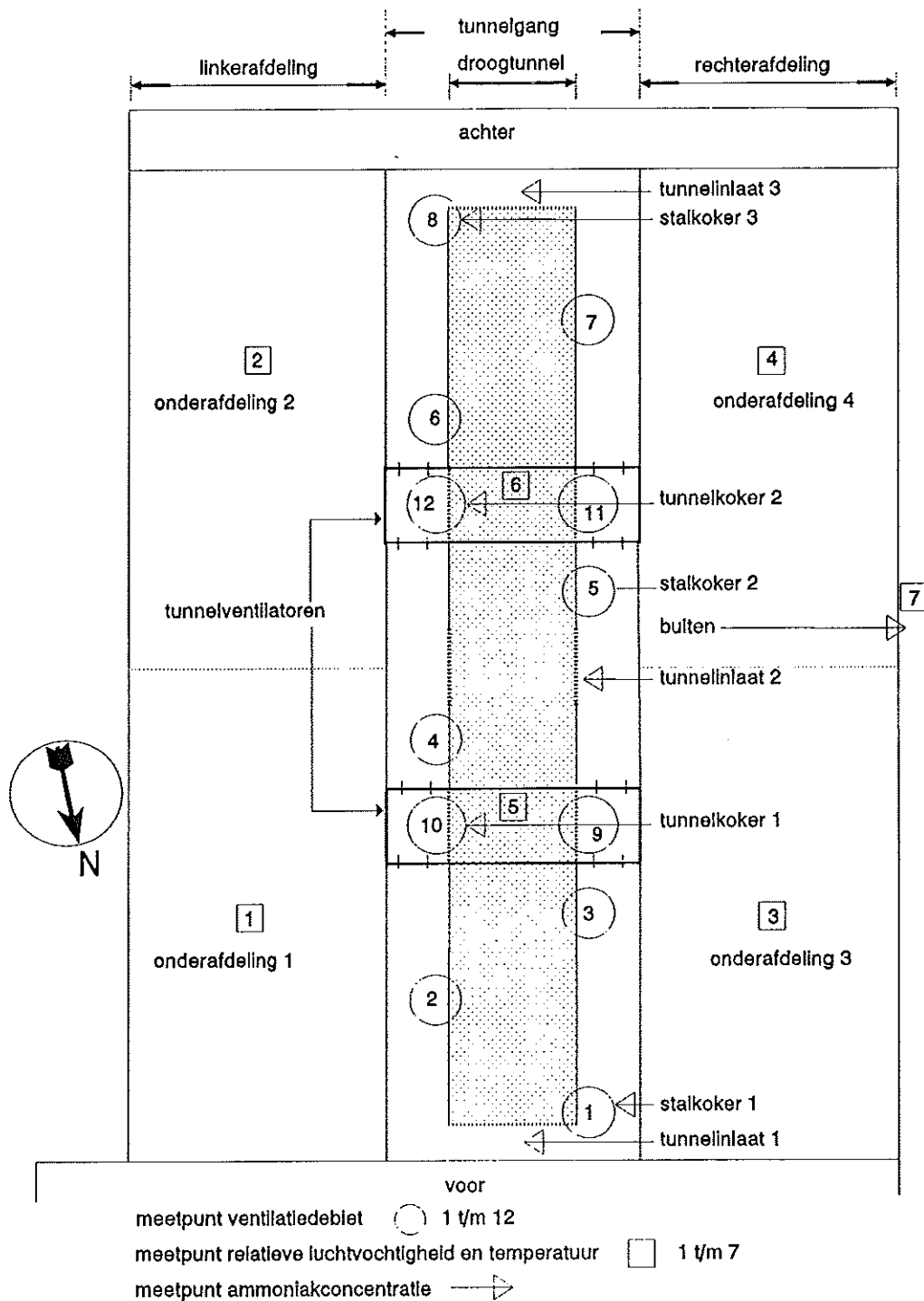
### 2.1 Stal en inrichting

De volièrestal voor leghennen was 90 m lang en 15 m breed. De stal was onderverdeeld in twee afdelingen van 88,0 bij 6,2 m, met daartussen een gang waarin een droogtunnel was geplaatst (fig. 1). Beide afdelingen waren door een in de breedte opgestelde gaasafscheiding halverwege de stal onderverdeeld in twee onderafdelingen. Iedere onderafdeling was wederom in tweeën gesplitst door middel van een gaasafscheiding in de lengte van de stal. Aan de voor- en achterzijde waren de (onder)afdelingen bereikbaar via serviceruimten. Aan de voorzijde was tevens een eierlokaal gesitueerd.

Buitenlucht kwam via regelbare kleppen aan de zijgevels (2 per zijde) het gebouw binnen en werd door een ventilatieplafond in de afdelingen gezogen. Het ventilatieplafond bestond uit 4 cm dikke tempex-platen met verzonken gaatjes met een doorsnede van 8 mm. De stallucht werd afgezogen via een geperforeerde baksteenlaag van 12 cm hoogte in de scheidingsmuur tussen de afdelingen en de tunnelgang (luchtdoorlaat, fig. 1). Deze laag bestond uit één rij bakstenen op 10 cm hoogte boven de stalvloer over de gehele lengte van de afdelingen. De perforatie in de stenen voor de luchtdoorlaat bedroeg 450 cm<sup>2</sup> per strekkende meter. Ter plaatse van de luchtinlaten van de tunnel (voor, midden en achter) was een dubbele rij geperforeerde bakstenen ingemetseld. Daardoor bedroeg het totale oppervlak van de perforatie ca. 7,2 m<sup>2</sup>. De situering van de luchtuittlaat veroorzaakte een neerwaartse luchtstroming in de afdelingen. De lucht in de tunnelgang verplaatste zich in de lengterichting van de stal naar de inlaatopeningen van de droogtunnel (tunnelinlaten 1-3, fig. 2). De stallucht werd door de droogtunnel naar buiten gezogen door middel van vier ventilatoren (Fancom, Ø 63 cm, maximale capaciteit



Figuur 1 Dwarsdoorsnede van de onderzoekstal. De gangpaden zijn genummerd (1-4).  
Figure 1 Cross section of the experimental animal house. The pathways are numbered (1-4).



Figuur 2 Plattegrond van de stal met de meetpunten voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, ventilatiedebieten en ammoniakconcentraties.

Figure 2 Ground-plan of the animal house with measuring places for temperature and relative humidity, ventilation rates and ammonia concentrations.

9.000 m<sup>3</sup>/uur). Deze ventilatoren worden verder tunnelventilatoren genoemd (nr. 9-12, fig. 2). De lucht werd uit een ruimte aangezogen die in open verbinding stond met een uitlaatopening van de tunnel. Deze ruimte was door middel van verticale wanden in de tunnelgang afgescheiden van de stallucht in de tunnelgang. Tevens waren 8 ventilatoren (Fancom, Ø 56 cm, maximale capaciteit 9.000 m<sup>3</sup>/uur), verdeeld over de lengte van de stal, geplaatst. Deze ventilatoren zogen de stallucht rechtstreeks uit de tunnelgang aan en worden verder stalventilatoren genoemd (nr. 1-8, fig. 2). De droogtunnel bestond uit 6 boven elkaar liggende mestbanden van 1,19 m breed en elk 70 m lang.

Het Multifloorvolièresysteem bestond uit drie trapsgewijs aan een stelling aangebrachte etages op 22, 94 en 166 cm hoogte (bovenkant van de mestbanden ten opzichte van de vloer) (fig. 1). Twee van deze stellingen, waarvan de etages van onder naar boven een breedte hadden van 170, 159 en 130 cm, waren met de ruggen tegen elkaar geplaatst. Een etage omvatte een schuin naar de buitenkant aflopend kunststofrooster boven de mestband. De onderste etage steunde op de stalvloer. Op de onderste twee etages werd voer automatisch verstrekt met een vizelsysteem en water via drinknippels met daar- onder een lekbakje. Op de bovenste etage (de rustetage) werd alleen water aange- boden. De eetbaklengte per hen was 10 cm. Op alle etages was verlichting via p.l.- lampen. Tegen de zijwanden van de afdelingen waren twee rijen legnesten geplaatst op 65 en 105 cm hoogte. In totaal waren 592 groepslegnesten aanwezig. De eieren werden automatisch uit de legnesten afgevoerd. In beide afdelingen waren twee loop- of gang- paden tussen de legnesten en de stelling; de nummering is in figuur 1 aangegeven. In de stal waren 22.979 dieren gehuisvest. Het stalvloeroppervlak was 459 cm<sup>2</sup> per dierplaats (21,8 hennen per m<sup>2</sup>). Het oppervlak van de strooiselruimte bedroeg 199 cm<sup>2</sup> per dier- plaats (50,3 dieren per m<sup>2</sup>). Het totale oppervlak per dierplaats bedroeg 987 cm<sup>2</sup> en het relatieve aandeel van de strooiselruimte bedroeg derhalve 20%. De scharrelruimte was bij aanvang van de legronde bedekt met een laag metselzand van ongeveer 5 cm. Tijdens de legronde werd door de pluimveehouder geen strooisel uit de scharrelruimte verwij- derd. Er werd ook geen nieuw zand of ander strooiselmateriaal ingebracht.

## 2.2 Zoötechnische gegevens

De dieren waren witte leghennen, van het merk Lohmann LSL, opgefokt in een grond- opfokstal met ruiters. De dieren werden geplaatst op 21 oktober 1991 en waren toen 17 weken oud. De legperiode duurde 58 weken (20<sup>e</sup> tot en met 78<sup>e</sup> levensweek). Er werd fasevoeding toegepast (tabel 1). De gerealiseerde bedrijfsresultaten zijn weergegeven in tabel 2. De gegevens zijn gemiddeld over de gehele legperiode.

Tabel 1 Samenstelling (%) van het gebruikte voer tijdens de legronde.  
Table 1 Composition (%) of the feed during the laying period.

Fase	Leeftijd hennen (weken)	Voersamenstelling				
		RE (%)	RV (%)	RC (%)	RA (%)	P (%)
1	16-44	17,4	9,1	6,5	14,2	0,73
2	45-70	17,1	9,8	6,3	14,0	0,65
3	71-78	16,8	10,7	6,6	13,7	0,54

**Tabel 2** Zoötechnische resultaten berekend over de gehele legronde (21 tot en met 78 weken leeftijd).

*Table 2 Zoötechnical results of the whole laying period (21 up to 78 weeks).*

lengte legronde	(dagen)	406
aantal opgehokte hennen	(20 weken leeftijd)	22.997
uitval cumulatief	(%)	5,52
legpercentage	(%), gemiddeld en op 78 weken	84,9 / 73,6
buitennesteieren gemiddeld	(%)	4,3
voerverbruik gemiddeld	(g/aanwezige hen.dag)	113
waterverbruik gemiddeld	(ml/aanwezige hen.dag)	238
eierproductie cumulatief	(kg eieren/opgehokte hen)	20,48
voederconversie gemiddeld	(kg voer/kg eieren)	2,23
levend eindgewicht	(kg)	1,81

### 2.3 Klimaatregeling en voerverstrekking

De tunnelventilatoren werden proportioneel aangestuurd op basis van de temperatuurregeling in de stal. In iedere onderafdeling was hiertoe ca. 30 cm boven de zitstokken een temperatuursensor opgehangen die verbonden was met de regelapparatuur. De gewenste temperatuur voor de 4 onderafdelingen was ingesteld op 22,5 °C. Indien de klimaatregeling dit vereiste, werden naast de tunnelventilatoren ook de stalventilatoren ingeschakeld. De stalventilatoren hadden een aan/uit-regeling en werden in een vaste volgorde één voor één aan- of uitgeschakeld. Het minimumventilatie-debiet werd dus door de tunnelventilatoren geregeld. Het toerental van de ventilatoren en de stand van de kleppen bij de inlaatopeningen van de stal werden door een Fancom ESUP-2 klimaatregelaar geregeld. Per dag was er vanaf 8 uur 's morgens gedurende 15 tot 16 uur licht. 's Avonds ging eerst op de onderste etage het licht uit en 5 minuten daarna op de middelste etage en in het gangpad. De bovenste etage werd daarna langzaam gedimd. Zo werden de hennen 's avonds naar de zitstokken van de bovenste etage gelokt. Voer werd in vijf keer verstrekt tussen 11.00 en 18.00 uur. Water was beschikbaar tijdens de lichtperiode plus een half uur ervoor en een uur erna.

### 2.4 Mestbehandeling

De mest werd met mestbanden onder de etages uit de afdelingen verwijderd en met vijzels achterin de stal naar de droogtunnel getransporteerd. De mestbanden, die ieder uur gedurende 10 minuten draaiden, zorgden voor aanvoer van mest uit de afdelingen naar de tunnel. Deze aanvoer werd gestuurd op basis van de hoeveelheid (massa) natte mest op de bovenste mestband van de tunnel. De gedroogde mest werd met vijzels naar buiten afgevoerd en in een container opgeslagen.

