

# Het effect van strooiseldrogen op de ammoniakemissie uit een stal voor vleeskuiken- ouderdieren

P.W.G. Groot Koerkamp  
M. Gerritsen

## Intern verslag

Nota P 96-27  
April 1996

DLO Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO)  
Mansholtlaan 10-12  
Postbus 43, 6700 AA Wageningen  
Telefoon 0317 - 476300  
Telefax 0317 - 425670

Interne mededeling IMAG-DLO. Niets uit deze nota mag elders worden vermeld, of worden vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het instituut.

Bronvermelding zonder weergave van de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van de volledige vermelding van: auteursnaam, jaartal, titel, instituut en notanummer en de toevoeging: 'niet gepubliceerd'.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form of by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the institute.

# Voorwoord

De overheid heeft zich ten doel gesteld de ammoniakemissie uit de landbouw fors te reduceren. Overheid en bedrijfsleven hebben het onderzoek naar het verminderen van de problematiek versneld met de vorming van het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA). Het onderzoek naar het terugdringen van het mestoverschot en het verminderen van de ammoniakuitstoot wordt uitgevoerd op bedrijfsniveau en daarbuiten. Het onderzoek beschreven in dit verslag is gedeeltelijk gefinancierd door het FOMA en onderdeel van het onderzoek naar emissie-arme huisvesting voor pluimvee in huisvestingsystemen met strooisel.

Het onderzoek naar het effect van strooiseldrogen op de ammoniakemissie uit een pluimveestal vond plaats in een praktijkstal voor vleeskuikenouderdieren. Een speciaal dankwoord gaat derhalve uit naar de gastvrijheid van de eigenaar van de praktijkstal. Onderzoek uitvoeren in pluimveestallen betekent risico's nemen ten aanzien van de produktie van de kippen. Jos Baak was bereed deze risico's te nemen, om zo het onderzoek naar emissie-arme huisvestingsystemen van dienst te kunnen zijn.

# Inhoud

|   |    |
|---|----|
| SAMENVATTING                                    | 5  |
| 1 INLEIDING                                     | 6  |
| 1.1 Het probleem van ammoniak                   | 6  |
| 1.1.1 Uitstoot en verspreiding                  | 6  |
| 1.1.2 Effecten van ammoniak                     | 6  |
| 1.1.3 Beleidsdoelstellingen                     | 7  |
| 1.2 Pluimveehouderij                            | 8  |
| 1.3 Vleeskuiken-ouderdieren                     | 8  |
| 1.4 Doel van dit onderzoek                      | 9  |
| 2 THEORIE EN LITERATUUR                         | 11 |
| 2.1 Produktie en samenstelling van mest         | 11 |
| 2.2 Vorming van ammoniak                        | 12 |
| 2.3 Vervluchtiging van ammoniak                 | 14 |
| 2.4 Reduktie van emissie                        | 15 |
| 2.5 Verdamping van water                        | 16 |
| 3 MATERIAAL EN METHODE                          | 17 |
| 3.1 Stal en inrichting                          | 17 |
| 3.2 Zoötechniek                                 | 19 |
| 3.3 Bedrijfsvoering                             | 20 |
| 3.3.1 Klimaatregeling                           | 20 |
| 3.3.2 Voerverstrekking en drinkwatervoorziening | 20 |
| 3.3.3 Gezondheidszorg                           | 21 |
| 3.4 Mestbehandeling en droogstelsysteem         | 21 |
| 3.5 Meetperioden en proefbehandelingen          | 21 |
| 3.6 Continue metingen                           | 22 |
| 3.7 Stalbezoeken                                | 23 |
| 3.8 Strooiselanalyses                           | 24 |
| 3.9 Gegevensverwerking                          | 25 |
| 3.10 Statistische analyses                      | 27 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>4 RESULTATEN</b>                | <b>28</b> |
| 4.1 Continue metingen              | 28        |
| 4.2 Discrete metingen              | 31        |
| 4.3 Emissie uit de mest            | 34        |
| <b>5 DISCUSSIE</b>                 | <b>36</b> |
| 5.1 Continue metingen              | 36        |
| 5.2 Discrete metingen              | 38        |
| 5.3 Evaluatie van het droogstelsel | 39        |
| <b>6 CONCLUSIES</b>                | <b>41</b> |
| <b>7 AANBEVELINGEN</b>             | <b>42</b> |
| <b>LITERATUURLIJST</b>             | <b>43</b> |
| <b>SYMBOLENVERKLARING</b>          | <b>46</b> |
| <b>BIJLAGEN</b>                    | <b>47</b> |

## Samenvatting

De uitstoot van zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak en hun reactieproducten is door de verzurende en eutrofiërende werking schadelijk voor het milieu. Vooral de eutrofiërende werking van ammoniak heeft een grote invloed op de vegetatie in met name natuur- en bosgebieden die van oorsprong arm zijn aan voedingsstoffen. Ammoniak en ammonium zijn verantwoordelijk voor 47% van de potentieel verzurende depositie. Hiervan is ongeveer 80% afkomstig uit de veehouderij. De overheid heeft tot doel gesteld de uitstoot van ammoniak in 2000-2005 ten opzichte van 1980 met 70% te reduceren.

In het traditionele huisvestingssysteem voor vleeskuikenouderdieren is de strooiselvloer een essentieel onderdeel van de stal. Droging van alleen de mest onder de roosters door middel van beluchting bleek de ammoniakemissie niet voldoende te reduceren voor het verkrijgen van een Groen-label erkenning (eis: 50% ammoniakemissie-redukatie).

Bij de emissie van ammoniak uit strooisel zijn 2 processen van belang: de afbraak van urinezuur en eiwitten en vervluchtiging van ammoniak. In pluimveemest kan het afbraakproces effectief worden vertraagd. Door droging van strooisel kan het watergehalte worden vermindert, waardoor de vorming van ammoniak wordt vertraagd. Met het doel een relatief goedkoop, eenvoudig toe te passen en emissie-arm huisvestingssysteem te ontwikkelen, werd onderzoek verricht naar het effect van strooiseldrogen op de ammoniakemissie.

In een praktijkstal voor ruim 4700 vleeskuikenouderdieren werd rondom de strooiselvloer een buizenstelsel aangelegd en aangesloten op een centrifugaalventilator. Deze bracht stal-lucht in het buizenstelsel, die door kleine gaatjes in de buizen over het strooisel werd geblazen. Ten behoeve van het onderzoek werd het droogstelsel afwisselend aan en uit gezet. Het debiet van het droogstelsel bedroeg  $\pm 4000 \text{ m}^3/\text{u}$ .

Gedurende 15 weken, opgedeeld in 6 meetperioden, werden de ammoniakemissie, het stal-klimaat en het buitenklimaat gemeten. In de laatste 4 meetperioden werd 2 maal per week een strooiselmonster genomen. Hiervan werd een deel geanalyseerd op drogestofgehalte, concentratie ammoniak en pH. Het andere deel werd gebruikt voor een vervluchtigings-experiment. Hierbij werd onder geconditioneerde omstandigheden de ammoniakemissie uit een laag strooisel bepaald.

De ammoniakemissie uit de stal fluctueerde sterk, maar kon goed beschreven worden met een statistisch model. De staltemperatuur en de dikte van de strooisellaag bleken een grote invloed te hebben op de stalemissie. Drogen van het strooisel had een duidelijk positief effect op het drogestofgehalte. De concentratie aan vervluchtigbare ammoniak in het strooisel reageerde vertraagd op het afwisselend aan- en uitzetten van het droogstelsel. In perioden waarin het droogstelsel aanstond was de gemeten emissie met 396 gram ammoniak per dierplaats per jaar 32% lager dan de normatieve emissie voor dit stelsysteem van 580 gram ammoniak per dierplaats per jaar. Gecorrigeerd naar een staltemperatuur van  $21^\circ\text{C}$  bedroeg de emissie 331 gram ammoniak per dierplaats per jaar, hetgeen een reductie van 43% betekent ten opzichte van de norm. Met een statistisch emissiemodel werd de geschatte stalemissie in perioden waarin het droogstelsel aanstond, vergeleken met 2 voorgaande meetperioden in dezelfde stal zonder droogstelsel. De geschatte ammoniak-redukties ten opzichte van deze meetperioden bedroegen 40 en 38%.

De metingen werden beïnvloed door versturende factoren, waaronder een onbekende emissie uit de mest onder de roosters en een gedeeltelijk dichtgeslagen strooisellaag. Nader onderzoek met een verbeterd droogstelsel, een dunne strooisellaag en continue droging levert wellicht een ammoniakreductie op waarmee het Groen label certificaat verkregen kan worden.

# 1 Inleiding

## 1.1 Het probleem van ammoniak

### 1.1.1 Uitstoot en verspreiding

De uitstoot van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO en NO<sub>2</sub>, samen NO<sub>x</sub> genoemd), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en hun reactieproducten is schadelijk voor het milieu. De schade ontstaat voornamelijk door verzuring en eutrofiëring (overbemesting).

Ammoniak en de reactieproducten die uit ammoniak ontstaan door reacties in de atmosfeer worden aangeduid met NH<sub>x</sub>. In 1993 was de totale zure depositie voor Nederland 4280 mol per hectare. Ammoniak en ammonium nemen 47% van de potentieel verzurende depositie voor hun rekening. Daarnaast is 17% afkomstig van stikstofoxiden (vnl. verkeer) en 36% van zwaveldioxide (vnl. industrie). Ongeveer 80% van de ammoniakemissie is afkomstig uit de veehouderij (tabel 1.1). De bijdrage uit natuurlijke bronnen wordt voor Nederland geschat op 3%. De overige 17% wordt uitgestoten door de industrie, huishoudens, verkeer en overige diercategoriën (Lekkerkerk *et al.*, 1995).

**Tabel 1.1** Ammoniakemissie in Nederland in 1980, 1990 en 1993 (miljoen kg NH<sub>3</sub>) (APV, 1995).

| Bron                | 1980 | 1990 | 1993 |    |
|---------------------|------|------|------|----|
| Dierlijke mest      | 224  | 222  | 181  |    |
| stal en opslag      |      | 82   | 94   | 98 |
| beweiding           |      | 31   | 15   | 15 |
| mestaanwending      |      | 111  | 113  | 68 |
| Kunstmestaanwending | 10   | 10   | 9    |    |
| Industrie           | 10   | 6    | 6    |    |
| Huishoudens         | 10   | 11   | 11   |    |
| Totaal              | 254  | 249  | 207  |    |

Van de ammoniak die wordt uitgestoten komt ongeveer de helft onveranderd op de bodem terecht. Als deze neergeslagen ammoniak (NH<sub>3</sub>) in contact komt met water, vindt een (evenwichts)reactie plaats en wordt ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) gevormd (vergelijking 1.1). De andere helft wordt in de atmosfeer omgezet in ammoniumverbindingen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). De omzetting van NH<sub>3</sub> hangt af van de beschikbaarheid van water en/of zuren. In de atmosfeer fungeert ammoniak als base (vergelijking 1.2) en kan het zuren die ontstaan uit zwaveldioxide en stikstofoxiden neutraliseren.



Ammonium heeft een grotere transportafstand en lagere depositiesnelheid dan ammoniak. Van de totale uitstoot slaat ongeveer 30% binnen een afstand van 5 km van de bron weer neer. De hoogste concentraties en deposities worden gevonden in de concentratiegebieden van de intensieve veehouderij, met name Oost-Brabant, Noord-Limburg en de Gelderse Vallei.

### 1.1.2 Effecten van ammoniak

De effecten van een overmaat aan ammoniak kunnen direct of indirect zijn. Directe schade kan optreden door de afzetting van NH<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> op naalden en bladeren. Ook kunnen

naalden en bladeren ammoniak uit de atmosfeer opnemen en omzetten in stikstofhoudende verbindingen zoals eiwitten. Hierdoor verandert de stikstofhuishouding van de plant en kunnen tekorten aan andere voedingsstoffen ontstaan.

De belangrijkste effecten van ammoniak zijn het gevolg van de processen die in de bodem optreden (indirekt). De overmatige depositie van stikstof in de vorm van stikstof-oxiden, ammoniak en ammonium leidt tot eutrofiëring en kan de bodem verzuren (Lekkerkerk et al., 1995).

#### *verzuring*

Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) wordt in de bodem òf opgenomen door planten, òf gebonden aan organische stof (immobilisatie) òf omgezet in nitraat (nitrificatie). Bij nitrificatie ontstaat weer zuur (vergelijking 1.3). Dit betreft zuur ( $\text{H}^+$ ) dat al in het milieu aanwezig was of anderszins erin gebracht is. De kans dat nitraat gevormd wordt, is sterk afhankelijk van de bodem en plantengroei. Wanneer de planten het gevormde nitraat opnemen, wordt ook weer een  $\text{H}^+$ -ion opgenomen. Verzuring ontstaat pas als het uit ammonium gevormde nitraat niet door de planten wordt opgenomen, maar uitspoelt naar het grondwater. In dat geval nemen de planten namelijk de waterstofionen niet op en zal de zuurgraad van de bodem dalen. Verzuring van de bodem kan ertoe leiden dat aluminium-ionen oplossen in bodemvocht. Een hoge concentratie aluminium in het bodemvocht tast de wortelgroei aan en doet mycorrhizae (bodemschimmels) afnemen in soort en aantal. Hierdoor wordt de kans op schade door droogte, ziekten en plagen groter. Een vrij geringe hoeveelheid aluminium in het grondwater is bovendien al giftig voor mens, dier en plant (Lekkerkerk et al., 1995).



#### *eutrofiëring*

De combinatie van een teveel aan stikstof en de verzuring van de bodem verstoort de balans tussen de verschillende voedingsstoffen in de bodem. In eerste instantie leidt een overmaat van stikstof tot een forse groei van vooral bovengrondse plantedelen. Hierdoor worden planten gevoeliger voor aantasting door insecten en schimmelziekten en (door het kleinere wortelstelsel) ook voor droogte, vorst en ontworteling. Na een tijdje ontstaat er een tekort aan essentiële voedingsstoffen zoals magnesium (Mg), kalium (K) en fosfor (P). Dit tekort wordt versterkt, doordat de verzuring leidt tot uitspoeling en belemmering van opname van voldoende voedingsstoffen uit de bodem. Een verstoring van de voedingsstoffenbalans en eutrofiëring kan leiden tot een verandering in de concurrentieverhoudingen tussen plantesoorten. Hierdoor kan specifieke flora in voedsel-arme gebieden worden verdrongen door andere vegetaties en kunnen gehele ecosystemen van samenstelling veranderen (Lekkerkerk et al., 1995).

### *1.1.3 Beleidsdoelstellingen*

De doelstellingen van het Nederlandse beleid voor het verminderen van de uitstoot van ammoniak zijn gebaseerd op kritische depositiewaarden. Dit is de hoeveelheid zuur, die bossen en andere ecosystemen nog kunnen verdragen zonder schade op te lopen. De doelstelling voor 2010 is een totale maximale zure depositie van 1400 mol per hectare en een maximale stikstof depositie van 1000 mol per hectare. Dit betekent een reductie van de uitstoot van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak met 80 tot 90% vergeleken met 1980 (Nationaal Milieubeleidsplan, 1989; Bestrijdingsplan Verzuring, 1989). In de Notitie Mest- en Ammoniakbeleid Derde Fase (1993) is vastgelegd dat de uitstoot van ammoniak in 2000-2005 met 70% moet zijn teruggebracht (Lekkerkerk et al., 1995).

## 1.2 Pluimveehouderij

Ongeveer 47% van de totale ammoniakemissie komt uit stallen en mestopslagplaatsen (tabel 1.1). Hiervan is ongeveer 12% voor rekening van de pluimveehouderij (Anonym, 1991). In tabel 1.2 staat het aandeel per pluimveesector weergegeven. Deze cijfers zijn exclusief emissie bij mestopslag en/of mestaanwending. Het aandeel van de vleeskuiken-ouderdierensector in de totale ammoniakemissie is dus ongeveer 1%. Hoe klein dit getal ook moge zijn, de vleeskuikenouderdierensector zal een bijdrage (moeten) leveren aan de ammoniakreduktie. Vanuit het oogpunt van bedrijfsontwikkeling en de daarmee samenhangende hinderwetproblematiek op bedrijfsniveau, is het onderzoek naar Groen label waardige systemen van belang.

**Tabel 1.2** Aandeel per pluimveesector aan de ammoniakproblematiek (Middelkoop en Hanssen, 1994).

|   | Gem. aanw. dieren<br>(miljoen) | Bedrijven<br>(aantal) <sup>1</sup> | Ammoniakemissie<br>(milj. kg/jaar) <sup>2</sup> |
|---|--------------------------------|------------------------------------|---|
| Leghennen, batterijhuisvesting, incl. opfok | 41,7                           | 2550                               | 2,6   |
| Leghennen, grondhuisvesting, incl. opfok    | 3,3                            | 740                                | 0,7   |
| Vleeskuiken-ouderdieren, incl. opfok        | 7,8                            | 835                                | 1,8   |
| Vleeskuikens                                | 46,5                           | 1548                               | 2,3   |
| Vleeskalkoenen                              | 1,3                            | 160                                | 0,5   |
| Vleeseenden                                 | 1,0                            | 159                                | 0,1   |
| <b>Totaal</b>                               | <b>101,6</b>                   | <b>5992</b>                        | <b>8,0</b>                                      |

<sup>1</sup> Het totaal aantal bedrijven is in werkelijkheid lager, omdat dubbelstellingen voorkomen.

<sup>2</sup> Berekend op basis van de Richtlijn Ammoniak en Veehouderij (1991); Evaluatie NH<sub>3</sub>-beleid, 1993 (Anonym, 1993).

Reduktie van de ammoniakemissie in de pluimveehouderij kan met name bereikt worden door het veranderen van huisvestingssysteem en veevoeding.

Verbeteren van de voederconversie (goede balans tussen energie- en eiwitverhouding van het voer), toepassen van vrije aminozuren (meer verteerbaar N) en het gebruik van enzymen (verbetering verteerbaarheid van N) zijn momenteel de meest reële mogelijkheden om de stikstof- en fosforuitscheiding bij pluimvee te verminderen. Met deze maatregelen kunnen stikstof- en fosfor-redukties van 20-25% gerealiseerd worden, zonder dat dit leidt tot een duidelijke kostprijsverhoging van het voer (Schutte en van der Klis, 1994). Ondanks deze reductie in N-uitstoot zal er nog steeds veel N in de mest blijven, die mogelijk ammoniakemissie veroorzaakt.

Het huisvestingssysteem en de daarin toegepaste mestbehandeling hebben grote invloed op de ammoniakemissie uit pluimveestallen. De ammoniakemissie wordt voornamelijk bepaald door de verblijfsduur in de stal, het drogestofgehalte en de temperatuur van mest en strooisel.

## 1.3 Vleeskuiken-ouderdieren

Tijdens de opfokperiode ( $\pm 20$  weken) worden vleeskuiken-ouderdieren voornamelijk gehuisvest in mechanisch geventileerde stallen, waarbij vrijwel alle dieren op volledig strooisel worden gehouden. Tijdens de legperiode worden de meeste vleeskuiken-ouderdieren gehouden in gordijnstallen met natuurlijke ventilatie. In traditionele huisvestingssystemen zijn de dieren gehuisvest op gedeeltelijk rooster- en gedeeltelijk strooiselvloeren. Het verminderen van de ammoniakemissie kan door de mest onder de roosters regelmatig te verwijderen (een dure oplossing) of door de mest te drogen, zodat ammoniakvorming wordt tegengegaan. Resultaten van onderzoek op praktijkbedrijven en bij het Praktijkonderzoek voor de Pluimveehouderij geven aan dat hierdoor een redelijke



reduktie bereikt kan worden (tabel 1.3). De reducties waren berekend ten opzichte van een traditioneel huisvestingssysteem met half rooster/half strooisel. De ammoniakemissie uit dit traditionele huisvestingssysteem is 580 gram per dierplaats per jaar (Uitvoeringsregeling Interimwet ammoniak en veehouderij, 1996).