### 2.5 Meetperioden en proefbehandelingen

Van 21 oktober 1991 tot en met 4 november 1992 werden gedurende vijf perioden van ca. 35 dagen metingen verricht. In tabel 3 zijn de meetperioden weergegeven. Meet-

**Tabel 3** Overzicht van de meetperioden en uitgevoerde proefbehandelingen. K = korte contactafstand tussen drooglucht en mest; L = lange contactafstand tussen drooglucht en mest.

**Table 3** Survey of the measuring periods and treatments. K = short contact length between drying air and manure; L = long contact length between drying air and manure.

Periode	Datum	Aantal dagen	Verblijftijd mest in stal + tunnel [uren]	Luchtstromingspatroon door tunnel
1A	21/10/91 - 03/12/91	43	ca. 70	K
1B	03/12/91 - 19/12/91	16	40	L
2	08/01/92 - 31/01/92	23	40	L
3	26/03/92 - 29/04/92	34	40	K
4	02/07/92 - 05/08/92	34	40	K
5	01/10/92 - 04/11/92	34	40	L

periode 1 is in tweeën gesplitst door een wijziging van de instellingen van de droogtunnel. Het betrof een verhoging van de draaisnelheid van de mestbanden in de tunnel en in de afdelingen. Tijdens periode 1B en ook later draaiden de mestbanden in de afdelingen 5 tot 7 meter per uur; de faeces verbleven zodoende maximaal 13 tot 18 uur in de stal. De verblijftijd van de mest in de droogtunnel was ca. 24 uur. De faeces was zodoende maximaal ca. 40 uren oud bij het verlaten van de droogtunnel. De totale verblijftijd van de mest in stal plus droogtunnel tijdens periode 1A werd geschat op ten minste ca. 70 uur.

De stroming van de stallucht door de tunnelgang en de droogtunnel werd tijdens de legronde een aantal malen veranderd met als doel de mestdroging in de tunnel te verbeteren. Ten opzichte van de uitgangssituatie, aangeduid als patroon 'K' (kort), was de luchtstroming tijdens de perioden 1B, 2 en 5 gewijzigd in patroon 'L' (lang) (tabel 3). Voor de verandering van het luchtstromingspatroon op 6 december 1991 is in tabel 3 ter vereenvoudiging 3 december aangehouden. Bij stromingspatroon 'K' bedroeg de contactafstand of weglengte tussen drooglucht en mest ongeveer de helft van de afstand bij patroon 'L'. Bij patroon 'L' werd de middelste tunnelinlaatopening (nr. 2) gebruikt als uitlaatopening. De twee oorspronkelijke uitlaatopeningen werden dichtgemaakt. Tijdens periode 1B en 2 werd dit gerealiseerd door de vier middelste deuren van de afscheidingen op de twee plaatsen met tunnelventilatoren in de tunnelgang te openen. Voorafgaand aan periode 5 werden de tunnelventilatoren verplaatst naar de tunnelinlaatopening in het midden van de stal. Tijdens periode 2 werd getracht het ventilatiedebiet door de droogtunnel te vergroten door, naast de tunnelventilatoren, ook met stalventilatoren 4 en 5 stallucht door de droogtunnel te zuigen. Deze twee ventilatoren stonden continu aan. Verder werd reeds bij het begin van periode 1A het gedeelte van de geperforeerde baksteenlaag tussen de twee uitlaatopeningen in de wanden tussen de gang en de afdelingen afgesloten.

Tijdens periode 1A waren er problemen met grondwater bij de mestopvoervijzel van de tunnel. Hierdoor werd de aangevoerde mest uit de afdelingen natter. Gedurende de laatste weken van periode 5 waren er technische problemen met de mestbanden in de droogtunnel en in de afdelingen. De mestbanden hebben enige tijd stilgestaan omdat ze gerepareerd moesten worden.



## 2.6 Luchtmetingen

Tijdens de meetperioden werden de volgende variabelen vastgelegd:

- NH<sub>3</sub>-concentratie van de uitgaande tunnellucht;
- NH<sub>3</sub>-concentratie van de uitgaande stallucht;
- NH<sub>3</sub>-concentratie van de buitenlucht;
- NH<sub>3</sub>-concentratie van intredende tunnellucht;
- ventilatiedebiet per ventilatiekoker;
- relatieve luchtvochtigheid in de vier onderafdelingen, in de twee afzuigruimten van de droogtunnel en buiten;
- temperatuur in de vier onderafdelingen, in de twee afzuigruimten van de droogtunnel en buiten;
- luchtstromingspatroon rond de tunnel (eenmalig tijdens periode 3).

De ammoniakconcentraties werden continu gemeten met behulp van een NO<sub>x</sub>-monitor (Monitor Labs nitrogen oxides analyzer model 8840). De meting is gebaseerd op de chemoluminescentie-reactie tussen ozon (O<sub>3</sub>) en stikstofmonoxyde (NO):



Deze methode is beschreven door Scholtens (1993). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van het systeem en de meetopstelling. Het meetbereik van de monitor bedroeg 50 ppm NO. Om ammoniakconcentraties te kunnen meten, werd de NH<sub>3</sub> eerst omgezet met een convertor in NO. In de convertor passeerde de luchtstroom een filter en werd vervolgens verhit tot 775 °C. Bij deze temperatuur werd NH<sub>3</sub> katalytisch (m.b.v. roestvrij staal) geoxydeerd tot NO. De convertor was zo dicht mogelijk bij het monsternamepunt gemonteerd om transport van ammoniak tot een minimum te beperken. Ammoniak adsorbeert gemakkelijk aan allerlei materialen en lost goed op in water, waardoor metingen verstoord kunnen worden. De te bemonsteren lucht werd continu aangezogen door slangen van FEP-teflon. Om condensvorming in de slangen te voorkomen, werden alle slangen met een verwarmingslint en isolatiemateriaal omwikkeld.

De ammoniakconcentratie van de uitgaande tunnellucht werd gemeten in twee van de vier kokers van de tunnelventilatoren (nr. 10 en 12). Deze meetpunten zijn in figuur 2 benoemd als tunnelkoker 1 en 2. Er is vanuit gegaan dat deze meetpunten representatief waren voor de tunnelventilatoren per uitlaatopening. De ammoniakconcentratie van de uitgaande stallucht werd gemeten in drie van de acht kokers van de stalventilatoren. Deze meetpunten zijn in figuur 2 benoemd als stalkoker 1 tot en met 3. Het concentratiemeetpunt per groep ventilatiekokers bevond zich in die koker waarvan de ventilator als eerste aanspraak maakte. Daarnaast werd de ammoniakconcentratie van de intredende tunnellucht bij de drie luchtinlaatopeningen van de tunnel gemeten. Deze plaatsen zijn in figuur 2 benoemd als tunnelinlaat 1 tot en met 3. Het meetpunt voor de ammoniakconcentratie in de buitenlucht is eveneens in figuur 2 aangegeven. Het ventilatiedebiet door de kokers werd gemeten met behulp van meetventilatoren die in de kokers waren geplaatst. Per omwenteling van de meetventilator werden vier pulsen afgegeven die werden geregistreerd. De relatie tussen het aantal omwentelingen en het debiet werd bepaald met behulp van een volgens (voormalige) NEN-norm 1048-11 gebouwde windtunnel. De relatie tussen het ventilatiedebiet Q (m<sup>3</sup>/uur) en de puls frequentie X (aantal

pulsen/10 s) was voor de meetventilatoren in de kokers van de tunnelventilatoren ( $\varnothing$  63 cm):

$$Q = 8,46 * X + 223$$

en voor de meetventilatoren in de kokers van de stalventilatoren ( $\varnothing$  56 cm):

$$Q = 12,71 * X + 45$$

De temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid werden gemeten met temperatuur- en luchtvochtigheidssensoren (Rotronic hygrometer L-100 serie) met een nauwkeurigheid van respectievelijk 0,5 °C en 1,5%. De meetpunten zijn in figuur 2 weergegeven als RV/T met volgnummer 1 tot en met 7. De sensoren in de vier onderafdelingen hingen ca. 0,6 meter boven de zitstokken van de bovenste etage; de buitensensor hing onder de dakgoot en was beschermd tegen zoninstraling.

Ter controle van het veronderstelde ventilatiepatroon in stal en tunnel werd met behulp van een rookgasapparaat (merk: Mini Mist) het stromingspatroon van de stallucht door de tunnelgang en de droogtunnel onderzocht. Hiertoe werd rook verspreid over de gehele lengte van de tunnel in zowel de tunnelgang als daarboven en buiten ter plaatse van de afvoer van gedroogde mest. Tegelijkertijd werd de verplaatsing van de rook waargenomen. Eén persoon bevond zich hierbij in de tunnelgang en één persoon daarboven.

## 2.7 Mest- en strooiselmetingen

Verspreid over de legronde werden monsters van de bandmest genomen (IMAG-DLO, ID-DLO en Hendrix 'Voeders'). De monsters werden genomen van mest die de droogtunnel in ging en uit kwam en van mest in de opslagcontainer. De monsters werden geanalyseerd op het drogestofgehalte. De laboratoriumanalyses werden uitgevoerd met behulp van een droogstoof volgens NEN 6620.

Strooiselmonsters werden door het IMAG-DLO vlak na periode 2, vlak voor periode 4 en tijdens periode 5 verzameld. De eerste keer zijn vijf monsters genomen op vijf plaatsen, verspreid over de stal; de tweede keer mengmonsters van de linker- en rechterafdeling en de laatste keer per gangpad een mengmonster. De mest- en strooiselmonsters werden maximaal 7 dagen bewaard in een koelkast bij 0 °C. De monsters werden geanalyseerd op drogestofgehalte, pH, asgehalte, totaalstikstofgehalte en ammoniakale stikstof. De laboratoriumanalyses zijn uitgevoerd volgens de normen NEN 6620 (droge stof en as), NEN 6481 (N-Kjeldahl), NEN 3235 4.1 ( $\text{NH}_4^+$ ). De pH werd bepaald in een mengsel van twee delen gedemineraliseerd water op één deel mest. De laagdikte van het strooisel werd in ieder gangpad op ca. 10 plaatsen eenmaal per meetperiode gemeten met een duimstok. De kwaliteit van het strooisel werd tijdens de meetperioden wekelijks beoordeeld, waarbij werd gelet op de plakkerigheid en losheid van het strooisel. De beoordeling was subjectief.

## 2.8 Dataverwerking

De ammoniakconcentraties, de ventilatiedebieten, de temperaturen en de relatieve luchtvochtigheden werden continu geregistreerd met een programmeerbare datalogger. Eén keer per acht minuten werd op alle meetpunten een meting verricht. Per twee uur werden de waarden gemiddeld en weggeschreven naar een opslagmedium (datakaartje). Elke week werd de apparatuur gecontroleerd, de NO-monitor geijkt en zondig de luchtfilters van de convertors vervangen.

In tabel 4 zijn de meetpunten voor de ammoniakconcentraties en de ventilatiedebieten weergegeven. De emissie werd berekend als het produkt van de ammoniakconcentratie en het ventilatiedebiet. De gemeten ammoniakconcentratie in parts per million (ppm) werd omgerekend naar  $\text{mg/m}^3$ . De ventilatiedebieten van meetventilator 1 tot en met 3 werden opgeteld en vermenigvuldigd met de ammoniakconcentratie die in stalkoker 1 werd gemeten. Hetzelfde was van toepassing op meetventilator 4 en 5, meetventilator 6, 7 en 8, meetventilator 9 en 10 en meetventilator 11 en 12. De totale ammoniakemissie van de stal was opgebouwd uit de emissie uit "afdelingen II" plus de som van de emissie uit de 'afdelingen I + droogtunnel'. De netto bijdrage van de tunnel aan de emissie werd berekend uit het debiet door de tunnel en het verschil tussen de ammoniakconcentraties van de ingaande en uitgaande ventilatielucht. Bij luchtstromingspatroon 'K' werd aangenomen dat tunnelinlaten 1 en 2 evenredig bijdroegen aan het debiet door tunnelventilatoren 9 en 10 en dat tunnelinlaten 2 en 3 evenredig bijdroegen aan het debiet door tunnelventilatoren 11 en 12. Bij patroon 'L' werd aangenomen dat inlaatopeningen 1 en 3 evenredig bijdroegen aan het debiet.

De stikstofgehalten van de strooiselmonsters werden omgerekend naar de gehalten per kg as, zodat werd gecorrigeerd voor verschillen in drogestofgehalte en voor verschillen in

Tabel 4 Schematische weergave van de berekeningswijze van de ammoniakemissie.  
*Table 4 Schematic reproduction of the calculation of the emission of ammonia.*

Naam ventilatiekoker	Meet-ventilator	Naam en plaats $\text{NH}_3$ -meetpunt	Berekening ammoniakemissie		
stalventilator 1	1	stalkoker 1	emissie stalkoker 1	emissie afdelingen II	stal-emissie
stalventilator 2	2		emissie stalkoker 2		
stalventilator 3	3				
stalventilator 4	4	stalkoker 2		emissie stalkoker 3	
stalventilator 5	5				
stalventilator 6	6				
stalventilator 7	7				
stalventilator 8	8	stalkoker 3			
tunnelventilator	9	tunnelkoker 1	emissie tunnl 1	emissie afdelingen	emissie tunnel
tunnelventilator	10			+ tunnel	
tunnelventilator	11	tunnelkoker 2	emissie tunnel 2		
tunnelventilator	12				
			tunnelinlaat 1 tunnelinlaat 2 tunnelinlaat 3	emissie afdelingen I	emissie afdelingen I

drogestofafbraak. Tevens werd het aandeel van de ammoniakstikstof ten opzichte van het totaalstikstofgehalte berekend. De stikstofbalans van de mest werd doorgerekend, te weten de stikstofvervluchtiging uit het strooisel en de bandmest. Dit werd gedaan op basis van de gemeten stikstofgehalten in de faeces, het strooisel en de bandmest.

De vochtbalans van de stal, of beter het vochttransport door de stal, werd berekend uit de klimaatgegevens van de buitenlucht, de lucht in de afdelingen en de lucht bij de tunneluitlaten. De absolute vochtgehalten ( $\text{g/m}^3$ ) van de in- en uitgaande lucht werden van elkaar afgetrokken en vermenigvuldigd met het ventilatiedebiet (afdelingsgehalten minus buitengehalte; tunnelgehalten minus afdelingsgehalten). De vochtemissie uit de tunnel was de som van de voorste en de achterste tunnelhelft. De klimaatgegevens van onderafdelingen 1 en 3 werden gebruikt voor de ingaande lucht van de voorste helft; die van onderafdelingen 2 en 4 voor de achterste helft. Voor vergelijking met de gemeten vochtemissies werd de vochtverdamping uit het strooisel en de bandmest in de stal en droogtunnel en de vochtproductie door de hennen berekend.

Van de parameters die continu werden gemeten, werden dag- en periodegemiddelden berekend. De gemeten waarden (2-uursgemiddelden) werden actuele waarden genoemd. Bij de berekening van de ammoniakemissie per dierplaats per jaar is uitgegaan van een legronde van 14 maanden, 2 maanden leegstand en het aantal opgehokte hennen als zijnde het aantal dierplaatsen. Het aantal dierplaatsen is derhalve constant verondersteld gedurende een legronde, terwijl het aantal aanwezige hennen afneemt door uitval (De Winkel, 1988). Bij het ontbreken van meetgegevens over een bepaalde periode door storing, werden data geïnterpoleerd met behulp van een regressieberekening.

## 3 Resultaten

### 3.1 Ammoniakemissie

In tabel 5 zijn de ammoniakconcentraties van de drooglucht bij tunnelinlaten en tunneluitlaten weergegeven (periodegemiddelden). Voor perioden 1A, 3 en 4 is de gemiddelde concentratie van de ingaande drooglucht berekend uit de gemiddelde concentratie bij het voorste (inlaat 1 en 2) en achterste deel (inlaat 2 en 3) van de droogtunnel. Er waren nl. drie inlaatopeningen en twee tunneluitlaten bij stromingspatroon 'K'. Voor periode 1B, 2 en 5 is de gemiddelde concentratie berekend uit de waarden bij inlaat 1 en 3 omdat er twee inlaatopeningen en één uitlaatopening waren bij stromingspatroon 'L'. In bijlage A zijn de gemiddelde concentraties per opening gegeven.

Tabel 5 Gemiddelde ammoniakconcentraties ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) per meetperiode van de drooglucht bij de inlaat- en uitlaatopeningen van de tunnel.

Table 5 Mean ammonia concentrations ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) per measuring period at the inlet and outlet openings of the tunnel.

	Meetperiode					
	1A	1B	2	3	4	5
tunnelinlaat	7,35	8,09	1,95	1,01	0,97	4,99
tunneuitlaat	11,52	4,80	1,40	0,57	0,73	4,17

De ammoniakconcentraties van de stallucht bij de tunnelinlaten waren het hoogst tijdens perioden 1A en 1B; dit was ook het geval bij de concentraties van de tunneluitlaten. De concentraties bij de in- en uitlaten lagen tijdens perioden 2, 3 en 4 onder  $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; tijdens periode 5 stegen zij tot ca.  $6,5 \text{ mg}/\text{m}^3$  (zie bijlage A). Uit bijlage A blijkt verder dat de concentraties bij inlaat 3 bijna altijd hoger waren dan voorin en midden in de stal. Daarbij moet vermeld worden dat tijdens de aanloopfase in periode 1 natte mest op de vloer van de tunnelgang en de tunnel lag als gevolg van problemen met de mestverdeling op de bovenste mestband van de droogtunnel.

Uit tabel 5 blijkt dat tijdens perioden 1B tot en met 5 de concentraties bij de tunneluitlaten lager waren dan bij de tunnelinlaten. Alleen tijdens periode 1A was het omgekeerde het geval. De hogere gemiddelde ammoniakconcentratie bij de inlaatopeningen was onafhankelijk van de bijdrage van de afzonderlijke openingen aan het totale inlaatsdebiet, omdat de concentraties bij de (afzonderlijke) uitlaten nagenoeg altijd lager waren dan bij de afzonderlijke inlaten. Derhalve was tijdens alle meetperioden, periode 1A uitgezonderd, de berekende netto-ammoniakemissie uit de mestdroogtunnel laag en vaak zelfs negatief.

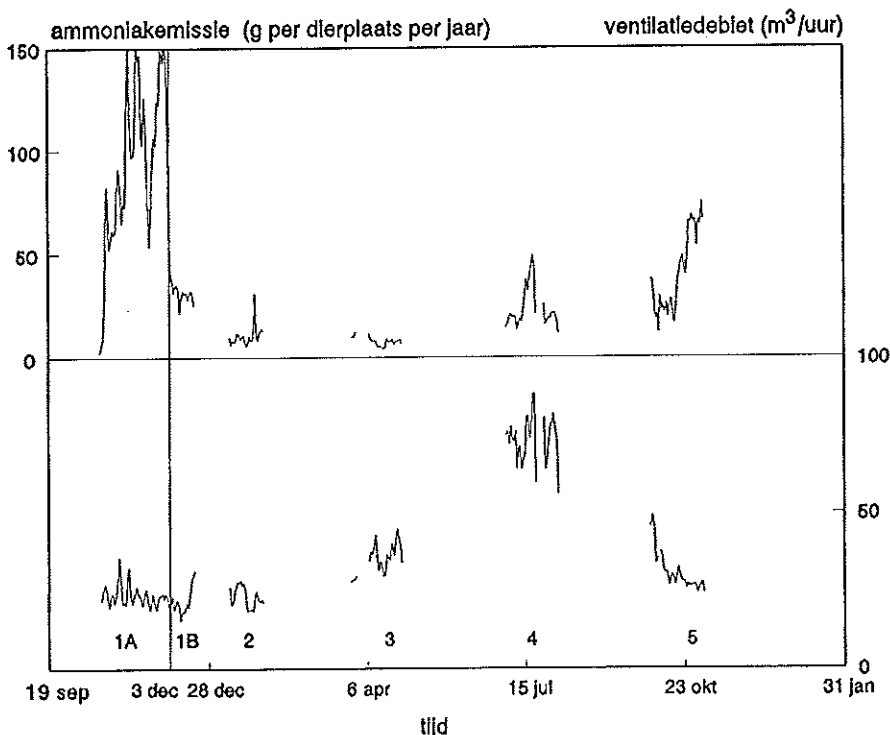
De totale stalemissie per periode is weergegeven in tabel 6. De emissie is omgerekend naar de emissie per dierplaats per jaar ( $\text{g} \cdot \text{dp}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ ), zodat vergelijking mogelijk is met de emissiefactor. Uit tabel 6 blijkt dat de emissie sterk varieerde tijdens de legronde. De

**Tabel 6** Totale ammoniakemissie, uitgedrukt in g NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar, per meetperiode.  
**Table 6** Total ammonia emission in g NH<sub>3</sub> per henplace per year, per measuring period.

	Meetperiode					
	1A	1B	2	3	4	5
ammoniakemissie	87,5	33,6	10,3	7,5	23,6	40,1

laagste emissie werd gemeten in januari (periode 2) en april (periode 3) en de hoogste emissie in oktober (periode 5) en november (periode 1A).

In figuur 3 is de ammoniakemissie tijdens de legronde weergegeven (daggemiddelden). Hieruit blijkt dat de emissie met name binnen perioden 1A, 4 en 5 sterk varieerde. Dit waren tevens de perioden met de hoogste emissie. Na opzet van de hennen steeg de emissie snel binnen enkele dagen (begin periode 1A). De wijziging van de draaisnelheid van de mestbanden in de tunnel en de stal op 3 december leidde direct (binnen enkele dagen) tot een verlaging van de emissie. Dit is terug te vinden in het verschil in de ammoniakemissie tussen periode 1A en 1B (fig. 3 en tabel 6). De wijziging van het luchtstromingspatroon van 'K' naar 'L' op 6 december had geen (zichtbaar) effect op de



**Figuur 3** De totale ammoniakemissie (bovenste deel) en het ventilatiedebiet (onderste deel) tijdens de legronde (daggemiddelden). De verticale lijn geeft de scheiding tussen periode 1A en 1B aan.

**Figure 3** The total ammonia emission (upper part) and the ventilation rate (lower part) during the laying period (daily averages). The vertical line indicates the separation of period 1 in A and B.

ammoniakemissie. Tijdens periode 2 lag de emissie ( $10,3 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ ) lager dan tijdens periode 1B ( $33,6 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ ). Ondanks dat de luchtstroming door de tunnel tijdens periode 3 weer terug was gebracht naar patroon 'K', was de emissie ( $7,5 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ ) lager dan tijdens periode 2. Bij hetzelfde luchtstromingspatroon, tijdens periode 4, lag de emissie hoger, nl.  $23,6 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ . Met de beschikbare meetgegevens kon hiervoor geen oorzaak worden aangegeven. De aanpassing van de tunnel en de omschakeling naar patroon 'L', voorafgaand aan meetperiode 5, hadden eveneens geen zichtbaar effect op de emissie in het eerste deel van deze meetperiode; deze lag op hetzelfde niveau als tijdens periode 4. De oplopende emissie in de tweede helft van periode 5 viel samen met de langere verblijftijd van de mest in de afdelingen en de tunnel als gevolg van storingen en reparaties aan de mestbanden. De relatie tussen het ventilatiedebiet en de emissie was niet eenduidig. Zo daalde de emissie bij een gelijkblijvend of toenemend debiet (overgang periode 1B-2 en periode 2-3), steeg de emissie bij hogere ventilatiedebieten (periode 4) of bleef deze gelijk bij afnemende ventilatiedebieten (eerste helft periode 5).

### 3.2 Klimaat

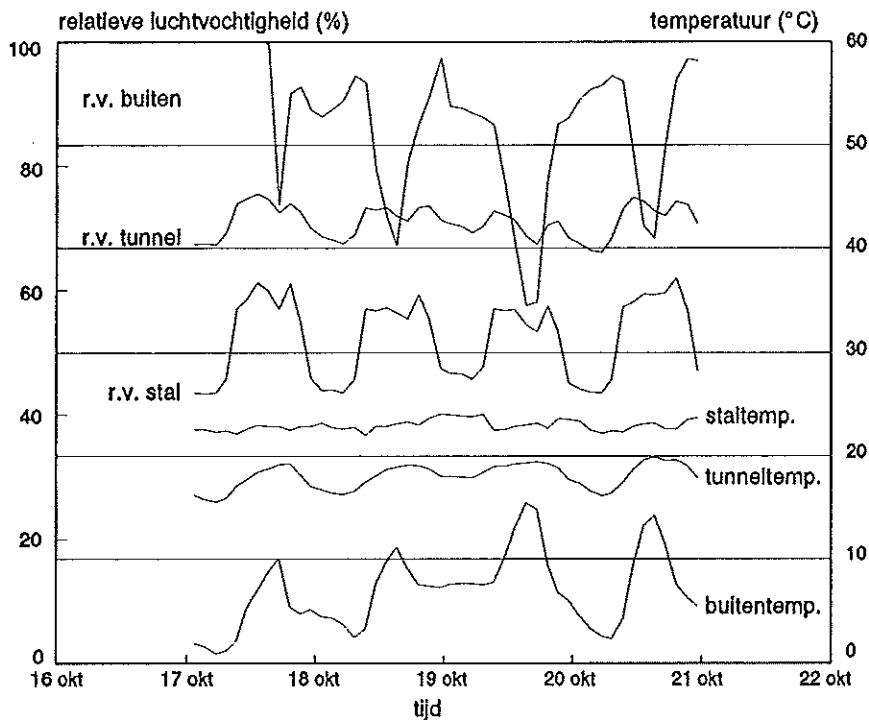
De gemeten klimaatvariabelen zijn weergegeven in tabel 7. Uit de analyse van de metingen aan de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid bleek dat er geringe verschillen optraden tussen de vier onderafdelingen. De temperatuurverschillen bedroegen maximaal ca.  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  en de luchtvochtigheidsverschillen maximaal 6%. Zowel de temperatuur als de relatieve luchtvochtigheid vertoonde een dag-nacht ritme (fig. 4). De temperatuur schommelde voor alle afdelingen doorgaans tussen  $20$  en  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Alleen tijdens periode 4 waren er dagen dat de temperatuur opliep tot  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . De actuele relatieve luchtvochtigheid in de afdelingen varieerde tussen 40 en 70%, waarbij de hoogste waarden overdag werden gemeten (fig. 4).