**Tabel 1.3** Overzicht van de ammoniakreduktie als gevolg van verschillende maatregelen bij vleeskuiken-ouderdieren ten opzichte van half rooster/half strooisel zonder aanvullende maatregelen (Meijerhof en van der Haar, 1994).

| Maatregel  | Reduktie (%) | Kosten <sup>1</sup> |
|--|--------------|---------------------|
| Beluchting mest onder het rooster (50% rooster)                  | 25-30        | 1,00-1,50           |
| Mestbanden, 3-7 x/week afdraaien en beluchting (50% rooster)     | 55-60        | 5,00-6,00           |
| Mestschuiven onder het rooster (50%); 2x/week                    | 35-40        | 2,00-3,00           |
| Gedeeltelijk verhoogde strooiselvloer (80%) met strooiseldroging | 55-60        | 3,00-4,00           |

<sup>1</sup> extra kosten in gulden per hen per jaar, exclusief arbeid en extra energiekosten.

De systemen met mestbanden onder het rooster en beluchting van de mest en de verhoogde strooiselvloer gaven de hoogste reductie van de ammoniakemissie; voldoende voor Groen-label erkenning. Beide systemen brengen echter hoge kosten met zich mee en geven problemen voor het handhaven van een goede hygiëne. Voor mestbanden met beluchting geldt dat het onderhoud en reparatie gedurende de ronde problematisch is. Bij de verhoogde strooiselvloer trad dermate veel stofvorming op, dat de arbeidsomstandigheden sterk negatief werden beïnvloed. Bij mestschuiven bestond de indruk dat met toename van de produktieperiode de reductie afnam, door toenemende verontreiniging van de vloer. Het beluchten van de mest onder het rooster bracht de minste kosten met zich mee (Meijerhof en van der Haar, 1994). Een bijkomend voordeel van drogere mest is een kleiner volume en dus lagere transportkosten bij afzet. Echter, beluchten gaf onvoldoende reductie voor een Groen-label erkenning

Het houden van (vleeskuiken)ouderdieren op andere huisvestingssystemen zou ook een mogelijkheid kunnen zijn om de ammoniakemissie te reduceren. Hierbij kan gedacht worden aan het verhogen van het aandeel rooster, bijvoorbeeld door etagehuisvesting, wat momenteel ook in onderzoek is. Het houden van 30-70 dieren in een kooi (Veranda) is een optie die momenteel in onderzoek is. Mogelijk nadeel van dit systeem is het ontbreken van strooisel (welzijnsaspect) en wellicht een slechtere bevruchting. Indien het strooiselgedeelte onderdeel blijft van het huisvestingssysteem voor ouderdieren, zal de emissie hieruit beperkt moeten worden (Groot Koerkamp *et al.*, 1994).

#### 1.4 Doel van dit onderzoek

Voor de vleeskuikenouderdierensector zijn momenteel geen betaalbare huisvestingssystemen beschikbaar waarmee een Groen label erkenning verkregen kan worden. Enerzijds worden daardoor de beleidsdoelstellingen niet gehaald en anderzijds geeft dit problemen bij de bedrijfsontwikkeling.

Onder andere tijdens het onderzoek naar 'de ammoniakemissie uit 3 typen volièrestallen voor leghennen' bleek dat de kwaliteit van het strooisel, met name het drogestofgehalte, grote invloed heeft op de ammoniakemissie (Groot Koerkamp en Bleijenberg, 1995).

Het hoofddoel van dit onderzoek was het in de praktijk toetsen van het systeem voor strooiseldroging in een gedeeltelijk strooiselstal voor vleeskuiken-ouderdieren met als belangrijkste onderzoeksvraag: hoeveel ammoniakemissie-reduktie kan met dit strooiseldroogstelsel behaald worden?

Het strooisel werd gedroogd door een mechanisch beluchtingssysteem, dat over de gehele strooiselvloer lucht 'blies' (dus geen verhoogde strooiselvloer). Dit systeem is relatief

eenvoudig en de kosten (investering, energie en onderhoud) zijn waarschijnlijk aanzienlijk lager dan die voor huidige reductiemaatregelen (tabel 1.3).

Het onderzoek werd uitgevoerd in een praktijkstal met half rooster/half strooiselvloer voor vleeskuikenouderdieren. Het droogstelsysteem werd afwisselend aan en uitgezet, zodat het effect van strooiseldroging op de stalemissie gevolgd kon worden. Naast de stalemissie werden binnen- en buitenklimaat continu gemeten. Twee maal per week werden strooiselmonsters genomen, waaruit relaties tussen strooiselkenmerken en een strooiselemissie bepaald konden worden.

Onderzoeksvragen:

- Welke factoren beïnvloeden de ammoniakemissie (modellering)?
- Kan de Groen-label norm gehaald worden (50% emissie-redukatie)?
- Wat is de relatie tussen drogestofgehalte van het strooisel en de ammoniakvorming en ammoniakemissie?
- Wat zijn de relaties tussen de ammoniakemissie uit de stal, de emissie uit de laboratoriumopstelling en de hoeveelheid vervluchtigbare ammoniak in het strooisel?
- Wat zijn de energiekosten van dit droogstelsysteem?

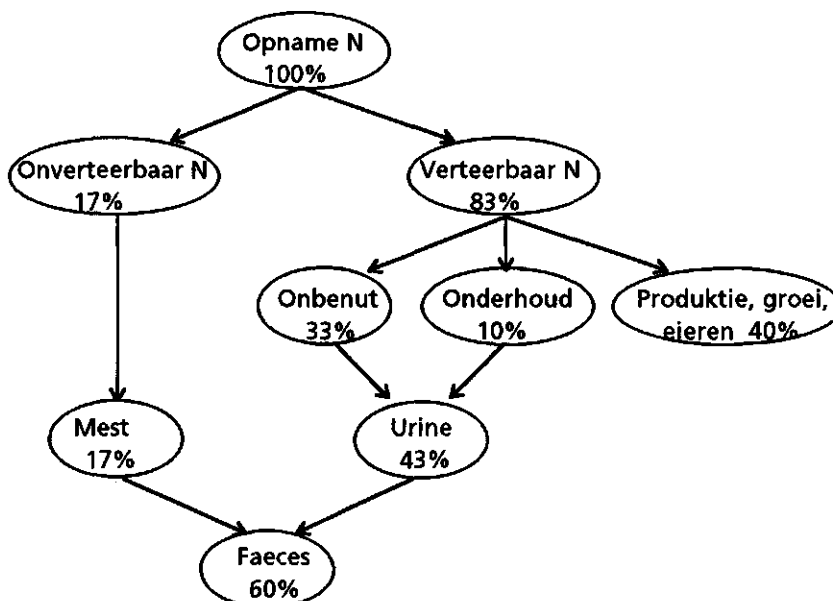
## 2 Theorie en literatuur

### 2.1 Produktie en samenstelling van mest

Vleeskuiken-ouderdieren worden voornamelijk gehuisvest in stallen met half rooster/half strooiselvloer. Door de vrije beweging van de dieren, kunnen de faeces overal in de stal terecht komen. De faeces die boven de roosters uitgescheiden wordt, komen in de kelder daaronder terecht. De mest wordt hieruit aan het einde van de legperiode ( $\pm 40$  weken) verwijderd. De faeces die op het dichte vloer gedeelte terecht komen, worden daar vermengd met het strooisel. Bij opleg van de dieren bestaat dit strooisel uit zaagsel, houtkrullen en/of zand. Door het scharrelen van de dieren ontstaat een mengsel van deze produkten en faeces. Dit mengsel wordt in het vervolg strooisel genoemd. Het drogestofpercentage van de faeces is meestal 20-25%. Door verdamping van water uit het strooisel is het drogestofpercentage normaliter 60-70%. In de gangbare huisvesting blijft het strooisel de gehele legperiode in de stal, in principe worden tijdens de legperiode alleen faeces aangevoerd. Door scharrelen kan een deel van het strooisel in de kelder onder de roosters terecht komen.

Voor de emissie van ammoniak zijn zowel de hoeveelheid als de samenstelling van de faeces van belang. Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) is een stikstofverbinding die niet of nauwelijks in de uitwerpselen van pluimvee voorkomt. Stikstof wordt voor 30% uitgescheiden in onverteerde eiwitten en voor 70% in urinezuur ( $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_4$ ). De onverteerde eiwitten zijn door het dier niet ge- of verbruikt, terwijl urinezuur in het lichaam is gevormd om overtollig stikstof in een voor het dierlichaam niet schadelijke vorm uit te scheiden (Groot Koerkamp *et al.*, 1994).

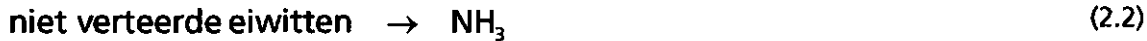
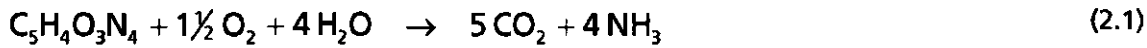
Voersamenstelling (grondstoffenkeuze) en voederbenutting beïnvloeden de stikstofuitstoot en daardoor ook de ammoniakemissie. De stikstofbenutting door pluimvee is ongeveer 40%. Dit betekent dat 60% van de via het voer opgenomen stikstof weer via mest (onverteerde eiwitten:  $17/60 \approx 30\%$ ) en urine (voornamelijk urinezuur:  $43/60 \approx 70\%$ ) wordt uitgescheiden (figuur 1.1).



**Figuur 1.1** Schematisch overzicht van de stikstofstromen bij pluimvee (Schutte en van der Klis, 1994).

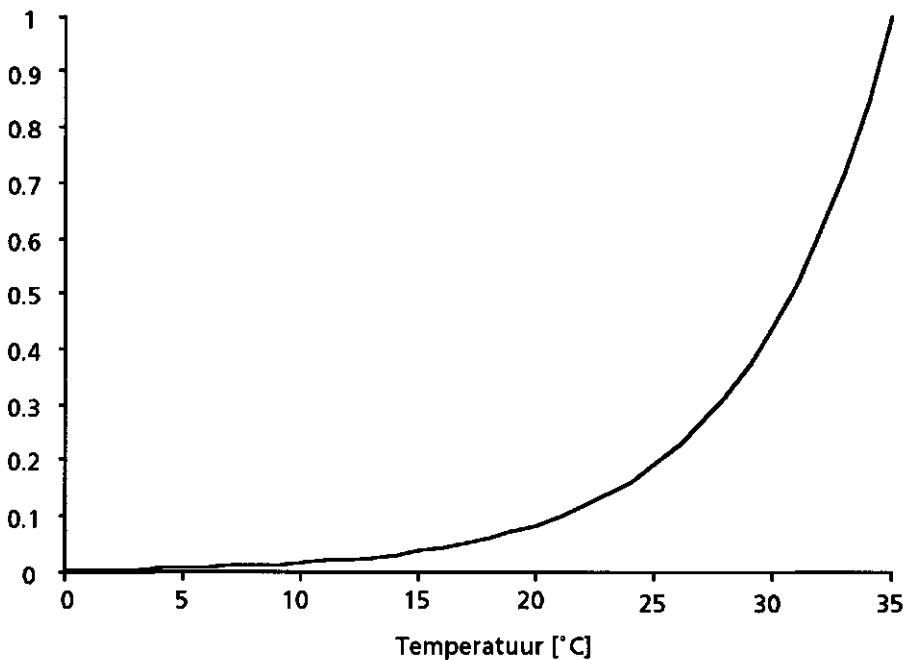
## 2.2 Vorming van ammoniak

Ammoniak ontstaat als de stikstofverbindingen door micro-organismen worden omgezet. In vergelijkingen 2.1 en 2.2 worden deze processen vereenvoudigd weergegeven (Groot Koerkamp, 1994).



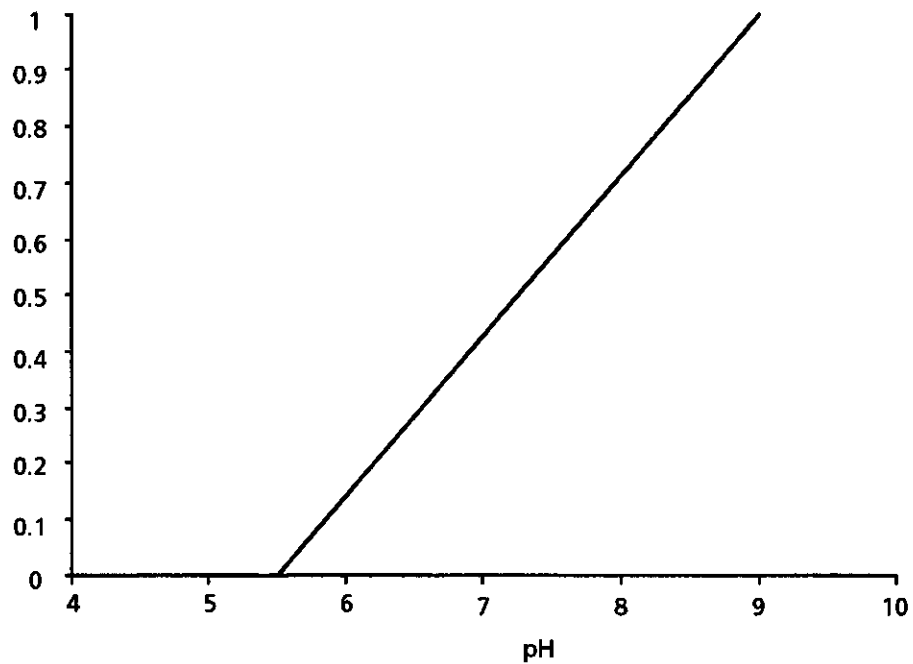
Bij de vorming van ammoniak uit urinezuur wordt eerst ureum gevormd. Dit is een relatief langzaam proces, waardoor de ammoniakvorming in kippemest ook relatief langzaam verloopt. Dit in tegenstelling tot runder- en varkensmest, waar ureum wordt uitgescheiden in de urine (Kroodsma *et al.*, 1989). Twee dagen na uitscheiding is ongeveer 20% van het urinezuur afgebroken, na 6 dagen is dit opgelopen tot ongeveer 50% (Burnett en Dondero, 1969). Bovenstaande degradatieprocessen van urinezuur en eiwitten worden beïnvloed door temperatuur, pH en wateractiviteit. Temperatuur en pH bevorderen (binnen bepaalde grenzen) de afbraaksnelheid (figuren 2.1 en 2.2). Voor de temperatuur ligt het optimum bij 35 °C, de micro-organismen werken dan het hardst en de afbraaksnelheid is dan dus maximaal. De pH moet voor de maximale afbraaksnelheid meer dan 9 zijn.

Relatieve afbraaksnelheid van urinezuur



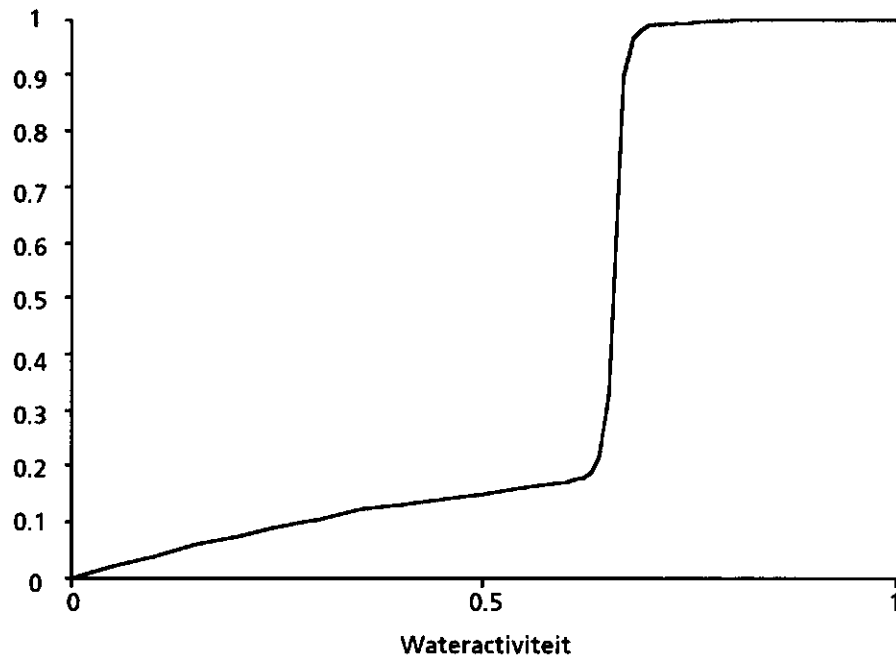
**Figuur 2.1** Effect van temperatuur op de afbraak van urinezuur (Groot Koerkamp, 1994; Elliot en Collins, 1983).

Relatieve afbraaksnelheid van urinezuur



**Figuur 2.2** Schematisch effect van pH op de afbraak van urinezuur (Groot Koerkamp, 1994; Elliot en Collins, 1983).

Relatieve afbraaksnelheid van urinezuur



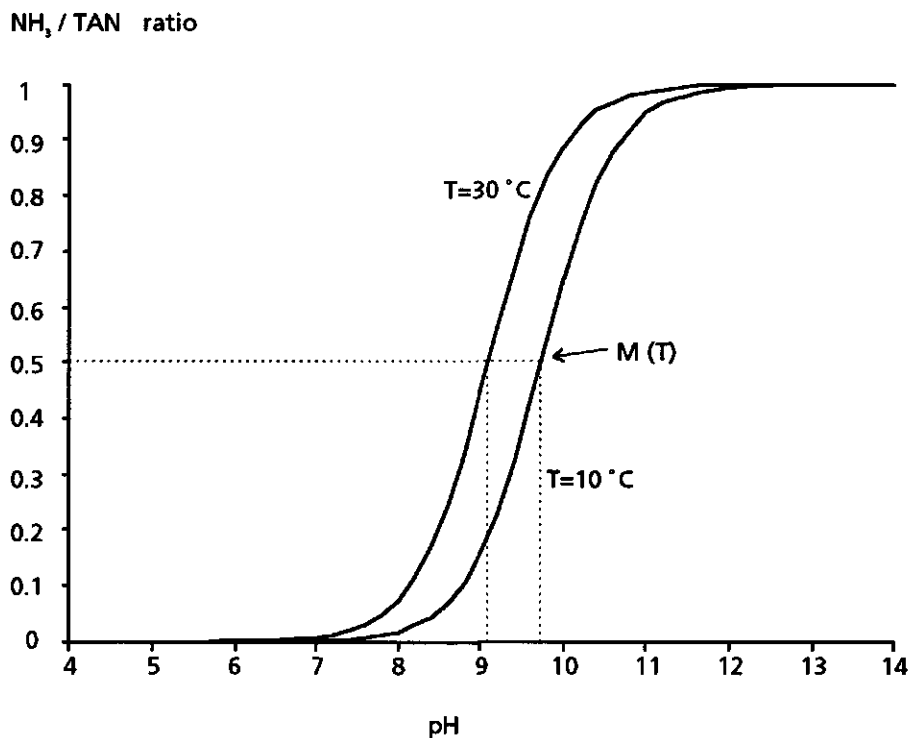
**Figuur 2.3** Schematisch effect van water activiteit op de afbraak van urinezuur (Groot Koerkamp, 1994; Brock en Madigan, 1988; Beek, 1990).