De gemiddelde waarden van de parameters van het buitenklimaat per periode laten een temperatuur- en luchtvochtigheidsverloop over het jaar zien (tabel 7). De seizoensinvloed op de temperatuur was enigszins tegengesteld aan de invloed op de relatieve luchtvochtigheid. De dagvariatie liet dit beeld duidelijker zien: hogere temperaturen overdag vielen samen met lagere luchtvochtigheden en omgekeerd (fig. 4).

De gemiddelde temperatuur per periode van de lucht die werd afgezogen via de tunnel

Tabel 7 Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid, temperatuur en ventilatiedebiet per meetperiode.  
Table 7 Mean relative humidity, temperature and ventilation rate per measuring period.

		Meetperiode						
		1A	1B	2	3	4	5	gem.
r.v. buiten	(%)	96	91	94	82	87	90	87
temperatuur buiten	( $^\circ\text{C}$ )	6,2	1,4	2,7	9,6	19,7	7,9	8,3
r.v. stal gemiddeld	(%)	57	58	55	51	60	56	56
temperatuur stal gemiddeld	( $^\circ\text{C}$ )	22,5	22,8	21,9	23,2	24,1	22,9	22,9
r.v. tunnel (uitgaand)	(%)	87	92	87	80	82	82	85
temperatuur tunnel (uitgaand)	( $^\circ\text{C}$ )	16,7	15,4	14,9	17,1	20,8	17,4	17,2
ventilatiedebiet ( $\text{m}^3/\text{hen.uur}$ )		1,00	0,94	1,02	1,57	3,31	1,36	1,53



**Figuur 4** Verloop van de luchtvochtigheid (%) en de temperatuur (°C) van de buitenlucht, in de afdelingen (stal) en in de uitlaat van de droogtunnel.

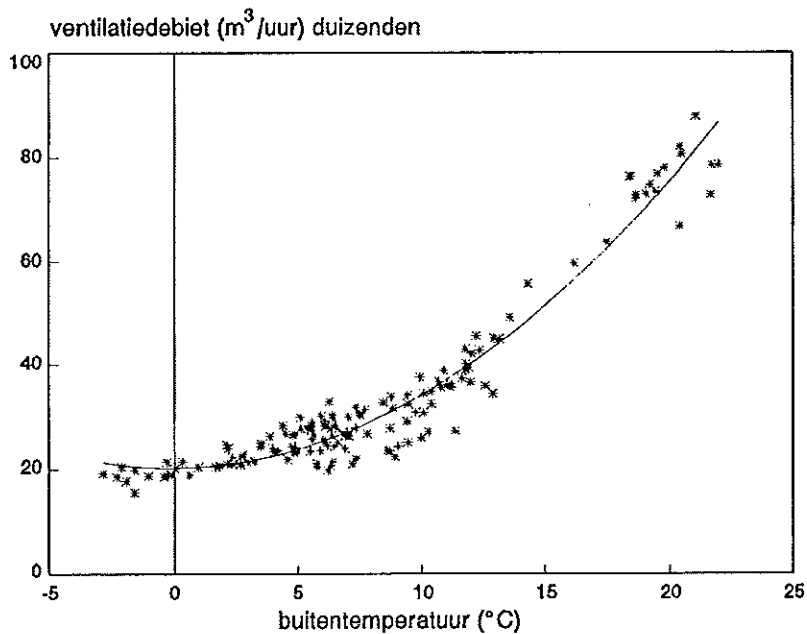
**Figure 4** Course of relative humidity (%) and temperature (°C) of the outside air, the air in the animal house and the outlet of the drying tunnel.

was, evenals de gemiddelde staltemperatuur, het hoogst tijdens periode 4 (tabel 7). De actuele waarde lag tussen 10 en 26 °C. De temperatuur van de afgezogen lucht was altijd lager dan de temperatuur in de onderafdelingen, doorgaans ca. 3 tot 7 °C. De kleinste verschillen traden op in de warmste periode (periode 4). De relatieve vochtigheid van de lucht uit de tunnel was altijd hoger dan die van de lucht in de afdelingen. Tijdens periode 1 (A en B) en 2 schommelde de luchtvochtigheid in de tunnel rond 90%. In periode 3, 4 en 5 lag deze rond 80%. Afgezien van periode 1 was de lucht nooit verzadigd met waterdamp (r.v. 100%) bij het verlaten van de tunnel.

### 3.3 Ventilatie

Het verloop van het ventilatiedebiet per dier liep synchroon aan de variatie van de buitentemperatuur (tabel 7). Het daggemiddelde debiet varieerde tussen 0,67 en 3,84 m<sup>3</sup>/uur. Om de relatie tussen het debiet en de buitentemperatuur zichtbaar te maken is in figuur 5 het totale ventilatiedebiet uitgezet tegen de buitentemperatuur (daggemiddelden). Hieruit blijkt dat er een sterk verband was tussen de buitentemperatuur en het ventilatiedebiet. Deze relatie was een logisch gevolg van de aanwezige klimaatregeling met vaste streef temperatuur. Dit verband wordt goed benaderd door de volgende vergelijking (bijlage B):





**Figuur 5** De relatie tussen het totale ventilatie-debiet en de buitentemperatuur (daggemiddelden). Gemeten punten en regressie-benadering.  
**Figure 5** The relation between the total ventilation rate and the outdoor temperature (day averages). Measured points and regression line.

$$Q = 136,00 * T^2 + 45,6 * T + 20.148$$

met:

Q = totaal ventilatie-debiet [m<sup>3</sup>/uur]

T = buitentemperatuur [°C]

In tabel 8 worden de buitentemperatuur en het ventilatie-debiet door de droogtunnel weergegeven (periodegemiddelden). Het absolute debiet door de tunnel was redelijk constant over de 5 perioden, afgezien van periode 3, waarin het debiet veel hoger was. Het actuele debiet varieerde sterker, nl. tussen 15.000 en 32.000 m<sup>3</sup>/uur. Bij de lagere buitentemperaturen (periode 1 en 2) werd (nagenoeg) het gehele ventilatie-debiet door de droogtunnel gezogen. Bij hogere buitentemperaturen daalde het relatieve aandeel, tot zelfs 33% tijdens periode 4. De wijzigingen aan de droogtunnel voorafgaand aan periode 2, om het debiet door de tunnel te verhogen, hadden geen succes, omdat het totale ventilatie-debiet laag was als gevolg van lage buitentemperaturen. Tijdens alle meetperioden daalde het actuele debiet door de tunnel tot ca. 5.000 à 10.000 m<sup>3</sup>/uur als de eerste stalventilator(en) werd(en) ingeschakeld. Daarnaast daalde het actuele debiet door de tunnel als gevolg van vervuiling van de ventilatiekokers en de ventilatoren. Met name in periode 5 daalde het actuele debiet per tunnelventilator binnen enkele weken met ca. 1.000 m<sup>3</sup>/uur. Mede hierdoor ontstonden verschillen in het ventilatie-debiet tussen de afzonderlijke tunnelventilatoren die opliepen tot 2.000 m<sup>3</sup>/uur.

**Tabel 8** Gemiddelde buitentemperatuur en ventilatiedebiet door de droogtunnel per periode.  
**Table 8** Average outside temperature and ventilation rate through the drying tunnel.

	Meetperiode						gem.
	1A	1B	2	3	4	5	
buitentemperatuur (°C)	6,2	1,4	2,7	9,6	19,7	7,9	8,3
ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /uur)	21048	21483	23298	29770	24271	24412	23973
ventilatiedebiet (% van totaal)	91	100	100	84	33	81	68

Uit de rookproeven bleek dat buitenlucht werd aangezogen via de afvoervijzel voor de gedroogde mest uit de droogtunnel. Deze lucht stroomde over de vloer van de tunnelgang naar de achterste inlaatopening (tunnelinlaat 3). Behalve lucht uit de afdelingen, werd hier dus ook buitenlucht aangezogen die niet of nauwelijks met elkaar waren gemengd bij de achterste inlaatopening van de tunnel. Bij de andere tunnelinlaten en het plafond van de droogtunnel zijn geen luchtstromingen geconstateerd die afweken van de beschrijving in hoofdstuk 2.

### 3.4 Mestanalyses

De drogestofgehalten van de bandmest staan in tabel 9. Hierin zijn de resultaten van alle bepalingen samengevoegd. Hoewel het drogestofgehalte van de mest in de tunnel altijd sterk steeg, nl. van ca. 260 - 300 g/kg tot 420 - 620 g/kg, werd op de tijdstippen van monsternamen het gewenste drogestofgehalte van 700 g/kg, ofwel 70%, nooit bereikt.

**Tabel 9** Drogestofgehalten (g/kg) van de bandmest voor en na droging in de tunnel.  
**Table 9** Dry matter contents (g/kg) of the manure on the belts before and after drying in the tunnel.

Datum	Periode	Drogestofgehalten van bandmest (g/kg) per meetplaats		
		tunnel ingaand	tunnel uitgaand	opslagcontainer
8 januari	2	295	557	513
21 februari	-	-	491	-
5 maart	-	267	546	-
3 april	3	-	-	472
7 april	3	269	420	-
12 mei	-	-	-	468
11 juni	-	-	620	-
22 oktober	5	306	488	-
gemiddeld	1-5	284	520	484

De gemiddelde resultaten van de chemische analyses van het strooisel en de bandmest zijn vermeld in tabel 10. De volledige resultaten zijn vermeld in bijlage C. Het tweede strooiselmonsters van periode 2 had voor meerdere parameters meer of minder afwijkende waarden. De gemiddelde pH van de strooiselmonsters varieerde tussen 7,7 en 8,3 (tabel 10). Dit is hoog ten opzichte van de pH van de verse mest die de tunnel ingaat (6,0). Ook de pH van de gedroogde bandmest was relatief hoog. Het drogestofgehalte van het strooisel lag tussen 781 en 830 g/kg. Als wordt aangenomen dat de faeces van de

Tabel 10 Samenstelling en eigenschappen van strooisel en bandmest.  
 Table 10 Composition and properties of litter and manure.

Datum	Periode	Soort monster	NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	N <sub>kj</sub> (g/kg)	pH (-)	D.S. (g/kg)	As (% ds)	NH <sub>4</sub> -N (g/kg as)	N <sub>kj</sub> (g/kg as)	NH <sub>4</sub> -N (% N)
6 februari	2	strooisel	1,86	23,3	8,1	830	46,6	5,23	61,5	8
24 juni	4	strooisel	1,83	25,8	7,7	781	28,3	8,66	118,3	7
22 oktober	5	strooisel	2,02	22,2	8,3	786	33,0	8,33	86,5	9
legronde	2-5	strooisel	1,90	23,8	8,0	799	36,0	7,41	88,8	8
22 oktober	5	bandmest uit stal	1,70	14,6	6,0	306	21,8	25,48	218,9	12
22 oktober	5	bandmest uit tunnel	7,60	22,2	8,6	488	28,6	54,45	159,1	34

hennen een drogestofgehalte had dat vergelijkbaar is met dat van de bandmest (306 g/kg), dan blijkt dat de faeces die in het strooisel terecht kwam ver werd ingedroogd. Het asgehalte van zand, dat bij aanvang van de legronde het strooisel vormde, is nagenoeg 100%. Het asgehalte van het strooisel vertoonde een dalende lijn tot periode 4. Daarna bleef het min of meer constant. Het aandeel van het zand in het strooisel-mest mengsel nam dus af. Het evenwichts-asgehalte van het strooisel lag met ca. 30% ruim boven dat van het asgehalte van de verse bandmest (ca. 22%). Dit is te verklaren doordat in het strooisel afbraak van droge stof plaatsvond. Het totaalstikstofgehalte van verse mest (218,9 g/kg as) was veel hoger dan in de gedroogde mest (159,1 g/kg as) en het strooisel (61,5-118,3 g/kg as). In de bandmest uit de stal bevond zich 12% ammoniakale stikstof (NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); tijdens het droogproces in de tunnel liep dit percentage op tot 34%. Het relatieve aandeel van de ammoniakale stikstof in het strooisel lag tussen 5 en 11% (gemiddeld 8%).

De laagdikte van het strooisel bleef tijdens de legronde redelijk constant (ca. 5 cm). Alleen tegen het einde van de legronde nam de dikte van de strooisellaag toe tot ca. 8 cm. Het strooisel was tijdens alle meetperioden droog en rul.

De gegevens in tabel 10 werden gebruikt om de (theoretische) ammoniakemissie uit het strooisel en de bandmest in de droogtunnel te berekenen onder de aanname dat alle stikstof vervluchtigde in de vorm van ammoniak (bijlage D). De berekende emissie uit het strooisel in de afdelingen en de bandmest in de tunnel was dan respectievelijk 73 en 109 g.dp<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> en de stalemissie 182 g.dp<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>.

### 3.5 Vochtbalans

Tabel 11 geeft een overzicht van de belangrijkste vochtbronnen in de stal. Per periode zijn de gemeten waterstromen uit de stal en de tunnel en de berekende vochtproductie van de bronnen weergegeven. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in bijlage E. De gemeten vochtemissie uit de stal (afdelingen en droogtunnel) tijdens periode 5 was laag ten opzichte van de overige perioden. De vochtemissie uit de tunnel tijdens periode 2 was ook laag. De gemeten vochtemissies uit de afdelingen en de droogtunnel stemden redelijk overeen met de berekende waarden (periode 1-4). De relatieve

afwijkingen op stalniveau tussen de gemeten en berekende waarden bedroegen maximaal ca. 10%, maar waren wel alle negatief. De vochtproductie van het strooisel bedroeg 20% van de vochtemissie uit de stal. De relatief geringe droging van de bandmest in de afdelingen droeg voor 36% bij aan de vochtemissie uit de stal. De vochtemissie uit het achterste deel van de tunnel was altijd lager dan uit het voorste deel. Hoewel de gemiddelde vochtemissie van het achterste deel voor alle perioden positief was, was de actuele waarde vaak negatief. Omdat de waarden van het achterste tunneldeel meestal veel lager waren dan de theoretisch berekende waarden, werd getwijfeld aan de nauwkeurigheid hiervan. Er werd derhalve een gecorrigeerde som berekend, zijnde tweemaal de waarde van het voorste deel. De vochtemissie tijdens periode 3 en 4 werd hierdoor zeer sterk verhoogd. Dit leek niet realistisch, zodat de ongecorrigeerde waarden zijn gebruikt om de vochtemissie uit de stal te berekenen.

**Tabel 11** Gemeten en berekende vochtemissie uit de stal (absoluut in kg H<sub>2</sub>O/uur en relatief in %) per periode.

**Table 11** Measured and calculated water emissions (kg H<sub>2</sub>O/h and %) from the compartments and the drying tunnel.

	Gemeten vochtemissie per periode					Berekend	
	abs. 1	abs. 2	abs. 3	abs. 4	abs. 5	abs. 1-5	rel. 1-5
afdelingen							
– strooisel	--	--	--	--	--	27,0	19,7
– bandmest	--	--	--	--	--	48,9	35,7
– hennen	--	--	--	--	--	23,6	17,2
som	98,2	105,2	98,9	32,5	99,5	72,7	
droogtunnel							
– voor	15,8	10,8	33,8	34,7	14,7	18,7	13,7
– achter	14,4	6,5	2,1	8,3	3,8	18,7	13,7
som	30,2	17,3	35,9	43,0	18,5	37,4	27,3
som gecorrigeerd	31,6	21,6	67,6	69,4	29,4	37,4	27,3
stal totaal							
(niet gecorrigeerd)	128,4	122,5	134,8	133,2	51,0	136,9	100,0
verschil t.o.v. berekend [%]	-6,2	-10,5	-1,5	-2,7	-62,7	0,0	

## 4 Discussie

### 4.1 Ammoniakemissie

De opzet van het onderzoek was zodanig dat de bijdragen van de afdelingen en van de droogtunnel aan de totale ammoniakemissie afzonderlijk zouden kunnen worden vastgesteld. Uit de resultaten bleek dat de ammoniakemissie uit de droogtunnel laag en vaak zelfs negatief was. Bij de meting van de ammoniakemissie uit de tunnel traden een aantal verschijnselen op die de waargenomen emissies wellicht kunnen verklaren.

Achterin de tunnelgang werd de mest uit de afdelingen verdeeld over de bovenste band van de tunnel. Bij deze verdeling trad met name tijdens periode 1 veel vermorsing op en uit de natte mest die op de vloer terecht kwam kon veel ammoniak emitteren. Door het continue transport van bandmest naar het achterste deel van de stal was de gemiddelde ouderdom van de bandmest daar tijdens alle meetperioden het hoogst, zodat deze mest ook hogere ammoniakconcentraties bevatte. Dit werd bevestigd door het ammoniakgehalte van de bandmest (een mengsel van faeces van maximaal 18 uur oud en strooisel) die de tunnel inging van 12%, terwijl verse faeces nauwelijks of geen ammoniak bevat (Groot Koerkamp, 1994). De hogere ammoniakconcentraties bij inlaatopening 3 konden hiermee verklaard worden.

Omdat de ammoniakconcentraties bij de tunnelinlaten niet gelijk waren, was het dus van belang te weten hoeveel lucht bij elke inlaat naar binnen stroomde. Dit debiet per inlaatopening werd echter niet gemeten, zodat hiervoor een aanname moest worden gedaan: bij ieder afzuigpunt werd het debiet gelijkelijk over twee inlaatopeningen verdeeld (zie berekeningswijze emissie). Uit de resultaten bleek echter dat aanpassing van de berekeningswijze op grond van een andere debietverdeling over de inlaatopeningen nooit tot een positieve ammoniakemissie uit de tunnel zou leiden.

Als gevolg van het aanzuigen van buitenlucht via het mestafvoerkanaal en het niet (volledig) mengen van deze lucht met de stallucht was het monsternamepunt voor de ammoniakconcentratie bij tunnelinlaat 3 niet representatief. De gemeten ammoniakconcentratie vertegenwoordigde die van de stallucht, terwijl de werkelijke concentratie na volledige menging van de twee luchtstromen lager zou zijn geweest. Daarnaast konden nog concentratieverschillen optreden tussen de stallucht uit de linker- en de rechterafdeling. Wellicht dat ook bij de inlaatopeningen 1 en 2 onvolledige menging van de lucht uit de afdelingen optrad, zodat ook hier niet altijd aan een representatief luchtmonster gemeten werd.

Naast de meettechnische problemen, die een verklaring kunnen zijn voor de kleine of negatieve tunnelemissie, bestond er de (theoretische) mogelijkheid dat de natte mest in de tunnel ammoniak opnam. Resultaten van emissiemetingen aan een andere mestdroogtunnel lieten minimale emissies zien van ca.  $10 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  (Demmers *et al.*, 1992). Derhalve zijn er redenen om te twijfelen aan de gemeten negatieve ammoniakemissie uit de tunnel.

Het bestaan van concentratieverschillen en onvolledige menging van luchtstromen waren verantwoordelijk voor het feit dat geen representatieve meetpunten konden worden gevonden bij de inlaatopeningen van de droogtunnel. Geconcludeerd werd derhalve dat de tunnelemissie niet nauwkeurig kon worden berekend uit de meetgegevens door meettechnische problemen waarvoor bij de berekeningen niet gecorrigeerd kon worden.

Om in de gegeven situatie toch een indruk te krijgen van de ammoniakemissie uit de droogtunnel werd een schatting gemaakt van de maximale emissie (bijlage F). Bij een maximaal concentratieverschil van 1 ppm tussen inlaat- en uitlaatopeningen zou de (maximale) ammoniakemissie uit de tunnel ca.  $7 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  zijn geweest. Deze waarde kwam redelijk overeen met gegevens van metingen aan een andere droogtunnel (Demmers *et al.*, 1992). Splitsing van de totale stalemissie in een emissie uit de tunnel en een emissie uit de afdelingen was derhalve niet zinvol. Door het toegepaste mestbehandelingssysteem was er al een directe koppeling tussen de afdelingen en de tunnel: het mesttransport in de afdelingen was afhankelijk van dat in de tunnel. Ondanks de problemen die optraden bij het meten van de ammoniakemissie uit de tunnel werd de ammoniakemissie uit de totale stal altijd correct gemeten. De ammoniakemissie uit de stal werd derhalve geanalyseerd in relatie tot de instellingen van het mestbehandelingssysteem (de verblijftijd van de mest in de stal en het luchtstromingspatroon door de tunnel), de strooiselkwaliteit en het buitenklimaat.

De totale ammoniakemissie lag zowel ver onder (ca.  $8 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ ) als ver boven (ca.  $88 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ ) de norm voor leghennen gehuisvest in legbatterijen ( $35 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ ; Richtlijn Ammoniak en Veehouderij, 1991). Tijdens periode 1A duurde het naar schatting 70 uur voordat de faeces uit de stal en door de droogtunnel was getransporteerd. Hierdoor kon reeds in de afdelingen en in de tunnel als gevolg van afbraakprocessen veel ammoniak ontstaan en emitteren. Het versnellen van de afvoer via mestbanden in de tunnel en de afdelingen verminderde de verblijftijd tot ca. 40 uur en leidde direct tot een verlaging van de emissie tot ca.  $34 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ . De hogere emissie tijdens periode 5 werd veroorzaakt door een oplopende emissie in het tweede deel van de periode. Evenals in periode 1A kon dit verklaard worden door een langere verblijftijd van de mest in de afdelingen en de tunnel, hier echter als gevolg van storingen en reparaties aan de mestbanden. Het werd niet waarschijnlijk geacht dat de abrupte stijging van de emissie in periode 5 te maken had met de langzaam toenemende laagdikte van het strooisel aan het einde van de legronde. De variatie in de ammoniakemissie tussen de overige perioden, 1B tot en met 4, kon niet verklaard worden aan de hand van de uitgevoerde instelling van het luchtstromingspatroon. Bij beide patronen 'K' en 'L' zijn lagere en hogere emissies gemeten. De lagere emissie tijdens periode 3 viel samen met het hoogste ventilatiedebiet door de tunnel. Ook toen was de droging van de bandmest niet optimaal, zodat een vermindering van de ammoniakemissie uit de tunnel door een betere droging niet waarschijnlijk was. Hoewel een negatieve relatie tussen het ventilatiedebiet en de ammoniakemissie werd verwacht (droger strooisel emitteert minder) werd deze hypothese niet door de resultaten bevestigd. De dikkere strooisellaag tijdens het einde van de legronde (periode 4 en aanvang periode 5) zou verantwoordelijk kunnen zijn voor een hoger emissieniveau ten opzichte van periode 2 en 3.

De gemiddelde ammoniakemissie over een periode van drie zomermaanden uit een voliërestal met het etagesysteem was  $130 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ , terwijl ditzelfde systeem onder semi-

praktijkomstandigheden gemiddeld over drie voorjaarsmaanden een emissieniveau van  $90 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  had (Groot Koerkamp, 1992a). Uit de vergelijking van de ammoniakemissie van de onderzochte stal, exclusief periode 1A, met deze metingen blijkt dat de emissie van het Multifloorsysteem veel lager was. De afvoerfrequentie van de bandmest bedroeg 1 respectievelijk 2 maal per week voor de beide etagesystemen, terwijl in de onderzochte situatie de bandmest na maximaal 18 uur uit de afdelingen was verwijderd. Uit onderzoek aan legbatterijen (Kroodsma *et al.*, 1988) is bekend dat de emissie van bandmest gedurende een aantal dagen snel oploopt, zodat een deel van het verschil verklaard kon worden door de verschillende ontmestingsfrequenties van de bandmest. Het lijkt niet waarschijnlijk dat daar het gehele verschil mee verklaard wordt, zodat ook de ammoniakemissie uit het strooisel lager moet zijn geweest. Dat de ammoniakemissie uit strooisel ook binnen een legronde sterk kan variëren, bleek uit de verschillen die optraden in de ammoniakemissie tussen periode 1B, 2, 3 en 4 met respectievelijk 33,6, 10,3, 7,5, en 23,6  $\text{g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ . Tijdens deze perioden was de afvoer van bandmest uit de afdelingen en door de tunnel gelijk. Dat de ammoniakemissie uit het strooisel ook absoluut gezien gedurende enkele perioden gering was, blijkt als de laagste emissies, 7,5 tot 10,3  $\text{g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ , werden vergeleken met de emissie uit een batterijstal met continue afvoer van natte bandmest, ca.  $10 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$  (Demmers *et al.*, 1992).