De wateractiviteit ( $A_w$ ) is gedefiniëerd als de evenwichts-relatieve luchtvochtigheid in een afgesloten ruimte boven een vaste stof gedeeld door 100%, en is een maat voor de beschikbaarheid van water voor micro-organismen, die water nodig hebben voor hun groei. Een deel van het water in de mest is gebonden aan bijvoorbeeld zouten, zodat alleen het ongebonden water gebruikt kan worden door de micro-organismen. Wateractiviteit is daarom een betere verklarende variabele voor microbiële groei dan vochtgehalte. Een  $A_w$  van 0,7 wordt over het algemeen als absoluut minimum voor microbiële groei beschouwd (figuur 2.3).

Hoewel wateractiviteit theoretisch de beste maat is voor de afbraaksnelheid, wordt doorgaans in de praktijk het drogestofgehalte van de mest als maat genomen. Verhoging van het drogestofgehalte verlaagt de wateractiviteit. De relatie tussen drogestofgehalte en wateractiviteit wordt weergegeven door sorptie/desorptie isothermen. Voor pluimveemest is deze relatie nauwelijks bekend (Groot Koerkamp, 1994; Groot Koerkamp *et al.*, 1994).

### 2.3 Vervluchtiging van ammoniak

Na de vorming kan ammoniak uit de mest vervluchtigen. De totale hoeveelheid stikstof die uit de mest kan vervluchtigen (TAN = Totaal Ammoniakaal stikstof) bestaat uit ongebonden ammoniak ( $NH_3$  = niet geïoniseerd) en gebonden ammoniak (ammonium:  $NH_4^+$  = geïoniseerd). Het evenwicht tussen beiden wordt weergegeven door vergelijking 2.3 en wordt beïnvloedt door temperatuur en pH (figuur 2.4).



**Figuur 2.4** De afhankelijkheid van  $NH_3 / TAN$  ratio op de pH en temperatuur (Groot Koerkamp, 1994; Weast *et al.*, 1986).

Beneden een pH van 7 is bijna alle ammoniak gebonden in de vorm van ammonium en niet beschikbaar voor vervluchtiging. Temperatuur heeft een positieve invloed op de dissociatie constante ( $K_a$ ), en dus ook op de hoeveelheid ongebonden ammoniak (vergelijking 2.4). Groot Koerkamp en Elzing (1996) vonden voor strooisel in een volièrehuisvestingssysteem voor legkippen een  $K_a$ -waarde van  $1,9 \cdot 10^{-9}$ . De concentratie van ongebonden ammoniak opgelost in water ( $c_{NH_3}$  in mmol/g) dat in de mest aanwezig is, kan volgens vergelijking 2.5 uit de concentratie in het strooisel ( $C_{TAN}$  in mmol/kg strooisel) en het watergehalte ( $w_c$  in g/kg strooisel) berekend worden. De berekening van de fractie ongebonden ammoniak ( $F_{NH_3}$ ) gaat volgens vergelijking 2.6.  $F_{NH_3}$  is een logistische curve die wiskundig het verloop van de curve in figuur 2.4 weergeeft.  $M(T)$  is het pH nivo waar  $F_{NH_3}$  gelijk aan 0,5 is voor een temperatuur  $T$  en constante  $B/4$  is de helling van de curve in het punt  $M$  (Groot Koerkamp en Elzing, 1996). Een lijst met gebruikte afkortingen staat in het hoofdstuk 'Symbolenverklaring'.

$$a = \frac{c_{NH_3} \times c_{H^+}}{c_{NH_4^+}} \quad (2.4)$$

$$c_{NH_3} = \frac{F_{NH_3} \times C_{TAN}}{w_c} \quad (2.5)$$

$$F_{NH_3} = \frac{1}{1 + e^{-B \times (pH - M)}} \quad (2.6)$$

met:

$$B = \ln 10 = 2,303$$

$$M(T) = -\text{LOG}(K_{a,(20^\circ\text{C})}) - (T - 20) \times \text{LOG}(1,074)$$

De vervluchtiging van ammoniak van mest naar lucht ( $\Phi''_{NH_3, \text{strooisel}}$  in mmol/m<sup>2</sup>.u) wordt proportioneel verondersteld met de concentratie van ongebonden ammonia in water ( $c_{NH_3, \text{strooisel}}$ ) (vergelijking 2.7).

$$\Phi''_{NH_3, \text{strooisel}} = k \times c_{NH_3, \text{strooisel}} \quad (2.7)$$

Hierin is  $k$  de overdrachtscoëfficiënt voor de vervluchtiging van ammoniak (g/m<sup>2</sup>.u). De ammoniakconcentratie in de lucht boven het strooisel wordt hierbij verwaarloosd. Het vervluchtigingsproces is afhankelijk van de concentratie ongebonden ammoniak in het strooisel, de pH, de luchttemperatuur, de strooiseltemperatuur en de luchtsnelheid boven het strooisel (Groot Koerkamp en Elzing, 1996). In de experimenten van het onderzoek werden temperatuur en luchtsnelheid constant gehouden.

Herschrijving van vergelijkingen 2.5, 2.6 en 2.7 en een log-transformatie leidt tot vergelijking 2.8.

$$\Phi''_{NH_3, \text{strooisel}} = \ln k + \ln C_{TAN, \text{strooisel}} - \ln(1 + e^{-B \times (pH - M)}) - \ln w_c \quad (2.8)$$

## 2.4 Reductie van emissie

Door veranderen van de voersamenstelling en een verbeterde voederconversie is een reductie van de stikstofuitscheiding te bereiken van 20-25% en daardoor een emissiereductie (Schutte en van der Klis, 1994). Het verlagen van de pH van het strooisel door toevoeging van zuren is kostbaar en leidt tot meer mineralen in de mest. Verlaging van

de temperatuur vertraagt het afbraakproces en bemoeilijkt de vervluchtiging. De temperatuur in pluimveestallen kan echter vanwege produktieredenen niet voldoende verlaagd worden om effect te hebben op de ammoniakemissie. Andere maatregelen die de bacteriële processen beïnvloeden, zoals de stikstof fysisch of chemisch vastleggen en de uitgaande stallucht zuiveren van ammoniak, zijn te duur en/of lossen het probleem alleen tijdelijk op. De beste mogelijkheid om de ammoniakemissie uit het strooisel te reduceren, is het remmen van het afbraakproces door droging. In de praktijk is het verband tussen het drogestofgehalte van het strooisel en de ammoniakemissie niet altijd duidelijk. Er is geen eenduidig drogestofgehalte aan te geven voor alle mestsoorten waarboven de emissie nagenoeg stopt. Onder praktijkomstandigheden blijkt zich bij circa 70% drogestof een grens af te tekenen waarboven de emissie sterk daalt, boven de 85-90% lijkt alles te blokkeren (Groot Koerkamp, 1994; Groot Koerkamp *et al.*, 1994).

## **2.5 Verdamping van water**

Door water te verdampen kan het drogestofgehalte van het strooisel verhoogd worden. Mogelijkheden om de verdamping te verhogen zijn het verhogen van de temperatuur en luchtsnelheid boven het strooisel en het verlagen van de waterdampdruk. Extra ventilatie in de stal zorgt voor frisse lucht met hogere luchtsnelheden en meestal ook een lagere waterdampdruk. Het bevorderen van het droogproces (verdamping) lijkt in strijd te zijn met het doel de ammoniakemissie te verlagen (temperatuur, luchtsnelheid, waterdampdruk). Als de faeces echter snel gedroogd worden, kan het relatief afbraakproces van urinezuur voldoende vertraagd worden, zodat nauwelijks ammoniak wordt gevormd.



## 3 Materiaal en methode

### 3.1 Stal en inrichting

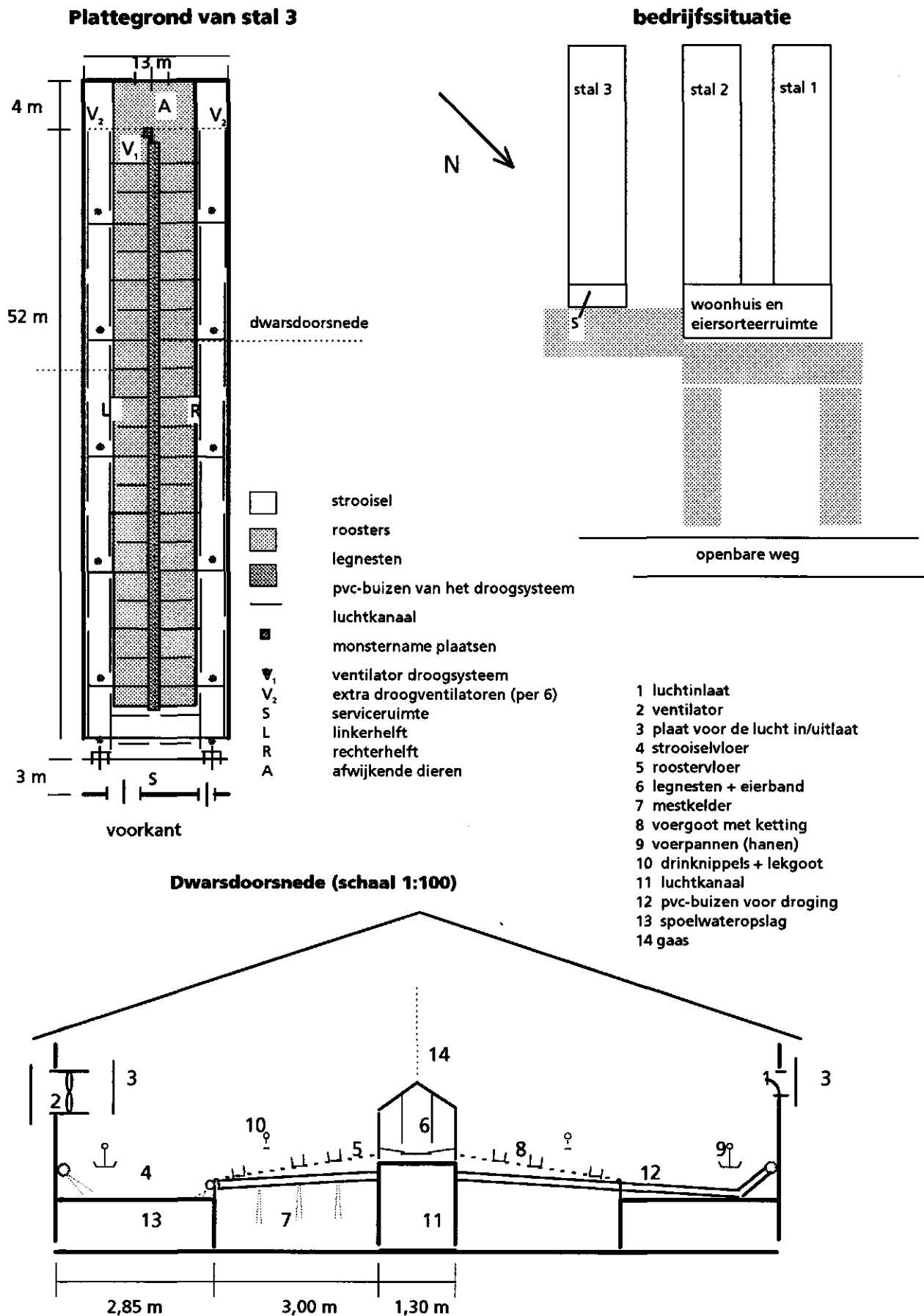
Het onderzoek werd uitgevoerd in een vleeskuiken-ouderdierenstal met een half rooster/half strooiselvloer op een praktijkbedrijf te Beltrum. In figuur 3.1 is een schematische voorstelling van het bedrijf en de stal gegeven. Ten Noordwesten van en parallel aan de stal waarin het onderzoek werd uitgevoerd (stal 3), waren nog 2 stallen (stal 1 en 2) met vleeskuiken-ouderdieren gesitueerd (vanaf de openbare weg gezien rechts).

De afmetingen van de stal waren 13 x 59 m (binnenwerks). Voor in de stal was een serviceruimte van 3 x 13 m (figuur 3.1: 5) Hierin stonden stalschoeisel, een wasbak, klein handgereedschap, een voermengweger en apparatuur voor de emissiemetingen. De stalruimte voor de dieren was 13 x 56 m. Voor afwijkende dieren was achterin de stal een ruimte van 4 x 13 m beschikbaar (A). De stalruimte was opgedeeld in 3 afdelingen, die onderling en met de rest van de stal door gaas gescheiden werden. In het midden van de stal waren over bijna de gehele lengte (50 m) groepslegnesten (6) geplaatst. Deze nesten verdeelden de stal in 2 helften: een linker- (L) en een rechter helft (R). Boven de nesten was een wand van gaas aangebracht, zodat de dieren in de 2 helften van elkaar gescheiden waren. Iedere helft bestond uit een gedeelte strooisel (4), een deel lattenrooster (5) en een deel groepslegnesten (6). De eierband (0,50 m breed) lag tussen de legnesten van beide helften (41 legnesten van 0,40 x 1,22 m per kant). Beide helften waren vanuit de serviceruimte door deuren bereikbaar. Achterin de stal was tussen beide helften een deur geplaatst, zodat 'rondgelopen' kon worden. De ruimte onder de roosters (7) werd gebruikt voor mestopslag. De ruimte onder de strooiselvloer (13) werd gebruikt voor opslag van schoonmaakwater.

De stal was voorzien van dwarsventilatie met onderdruk. Voor de luchtinlaat zorgden 32 regelbare kleppen (26 rechts en 6 links), die geplaatst waren in de zijgevels van de stal op een hoogte van 1,50 m (1). De 26 inlaatopeningen aan de rechterkant werden aangestuurd door de klimaatcomputer, de 6 inlaatopeningen aan de linkerkant werden om constructieve redenen met de hand bediend. Het totale maximum oppervlak van inlaatopeningen was 3,2 m<sup>2</sup>. Om directe windinvloeden te voorkomen was voor iedere inlaatopening op 10 cm van de buitenmuur een plaat aangebracht (3). De 3 ventilatoren (bijlage A) met een gezamenlijke capaciteit van 35.250 m<sup>3</sup>/u waren in de linker zijgevel geplaatst (2) (verdeeld over de gehele stallengte). Het hart van de ventilatoren zat op 1,75 m boven de (strooisel)vloer. Op 40 cm voor de aanzuigzijde van de ventilatoren waren platen aangebracht (3).

Op de roosters stonden voergoten met sleepkettingen en een hanengril, zodat alleen de hennen er uit konden eten (8). De hanen werden gevoerd uit hanenpannen, die boven het strooisel hingen (9). De drinknippels met lekgoot verzorgden de waterversprekking en hingen boven de roosters (10).

In bijlage B zijn de kengetallen van de stal weergegeven.



**Figuur 3.1** Schematische weergave van de stalsituatie: plattegrond (schaal 1:500) en dwarsdoorsnede (schaal 1:100).

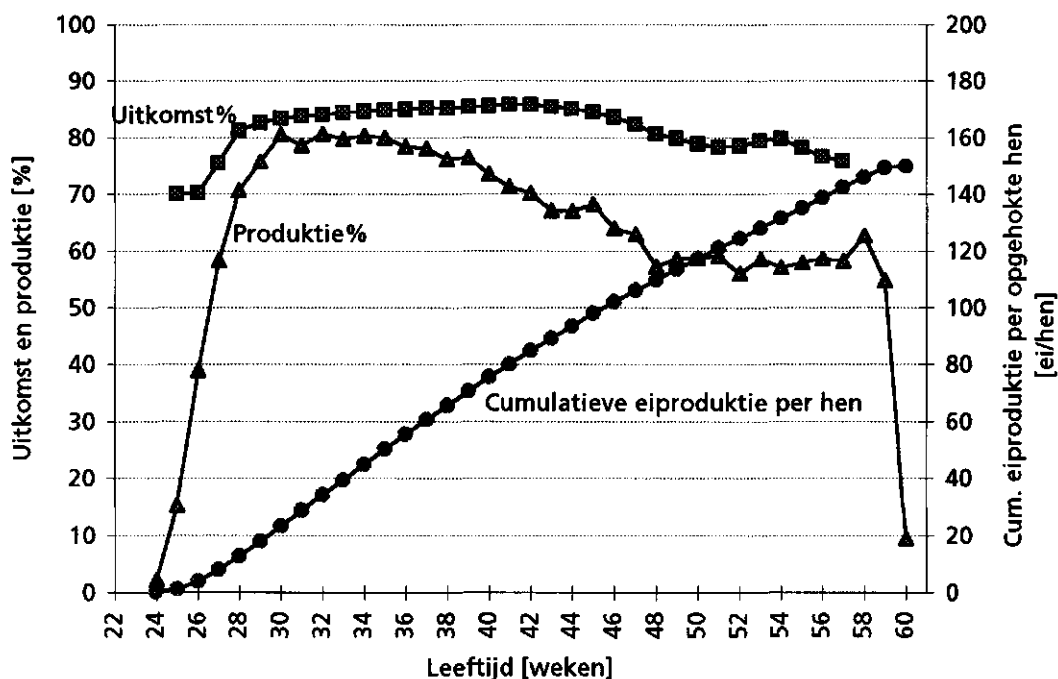
### 3.2 Zoötechniek

De kippen in de stal waren van het merk Ross en werden op 1 juni 1994 geboren. Op een leeftijd van 18 weken werden ze in de onderzoekstal geplaatst (begin oktober 1994). Op een leeftijd van precies 59 weken (18 juli 1995) werden de dieren geruimd. De kippen in de andere 2 stallen werden geplaatst op 24 februari en 14 juni 1994 en geruimd op 14 augustus en 31 juli 1995. In alle stallen werden elke produktieronde ongeveer 4500 hennen en 500 hanen opgelegd. In tabel 3.1 staan de gemiddelde produktiegegevens over de gehele leggerperiode van de kippen in stal 3 (week 24 t/m 59). In week 57 was de uitval hoog. Dit werd veroorzaakt door een hoge (buiten)temperatuur op 10 juli. In week 40 werden 36 hanen bijgeplaatst, in week 55 werden 50 hanen bijgeplaatst. In figuur 3.2 zijn de procentuele en cumulatieve eiproductie per hen en de uitkomstpercentages week grafisch weergegeven. De ei-productie werd berekend door het aantal eieren in een week te delen door 7 dagen en het aantal aanwezige hennen.

**Tabel 3.1** Gegevens van de onderzochte produktieronde en het landelijk gemiddelde.

|  | Onderzoekstal | Landelijk gemiddelde <sup>1</sup> |
|--|---------------|-----------------------------------|
| Opfokperiode (weken)                           | 5             | 4                                 |
| Legperiode (weken)                             | 37            | 39                                |
| Aantal opgehokte hennen (24 weken)             | 4760          | -                                 |
| Uitval hennen (%)                              | 14,7          | 10                                |
| Aantal opgehokte hanen (24 weken)              | 540           | -                                 |
| Uitval hanen (%)                               | 44,6          | 35                                |
| Ei-productie (aantal eieren/per opgehokte hen) | 149,9         | 150                               |
| Voerverbruik (gram voer/aanwezig dier.dag)     | 155           | 160                               |
| Water/voer verhouding (gram water/gram voer)   | 1,9           |                                   |

<sup>1</sup> KWIN, 1994.