## 4.2 Klimaat

De klimaatverschillen tussen de onderafdelingen waren klein en de gemeten temperaturen weken slechts weinig af van de ingestelde streefwaarde. De temperatuur- en luchtvochtigheidssensoren in de onderafdelingen hingen boven de zitstokken van de bovenste etages, een plaats waar zich zowel overdag als 's nachts dieren bevonden. De stallucht verliet de afdelingen vlak boven de vloer; door de neerwaartse stroming van de lucht in de (onder-) afdelingen zou zowel de temperatuur als de luchtvochtigheid nog toenemen voordat zij door de geperforeerde stenen werd afgezogen. Het vocht als gevolg van verdamping uit strooisel en bandmest en de vocht- en warmteproductie door de hennen moesten nl. ook met de stallucht worden afgevoerd. Er kon derhalve niets gezegd worden over de temperatuur- en luchtvochtigheidsverdeling binnen een onderafdeling. De pluimveehouder had de indruk dat de windrichting veel invloed had op de luchtverdeling in de stal en daarmee op de plaats waar de meeste (stal)lucht de tunnelgang binnenkwam. Tijdens periode 1A werd veel lucht uit het midden van de stal afgezogen, waardoor de temperatuur in het midden van de afdelingen sterk daalde. Het afdichten van een gedeelte van de geperforeerde baksteenlaag heeft dit probleem niet geheel opgelost. Er kon echter gesteld worden dat het klimaat in de stal in het algemeen voldeed aan algemeen geldende eisen (Bloem *et al.*, 1986).

## 4.3 Ventilatie en droging in de tunnel

Uit het gerealiseerde stalklimaat en het verband tussen de buitentemperatuur en het ventilatiedebiet bleek dat de totale ventilatiecapaciteit voldoende was om bij hoge buitentemperaturen een aanvaardbare staltemperatuur te handhaven. Daarnaast was de stal in de gegeven situatie voldoende geïsoleerd om bij lage buitentemperaturen een minimumdebiet door de droogtunnel te kunnen realiseren. Door het inschakelen van de

stalventilatoren verminderde het actuele debiet door de droogtunnel. De stalventilatoren waren dus een concurrent van de tunnelventilatoren bij het aanzuigen van stal-lucht uit de tunnelgang. De tunnelventilatoren ondervonden daarbij weerstand van de luchtstroom door de droogtunnel. De daling van het actuele debiet door de tunnel was echter niet terug te vinden in de periodegemiddelden. Het gemiddelde debiet per periode was niet lager bij een kleiner aandeel in het totale ventilatiedebiet. Hieruit werd geconcludeerd dat de daling slechts tijdelijk optrad.

De droging van de mest in de tunnel kon worden afgeleid uit de verzadigingsgraad met waterdamp van de uitgaande lucht, het debiet door de tunnel en het drogestofgehalte van de uitgaande mest. Er werd gestreefd naar een drogestofgehalte van de gedroogde mest van 70%. Tijdens periode 1 (A en B) en 2 was de r.v. van de uitgaande lucht ca. 90%. De wateractiviteit ( $A_w$ ) van mest was ca. 0,9, zodat de lucht de maximale hoeveelheid waterdamp had opgenomen. De wateractiviteit van een stof is gedefinieerd als het evenwichtsvochtgehalte van de lucht boven de stof in een gesloten ruimte gedeeld door 100%. Het verschil in de verblijftijd van de mest in de tunnel en het wijzigen van de luchtstroming door de droogtunnel tussen periode 1A en periode 1B en 2 had blijkbaar geen effect op de verzadigingsgraad van de uitgaande lucht. Tijdens perioden 3, 4 en 5 was de uitgaande lucht niet verzadigd. Beide luchtstromingspatronen werden gemeten. Het luchtstromingspatroon had ook hier blijkbaar geen invloed op de vochtopname door de lucht. Verder was tijdens periode 3 het debiet door de tunnel aanzienlijk hoger dan tijdens de andere perioden. De mest in tunnel werd echter nooit voldoende gedroogd, ook niet tijdens periode 3. Uit Demmers *et al.* (1992) blijkt echter dat drogestofgehalten tussen 70 en 80% in een droogtunnel haalbaar zijn, met name tijdens zomerperioden. Op basis van de huidige meetgegevens kon de oorzaak van de beperkte droogcapaciteit van deze tunnel niet worden aangegeven.

#### 4.4 Strooiselkwaliteit en laagdikte

Uit de resultaten blijkt dat de kwaliteit van het strooisel gedurende de gehele legronde goed was. De droging van de faeces, i.c. de vochtverdamping uit het strooisel, was voldoende. Opmerkelijk was dat de faeces die in het strooisel terecht kwam veel verder werd ingedroogd dan de faeces die als bandmest in de tunnel werd gedroogd (gemiddeld 520 g d.s./kg). Naast de vochtbalans van het strooisel was ook de massabalans redelijk in evenwicht, zoals blijkt uit de constante laagdikte van het strooisel. De aanvoer van faeces naar het strooisel was dus ongeveer gelijk aan de afvoer via de mestbanden (aaneen afvoer in kg droge stof). De hennen schudden het strooisel uit het verenpakket boven de roosters. De toegenomen laagdikte aan het einde van de legronde kon waarschijnlijk worden toegeschreven aan de verminderde scharrelactiviteit van de hennen als gevolg van het toegenomen diergewicht (minder verplaatsingen per hen) en de afname van het aantal hennen door uitval. Hierdoor werd minder strooisel meegenomen naar de mestbanden. Deze effecten waren blijkbaar sterker dan de afname van de hoeveelheid geproduceerde faeces in het strooisel.

#### 4.5 N-balans

De stikstofgehalten van het strooisel op basis van as konden in deze situatie niet zonder



meer gebruikt worden. Het zand in de strooiselruimte, waarmee de legronde werd gestart, bestond geheel uit as (ca. 100% van de droge stof). Uit de afname van het asgehalte van het strooisel gedurende de legronde bleek dat het aandeel van het zand in het strooiselmengsel (zand-mest) afnam. Er werd zowel zand als mest uit het strooisel afgevoerd naar de mestbanden, terwijl alleen verse faeces werd aangevoerd. Uit het feit dat het asgehalte van het strooisel in het tweede deel van de legronde (periode 4 en 5) constant werd, kan worden geconcludeerd dat er een evenwichtssituatie was ontstaan. De aanname bij de berekening van de ammoniakemissies dat er geen oorspronkelijk zand meer in het strooisel aanwezig was, lijkt derhalve gerechtvaardigd. Het asgehalte van het strooisel in de evenwichtssituatie was hoger dan dat van de bandmest. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is de afbraak van organische stof in het strooisel, waardoor het drogestofgehalte daalde, maar de hoeveelheid as gelijk bleef. De berekende ammoniakemissie als gevolg van stikstofverlies uit het strooisel,  $73 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ , leek niet onredelijk als het strooisel als belangrijkste ammoniakbron wordt aangemerkt. Hierbij is aangenomen dat alle stikstof vervluchtigde als ammoniak. Deze berekende emissie is echter aanzienlijk hoger dan de gemeten waarde gedurende deze periode, nl.  $40 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ . De berekeningswijze was erg gevoelig voor het aangenomen percentage faeces dat in het strooisel terecht kwam. Verlaging van dit percentage van 20 naar 10% verlaagde de strooiselemissie tot  $36 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ . De berekende emissie van de bandmest in de droogtunnel,  $109 \text{ g.dp}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ , was vele malen hoger dan de gemeten tunnelemissie. Het verlies aan stikstof uit de bandmestmonsters was hoog, ca. 25%. Ondanks dat de bandmest binnen 40 uur werd ingedroogd tot ca. 50% droge stof werd er al veel ammoniak gevormd. In combinatie met de pH van 8,6 was een deel van deze ammoniak beschikbaar voor vervluchtiging. Hoewel een gedeelte van het verschil tussen de berekende en gemeten tunnelemissie kon worden toegeschreven aan afwijkingen in de aannames, de monsternamen, de laboratoriumanalyse en variaties in de tijd, kan worden geconstateerd dat het kloppend maken van een stikstofbalans niet eenvoudig is. Vervluchtiging van stikstof anders dan als ammoniak was niet onmogelijk, maar het is niet reëel om op basis van deze enkele getallen het verschil tussen metingen en de stikstofbalans hiermee te verklaren.

#### 4.6 Ammoniakemissie en strooiselkwaliteit

Aangezien slechts op enkele dagen monsters zijn verzameld, kunnen nauwelijks uitspraken worden gedaan over de relatie tussen strooiseleigenschappen en de ammoniakemissie. Enkele opmerkingen zijn er echter wel over te maken. De variatie in het ammoniak/ammonium-gehalte, in combinatie met de zuurgraad van het strooisel, zou een verklaring kunnen zijn voor verschillen in de ammoniakemissie uit het strooisel. De gemiddelde ammoniakconcentratie was voor periode 2, 4 en 5 respectievelijk 1,86, 1,83 en 2,02 g/kg. De spreiding van de individuele monsters was echter groot, zodat de werkelijke verschillen tussen de perioden gering waren. Tijdens periode 4 was de pH van het strooisel het laagst, waardoor een groter deel van de aanwezige ammoniakale stikstof als ammonium was gebonden en derhalve niet beschikbaar was voor vervluchtiging. De emissie tijdens periode 4 was echter ca. 2,5 maal zo hoog als in periode 2, zodat door de pH van het strooisel de emissieverschillen niet zijn te verklaren. De hogere emissie tijdens periode 5 zou verklaard kunnen worden door een toename van de pH, waardoor de concentratie aan ammoniak hoger was. Daarnaast was de laagdikte van het strooisel toegenomen ten opzichte van de vorige perioden. Ook de ammoniakemissies uit de

eerder genoemde etagesystemen werden gemeten toen de laagdikte van het strooisel was toegenomen tot meer dan 10 cm. Er moet echter geconcludeerd worden dat ook uit deze resultaten geen duidelijke relatie tussen strooiselkwaliteit en ammoniakemissie bleek.

#### 4.7 Vochtbalans droogtunnel

De resultaten van de vochtemissiemetingen van de stal, te weten de afdelingen plus droogtunnel, waren opmerkelijk. Er kunnen een aantal oorzaken worden aangevoerd waarmee de waarnemingen wellicht verklaard kunnen worden. Voor de droogtunnel was de temperatuurdaling van de drooglucht en het grote verschil tussen de vocht-emissie uit het voorste en achterste deel opmerkelijk.

De temperatuurdaling van de drooglucht in de tunnel kan veroorzaakt zijn doordat de voor de vochtverdamping benodigde energie aan de lucht werd onttrokken. Hierdoor daalde de temperatuur van de drooglucht. Daarnaast kan ook de buitenlucht die werd aangezogen bij de inlaatopening achterin de stal hebben bijgedragen aan de temperatuurdaling van de uitgaande tunnellucht. Uit nadere analyse van de metingen bleek dat de temperatuur bij de achterste uitlaatopening altijd iets lager was dan bij de voorste opening, te weten 0,1 tot 0,9 °C (periodegemiddelden). Dit is gering ten opzichte van de temperatuurdaling van ca. 4 à 5 °C van de drooglucht, maar niet altijd verwaarloosbaar. Het temperatuurverschil tussen de voorste en achterste afdelingen was gering of niet aanwezig, zodat het verschil bij de uitlaten niet verklaard kan worden door een verschil bij de inlaatopeningen. Verder waren bij de inlaatopeningen van de tunnel geen temperatuur- en luchtvochtigheidssensoren geplaatst. Maar evenals bij het meten van de ammoniakconcentraties zou het ook voor de temperatuur en de luchtvochtigheid niet eenvoudig zijn geweest om een representatief meetpunt te vinden bij de tunnelinlaten. Het gebruik van de gemeten temperatuur en de luchtvochtigheid in de afdelingen voor de berekening van het vochtgehalte van de ingaande tunnellucht zal derhalve tot een kleine overschatting van de vochtemissie uit de tunnel kunnen hebben geleid. De sensor hing nl. op een plaats (boven de rustetage) waar het vochtgehalte van de stallucht waarschijnlijk lager was dan waar de stallucht de afdelingen verliet (onder de legnesten). Bovendien werd ook nu een aanname gedaan voor de verdeling van het tunneldebiet over de inlaatopeningen. Omdat de temperatuur- en luchtvochtigheidsverschillen tussen de afdelingen klein waren, zou dit slechts een kleine fout in de gemeten waarden hebben opgeleverd.

Hoewel de mestdroging in de tunnel niet altijd optimaal was en de vochtemissie uit het achterste tunneldeel vele malen kleiner was dan uit het voorste deel, kunnen er geen redenen worden aangevoerd waarom getwijfeld moet worden aan de droging in de achterste helft. De uitgevoerde correctie leidde echter niet tot een betere overeenstemming met de theoretische berekening van de vochtbalans op stalniveau. Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat de meting van de vochtemissie uit de achterste tunnelhelft niet correct was. Het aanzuigen van 'valse' buitenlucht via de mestvijzel kan hiervoor als mogelijke verklaring dienen. Dit heeft dan een groter effect gehad dan uit de metingen blijkt. De vochtemissie uit de droogtunnel bedroeg ca. 27% van de totale vochtbalans van de stal. De vochtverdamping in de tunnel was derhalve niet te verwaarlozen.

#### 4.8 Vochtbalans afdelingen

Voor de meting van de vochtemissies werd o.a. gebruikgemaakt van de temperatuur en de luchtvochtigheid van de buitenlucht. Vergelijking met andere waarnemingen (o.a. overzichten van KNMI) laat zien dat de gemeten waarden voor de relatieve luchtvochtigheid voor verschillende perioden, en met name voor periode 5, consequent hoger lagen. Dit leidde vermoedelijk tot een overschatting van het vochtgehalte van de buitenlucht en daarmee tot een onderschatting van de vochtemissie uit de afdelingen. Dit zou de lage waarde voor de vochtproduktie van de afdelingen tijdens periode 5 kunnen verklaren.

De gemeten en berekende vochtbalans van de afdelingen over periode 1 tot en met 4 zijn redelijk met elkaar in overeenstemming. De berekende vochtproducties van strooiel, bandmest en hennen zijn echter afhankelijk van de aannamen (zie bijlage E). Vooral de aanname van de verdeling van verse faeces in strooisel (20%) en als bandmest (80%) heeft grote invloed en kon niet geverifieerd worden aan de hand van de metingen. De gehanteerde verdeling stemde redelijk overeen met schattingen uit ander onderzoek in volièrerestallen (30%/70%). Opmerkelijk was het feit dat in deze situatie de vochtemissie uit de bandmest in de afdelingen (35,7%) bijna even groot was als de som van de vochtproduktie door het strooisel (19,7%) en de leghennen (17,2%). Dit werd veroorzaakt door een stijging van het drogestofgehalte van de faeces in de afdelingen van 20 naar 30%.

## 5 Conclusie

De totale ammoniakemissie uit de stal met het Multifloorsysteem plus de droogtunnel varieerde sterk, nl. tussen 7,5 en 87,5 g per dierplaats per jaar. Als de verblijftijd van de mest in de afdelingen en de droogtunnel werd teruggebracht van ca. 70 naar 40 uren lag de totale ammoniakemissie tussen 7,5 en 33,6 g per dierplaats per jaar. De bijdrage van de droogtunnel aan de totale emissie kon niet worden vastgesteld. De emissie uit deze stal was laag vergeleken met de ammoniakemissie uit andere volièresystemen.

Het debiet en het stromingspatroon van de drooglucht door de tunnel hadden geen effect op de ammoniakemissie en de vochtopname door de drooglucht. De droging van mest in de tunnel was tijdens dit onderzoek onvoldoende om de nagestreefde mestkwaliteit van 70% droge stof te halen.

De temperatuurregeling in de afdelingen functioneerde goed.

Een laaggelegen roostervloer bevorderde de afvoer van strooisel naar de mestbanden. Hierdoor en door voldoende vochtverdamping uit het strooisel bleef de kwaliteit van het strooisel de gehele legronde goed.

Hoewel er aanwijzingen zijn dat de samenstelling van het strooisel sterke invloed heeft op de ammoniakemissie, kan daaruit op basis van dit onderzoek in kwantitatieve zin geen conclusie worden getrokken.

De vochtbalans van de stal kan redelijk benaderd worden met theoretische berekeningen. Het strooisel en de bandmest in de afdelingen droegen voor respectievelijk ca. 20 en 36% bij aan de totale vochtemissie uit de stal, terwijl de vochtemissie uit de tunnel ca. 27% van het totaal bedroeg.

De berekende ammoniakemissie op basis van de stikstofbalans bedroeg 182 g per dierplaats per jaar. De verklaring voor het grote verschil met de gemeten emissies ligt bij fouten in de monsternamen, het beperkte aantal monsters, de laboratoriumanalyses en de aannamen voor de berekeningen.

## Summary

Ammonia emissions from animal husbandry systems in the Netherlands must be reduced by at least 50% in the year 2000. During 5 periods of approximately one month each, the ammonia emission from an aviary system for laying hens (Multifloor system) with a manure drying tunnel was measured. Approximately 23.000 laying hens were housed in 8 groups, with 987 cm<sup>2</sup> surface area per animal, of which 20% was covered with litter (sand-manure mixture). Air from outside entered the house through a ceiling with small holes and flowed to the tunnel via spacings under the laying nests. The faeces on the manure belts beneath the wire floors were removed continuously from the system to the drying tunnel. No litter treatment was undertaken.

The ammonia emission per period varied between 7.5 and 33.6 g NH<sub>3</sub> per animal per year for a 40-hour stay of faeces in the animal sections plus tunnel. This was almost equal or lower than the normative level of ammonia emission from battery cages (35 g NH<sub>3</sub> per animal per year). At a stay of 70 hours the emission rose to 87.5 g NH<sub>3</sub> per animal per year. No effect of ventilation air pattern in the tunnel and ventilation rate was found. The thickness of the litter remained almost constant at 8 cm, while ammonia/ammonium and total nitrogen concentrations rose to approx. 2.0 g/kg and 26 g/kg, respectively. The estimated emission of ammonia on the basis of nitrogen balances (182 g NH<sub>3</sub> per animal per year) was much higher than the measured levels. The contribution of the litter, the manure on the belts, the laying hens and the drying tunnel amounted to approx. 20, 36, 17 and 27% of the total water vapour production.

## Literatuur

- ASHRAE, 1993. Handbook of Fundamentals, American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta
- Bloem, L.J., W.A. Evers en P.I. Haartsen, 1986. Handboek voor de pluimveehouderij, Beekbergen, CAD Pluimveehouderij, 366 pp
- Blokhuis H.J. and J.H.M. Metz, 1992. Integration of welfare into housings systems for laying hens. Netherlands J. Agric. Science, 40, p. 327-337
- De Winkel, K. de, 1988. Ammoniak-emissiefactoren voor de veehouderij. Publicatiereeks Lucht 76, Ministerie van VROM, Leidschendam, 59 pp
- Demmers, T.G.M., M.G. Hissink en G.H. Uenk, 1992. Het drogen van puimveemest in een droogtunnel en het effect hiervan op de ammoniakemissie. Wageningen, IMAG-DLO rapport 92-6, Wageningen, 22 pp
- Ehlhardt, D.A., A.M.J. Donkers and W. Hiskemuller, 1989. Efficiency of the Tiered Wire Floor (TWF) aviary as a housing system for laying hens, compared to cages. In: Dodd and Grace (Editors), Land and Water Use, p. 1015-1019
- Groenestein, C.M. en E.N.J. van Ouwkerk, 1990. Rekenmodel van de energiebalans van leghennen (KIP), Wageningen, IMAG-DLO, rapport 227, 36 pp
- Groot Koerkamp, P.W.G., 1992a. Uit etagestal ontsnapt drie keer zoveel ammoniak; etage en batterij vergeleken. Pluimveehouderij 22 (21 februari), p. 10-11
- Groot Koerkamp, P.W.G., 1992b. Emissievermindering in de leghennensector, met bijzondere aandacht voor volièresystemen. In: Proceedings NRLO studiedag 'Welzijn en Milieu', 31 oktober 1991. NRLO-rapport nr. 93/1, p. 87-95
- Groot Koerkamp, P.W.G., 1994. Review on ammonia emissions from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. Journal of Agricultural Engineering Research (59): 73-87
- Groot Koerkamp, P.W.G. en T. de Haan, 1990. Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot, deel 1 en 4. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, September 1990, 108 pp
- Groot Koerkamp, P.W.G., N. Verdoes, L. Snel, G.J. Monteny en T. de Haan, 1990. Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot, deel 1-4. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, September 1990, 83 pp
- Heij, G.J. en Schneider, T., 1991. Dutch Priority Programme on Acidification, Final Report Second Phase Dutch Priority Programme on Acidification. RIVM no 200-09, p. 24

Kroodsmma, W., R. Scholtens en J.W.H. Huis in 't Veld, 1988. Ammonia emissions from poultry housing systems. In: Report 96, Proceedings of CIGR seminar Storing, Handling and Spreading of Manure and Municipal Waste 20-22 September, Uppsala, Sweden, 1988, (2): 7.1-7.13

Nationaal Milieubeleidsplan, 1989. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21 137, nrs. 1-2 p. 134, SDU uitgeverij 's-Gravenhage, p. 134

Richtlijn Ammoniak en Veehouderij, 1991. Richtlijn in het kader van de Hinderwet, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer, Den Haag, 36 pp

Scholtens, R., 1993. In: Ouwerkerk, E.N.J. van (ed.), Meetmethoden NH<sub>3</sub> uit stallen, rapport 16, DLO, 1993, Wageningen, p. 19-54

## Bijlagen

Bijlage A Ammoniakconcentraties in de lucht bij de in- en uitlaten van de droogtunnel (g NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>).

	Periode					
	1A	1B	2	3	4	5
tunnelinlaat 1	7,67	5,85	2,25	0,61	0,83	3,59
tunnelinlaat 2	4,69	–	–	0,76	0,77	–
tunnelinlaat 3	12,35	10,32	1,65	1,88	1,50	6,39
tunnelinlaat 1 en 2 (gem.)	6,18	–	–	0,69	0,80	–
tunnelinlaat 2 en 3 (gem.)	8,52	–	–	1,32	1,14	–
tunnelinlaat 1 en 3 (gem.)	–	8,09	1,95	–	–	4,99
tunneluitlaat 1	11,76	–	–	0,53	0,70	–
tunneluitlaat 2	11,27	–	–	0,61	0,76	–
tunneluitlaat	–	4,80	1,40	–	–	4,17



**Bijlage B** Resultaten van de regressie-analyse van de buitentemperatuur tegen het totale ventilatiedebiet op basis van daggemiddelden.

Constante		20148
Standaardfout geschatte Y		3979,432
R-kwadraat		0,94
Aantal waarnemingen		150
Vrijheidsgraden		147
Regressiecoëfficiënten	136,00	45,55
Standaardfout regressiecoëfficiënten	7,73	161,73

**Bijlage C Samenstelling en eigenschappen van strooisel en bandmest.**

Datum	Pe- ri- ode	Soort en herkomst monster	NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	N <sub>u</sub> (g/kg)	pH (-)	Droge stof (g/kg)	As (% ds)	NH <sub>4</sub> -N (g/kg as)	N <sub>u</sub> (g/kg as)	NH <sub>4</sub> -N (% N)
06-febr.-92	2	strooisel, plaats 1	1,36	21,4	8,5	848	54,5	2,94	46,3	6
06-febr.-92	2	strooisel, plaats 2	3,42	20,9	9,0	782	37,5	11,66	71,3	16
06-febr.-92	2	strooisel, plaats 3	1,64	25,6	7,4	822	45,3	4,40	68,8	6
06-febr.-92	2	strooisel, plaats 4	1,42	25,4	7,8	837	46,5	3,65	65,3	6
06-febr.-92	2	strooisel, plaats 5	1,48	23,4	7,6	859	49,0	3,52	55,6	6
06-febr.-92	2	strooisel gemiddeld	1,86	23,3	8,1	830	46,6	5,23	61,5	8
24-juni-92	4	strooisel onderafd. 1+2	2,28	25,4	8,2	773	25,1	11,75	130,9	9
24-juni-92	4	strooisel onderafd. 3+4	1,38	26,2	7,2	788	31,5	5,56	105,6	5
24-juni-92	4	strooisel gemiddeld	1,83	25,8	7,7	781	28,3	8,66	118,3	7
22-okt.-92	5	strooisel gangpad 1	2,13	22,5	8,3	776	28,3	9,70	102,5	10
22-okt.-92	5	strooisel gangpad 2	1,87	23,1	8,2	763	35,3	8,66	85,8	8
22-okt.-92	5	strooisel gangpad 3	1,65	21,9	8,1	816	34,9	5,79	76,9	8
22-okt.-92	5	strooisel gangpad 4	2,41	21,2	8,5	789	33,3	9,17	80,7	11
22-okt.-92	5	strooisel gemiddeld	2,02	22,2	8,3	786	33,0	8,33	86,5	9
legronde	2-5	strooisel gemiddeld	1,90	23,8	8,0	799	36,0	7,41	88,8	8
22-okt.-92	5	mest uit stal op 1* band	1,70	14,6	6,0	306	21,8	25,48	218,9	12
22-okt.-92	5	gedroogde mest uit tunnel	7,60	22,2	8,6	488	28,6	54,45	159,1	34