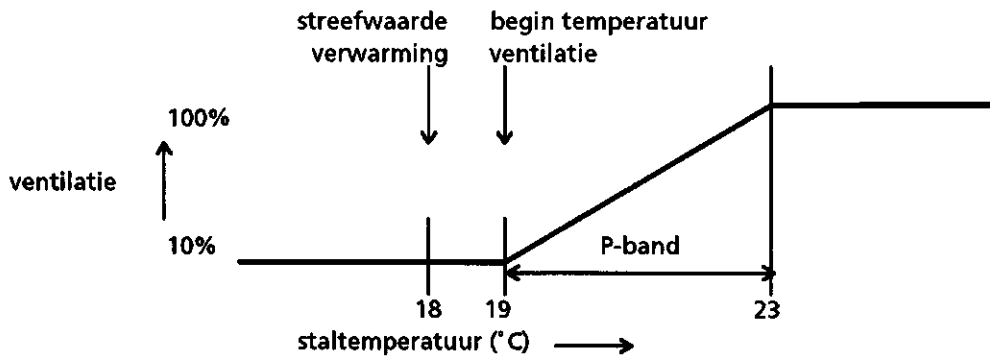


**Figuur 3.2** Produktiegegevens van de leggerperiode: procentuele en cumulatieve ei-productie per hen en uitkomstpercentages

### 3.3 Bedrijfsvoering

#### 3.3.1 Klimaatregeling

De ventilatoren en de luchtinlaatkleppen werden aangestuurd door een klimaatcomputer. De regeling was temperatuurafhankelijk (figuur 3.3). Beneden de 19 °C draaiden de ventilatoren op de minimum stand, die was ingesteld op 10% van het maximum debiet. Bij temperaturen hoger dan 23 °C was het ventilatiedebiet maximaal. Bij zeer hoge luchtvochtigheden in de stal kon extra geventileerd worden. Dit is echter gedurende de gehele legperiode niet voorgekomen. Bij een temperatuur lager dan 18 °C werd de verwarming (heteluchtkanon) ingeschakeld. Dit gebeurde alleen bij de opleg van de kippen en daarna niet meer (voor klimaatinstellingen zie bijlage A).



**Figuur 3.3** Schematische weergave van de klimaatregeling.

In de stal was geen daglichttoetreding. De verlichting van de stal werd verzorgd door 28 tl-buizen van elk 32 watt (1,23 Watt/m<sup>2</sup>). Aan het begin van de legperiode (week 20) was het licht 10 uur per dag aan. Dit werd geleidelijk verhoogd tot 16 uur per dag. Vanaf week 28 ging het licht elke dag om 03.00 uur aan en om 19.00 uur weer uit. De kippen werden elke dag om 15.00 uur gevoerd. De laatste week (vanaf 10 juli) werd de voertijd in verband met de tropische temperaturen verschoven naar 04.00 uur. De kippen konden bij de relatief lagere nachttemperatuur het voer beter opnemen en de geproduceerde warmte ten gevolge van de extra activiteit bij het voeren eenvoudiger afstaan.

#### 3.3.2 Voerverstrekking en drinkwatervoorziening

De kippen werden gevoerd met een mengsel van speciale kernvoerders en tarwe. De eerste 4-5 weken na opleg kregen de kippen een rantsoen dat bestond uit 70% opfokvoer en 30% tarwe. Vanaf een leeftijd van 22/23 tot 40 weken was de samenstelling 55% foktoom 1 en 45% tarwe. Vanaf 40 weken tot het einde van de legperiode kregen de kippen 45% foktoom 2 en 55% tarwe (bijlage C). Elke dag werden, ongeveer 10 uur nadat het licht aanging, 2 emmers met elk 12 kg tarwe over het strooisel gestrooid (ongeveer 5 gram per kip per dag). Dit bevorderde de scharrelintensiteit van de kippen.

*Drinkwater werd betrokken van de watermaatschappij (WOG) en werd nog extra gefilterd op organische stof. De kippen konden vanaf een kwartier na de voerverstrekking 4 uur lang water opnemen via de nippels. De water/voer verhouding was over de gehele legperiode ongeveer 1,9 (gram water/gram voer).*

### 3.3.3 Gezondheidszorg

In de opfokperiode werden alle noodzakelijke entingen verricht volgens de voorschriften van de Stichting Gezondheidszorg voor Dieren. Op een leeftijd van 34 weken werden de kippen geënt tegen pseudo-vogelpest. Dit gebeurde door de entstof met het drinkwater te mengen.

### 3.4 Mestbehandeling en droogstelsysteem

Het droogstelsysteem in de stal had tot doel zowel het strooisel als de mest onder de roosters te drogen. In figuur 3.1 is het droogstelsysteem schematisch weergegeven. Het stelsysteem bestond uit een ventilator (V), een overdrukkanal onder de legnesten (11) en buizen met gaatjes onder de rooster en boven het strooisel (12). De ventilator (bijlage A) blies stallucht in het afgesloten luchtkanaal (11), zodat hier overdruk ontstond. De inlaat voor de droogventilator was voorzien van een grof stofrooster en op 1,70 m boven de roosters en achterin de stal geplaatst. Onder de roosters waren aan beide zijden van het luchtkanaal en om de 2,40 m pvc-dwarsbuizen met een diameter van 75 mm aangesloten. Van de 21 buizen per kant zorgden er 11 voor droging van de mest onder de roosters. Aan de onderkant van deze buizen zaten om de 0,2 m op een hoek van 10° ten opzichte van de verticaal 2 gaatjes met een diameter van 6 mm. Door de overdruk in het stelsysteem werd de (warme) stallucht op de mest onder de rooster geblazen.

De 10 andere buizen liepen onder de roosters door en verzorgden het transport van lucht voor de droging van het strooisel. De ene helft van deze buizen liep net voorbij de roosters tot aan het strooisel door, de andere helft liep door tot aan de buitenmuur. Beide waren voorzien van T-stukken, waaraan buizen met gaatjes gemonteerd waren. Bij deze buizen was er 1 gat per doorsnede. De afstand tussen de gaatjes was 0,1 m en de diameter van deze gaatjes was 5 mm. De buizen voor strooiseldroging aan de roosterkant hingen op ongeveer 0,2 m boven het strooisel, die aan de buitenmuur hingen op 0,3-0,4 m. De gaatjes in deze buizen waren op een hoek van 30-45° ten opzichte van de verticaal ingesteld. Over het strooisel werd dus vanaf 2 kanten lucht geblazen. De overdruk in het droogstelsysteem bedroeg bij de gaatjes voor strooiseldroging 250-400 Pa.

### 3.5 Meetperioden en proefbehandelingen

Tijdens de produktieronde werden metingen verricht. De periode waarin gegevens voor het onderzoek werden verzameld is opgedeeld in 6 perioden en besloeg de weken 43 t/m 58 (tabel 3.2). Voorafgaand aan periode 1 (week 18 t/m 42) stond het droogstelsysteem ook aan. De dikte van de strooisellaag was eind april opgelopen tot 6 à 7 cm. Aan het einde van periode 1 (27 april) werd een groot deel van het strooisel verwijderd. De dieren bleven in de stal en er werd geen nieuw strooisel toegevoegd. De overgebleven strooisellaag was 1 à 2 cm dik. Door de continue toevoeging van uitwerpselen aan het strooisel was de strooisellaagdikte aan het einde van de produktieronde (en proefperiode) opgelopen tot 4 à 5 cm.

Het onderzoek duurde van periode 3 t/m 6. In perioden 3 en 5 stond het droogstelsysteem aan, in perioden 4 en 6 was het stelsysteem uit. Omdat de buiten- en binnentemperaturen in periode 6 hoog waren, was de uitval rond 10 juli hoog. Door de hoge temperatuur en luchtvochtigheid konden de kippen hun vocht moeilijk kwijt. Om de vochtafgifte te verhogen was extra luchtcirculatie nodig en werd het droogstelsysteem 4 dagen aangezet.

**Tabel 3.2** Overzicht van meetperioden en proefbehandelingen.

| Periode | Datum              | Eerste dagnr. <sup>1</sup> | Aantal dagen | Leeftijd (week.dag) | Droogstelsysteem | Druk (Pa) |
|---------|--------------------|----------------------------|--------------|---------------------|------------------|-----------|
| 1       | 4.4.95- 15.5.95    | 1                          | 24           | 43.6 - 47.1         | aan              | 250-400   |
| 2       | 16.5.9 - 27.4.95   | 25                         | 18           | 47.2 - 49.5         | aan              | 250-400   |
| 3       | 28.4.95 5 - 2.6.95 | 43                         | 18           | 49.6 - 52.2         | aan              | 250-400   |
| 4       | 3.6.95 - 19.6.95   | 61                         | 17           | 52.3 - 54.5         | uit              | -         |
| 5       | 20.6.95 - 8.7.95   | 78                         | 19           | 54.6 - 57.3         | aan <sup>2</sup> | 300-900   |
| 6       | 9.7.95 - 18.7.95   | 97                         | 10           | 57.4 - 58.6         | uit <sup>3</sup> | -         |

<sup>1</sup> dagnummer van de eerste dag van de periode

<sup>2</sup> verhoogde capaciteit van het droogstelsysteem

<sup>3</sup> 4 van de 11 dagen was het droogstelsysteem aan

In periode 5 werd de droogcapaciteit van het systeem vergroot door het droogdebiet te vergroten. Ongeveer de helft van de buizen met gaatjes aan de buitenmuren werd aangesloten op 2 centrifugaalventilatoren (bijlage A). De druk in de buizen aangesloten op deze ventilatoren lag tussen de 400 en 900 Pa. De dwarsbuizen, die niet meer nodig waren voor het luchttransport van luchtkanaal naar droogbuizen werden niet vervangen door dwarsbuizen voor droging van de mest onder de roosters, zodat zoveel mogelijk drooglucht ten goede kwam aan het strooisel. De overdruk in de rest van het droogstelsysteem werd ongeveer 50 Pa hoger.

### 3.6 Continue metingen

Tijdens de perioden 1 t/m 6 werden bij de 3 stalventilatoren van de uitgaande lucht (stalklimaat) de volgende variabelen continu gemeten:

- temperatuur (°C),
- relatieve luchtvochtigheid (%),
- ammoniakconcentratie (ppm NH<sub>3</sub>) en
- ventilatiedebiet (m<sup>3</sup>)

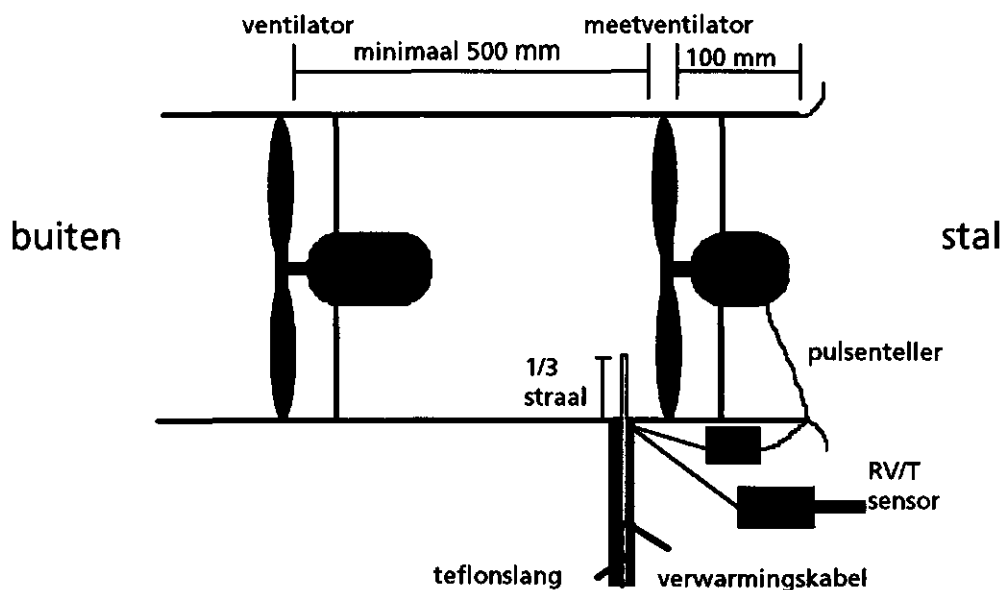
Van de ingaande lucht (buitenlimaat) werden de eerste 3 variabelen gemeten. Het meetpunt voor de buitenlucht was aan de rechterzijgevel ter hoogte van de luchtinlaat geplaatst. De metingen werden geheel automatisch met behulp van een datalogger uitgevoerd. Aan de 4 meetpunten werden bovenstaande variabelen om de beurt gedurende 1 minuut gemeten. Per uur en meetpunt werden er van elke variabele 15 waarnemingen verzameld, waaruit een uurgemiddelde werd bepaald. Deze uurgemiddelden werden weggeschreven naar een datakaart, die bij de pc uitgelezen kon worden. De apparatuur en het meetsysteem voor de continu gemeten variabelen zijn uitgebreid beschreven in Scholtens (1993) en Bleijenberg en Ploegaert (1994). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van de meetopstelling.

#### *Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid*

Met behulp van gecombineerde RV/T-sensoren (Rotronic) werden temperatuur en luchtvochtigheid gemeten. De 3 Rotronics voor de uitgaande lucht hingen dicht bij de ventilatiekokers (figuur 3.4). De Rotronics werden voor en na de proef gecalibreerd.

#### *Ventilatiedebiet*

Het ventilatiedebiet werd gemeten met meetventilatoren in de 3 ventilatiekokers. Per omwenteling werd een vast aantal pulsen afgegeven. De relatie tussen het aantal omwentelingen van de meetventilator (pulsen) en het ventilatiedebiet werd bepaald met behulp van een windtunnel volgens de (voormalige) NEN-norm 1048-11.



**Figuur 3.4** Koker met stal- en meetventilator (Bleijenberg en Ploegaert, 1994).

#### *Ammoniakconcentratie*

Het monsterpunt van de ammoniakconcentratie van de uitgaande luchtstroom bevond zich in de ventilatiekoker tussen meet- en stalventilator (figuur 3.1). Vanaf de aanzuigpunten in de ventilatiekokers en vanaf het monsterpunt buiten de stal werd lucht door verwarmde leidingen (FEP-Teflon) naar een ammoniakconvector getransporteerd. In de convector passeerde de luchtstroom een filter waarna het verhit werd tot 775 °C. Bij deze temperatuur wordt NH<sub>3</sub> aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De convertors waren zo dicht mogelijk bij de monsternamenpunten gemonteerd om de transportafstand van NH<sub>3</sub> tot een minimum te beperken. NH<sub>3</sub> adsorbeert namelijk gemakkelijk aan allerlei materialen en lost snel op in water, waardoor bij een grote afstand tussen monsternamenpunt en convector metingen kunnen worden verstoord. De stallucht werd continu aangezogen via teflonslangen. Om condens in de slangen te voorkomen werden alle slangen van een verwarmingslint en slangisolatie voorzien. Het in de convertors gevormde stabiele NO werd door verwarmde en geïsoleerde teflonslangen naar de NO<sub>x</sub>-monitor (Monitor Labs Model 8840) geleid. De monitor bepaalde de NO<sub>x</sub>-concentratie door middel van een chemoluminescentie-reactie tussen O<sub>3</sub> (ozon) en NO (vergelijking 3.1). De hoeveelheid vrijkomende lichtdeeltjes is een maat voor de NO<sub>x</sub> (en dus ook NH<sub>3</sub>) concentratie van de bemonsterde lucht. De meetapparatuur was in de serviceruimte van de stal geplaatst en werd bestuurd door een programmeerbare datalogger. De convertors werden voor en na de proef gecontroleerd en geijkt op het omzettingsrendement van NH<sub>3</sub> in NO. Uit de ijking na de proef bleek dat gemiddeld 87-88% van de aangeboden NH<sub>3</sub> als NO<sub>x</sub> werd gemeten (Ouwkerk, 1993; Bleijenberg en Ploegaert, 1994).



### **3.7 Stalbezoeken**

Twee maal per week werd de stal bezocht en werden de volgende routinehandelingen uitgevoerd. De meetapparatuur werd gecontroleerd en de monitor gecalibreerd (bijlage D Test en kalibratieformulier voor monitor ML 8840). Wanneer de absolute afwijking boven de 5% lag werden de gemeten concentraties gecorrigeerd. Tijdens de bezoeken werd ook het droogsysteem gecontroleerd op functioneren: het stofrooster werd schoongemaakt, de overdruk in het systeem werd op enkele plaatsen gemeten met een eenvoudige waterkolomdrukmeter en het buizenstelsel werd nagelopen op eventuele lekkages. Tevens

werd van het strooisel een monster genomen en een visuele beoordeling gegeven. De door de meetapparatuur op een datacard verzamelde gegevens werden elke week uitgelezen en verwerkt in een spreadsheetprogramma. Het energieverbruik van de droogventilator werd genoteerd. De ammoniakconcentratieingen werden één keer gecontroleerd met drägerbuisjes.

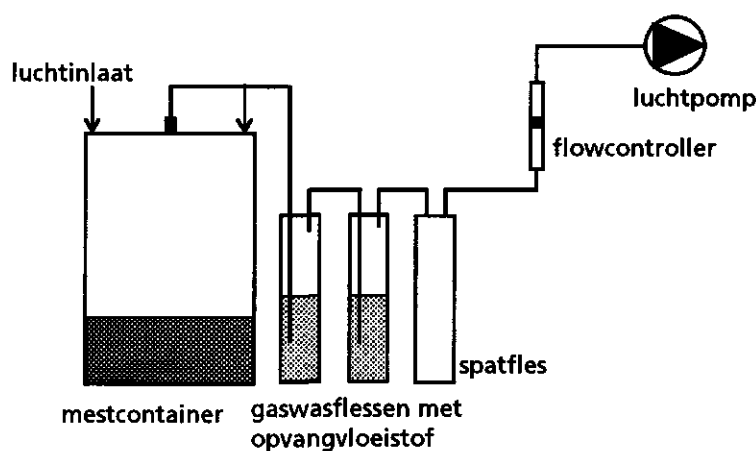
### 3.8 Strooiselanalyses

In de perioden 3 t/m 6 (weken 50 t/m 59) werd 2 maal per week van 10 plekken in de stal een gemengd strooiselmonster genomen (Bijlage E Procedure monsternamen). In totaal werden 20 strooiselmonsters genomen. Tijdens periode 5 sloeg het strooisel op enkele plekken dicht: het strooisel werd een koeklaag. Hierdoor konden op die plekken geen strooiselmonsters genomen worden, waardoor het gemengde monster uit minder dan 10 deelmonsters bestond. De monsters werden binnen enkele weken na monsternamen verwerkt. Tot deze tijd werden ze bewaard bij  $\pm 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zodat ammoniakvorming werd tegengegaan.

De monsters werden verdeeld in 2 delen. Het eerste deel werd door het laboratorium van het IMAG-DLO geanalyseerd op drogestofgehalte (g/kg), pH en ammoniakaal stikstof (som van  $\text{NH}_4\text{-N}$  en  $\text{NH}_3\text{-N}$  in g/kg). De analytische procedures zijn beschreven door Willers *et al.* (1993). Alle monsters werden dubbel geanalyseerd. Het tweede deel werd gebruikt voor een ventilatieexperiment op laboratorium schaal (pottenproef).

#### *pottenproef*

Voor het ventilatieexperiment in het laboratorium werd een meetopstelling gebruikt, die door het IMAG-DLO is ontworpen (Derikx *et al.*, 1995). Het experiment had tot doel de ammoniakemissie uit een laag strooisel te meten, waarbij ernaar gestreefd werd de oncontroleerbare invloeden op de ammoniakemissie, waarbij ernaar gestreefd werd de oncontroleerbare invloeden (temperatuur, luchtvochtigheid, luchtbewegingen, ventilatiedebiet). Het principe van de meting beruiste op het permanent leiden van een gedefinieerde hoeveelheid lucht over het strooiseloppervlak, waarbij de meegevoerde ammoniak in een opvangvloeistof verzameld werd. De emissie werd bepaald door de hoeveelheid ingevangen ammonium in de opvangvloeistof te bepalen. Op deze wijze konden de emissies uit de strooiselmonsters in gekwantificeerd worden.



**Figuur 3.5** Schematische weergave van de laboratoriumopstelling voor het bepalen van de ammoniakemissie door mestoppervlakken (Derikx *et al.*, 1995).

De gebruikte opstelling staat schematisch weergegeven in figuur 3.5. Lucht werd aangezogen via kleine openingen (24 stuks, diameter 2 mm) op gelijkmatige afstand gerangschikt aan de rand van het deksel van de mestcontainer (binnendiameter 192 mm, hoogte 230 mm). In de mestcontainers werd een laag van 5 cm strooisel aangebracht. De



netto inhoud van de container was 5,2 liter en het strooiseloppervlak bedroeg 0,029 m<sup>2</sup>. De 2 gaswasflessen waren gevuld met een opvangvloeistof van 70 ml HNO<sub>3</sub> (0,5 mol/l). Een derde opvangbuis zonder opvangvloeistof fungeerde als spatfles die de luchtleidingen en -pomp beschermde tegen vocht en zuur. Het luchtdebiet per container werd ingesteld op 4,7 liter per minuut. De verversingsgraad bedroeg daardoor 0,9 min<sup>-1</sup>. Dit is een standaard verversingsgraad die in IMAG-DLO onderzoek wordt gebruikt. Uit onderzoek van Derikx et al. (1995) bleek dat het verband tussen de verversingsgraad en de ammoniakemissie niet lineair was. De totale meetopstelling bestond uit 5 containers met toebehoren en was geplaatst in een geconditioneerde ruimte met een temperatuur van 20 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 90%.

Met elk gemengd monster werden 2 pottenproeven gedaan. De proeven duurden exact 24 uur, zodat de resultaten van proeven die niet tegelijkertijd gedaan werden vergelijkbaar waren. Overigens bleek uit onderzoek van Groot Koerkamp en Elzing (1996) dat de vervluchtigingsgraad van een monster in de pottenproef niet veranderde gedurende de eerste 3 dagen. Na de proef werd de inhoud van de gaswasflessen gemeten (gram) en de ammoniumconcentratie (mg NH<sub>4</sub>-N/l) spectrofotometrisch bepaald volgens NEN 6472. Hieruit werd de NH<sub>3</sub>-emissie per dag berekend (mg/24 u).

### 3.9 Gegevensverwerking

Het onderzoek bestond uit 2 delen:

- stalmetingen met continue waarnemingen en
- strooiselanalyses door middel van monsternamen (discrete waarnemingen).

Het eerste deel leverde gegevens op, die bestonden uit continu gemeten variabelen. Van deze variabelen werden met de meetapparatuur in de stal uurgemiddelden bepaald. Uit de uurgemiddelden werden dag- en periodegemiddelden berekend. De NH<sub>3</sub>-emissie uit een ventilatiekoker is het produkt van het ventilatiedebiet en het verschil tussen de NH<sub>3</sub>-concentratie van de in- en uitgaande lucht. De emissie uit de stal is de som van de emissies uit de kokers. Bij het ontbreken van gegevens door storingen werd geïnterpoleerd.

De uit het ventilatiedebiet (m<sup>3</sup>/u) en concentratieverschil (mg NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>) berekende ammoniakemissie (g NH<sub>3</sub>/u) (daggemiddelde) werd volgens vergelijking 3.2 omgerekend naar een emissie per dierplaats per jaar (g NH<sub>3</sub>/dp.jr).

$$NH_3 \text{ (g / dp.jr)} = \frac{NH_3se \text{ (g / u)} \times 8760 \text{ (u / jr)} \times 0,87}{4732 \text{ (dp)}} \quad (3.2)$$

met:

- NH<sub>3</sub> = emissie per dierplaats per jaar
- NH<sub>3</sub>se = de gemeten emissie in gram per uur
- 8760 = aantal uren per jaar (24 x 365)
- 0,87 = leegstandsfactor
- 4732 = aantal dierplaatsen

De leegstandsfactor (0,87) werd berekend aan de hand van gebruikelijke normen, dat wil zeggen een opfokperiode van 28 dagen, een legperiode van 273 dagen (39 weken) en een leegstand van 45 dagen. In werkelijkheid bedroeg de opfok- en legperiode 61 weken en de leegstand na de onderzochte produktieronde was ongeveer 6 weken. De leegstandsfactor werd verkregen door het aantal dagen met dieren in de stal (28 + 273) te delen door de lengte van de produktieronde (incl. leegstand 346 dagen) (KWIN, 1994). In werkelijkheid

stopt de ammoniakemissie uit een stal niet na het ruimen van de dieren, maar pas na het verwijderen van de mest en het strooisel uit de stal. Het aantal dierplaatsen werd berekend door het staloppervlak (56 x 13) te vermenigvuldigen met een maximale bezetting bij opleg van 6,5 dieren per m<sup>2</sup> (Beoordelingsrichtlijn, 1993). De werkelijke bezetting bij opleg was 7,3 dieren per m<sup>2</sup>. Aan het begin van periode 3 (week 50) was de bezetting door uitval gedaald naar 6,4 dieren per m<sup>2</sup> (het aantal dieren is inclusief hanen).

Uit de daggemiddelden van temperatuur en relatieve luchtvochtigheid werd voor binnen en buiten het waterdampdrukverschil (Pwds) berekend (ASHRAE, 1993). Uit onderzoek van Groot Koerkamp *et al.* (1996) bleek dat dit een betere verklarende variabele voor de NH<sub>3</sub>-emissie is dan de relatieve luchtvochtigheid.

De discrete metingen aan het strooisel leverde een tweede reeks met gegevens op. Het drogestofgehalte (g ds/kg strooisel), de pH en het totaal aan ammoniakaal stikstof (g N/kg strooisel) werden door het lab in de tussen haakjes geschreven eenheden aangeleverd en vervolgens in een spreadsheetprogramma verwerkt. In totaal zijn er 20 monsters genomen, die ieder 2 maal werden geanalyseerd en ingezet in de pottenproef. Van de pH is alleen het gemiddelde opgenomen, omdat de A en B analyse van de pH per monster gelijk bleek te zijn.

De emissiegegevens van de pottenproef werden berekend door het gewicht van de opvangvloeisof te vermenigvuldigen met de concentratie N in de vloeistof (NH<sub>4</sub>Np in mg/d). Volgens vergelijking 3.3 werd dit omgerekend naar mmol per m<sup>2</sup> per uur ( $\Phi_{\text{NH}_3,\text{pot}}^{\text{u}}$ ).

$$\Phi_{\text{NH}_3,\text{pot}}^{\text{u}} \text{ (mmol / m}^2\text{.u)} = \frac{\text{NH}_4\text{Np (mg / d)}}{14 \text{ (mg / mmol)} \times 24 \text{ (u / d)} \times 0,028 \text{ (m}^2\text{)}} \quad (3.3)$$

met:

- NH<sub>4</sub>Np = hoeveelheid N in de opvangvloeistof (emissie gedurende 24 uur)
- 14 = moleculaire massa van stikstof
- 24 = aantal uren per dag
- 0,028 = oppervlakte van de container

Uit de bepaling van het drogestofgehalte werd het watergehalte op natte basis berekend ( $w_c = 1000 - ds$ ). De hoeveelheid stikstof die uit de mest kan vervluchtigen (TAN) was geanalyseerd in grammen N per kg strooisel (NH<sub>4</sub>Na). Door dit te vermenigvuldigen met 1000/14 werd het omgerekend naar mmol N per kg strooisel ( $C_{\text{TAN}}$ ). Vervolgens konden met vergelijking 2.8 en met behulp van lineaire regressie de waarden van k en M bepaald worden. Daarna werd  $F_{\text{NH}_3}$  berekend (vergelijking 2.6), zodat hiermee de concentratie vervluchtigbare ammoniak ( $c_{\text{NH}_3}$ ) berekend kon worden (vergelijking 2.5). Tenslotte kon met vergelijking 2.7 de ammoniakemissie op basis van de geanalyseerde hoeveelheid vervluchtigbare ammoniak ( $\Phi_{\text{NH}_3,\text{strooisel}}^{\text{u}}$ ) berekend worden.

De onder laboratorium omstandigheden gemeten emissie uit het strooisel ( $\Phi_{\text{NH}_3,\text{pot}}^{\text{u}}$ ) werd omgerekend naar een emissie per dierplaats per jaar (NH<sub>3</sub>p). De stalemissie in een periode (NH<sub>3</sub>se) verminderd met de emissie uit het strooisel (NH<sub>3</sub>p) geeft een indicatie van de emissie uit de mestopslag onder de roosters. Bij bovenstaande berekening werd voor de stalemissie het gemiddelde van een periode gebruikt (4 data). Voor gegevens over de emissie uit de pot werden de afzonderlijke analyses gebruikt (20 data).

### 3.10 Statistische analyses

Van de verzamelde gegevens werden 2 databases gemaakt. Eén voor de continue variabelen (106 dagen uit de perioden 1 tot en met 6) en één voor de discrete variabelen (20 strooiselanalyses uit de perioden 3 tot en met 6).

#### *Model voor de ammoniakemissie*

De daggemiddelden van de continu gemeten variabelen werden als pseudo-repeterend beschouwd met de tijd als onafhankelijke variabele. De ammoniakemissie werd gekwantificeerd door het gebruik van de natuurlijke logaritme van deze variabele. Het gebruik van de logaritmische schaal betekent dat proportionele effecten werden bestudeerd in plaats van absolute effecten, de variantie wordt constant verondersteld op log-schaal. Dit is realistischer dan de veronderstelling dat de variantie van de emissie zelf constant is. Bovendien is de emissie zo altijd positief (Groot Koerkamp et al., 1996). De ammoniakemissie uit de stal (NH<sub>3</sub>e) wordt beïnvloedt door tijdsafhankelijke processen zoals luchttemperatuur (t), ventilatiedebiet (Qs), etc. Daarom werd voor de emissie-modellering de statistische techniek tijdreeksanalyse gebruikt. Deze techniek wordt uitgebreid beschreven door Chatfield (1989). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving.

Een lineair model voor de log-emissie betekent een multiplicatief model voor de emissie. Als  $z_t$  de log-emissie op tijdstip  $t$  is,  $\eta_t$  het gemiddelde en  $\epsilon_t$  de afwijking hiervan, dan geldt:

$$z_t = \eta_t + \epsilon_t \quad (3.4)$$

Dus  $\eta_t$  is afhankelijk van tijdsafhankelijke verklarende variabelen en  $\epsilon_t$  vertegenwoordigt de afwijking van waarneming  $z_t$  ten opzichte van het gemiddelde. De afwijking  $\epsilon_t$  op tijdstip  $t$  is afhankelijk van de voorgaande afwijking volgens onderstaande vergelijking:

$$\epsilon_t = \phi \times \epsilon_{t-1} + a_t \quad (3.5)$$

Hierin is  $a_t$  een onafhankelijk verdeelde fout, innovaties genoemd, met 0 als gemiddelde. De  $\phi$  is de correlatie tussen opeenvolgende waarnemingen.

De gemiddelde ammoniakemissie en de afwijking hiervan zijn functies van de tijd. In het model voor de ammoniakemissie uit de stal wordt de log-emissie voor elke dag als volgt geschat:

$$\eta_t = C_i + \alpha_1 \times Pwds + \alpha_2 \times t_e \quad (3.6)$$

$C_i$  is een schatting voor de gemiddelde emissie in een periode ( $i = 1$  t/m 6) en  $\alpha_1$  en  $\alpha_2$  zijn regressiecoëfficiënten voor het waterdampdrukverschil tussen strooisel en stallucht (Pwds) en de staltemperatuur (t) (Groot Koerkamp et al., 1996).

#### *strooiselanalyses*

De strooiselmonsters werden onafhankelijk van elkaar beschouwd. Het eerste monster viel als enige in periode 2 en is niet meegenomen in grafieken met periodegemiddelden, maar is wel gebruikt bij de analyses. Van de 20 monsteranalyses werd met behulp van vergelijking 2.8 en lineaire regressie met de kleinste kwadratenmethode getracht de massa-overdrachtscoëfficiënt  $k$  van vergelijking 2.7 en tegelijkertijd de waarde van de wiskundige factor  $M$  (pKa) van vergelijking 2.6 te schatten (vergelijking 2.8). De relaties tussen het drogestofgehalte, de concentratie vervluchtigbare ammoniak in het strooisel, de emissie uit de stal en de emissie uit de pot werden met behulp van lineaire regressie onderzocht. Alle statistische analyses werden uitgevoerd met het programma GENSTAT (Genstat 5 Committee, 1993).

## 4 Resultaten

### 4.1 Continue metingen

Tabel 4.1 geeft de periodegemiddelden van de continu gemeten variabelen weer. In de kolom periode staat voor de schuine streep de periode waarover het gemiddelde is berekend en achter de streep of het droogstelsel in die periode aan (=1) of uit (=0) was. Voor een omschrijving van de gebruikte afkortingen wordt verwezen naar de symbolenverklaring achterin dit rapport.

**Tabel 4.1** Periodegemiddelden van de continue gemeten variabelen.

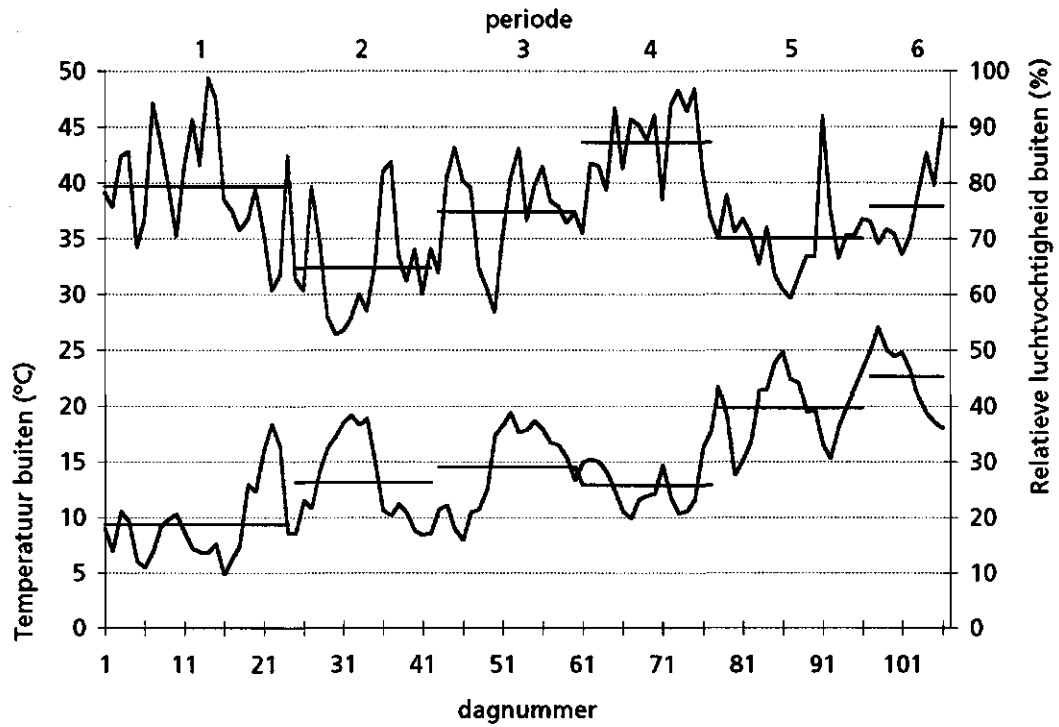
| Periode | $t_e$<br>(°C) | $RV_e$<br>(%) | $t_i$<br>(°C) | $RV_i$<br>(%) | NH <sub>3</sub> cs<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | NH <sub>3</sub> cb<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Qs<br>(m <sup>3</sup> /u) | Qd<br>(m <sup>3</sup> /u) | Pwds<br>(kPa) | NH <sub>3</sub> se<br>(g/u) |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|--|---------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1/1     | 9,3           | 79,4          | 21,4          | 64,0          | 24,36                                      | 0,45                                       | 14122                     | 3732                      | 0,665         | 317                         |
| 2/1     | 13,1          | 64,7          | 22,0          | 57,7          | 13,88                                      | 0,39                                       | 16596                     | 4565                      | 0,865         | 206                         |
| 3/1     | 14,5          | 74,8          | 22,3          | 63,5          | 15,67                                      | 0,38                                       | 19347                     | 4407                      | 0,716         | 279                         |
| 4/0     | 12,9          | 87,2          | 21,7          | 67,1          | 15,40                                      | 0,23                                       | 18213                     | 102                       | 0,597         | 272                         |
| 5/1     | 19,8          | 70,0          | 25,3          | 60,9          | 10,48                                      | 0,18                                       | 23696                     | 3955                      | 0,944         | 245                         |
| 6/0     | 22,6          | 75,7          | 27,6          | 65,2          | 13,11                                      | 0,18                                       | 25745                     | 1485                      | 0,929         | 334                         |

In figuur 4.1 is het verloop van de buitentemperatuur en -luchtvochtigheid over de 106 meetdagen en 6 perioden weergegeven. Het dagnummer (x-as) geeft de meetdag weer. De meetdagen begonnen op 4 april 1995 en eindigden op 18 juli 1995. In totaal waren er 106 meetdagen opgedeeld in 6 perioden (tabel 4.1). Het periodenummer is boven de figuur weergegeven. De periodegemiddelden van de buitentemperatuur ( $t_e$ ) en relatieve luchtvochtigheid zijn weergegeven met horizontale lijnen. De buitentemperatuur steeg van 9,3 °C in periode 1 tot 22,6 °C in periode 6. In figuur 4.1 is te zien dat de daggemiddelden behoorlijk fluctueerden. De relatieve luchtvochtigheid in de stal ( $RV_i$ ) was lager dan in de van de buitenlucht ( $RV_e$ ) en fluctueerde ook veel minder (figuur 4.2). De temperatuur in de stal ( $t_i$ ) was altijd hoger dan de buitentemperatuur en kwam niet beneden de 20 °C. De fluctuaties in staltemperatuur en -luchtvochtigheid volgden die van de buitenlucht, maar waren absoluut gezien minder groot. In perioden 5 en 6 waren de schommelingen in temperatuur groot en lagen maxima en minima in de tijd gezien vrij dicht bij elkaar.