## Bijlage D Berekening ammoniakemissie uit strooisel en bandmest m.b.v. stikstofbalans.

### Aannamen

#### Faeces:

faecesproduktie: 150 gram/hen.dag	(Bloem <i>et al.</i> , 1986)
drogestofgehalte faeces: 250 g/kg	(Bloem <i>et al.</i> , 1986)
asgehalte faeces: 25% droge stof	(Bloem <i>et al.</i> , 1986)
strooisel bevat geen zand meer uit de aanvangsperiode	

#### N-gehalten (volgens tabel 10):

faeces: 200 g/kg as
gedroogde mest: 150 g/kg as
strooisel: 100 g/kg as

#### Stal:

percentage faeces in strooisel: 20
percentage faeces als bandmest: 80
laagdikte is constant: afvoer faeces gelijk aan aanvoer (afbraak van organische stof is buiten beschouwing gelaten; dit heeft echter geen invloed op de berekeningen)
ammoniakemissie uit bandmest in de afdelingen is verwaarloosd

#### Ammoniakemissie strooisel:

$$0,2 \cdot 150 \frac{\text{g faeces}}{\text{hen.dag}} \cdot 0,25 \frac{\text{g ds}}{\text{g faeces}} \cdot 0,25 \frac{\text{g as}}{\text{g ds}} \cdot \frac{(200-100)}{1000} \frac{\text{g N}}{\text{g as}} \cdot \frac{17}{14} \frac{\text{g NH}_3}{\text{g N}} \cdot 365 \frac{\text{dagen}}{\text{jaar}} \cdot \frac{14}{16} = 73 \frac{\text{g NH}_3}{\text{dp.jr}}$$

#### Ammoniakemissie droogtunnel:

$$1,0 \cdot 150 \frac{\text{g faeces}}{\text{hen.dag}} \cdot 0,25 \frac{\text{g ds}}{\text{g faeces}} \cdot 0,25 \frac{\text{g as}}{\text{g ds}} \cdot \frac{((0,8 \cdot 200 + 0,2 \cdot 100) - 150)}{1000} \frac{\text{g N}}{\text{g as}} \cdot \frac{17}{14} \frac{\text{g NH}_3}{\text{g N}} \cdot 365 \frac{\text{dagen}}{\text{jaar}} \cdot \frac{14}{16} = 109 \frac{\text{g NH}_3}{\text{dp.jr}}$$

Totale ammoniakemissie: 73 + 109 = 182 g.dierplaats<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup> (bij 20% faeces in strooisel)

Totale ammoniakemissie: 36 + 145 = 181 g.dierplaats<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup> (bij 10% faeces in strooisel)

## Bijlage E Berekening vochtproductie strooisel, bandmest en leghennen.

### Aannamen

#### Faeces en mest:

faecesproductie: 150 gram/hen.dag	(Bloem et al., 1986)
drogestofgehalte faeces: 200 g/kg (of 4,0 kg water/kg d.s.)	(Bloem et al., 1986)
drogestofgehalte bandmest tunnel in: 300 g/kg of 2,3 kg water/kg d.s.	(tabel 9)
drogestofgehalte bandmest tunnel uit: 500 g/kg (of 1,0 kg water/kg d.s.)	(tabel 9)
drogestofgehalte strooisel: 800 g/kg (of 0,25 kg water/kg d.s.)	(tabel 10)

#### Dieren:

aantal hennen: 23.000
latente warmteproductie: 0,60 - 0,70 W/hen (temperatuur 20-25 °C)
(naar Groenestein en Ouwerkerk, 1990)

#### Stal:

percentage faeces in strooisel: 20
percentage faeces als bandmest: 80

De afbraak van organische stof (droge stof) is bij deze berekeningen voor zowel de bandmest als het strooisel verwaarloosd.

Verdampingswarmte water:  $2,45 \cdot 10^6$  J/kg H<sub>2</sub>O (21,5 °C) (ASHRAE, 1993)

#### Vochtverdamping strooisel:

$$0,2 \cdot 0,150 \frac{\text{kg faeces}}{\text{hen.dag}} \cdot 0,25 \frac{\text{kg droge stof}}{\text{kg faeces}} \cdot (4,0 - 0,25) \frac{\text{kg water}}{\text{kg droge stof}} \cdot \frac{23.000 \text{ hennen}}{24 \text{ uur / dag}} = 27,0 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{uur}}$$

#### Vochtverdamping bandmest in afdelingen:

$$0,8 \cdot 0,150 \frac{\text{kg faeces}}{\text{hen.dag}} \cdot 0,25 \frac{\text{kg droge stof}}{\text{kg faeces}} \cdot (4,0 - 2,3) \frac{\text{kg water}}{\text{kg droge stof}} \cdot \frac{23.000 \text{ hennen}}{24 \text{ uur / dag}} = 48,9 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{uur}}$$

#### Vochtverdamping bandmest in droogtunnel:

$$0,8 \cdot 0,150 \frac{\text{kg faeces}}{\text{hen.dag}} \cdot 0,25 \frac{\text{kg droge stof}}{\text{kg faeces}} \cdot (2,3 - 1,0) \frac{\text{kg water}}{\text{kg droge stof}} \cdot \frac{23.000 \text{ hennen}}{24 \text{ uur / dag}} = 37,4 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{uur}}$$

#### Vochtverdamping hennen:

$$\frac{0,70 \text{ J / s.hen}}{2,45 \cdot 10^6 \text{ J / kg H}_2\text{O}} \cdot 23.000 \text{ hennen} \cdot 3.600 \text{ s / uur} = 23,6 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{uur}}$$

**Bijlage F** Berekening ammoniakemissie uit droogtunnel m.b.v. meetgegevens.

Aannamen

Ammoniakconcentraties:

verschil tussen voorste inlaten en voorste uitlaat maximaal 1 ppm

Ventilatie debiet:

maximaal debiet door droogtunnel: 30.000 m<sup>3</sup>/uur

Dieren:

aantal dieren: 23.000 hennen

Stal:

concentratieverschillen voorste deel van de tunnel gebruikt voor achterste deel

Ammoniakemissie droogtunnel:

$$\frac{30.000 \text{ m}^3/\text{uur} * 1 \text{ ppm} * 0,71 \text{ mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{ppm})}{1000 \text{ mg/g}} * \frac{24 \text{ uur/dag} * 365 \text{ dagen/jaar}}{23.000 \text{ hennen}} * \frac{14}{16} = 7,1 \frac{\text{g NH}_3}{\text{dpjr}}$$

## Rapportenoverzicht 1994

- 94-1 Bleijenberg, R. en J.P.M. Ploegaert, 1994 – Handleiding voor de IMAG-DLO meetmethode ter bepaling van ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-2 Hendriks, J.G.L. en J.F.M. Huijsmans 1994 – Trekkkrachtbehoefte van sleepvoeten- en zodebemestertechnieken op grasland.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 44 pp. f 35,00
- 94-3 Elderen, E. van en G.H. Kroeze, 1994 – Operational decision making for arable and grassland farms.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 74 pp f 35,00
- 94-4 Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsma, W. en W.J. de Boer 1994 – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp f 30,00
- 94-5 Arts, W.B.M., Verwijs, B.R. en J. van Maanen, 1994 – De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproductie.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 69 pp. f 35,00
- 94-6 Boer, W.J. de, Keen, A. en G.J. Monteny, 1994 – Het effect van spoelen op de ammoniakemissie uit melkveestallen. Het schatten van behandelingseffecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp. f 30
- 94-7 Huis in 't Veld, J.W.H., Boer, W.J. de en W. Kroodsma, 1994 – Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 25 pp. f 30,00
- 94-8 Breemhaar, H.G. en A. Bouman, 1994 – Mechanische oogst en schoning van nieuwe oliehoudende gewassen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 30,00
- 94-9 Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1994 – Een statisch en dynamisch simulatiemodel voor klimaatprocessen en energiestromen in kassen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 40,00
- 94-10 Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1994 – Effect van grondbuiskoeling en indirecte verdampingskoeling op de ventilatie in kassen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 29 pp. f 30,00
- 94-11 Lokhorst, C., Smits, A.C., Niekerk, Th. van en A.M. van de Weerdhof, 1994 – Programma van eisen voor de inrichting van volièrestallen voor leghennen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 51 pp. f 30,00
- 94-12 Straelen, B.C.P.M. van, 1994 – Remsystemen voor landbouwwagens.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 65 pp. f 30,00
- 94-13 Swierstra, D., Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsma, W. en M.C.J. Smits, 1994 – Ammoniakemissie en stroefheid van roostervloeren en dichte vloeren in ligboxenstallen voor rundvee.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00
- 94-15 Boer, W.J. de en N.W.M. Ogink, 1994. – Het effect van ventilatie en temperatuur op de ammoniakemissie uit een rundveestal : het schatten van behandelings-

- effecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-16 Ketelaar-de Lauwere, C.C. en E. Benders, 1994. – De invloed van het additioneel verstrekken van krachtvoer in de selectiebox en het melken op de bezoeken van koeien aan het automatisch melksysteem.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00
- 94-17 Top, M. van den, Akkermans, R. en H.H.E. Oude Vrielink, 1994. – Ergonomische knelpunten van volièr- en legbatterijhuisvestingssystemen voor leghennen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 40,00
- 94-18 Burgers, B.C.H., Dieën, J.H. van en H.M. Toussaint, 1994 – Arbeidsongeschiktheid in de agrarische sector in Nederland.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 72 pp. f 45,00
- 94-19 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissiebeperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1992) : onderzoek depositie en emissie van gewasbeschermingsmiddelen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 94-20 Braak, N.J. van de en P. Knies, 1994 – Onderzoek naar de invloed van schermtoepassing op energieverbruik en relatieve vochtigheid in kassen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 35,00
- 94-21 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink, 1994. – Praktijkonderzoek naar het drogen van leghennenmest in een droogtunnel en het effect op de ammoniak-, geur- en stofemissie.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-22 Bruins, M.A., Kroodsmma, W. en R. Scholtens, 1994 – Ammoniak- en geuremissie uit een gesloten opslag voor voorgedroogde leghennenmest: een oriënterend onderzoek.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-23 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissiebeperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1993) : onderzoek emissie van gewasbeschermingsmiddelen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 40,00
- 94-24 Zwart, H.F. de en J.P.G. Huijs, 1994 – Optimale bufferafmeting bij assimilatiebelichting met WKK in eilandbedrijf.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 94-25 Frénay, J.W., Straman, J.P. and C.R. Braam, 1994 – Circular prefabricated concrete tanks.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 45,00
- 94-26 Smits, A.C., Plomp, M. en S.A. Goedegebuure, 1995 – Vergelijking van gedrag, produktie en gezondheid van vleesstieren gehouden op betonnen en op met rubber beklede roostervloeren  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 45 pp. f 35,00
- 94-27 Maeyer, E.A.A. de en W. Huisman, 1995 – Oogst- en conserveringstechniek van vezelhennep.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 134 pp. f 45,00
- 94-28 Groot Koerkamp, P.W.G. en H. Montsma, 1995 – De ammoniakemissie uit een volièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroogtunnel.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00

- 94-29 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.P.G en J.F.M. Huijsmans, 1994 – De invloed van een windhaag op emissies bij fruitteeltsputen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. f 30,00
- 94-30 Ouwerkerk, E.N.J. van en P. Knies, 1995 – Energieverbruik en mogelijkheden van energiebesparing op verwarming en ventilatie in de intensieve veehouderij.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-32 Ouwerkerk, E.N.J. van en A.J.A. Aarnink, 1995 – Gasproductie in vleesvarkensstallen.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 30,00
- 94-34 Elzing, A., Commissaris, A.C.H.M., Oosthoek, J. en C.M. Groenestein, 1995 – De urease-activiteit en de ammoniakemissie in varkensstallen met een mestschuifstelsysteem onder de roostervloer.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 30,00
- 94-36 J.P.G. Huijs, J.P.G. en P. Knies, 1995 – Warmtekrachtkoppeling geëxploiteerd door glastuinders; energetische en economische effecten.  
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00

De rapporten kunt u schriftelijk bestellen door overmaking van het genoemde bedrag op Postbanknummer 3514771 ten name van IMAG-DLO te Wageningen, onder vermelding van het rapportnummer.

Reports must be ordered by transferring the appropriate amount (in Dutch Guilders) to the IMAG-DLO account, no. 3514771, at the Postbank, Wageningen, quoting the relevant report number(s)