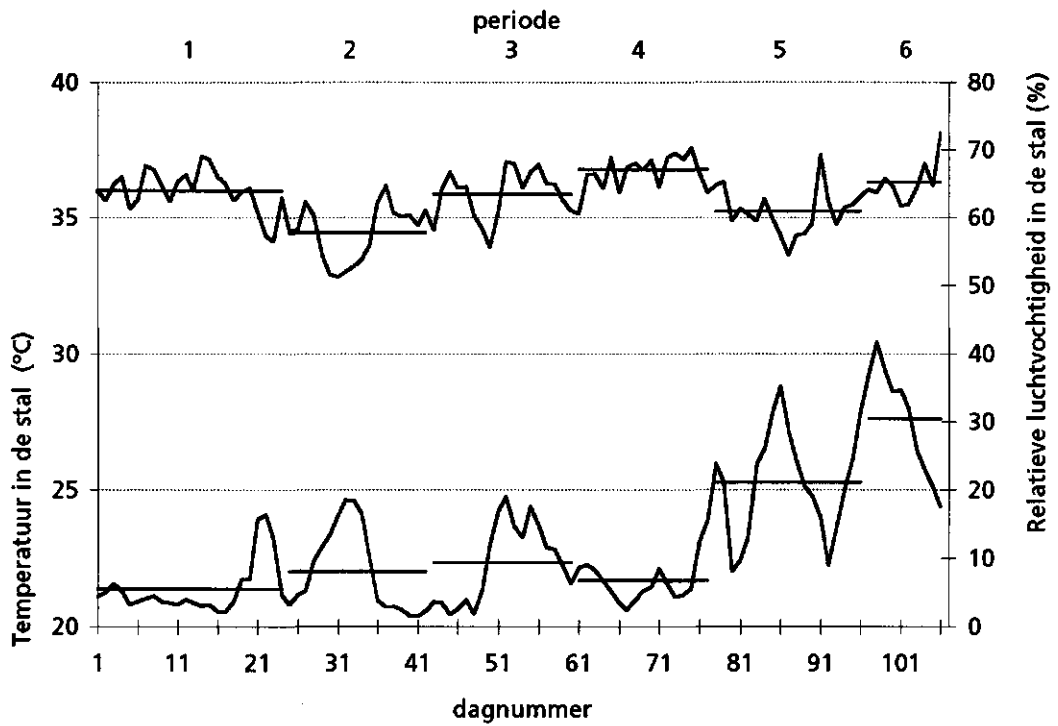
Het ventilatiedebiet ( $Q_s$ ) steeg van ruim 14.000 m<sup>3</sup>/u in periode 1 tot bijna 26.000 m<sup>3</sup>/u in periode 6 (figuur 4.3). In deze laatste periode was de ingestelde ventilatie nagenoeg altijd 100%. Het werkelijke maximale ventilatiedebiet (27.000 m<sup>3</sup>/u) en de opgegeven fabriekscapaciteit (35.250 m<sup>3</sup>) verschilden aanzienlijk.

De gemeten daggemiddelden van de ammoniakconcentratie in de stal (NH<sub>3</sub>cs) varieerden van 8,6 tot 32,1 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>. De ammoniakconcentratie was in periode 1 met ruim 24 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> aanzienlijk hoger dan in de overige meetperioden. In die periode was het ventilatiedebiet het laagst en de emissie niet het hoogst.

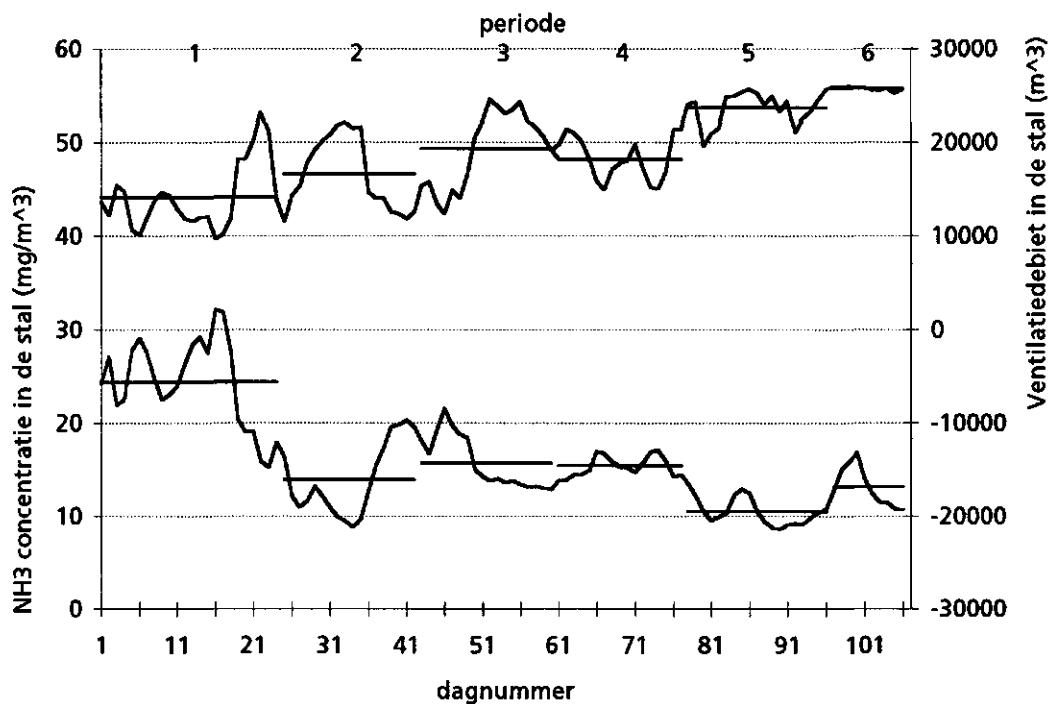
Aan het einde van periode 1 werd de met stof vervuilde droogventilator schoongemaakt, waardoor het droogdebiet ( $Q_d$ ) met ruim 15% toenam (van ± 3900 naar ± 4500 m<sup>3</sup>/u). Daarna nam het droogdebiet weer geleidelijk af. In periode 5 werd een deel van de buizen aan de zijgevels van de stal aangesloten op extra ventilatoren en werd het aantal buizen (en dus gaatjes) aan het systeem met de 'oude' droogventilator verkleind. Hierdoor nam de druk in het gehele systeem toe en het totale droogdebiet in het 'oude' systeem nam daardoor verder af (het debiet per gat nam toe). Het debiet van de extra ventilatoren is niet gemeten.



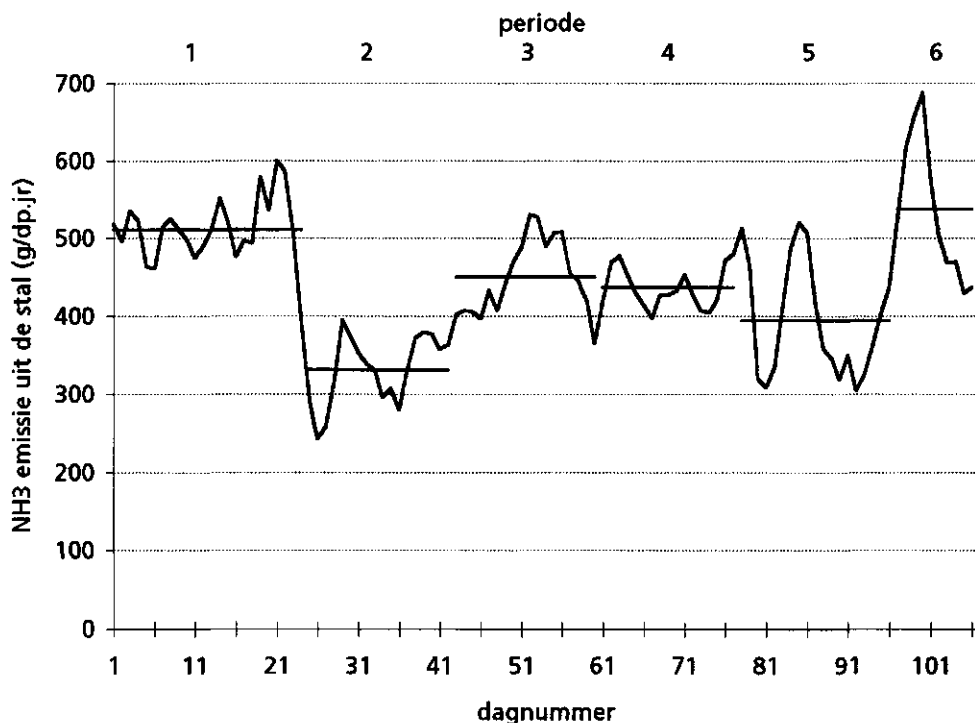
**Figuur 4.1** Dag- en periodegemiddelden (horizontale strepen) van de gemeten buitenklimaatvariabelen.



**Figuur 4.2** Dag- en periodegemiddelden van de gemeten stalklimaatvariabelen.



**Figuur 4.3** Dag- en periodegemiddelden van de NH<sub>3</sub>-concentratie in de stal en het ventilatiedebiet.



**Figuur 4.4** Dag- en periodegemiddelden van de gemeten NH<sub>3</sub>-emissie uit de stal.

De ammoniakemissie (NH<sub>3</sub>se) was in de perioden 1 en 6 met meer dan 300 gram per uur het hoogst (tabel 4.1). De emissie vertoonde op het moment van overgang tussen periode 1 en 2 een halvering en nam daarna in periode 2 en 3 weer geleidelijk toe. Tijdens een controlemeting met drägerbuisjes werd vastgesteld dat de linkerinlaatopeningen de uit de stal geventileerde lucht voor een deel weer naar binnen lieten. De ammoniakconcentratie

van de inlaatlucht aan de linkerkant bedroeg ongeveer 1/3 van de uit de stal geventileerde lucht. De werkelijke concentratie van de inlaatlucht was dus hoger dan die werd gemeten bij het meetpunt gesitueerd aan de rechterkant van de stal. Voor deze meetfout is niet gecorrigeerd.

In tabel 4.2 staan de met vergelijking 3.5 en tijdreeksanalyse verkregen coëfficiënten van het model voor de ammoniakemissie uit de stal. Het model verklaarde 92,3% van de variantie in de gemeten ammoniakemissie. De correlatie tussen opeenvolgende foutjes ( $\phi$ ) was 0,82.

**Tabel 4.2** Resultaten (gemiddelde en standaardfout) van de tijdreeksanalyse van de natuurlijke logaritme van de ammoniakemissie uit de stal (g NH<sub>3</sub>/u). De gemiddelden zijn ook op lineaire schaal weergegeven.

| Parameter                   | Gemeten range | Symbool        | Log-schaal |               | Lineaire schaal |
|-----------------------------|---------------|----------------|------------|---------------|-----------------|
|                             |               |                | gemiddelde | standaardfout | gemiddelde      |
| Gem. emissie in periode 1   |               | C <sub>1</sub> | 5,81       | 0,06          | 332,8           |
| periode 2                   |               | C <sub>2</sub> | 5,50       | 0,06          | 245,4           |
| periode 3                   |               | C <sub>3</sub> | 5,59       | 0,07          | 266,6           |
| periode 4                   |               | C <sub>4</sub> | 5,62       | 0,08          | 274,7           |
| periode 5                   |               | C <sub>5</sub> | 5,42       | 0,08          | 225,6           |
| periode 6                   |               | C <sub>6</sub> | 5,47       | 0,10          | 237,2           |
| Waterdampdrukverschil (kPa) | 0,5 - 1,3     | $\alpha_1$     | -0,28      | 0,08          | -24%            |
| Staltemperatuur (°C)        | 20,4 - 30,4   | $\alpha_2$     | 0,09       | 0,01          | 9%              |

De schatting van de emissie in een periode wordt weergegeven door C<sub>i</sub>, met voor i het periodenummer. De laatste kolom van tabel 4.2 geeft de ammoniakemissie in een periode gecorrigeerd naar het gemiddelde waterdampdrukverschil (0,8 kPa) en de gemiddelde staltemperatuur (23 °C). De geschatte emissie in periode 1 was duidelijk hoger dan in de overige perioden en significant hoger dan in de perioden 2, 5 en 6 (P ≤ 0,05). De andere perioden waren niet significant verschillend van elkaar. Een temperatuursverhoging van 1 °C betekende een verhoging van de emissie met 9%. Een verhoging van het waterdampdrukverschil met 1 kPa betekende een verlaging van de emissie met 24%. Het effect van temperatuur en waterdampdruk op de ammoniakemissie was significant. De (geschatte) emissie in een periode (sNH<sub>3</sub>se), bij een staltemperatuur t, en een waterdampdrukverschil P<sub>wds</sub> kan volgens vergelijking 4.1 berekend worden.

$$sNH_3se = e^{(C_i + \alpha_1 \times (P_{wds} - 0,8) + \alpha_2 \times (T_s - 23))} \quad 4.1$$

Uit het verschil in de geschatte emissie van periode 1 en 2 blijkt, dat na het verwijderen van het strooisel de emissie met 26% daalde. Vergelijking van de geschatte emissies in periode 3 met die in periode 4 en van periode 5 met periode 6 laten zien dat de (gecorrigeerde) emissie na het uitzetten van het droogstelsel met respectievelijk 3 en 5% toenam.

Figuur E.1 van bijlage E geeft de gemodelleerde en gemeten ammoniakemissie uit de stal weer. De voorspellingen van het model volgen de gemeten emissie vrij goed. Bij de lage emissies in periode 2 is het verschil tussen model en werkelijkheid echter duidelijk te zien. De onnauwkeurige schattingen van de emissie in periode 2 zijn in figuur E.2 terug te vinden in het linker deel van de figuur en in figuur E.3 in het onderste deel (de hoge negatieve residuen).

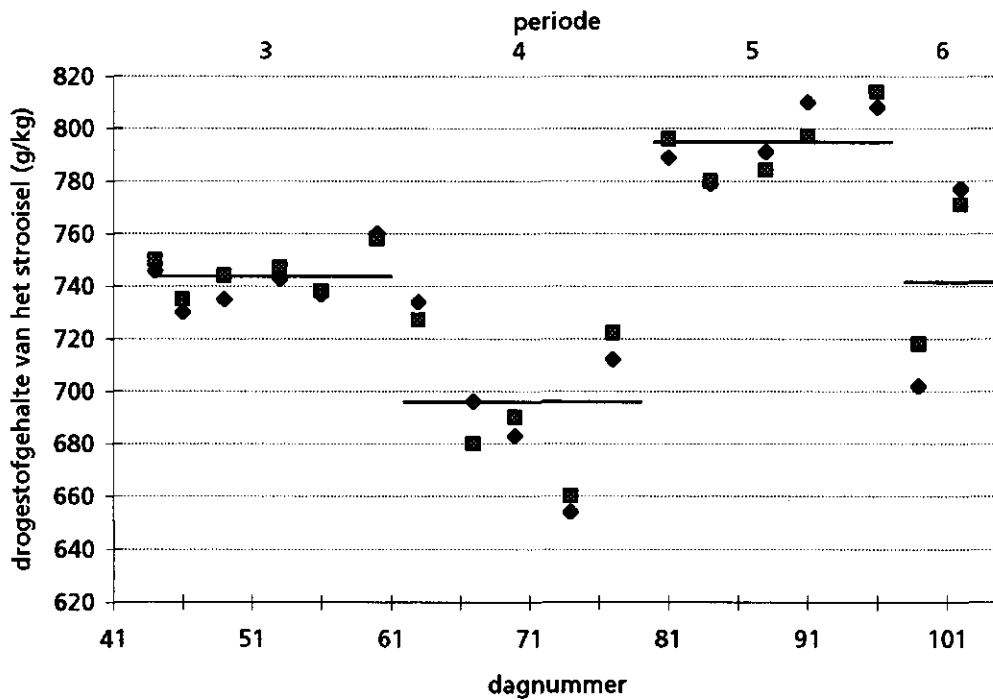
## 4.2 Discrete metingen

In tabel 4.3 staan de periodegemiddelden van de strooiselanalyses. De tweede kolom geeft het aantal (dubbele) monsters waaruit het periodegemiddelde is bepaald. Het drogestofgehalte van het strooisel was in de perioden waarin gedroogd werd (3 en 5) het

hoogst. In figuur 4.5 zijn de resultaten van de A en B analyse van elk strooiselmonster weergegeven. De A en B resultaten liggen vrij dicht bij elkaar. De A en B analyse voor de concentratie vervluchtigbare stikstof (TAN) en de hoeveelheid stikstof in de opvangvloeistof gaven een zelfde soort resultaat (spreiding) als het drogestofgehalte. De A en B analyse van de pH was voor elk strooiselmonster gelijk. De pH nam over de perioden 3 tot en met 6 geleidelijk af, de spreiding was gering. Het drogestofgehalte in periode 5 was significant hoger dan in periode 4 ( $P \leq 0,05$ ). Uit figuur 4.5 blijkt een duidelijke relatie tussen het aan/uit-zetten van het droogstelsel en het drogestofgehalte van het strooisel. Na uitzetten werd het drogestofgehalte vrij snel lager. Over de perioden heen is een trend naar een hoger drogestofgehalte waarneembaar. De relatie tussen het drogestofgehalte en drogen (aan/uit), gecorrigeerd voor deze trend, was vrij sterk ( $R^2 = 77\%$ ). De correctie werd toegepast door de 4 meetperioden op te delen in 2 blokken: blok 1 bestond uit de perioden 1 en 2, blok 2 bestond uit de perioden 3 en 4. Het drogestofgehalte in blok 2 lag 49 gram per kg strooisel hoger dan in blok 1 en het effect van drogen was 50 gram per kg strooisel.

**Tabel 4.3** Periodegemiddelden van de discreet gemeten variabelen: drogestofgehalte, zuurgraad, concentratie TAN en de volgens vergelijking 3.3 gemeten emissie uit de pot.

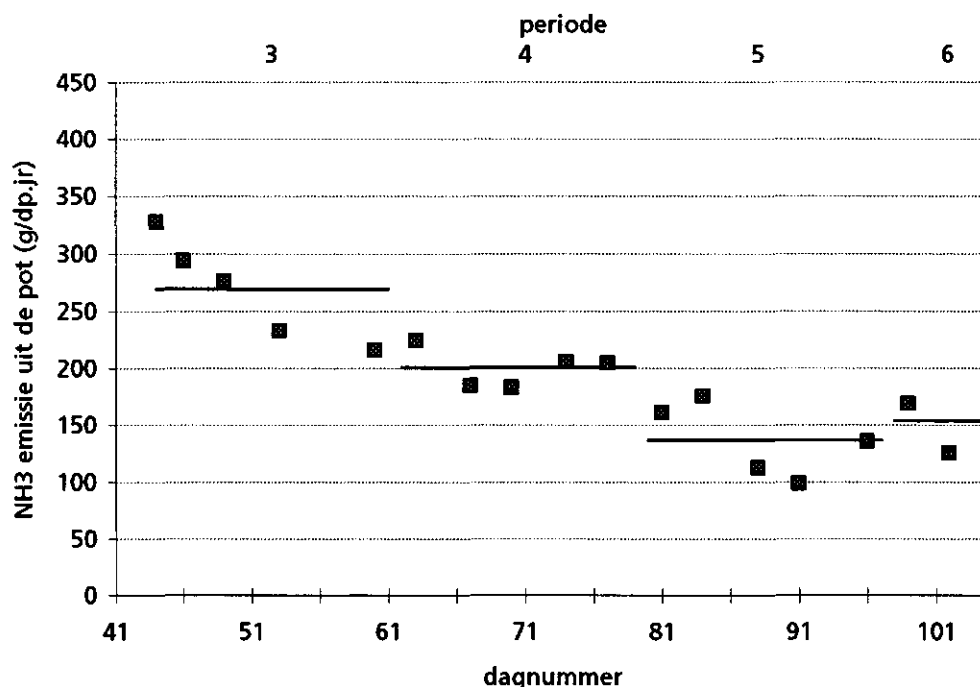
| Periode | Aantal monsters | Drogestofgehalte (g/kg) | Zuurgraad pH | Conc. Vervl. N (TAN) NH <sub>4</sub> Na (g N/kg) | Emissie uit de pot $\Phi''_{\text{NH}_3,\text{pot}}$ (mmol/m <sup>2</sup> .u) |
|---------|-----------------|-------------------------|--------------|--|---|
| 3/1     | 6               | 744                     | 8,75         | 3,96   | 31,5  |
| 4/0     | 5               | 696                     | 8,64         | 2,98   | 23,0  |
| 5/1     | 5               | 795                     | 8,56         | 3,14   | 15,6  |
| 6/0     | 3               | 742                     | 8,47         | 3,08   | 17,6  |



**Figuur 4.5** De A en B resultaten en het periodegemiddelde van het drogestofgehalte.

De hoeveelheid stikstof in de opvangvloeistof is volgens vergelijking 3.3 omgerekend naar een emissie uit de pot ( $\Phi''_{\text{NH}_3,\text{pot}}$  in mmol/m<sup>2</sup>.u, tabel 4.3). In figuur 4.6 staat de emissie uit de pot in grammen per dierplaats per jaar grafisch weergegeven. De emissie uit de pot was in periode 3 met gemiddeld 31,5 mmol/m<sup>2</sup>.u het hoogst en nam in periode 4 en 5 geleidelijk af.





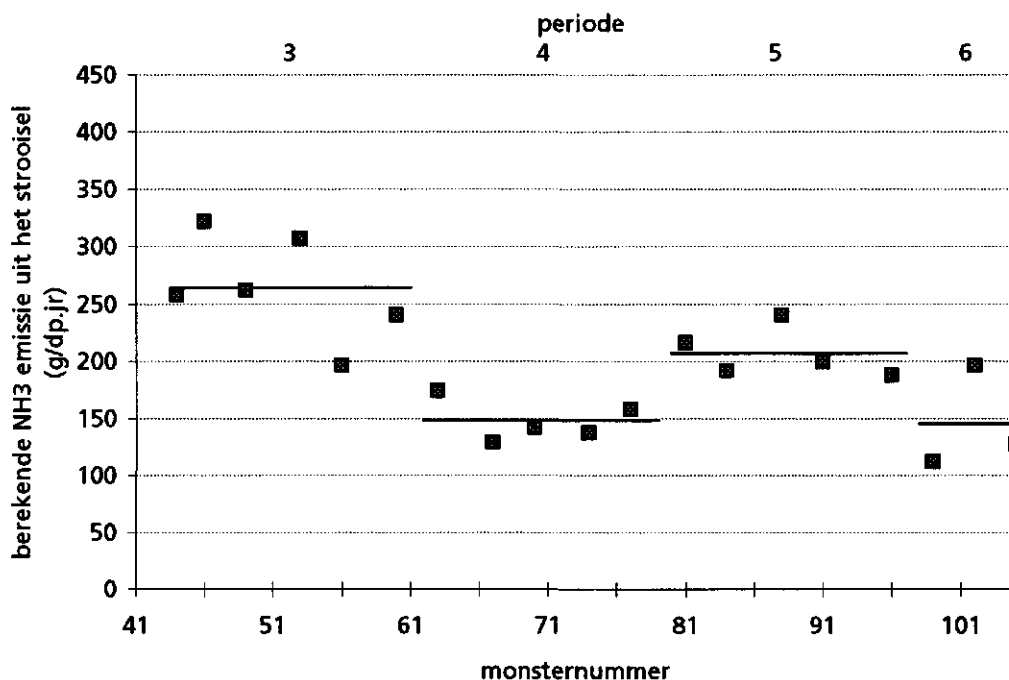
**Figuur 4.6** Monster- en periodegemiddelden van de ammoniakemissie uit de laboratoriumopstelling (pot).

Bij de berekening van de ammoniakemissie uit het strooisel met de geanalyseerde hoeveelheid vervluchtigbare stikstof (TAN) en de vergelijkingen 2.5 tot en met 2.8 werden voor  $k$  en  $M$  de waarden 53,0 en 8,72 gebruikt. Enkele tussenresultaten ( $F_{\text{NH}_3}$  en  $c_{\text{NH}_3}$ ) en het eindresultaat  $\Phi''_{\text{NH}_3, \text{strooisel}}$  van deze berekeningen staan in tabel 4.4. Afgaande op de periodegemiddelden is de berekende emissie uit het strooisel in de perioden 3 en 5 hoger dan in de perioden 4 en 6 (figuur 4.7).

**Tabel 4.4** Periodegemiddelden van de uit de continue en discrete meetgegevens berekende variabelen.

| Periode | Waterdampdrukverschil<br>Pwds (kPa) | Fractie ong. $\text{NH}_3$<br>$F_{\text{NH}_3}$ (-) | Vervluchtigbare $\text{NH}_3$<br>$c_{\text{NH}_3}$ (mmol/g water) | Emissie uit het strooisel<br>$\Phi''_{\text{NH}_3, \text{strooisel}}$ (mmol/m <sup>2</sup> .u) |
|---------|-------------------------------------|---|---|--|
| 3/1     | 0,68                                | 0,517   | 0,570   | 30,2   |
| 4/0     | 0,61                                | 0,454   | 0,320   | 16,9   |
| 5/1     | 0,89                                | 0,409   | 0,447   | 23,7   |
| 6/0     | 0,95                                | 0,360   | 0,313   | 16,6   |

Met lineaire regressie-analyse werd geen relatie gevonden tussen de ammoniakemissie uit de pot ( $\text{NH}_3\text{p}$ ) en die uit de stal ( $\text{NH}_3\text{se}$ ). Ook tussen de hoeveelheid vervluchtigbare ammoniak ( $c_{\text{NH}_3}$ ) en de emissie uit de stal werd geen relatie gevonden. Tussen de de emissie uit de pot en de hoeveelheid vervluchtigbare ammoniak werd een zwakke relatie gevonden ( $R^2 = 27\%$ ).



**Figuur 4.7** Monster- en periodegemiddelden van de ammoniakemissie uit het strooisel, berekend met behulp van vergelijking 2.5 tot en met 2.8 aan de hand van de gemeten pH en de TAN concentratie.

Het energieverbruik van de ventilator voor het droogstelsel was 20,5 kWh per dag. Met een gemiddelde elektriciteitsprijs van  $f$  0,18 per kWh, 17,5% btw en een leegstandsfactor van 0,87 zouden de energiekosten van het droogstelsel  $f$  1378,- per jaar bedragen (als het droogstelsel tijdens de gehele produktieronde aan zou staan). Per henplaats bedragen de extra energiekosten dan  $f$  0,29.

### 4.3 Emissie uit de mest

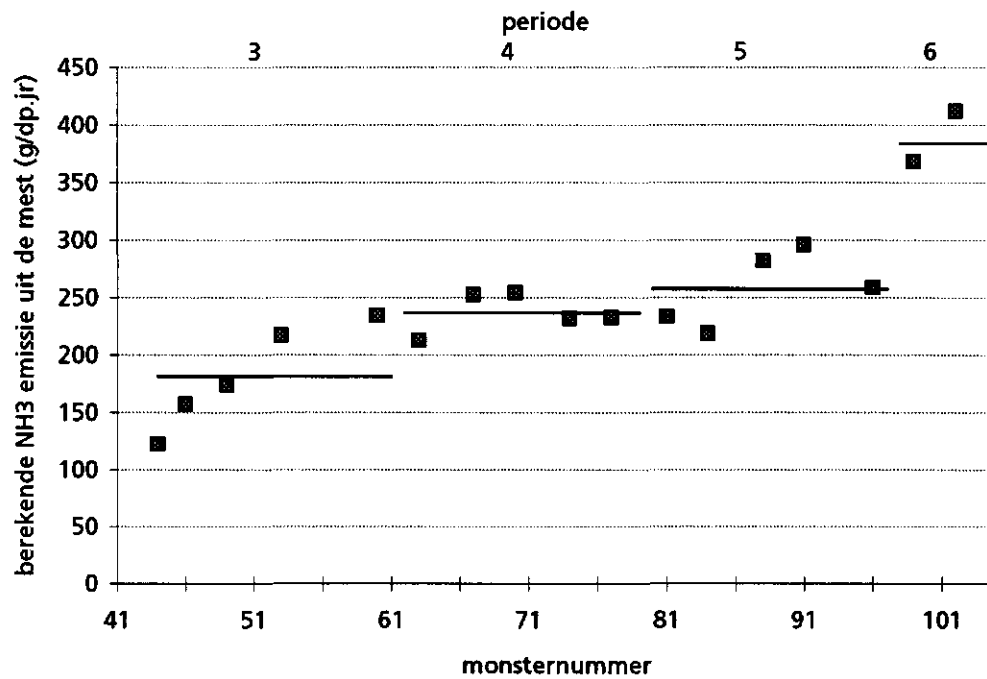
De emissie uit de mest onder de roosters (figuur 4.8) is berekend zoals beschreven in de laatste alinea van paragraaf 3.9. De emissie steeg geleidelijk en was in de laatste periode duidelijk hoger dan in de voorgaande perioden, wat werd veroorzaakt door de hoge stalemissie in die periode.

**Tabel 4.5** Ammoniakemissies per periode uit de stal (continu gemeten), het strooisel (discreet gemeten) en de mest onder de roosters (gemeten stalemissie - potemissie) in grammen per dierplaats per jaar. In de laatste kolommen staan achter de absolute getallen de procentuele emissie uit het strooisel en uit de mest onder de roosters. De getallen tussen haakjes geven het aantal waarnemingen aan.

| Periode   | Emissie uit de gehele stal | Emissie uit het strooisel (pot) | Emissie uit mest onder roosters |
|-----------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 3/1       | 450 (18)                   | 269 60% (5)                     | 181 40%                         |
| 4/0       | 437 (17)                   | 201 46% (5)                     | 236 54%                         |
| 5/1       | 394 (19)                   | 137 35% (5)                     | 257 65%                         |
| 6/0       | 537 (10)                   | 153 28% (3)                     | 384 72%                         |
| Gemiddeld | 443                        | 193 44%                         | 250 56%                         |

In tabel 4.5 staan de periodegemiddelden van de gemeten emissie uit de stal, de discreet gemeten emissie uit de laboratoriumopstelling (pot) en de hieruit berekende emissie uit de mest onder de roosters. Over de 4 perioden gezien nam de emissie uit de pot procentueel en absoluut gezien geleidelijk af. De emissie uit de mest onder de roosters daarentegen nam

toe. In de gemeten perioden was de mest onder de roosters gemiddeld verantwoordelijk voor 56% van de totale emissie uit de stal. De variatie was echter groot (40% tot 72%).



**Figuur 4.8** De berekende emissie uit de mest onder de roosters.

## 5 Discussie

### 5.1 Continue metingen

De gemeten emissie uit de stal gaf ondanks de tegenvallende strooiselkwaliteit (dichtgeslagen) en extreme klimaatomstandigheden (hoge temperaturen) een redelijke indicatie van de ammoniakemissie uit een stal voor vleeskuikenouderdieren. De gemiddelde emissie bedroeg in de laatste 4 perioden 443 gram per dierplaats per jaar. In dezelfde stal hebben Hol *et al.* (1994) gedurende 2 perioden de ammoniakemissie gemeten. De stal was toen nog niet ingericht met een droogstelsel voor beluchting van de mest onder de roosters en droging van het strooisel. De emissie in de eerste meetperiode (juli-september) bedroeg toen 651 gram per dierplaats per jaar en in de tweede meetperiode (oktober-november) 488 gram per dierplaats per jaar. Meijerhof en van der Haar (1994) vonden in een andere stal voor vleeskuikenouderdieren een emissie van 572 gram per dierplaats per jaar. De norm voor de ammoniakemissie uit het traditionele half rooster/half strooisel-huisvestingsstelsel is 580 gram per dierplaats per jaar (Uitvoeringsregeling Interimwet ammoniak en veehouderij, 1996). De gemiddeld gemeten emissie in de perioden 3 tot en met 6 was met 443 gram per dierplaats per jaar lager dan uit dezelfde stal zonder droogstelsel en ook lager dan de norm. De gemiddeld gemeten emissie in 2 perioden, waarin het droogstelsel aan stond (perioden 3 en 5), was iets lager (421 gram per dierplaats per jaar). Ten opzichte van de norm betekende dit een reductie van 27%.

Tijdens de meetperioden veranderde het strooisel zowel in kwaliteit als in kwantiteit. In periode 6 werd bovendien het droogstelsel 4 dagen aangezet, zonder dat dit de bedoeling was. Vooral hierdoor mogen perioden 5 en 6 niet als een herhaling van perioden 3 en 4 gezien worden, wat wel de bedoeling was. De variabele drogen (aan/uit) is daarom niet als verklarend in het model opgenomen. De indeling van de meetgegevens naar perioden bleek een betere verklaring te geven van de gevonden variantie in de emissie (60% zonder en 87% met tijdreeksanalyse)

Het statistische model met periode, staltemperatuur en waterdampdrukverschil gaf een goede beschrijving van de gevonden variatie in de ammoniakemissie ( $R^2 = 92\%$ ). De correlatie tussen opeenvolgende waarnemingen van de afwijking ( $\phi$ ) was met 0,82 vrij hoog. Dit betekent dat de afwijking van de gemeten emissie uit de stal op een dag ten opzichte van de gemodelleerde emissie sterk afhankelijk was van de afwijking gemeten op de vorige dag. De lage emissies na het verwijderen van het strooisel (periode 2) konden niet goed door het model verklaard worden. Dit kon echter voor een deel toegeschreven worden aan de vrij snel veranderende strooisellaagdikte direct na het verwijderen.

De geschatte emissie uit de stal was in periode 1 was met 536 gram per dierplaats per jaar (333 gram per uur) hoog. Verwijderen van het strooisel gaf een ammoniakreductie van 26%. Enkele weken na het verwijderen van het strooisel bleef de emissie in vergelijking met de eerste 2 perioden vrij constant. De geschatte emissie bleek in een periode waarin niet gedroogd werd iets hoger te zijn, dan in de voorgaande periode waarin wel gedroogd werd. Strooisel verwijderen had echter duidelijk meer zichtbaar effect dan strooisel drogen. Door de gekozen proefopzet is het effect van drogen op de lange termijn niet duidelijk, waarschijnlijk is het effect bij continu drogen groter.

Uit het voorgaande bleek dat de omstandigheden (temperatuur, waterdampdrukverschil) van invloed zijn op de stalemissie. De gemiddeld geschatte emissie in perioden waarin gedroogd werd (perioden 3 en 5) was 396 gram per dierplaats per jaar (246 gram per uur). Met behulp van het emissiemodel kon de geschatte emissie aangepast worden aan de (gemiddelde) omstandigheden waarbij Hol *et al.* (1994) hun emissies bepaalden, zodat de stalemissies met droging (dit onderzoek) vergeleken kon worden met de emissie uit dezelfde

stal zonder droogstelsysteem (Hol et al., 1994). Hol et al. (1994) hadden in hun eerste meetperiode een ammoniakemissie van 651 gram per dierplaats per jaar bij een staltemperatuur van 22,5 °C en een waterdampdrukverschil van 0,682 kPa. In de tweede meetperiode was de ammoniakemissie 488 gram per dierplaats per jaar bij een staltemperatuur van 19,1 °C en een waterdampdrukverschil van 0,509 kPa. Deze omstandigheden ingevuld in vergelijking 4.1 leverde de volgende geschatte vergelijkbare emissies op

meetperiode 1:

$$sNH_3se = 396 \times e^{(-0,28 \times (0,682 - 0,8) + 0,09 \times (22,5 - 23))} = 391 [g / dp. jr] \quad (5.1)$$

meetperiode 2:

$$sNH_3se = 396 \times e^{(-0,28 \times (0,509 - 0,8) + 0,09 \times (19,1 - 23))} = 302 [g / dp. jr] \quad (5.2)$$

Voor meetperiode 1 betekent dit dat de vergelijkbare emissie van 391 gram per dierplaats per jaar (wel drogen) 40% lager lag dan de door Hol et al. (1994) gemeten emissie van 651 gram per dierplaats per jaar (niet drogen). Meetperiode 2 gaf een reductie van 38%. Drogen van het strooisel en de mest onder de roosters geeft dus ca. 40% reductie van de emissie.

Worden de omstandigheden en resultaten van perioden 3 en 5 als representatief voor een goed functionerend droogstelsysteem genomen en de geschatte emissie gecorrigeerd naar een staltemperatuur van 21 °C (halverwege P-band), dan bedroeg de emissie 331 gram per dierplaats per jaar (bij een waterdampdrukverschil van 0,8 kPa). Ten opzichte van de norm van 580 gram per dierplaats per jaar betekent dit een emissiereductie van 43%. Dit tendert naar 50% reductie, wat de grens is voor een Groen-label waardig systeem.

Aan het einde van periode 1 werd een deel van het strooisel weggehaald, zodat het effect van drogen (aan/uit) beter/sneller waargenomen kon worden. Een dikke laag heeft een grotere buffer en dus duurt het langer voordat veranderingen in de samenstelling waargenomen (kunnen) worden. Direct na het weghalen van het strooisel daalde de emissie uit de stal sterk. Opvallend is dat na het verwijderen de dikte van de strooisellaag en de stalemissie geleidelijk toenamen. Uit de sterke daling in stalemissie direct na het weghalen van het strooisel mag geconcludeerd worden dat de dikte van de strooisellaag van invloed was op de stalemissie. De laagdikte was tijdens het onderzoek niet bijgehouden. Visueel werd echter waargenomen dat de strooisellaag niet overal gelijk was. Zowel de kwantiteit (dikte van de laag) als de kwaliteit varieerden niet alleen in de tijd, maar ook over het gehele strooiseloppervlak. Na het verwijderen van het strooisel was de overgebleven laagdikte gemiddeld 1 à 2 cm en aan het einde van periode 6 was deze gemiddeld 4 à 5 cm.

Het drogen van het strooisel door lucht over het strooisel te blazen, veroorzaakte extra luchtbeweging boven het loopoppervlak van het dier. De invloed van het droogstelsysteem op het stalklimaat en de diergezondheid en het welzijn van de dieren is niet onderzocht. Het droogstelsysteem zorgde voor extra luchtcirculatie en dus voor een betere menging van de stallucht. Doordat bij het onderzoek voor de droging stallucht werd gebruikt was de invloed van het droogstelsysteem op het stalklimaat kleiner dan wanneer buitenlucht zou zijn gebruikt. Bij de hoge temperaturen (in periode 6) werd het leefklimaat voor de dieren veraangenaamd, de extra luchtcirculatie zorgde ervoor dat de dieren hun vocht eenvoudiger af konden staan.

Na het weghalen van het strooisel bleek de overgebleven strooisellaag te dun om de verse uitwerpselen van de kippen te kunnen verwerken. De buffer van de dunne laag kon onvoldoende vocht uit de uitwerpselen opnemen. Hierdoor ontstonden kleine klontjes mest met aangeplakt strooisel. Na enige tijd werd het strooisel op enkele plekken nat, warm en plakkerig. Daardoor ontstonden korsten op de vloer: het strooisel sloeg dicht. Deze geleidelijk gevormde koeklaag werd langzamerhand dikker en nam geleidelijk in oppervlak toe. Halverwege periode 5 werd de koeklaag handmatig losgewerkt. Hierdoor ontstonden brokken koeklaag, die voor een deel weer strooisel werden. Na verloop van tijd nam het

aandeel koeklaag in het strooiseloppervlak weer toe. De indruk bestond dat deze strooisellaag die aan het dichtslaan was (vochtig, warme en dus broeierig) veel ammoniak produceerde en emitteerde. Van dichtgeslagen strooisel wordt aangenomen dat het minder ammoniak produceert dan een strooisellaag die aan het dichtslaan is. Gedeelten van een koeklaag (dichtgeslagen strooisel) kunnen anaeroob zijn en het contactoppervlak is in vergelijking met rul strooisel zeer gering. Uit milieu-overwegingen zou een koeklaag dus geprefereerd kunnen worden boven een strooisellaag. Vanuit de praktijk wordt echter de voorkeur gegeven aan een losse strooisellaag. Dit wordt beter geacht voor het welzijn van de dieren, de produktie (vruchtbaarheid) en de beloopbaarheid van het strooisel. Een losse strooisellaag wordt dus geprefereerd, mits deze voldoende droog is om de emissie te beperken.

## 5.2 Discrete metingen

Het effect van strooiseldrogen is goed terug te vinden in het verloop van het drogestofgehalte (figuur 4.5). Het drogestofgehalte daalde snel als met drogen gestopt werd. Gecorrigeerd voor een stijgende trend van het drogestofgehalte over de perioden heen, was het effect van drogen 50 gram per kg strooisel. Het drogestofgehalte van de koeklaag is niet gemeten. De toplaag van een koeklaag is vaak hard en vochtig. Daaronder bevindt zich meestal een laag met los strooisel die erg nat en warm is. De relatie tussen het drogestofgehalte en de wateractiviteit is niet bekend. Een minimale wateractiviteit van 0,7 wordt als absoluut minimum voor microbiële afbraak van urinezuur beschouwd (Groot Koerkamp, 1994). Het moge duidelijk zijn dat de wateractiviteit hoger dan 0,7 moet zijn geweest.

De emissie uit de pot had een dalende trend (figuur 4.6). Alleen periode 6 was een uitzondering. De berekende emissie uit het strooisel was het laagst als het droogstelsel uit stond (figuur 4.7). Het leek dus alsof door drogen de emissie toenam. Dit zou als volgt verklaard kunnen worden.

Bij het emissieproces van ammoniak uit het strooisel zijn 2 processen van belang: produktie en vervluchtiging. De concentratie daalt pas als de vervluchtiging uit het strooisel hoger is dan de produktie. Welnu, door drogen neemt de produktie en vervluchtiging niet direkt af. Het watergehalte doet dit wel en dus stijgt de concentratie per gram water, waardoor het lijkt alsof er meer ammoniak aanwezig is. Op de langere termijn (weken) neemt de produktie af door een afname van het watergehalte, waardoor de vervluchtiging uit het strooisel groter wordt dan de produktie en dus de concentratie daalt. Dit laatste is niet goed uit de periodegemiddelde te halen. Aan de hand van figuur 4.7 is echter wel te zien dat de concentratie vervluchtigbare ammoniak na een paar weken drogen langzaam afnam en na een paar weken van niet drogen weer toenam. De concentratie vervluchtigbare ammoniak reageerde dus langzaam op wel of niet drogen terwijl het drogestofgehalte dit snel doet (figuur 4.5). Het effect van wel/niet drogen op de concentratie vervluchtigbare ammoniak zou uit de resultaten van het onderzoek duidelijker waarneembaar zijn geweest als de periodelengten langer gekozen waren.

Het feit dat er met de statistische analyse geen relatie werd gevonden tussen de emissie uit de pot en de emissie uit de stal is verassend. Verwacht werd dat de emissie uit de stal positief gecorreleerd zou zijn met de emissie uit de pot, die representatief had moeten zijn voor de emissie uit het strooisel. Als oorzaak kan het verschil in omstandigheden tussen stal en pot aangevoerd worden. Bij de pottenproef werden temperatuur, luchtvochtigheid en verversingsgraad constant gehouden. Het strooisel in de pot werd niet door kippen bescharreld en was homogener van samenstelling. Daarnaast werkte de onbekende emissie uit de mest onder de roosters als een storende factor bij het vinden van een relatie.

Ook tussen de ammoniakemissie uit de stal en de concentratie vervluchtigbare ammoniak in het strooisel werd geen relatie gevonden. Dit terwijl Groot Koerkamp en Elzing (1996)

concludeerden dat een reductie van de emissie uit het strooisel bereikt kan worden door de concentratie TAN in het strooisel te verlagen. Redenen voor de niet gevonden, maar wel verwachte, relatie kan de versturende invloed van de mest onder de roosters op de emissiemetingen uit de stal zijn. Ook de hierboven vermelde vertraagde reactie van de concentratie TAN op wel/niet drogen en het dichtslaan van grote delen van het strooisel kunnen van invloed zijn geweest.

Dat er wel een (zwakke) relatie tussen de emissie uit de pot en de concentratie vervluchtigbare ammoniak werd gevonden, komt overeen met de hierboven genoemde conclusie van Groot Koerkamp en Elzing (1996). De versturende invloed van emissie uit de mest onder de roosters, die wel bij de emissie uit de stal aanwezig was, werd bij deze relatie uitgesloten.

Bij de statistische bewerkingen zijn de resultaten van de strooiselanalyses behandeld als onafhankelijke waarnemingen. Dit is niet helemaal correct, uit de resultaten van berekeningen aan het emissiemodel bleek dat tijdreeksanalyse in de meeste gevallen een sterke verbetering van de resultaten gaf en dat de waarden van stalvariabelen dus sterk afhankelijk zijn van voorgaande waarden.

De emissie uit de pot kon door andere omstandigheden afwijkend zijn geweest van de werkelijk emissie uit het strooisel. Doordat het strooisel op enkele plekken was dichtgeslagen kon daar geen monster genomen worden (monsternameprocedure staat beschreven in bijlage E). De dichtgeslagen strooiselgedeelten werden daardoor niet meegenomen in de strooiselanalyses. De strooiselmonsters zoals die werden gebruikt voor de analyse op pH, drogestofgehalte, ammoniakaal stikstof en de pottenproef waren dus niet altijd representatief voor het dichte vloergedeelte. Het strooiselmonster werd voor inzet in de pot goed gemengd. In werkelijkheid wordt het strooisel niet zo goed gemengd. De kippen scharrelen wel, maar dit mengt minder goed en gebeurt gelijkmatiger en gelijktijdig met de emissie. Het ene monster werd langer gekoeld dan het andere, omdat niet alle monsters direct ingezet konden worden. Sommigen werden na enkele uren al ingezet, anderen werden eerst 2 weken gekoeld bewaard.

Voor de berekening van de ammoniakemissie uit het strooisel met de geanalyseerde hoeveelheid vervluchtigbare stikstof (TAN) werden voor k en M waarden uit onderzoek van Groot Koerkamp en Elzing (1996) gebruikt. Het was de bedoeling om k en M met de gemeten variabelen en met behulp van vergelijking 2.8 en lineaire regressie zelf te bepalen. Dit lukte niet doordat de variatie ten opzichte van de regressielijn groter was dan de variatie in de gemeten variabelen. Belangrijkste oorzaak was de kleine pH range (8,4-8,8). Hierdoor bleek het schatten van k en M niet mogelijk. De absolute waarden van de gemeten emissie uit de pot (tabel 4.3 laatste kolom) en de berekende emissie uit het strooisel (tabel 4.4 laatste kolom) lagen dicht bij elkaar. Dit bewijst dat de aangenomen waarden van k en M niet onverantwoord zijn geweest.

Bij de berekening van de emissie uit de mest onder de roosters werd voor de stalemissie het gemiddelde van een periode gebruikt en voor de emissie uit de pot de afzonderlijke data van 18 analyses. Omdat de daggemiddelden sterk fluctueerden werd voor de emissie uit de stal het periodegemiddelde gebruikt. Berekeningen met uitschieters werden hierdoor zoveel mogelijk voorkomen. Opgemerkt dient te worden dat de emissie uit de pot telkens onder dezelfde omstandigheden en de emissie uit de stal onder sterk wisselende omstandigheden is gemeten. De berekende emissie uit de mest onder de roosters geeft dan ook niet meer dan een indicatie. Echter, geconcludeerd kan worden dat strooiselvloer en mestopslag geen van beiden verantwoordelijk waren voor een overduidelijk groter deel van de emissie uit de stal en dat het aandeel van beide bronnen in de totale emissie in de tijd varieerde. Gemiddeld bleken beide bronnen ongeveer de helft van de totale emissie te veroorzaken.

### 5.3 Evaluatie van het droogstelsysteem

De energiekosten voor het gehele droogstelsysteem (roosters + strooisel) waren met 29 cent per opgehokte hen per jaar niet extreem hoog. Vergelijking van deze kosten met die van andere systemen is door het ontbreken van gegevens niet mogelijk. De overige kosten van het systeem worden lager ingeschat dan systemen met mestschuiven, mestbanden of een verhoogde strooiselvloer. Het droogstelsysteem bevat geen dure en onderhoudsbehoevende componenten. Een extra ventilator en pvc-buizen met hulpstukken vormen de materiaalkosten. Het luchtkanaal onder de legnesten is/was al nodig voor droging van de mest onder de roosters. Een moeilijk te kwantificeren deel van de kosten bestaat uit arbeid. Het droogstelsysteem moet geregeld worden gecontroleerd op functioneren van de ventilator en mogelijke lekkages. Ook moet het strooisel 'even' losgewerkt en omgezet worden als het dreigt dicht te slaan. Hoe vaak dit moet gebeuren, is afhankelijk van vele factoren. Klimaat en diergedrag zijn wellicht de belangrijkste.

In de stal zijn 2 keer rookproeven gehouden. Daarbij lag de staltemperatuur rond de 20 °C en de buitentemperatuur rond de 15 °C. Uit de proeven bleek dat de inlaatlucht hoog over het strooiselgedeelte heen ging en pas boven het roosteroppervlak naar beneden kwam. Vervolgens verspreidde de lucht zich over de gehele stal. Een deel trok langzaam terug naar het strooiselgedeelte. Als gevolg van de sterke inlaatstroming op ongeveer anderhalve meter boven het strooisel ontstond hieronder een zuigende werking, waardoor de lucht boven het strooisel omhoog getrokken werd. Dit effect was aan de rechterkant van de stal met 26 inlaatopeningen groter dan aan de linkerkant met maar 6 inlaatopeningen. Aan de linkerkant werden meer luchtbewegingen in de lengterichting van de stal waargenomen, waarschijnlijk werd dit veroorzaakt door de in de linkerzijgevel geplaatste ventilatoren. Dit verschil in luchtbewegingen kan het visueel waargenomen verschil in strooiselkwaliteit tussen linker- en rechterkant verklaren. Het strooisel aan de rechterkant (met meer inlaatopeningen en minder lengteventilatie) was voelbaar natter en sloeg eerder dicht dan het strooisel aan de linkerkant. Beter gebruik maken van het ventilatiesysteem, waardoor de stallucht nog beter gemengd (en dus homogener) wordt, kan het strooisel wellicht nog beter drogen.

In dit onderzoek werd een ammoniakreductie behaald van 40-50%. Voor een Groen label erkenning is dit niet genoeg. Bij de interpretatie van de resultaten uit het onderzoek moet echter rekening worden gehouden met het feit dat het droogstelsysteem niet continu heeft aangestaan. Bij continue strooiseldroging zal de strooisellaag waarschijnlijk dunner gehouden kunnen worden (minder vocht) en zal de emissie lager zijn. Desondanks zal het systeem voor een Groen label erkenning nog verbeterd moeten worden. Het grootste probleem bij het onderzoek was de onbekende invloed van de mest onder de roosters op de stalemissie. Uit grove berekeningen bleek echter dat strooisel en mest onder de roosters beiden ongeveer de helft van de totale stalemissie voor hun rekening namen. Bij een goed functionerende droging van het strooisel, zal hoogstwaarschijnlijk bij de mest onder de roosters de extra reductie behaald kunnen worden die recht geeft op Groen label. Nader onderzoek naar een systeem dat bestaat uit een combinatie van strooiseldroging met een behandeling van de mest onder de roosters is dus wenselijk. Uit onderzoek van Meijerhof en van der Haar (1994) bleek dat alleen met beluchting van de mest onder de roosters al een emissiereductie van 25-30% is te bereiken. Mestschuiven kunnen wellicht een uitkomst bieden. De kosten hiervan zijn hoger dan van beluchting, maar de te behalen emissiereductie is ook hoger.



## 6 Conclusies

De in dit onderzoek bereikte ammoniakreductie van ca. 40% is net niet genoeg voor een Groen label erkenning. Met een verbetering van het droogstelsysteem en continue droging van het strooisel in combinatie met een verdere behandeling van de mest onder de roosters (b.v. mestschuiven) moet de Groen-label norm haalbaar zijn. Tijdig loswerken van vochtig geworden strooisel zal daarbij misschien noodzakelijk zijn.

Drogen had een duidelijk positief effect op het drogestofgehalte van het strooisel. Drogen van het strooisel verhoogde het drogestofgehalte van het strooisel met 50 gram per kg strooisel. De concentratie aan vervluchtigbare ammoniak in het strooisel bleek vertraagd te reageren op het afwisselend wel/niet drogen. Het drogestofgehalte reageerde sneller.

Verlagen van de gemiddelde strooisellaagdikte van 5 à 6 cm naar 1 à 2 cm verminderde de ammoniakemissie uit de stal met 26%. De optimale dikte van de strooisellaag is een compromis tussen een zo dun mogelijk laag emitterend strooisel en een laag met voldoende capaciteit om het vocht uit de uitwerpselen tijdelijk op te nemen. Regelmatig verwijderen van een deel van het strooisel is wellicht een mogelijkheid tot reductie van de emissie uit het strooisel.

Moeilijk in de hand te houden variabelen als temperatuur en diergedrag speelden een belangrijke rol in de kwaliteit van het strooisel. Het strooisel bleef gedurende het onderzoek niet rul en droog, maar sloeg gedeeltelijk dicht.

De ammoniakemissie fluctueerde kort en hevig en was voor een groot deel afhankelijk van temperatuur en periode in het onderzoek. Dit kon echter goed beschreven worden met het ontwikkelde statistische model.

In dit onderzoek bleek geen relatie te zijn tussen de emissie uit de pot en de emissie uit de stal. Ook tussen de ammoniakemissie uit de stal en de concentratie vervluchtigbare ammoniak in het strooisel werd geen relatie gevonden.

De energiekosten van het onderzochte droogstelsysteem bedroegen 29 cent per opgehokte hen per jaar. De overige kosten (investering en onderhoud) zijn niet berekend, maar lijken laag in vergelijking met andere emissiereducerende systemen.

## **7 Aanbevelingen**

Onderzoek naar de invloed van extra luchtcirculatie vlak boven het strooisel op het klimaat en de kippen in de stal is gewenst. Wat de invloed van drogen en een mogelijke verandering in relatieve luchtvochtigheid, temperatuur en luchtbewegingen als gevolg van het drogen op de gezondheid en produktie van de dieren heeft, is niet bekend. Andersom is de invloed van de dieren op de complexe processen in het strooisel nauwelijks bekend. De onbekende relaties tussen bijvoorbeeld scharrelen, verdeling van de dieren over het strooisel, gezondheid van de dieren, waterverbruik op de kwaliteit en kwantiteit van het strooisel vragen om nader onderzoek.

Proeven met een verbeterd droogstelsel en langere meetperioden zijn gewenst om een nauwkeuriger inzicht te verkrijgen in de emissiereductie die mogelijk is. Het droogstelsel kan verbeterd worden door het droogdebiet te verhogen. Ook zouden droog- en ventilatiesysteem beter op elkaar kunnen aansluiten, zodat een optimale luchtverversing vlak boven het strooisel met een minimum energieverbruik gecombineerd worden. Onderzoek bij een constanter klimaat en het meten van meerdere variabelen als water- en voerverbruik en indien mogelijk de emissie uit de mest onder de roosters zijn bij een nieuwe proef gewenst.

Om een optimale luchtbeweging vlak boven het strooisel te krijgen moet onderzocht worden wat de invloed van de fysische kenmerken van het droogstelsel als gaatjesgrootte, onderlinge afstand, luchtdruk, hoek en positie ten opzichte van de vloer en buisdiameter en -lengte op de luchtbewegingen boven het strooisel is.

# Literatuurlijst

- Anonym, 1991. Hoofdlijnen van beleid en regelgeving: Mest- en ammoniakmaatregelen, Projectteam 'Voorlichting Mest- en Ammoniakmaatregelen 1991'. IKC-Veehouderij, Ede, 63 pp.
- Anonym, 1993. Evaluatie Ammoniakbeleid i.o.v. het Ministerie van LNV, Rapport TNO studiecentrum voor milieuonderzoek. Heidemij Advies Arnhem en TNO Apeldoorn, rapportnr. 636/AA92/A582/07083M, 97 pp.
- APV, 1995. Additioneel Programma Verzuringsonderzoek 1995. RIVM, Bilthoven.
- ASHRAE, 1993. Handbook of Fundamentals, American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta.
- Beek, G. van, 1990. Berechnung der Ammoniak-emission aus Geflügelhaltungen. In: Döhler, H. en H. van den Weghe (eds.), Ammoniak in der Umwelt, Proceedings Symposium 10-12 October, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, Germany: VDI-KTBL, 1990, p. 39.1-39.10.
- Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen label stallen, 1993. Ministerie van VROM, Den Haag, 32 pp.
- Bestrijdingsplan Verzuring, 1989. Ministerie van VROM, 90213/8-89,6972/118.
- Bleijenberg, R. en J.P.M. Ploegaert (eds.), 1994. Handleiding meetmethode ammoniakemissie uit mechanisch geventileerde stallen. IMAG-DLO rapport 94-1, 76 pp.
- Brock, T.D. en M.T. Madigan, 1988. Biology of microorganisms. Londen: Prentice Hall, vijfde editie, p. 336-337.
- Burnett, W.E. en N.C. Dondero, 1969. Microbiological and chemical changes in poultry manure associated with decomposition and odour generation. In: Animal waste management, Proceedings of Cornell University Conference of Agriculture Waste Management, p. 271-274.
- Chatfield, C., 1989. The Analysis of Time Series. London: Chapman and Hall, vierde editie.
- Derikx, P.J.L., A.J.A. Aarnink, P. Hoeksma en H.C. Willers, 1995. Vermindering van ammoniakemissie uit mest door een vloeibare afdeklaag. IMAG-DLO rapport 95-8, 58 pp.
- Elliot, H.A. en N.E. Collins, 1983. Chemical methods for controlling ammonia release from poultry manure. ASEA paper 83-4521, 17 pp.
- Genstat 5 Committee, 1993. Genstat™ 5 Release 3: Reference Manual. Oxford Science Publications.
- Groot Koerkamp, P.W.G., 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. Journal of Agricultural Engineering Research (59), p. 73-87.
- Groot Koerkamp, P.W.G en R. Bleijenberg, 1995. De ammoniakemissie uit drie typen volièrestallen voor leghennen. IMAG-DLO rapport 94-31, 37 pp.

Groot Koerkamp, P.W.G. en A. Elzing, 1996. Degradation of nitrogenous components in and volatilization of ammonia from litter in aviary housing systems for laying hens. Transactions of the ASEA. Vol 39 (1), p. 211-218.

Groot Koerkamp, P.W.G., W. Kroodsmas en J.H. van Middelkoop, 1994. Hoofdstuk 3: Huisvesting, mestbehandeling en mestopslag. In: J.H. Middelkoop (ed.), Naar veehouderij en milieu in balans - 10 jaar FOMA onderzoek, deel pluimvee, Ede, p. 21-43.

Groot Koerkamp, P.W.G., A. Keen, T. van Niekerk en S. Smit, 1996. The effect of manure and litter handling and climatic conditions on ammonia emission from a cage system and an aviary housing system for laying hens. Geaccepteerd voor publicatie in: Netherlands Journal of Agricultural Science.

Hol, J.M.G., R. Bleijenberg en C.M. Groenestein, 1994. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVII. Vleeskuikenouderdierenstal met halfroostervloer. IMAG-DLO rapport 94-1008, 11 pp.

KWIN, 1994. KWantitaieve INformatie veehouderij 1994-1995. Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, Ede, Publikatie nr 6-94.

Kroodsmas, W., W. Brunnekreef en D.A. Ehlhardt, 1989. Mogelijkheden voor mestbehandeling en vermindering van de NH<sub>3</sub>-emissie op bedrijven. In: A.A. Jongebreur en G.J. Monteny (eds.), Perspectieven voor de aanpak van de mest- en ammoniakproblematiek op bedrijfsniveau: themadag gehouden in Ede, 30 mei 1989, Wageningen, p. 13-38.

Lekkerkerk, L.J.A., G.J. Heij en M.J.M. Hootsmans (eds.), 1995. Dutch priority programme on acidification, Ammoniak: de feiten. Stuurgroep Verzuringsonderzoek. RIVM rapport nr.300-06, Bilthoven, 95 pp.

Meijerhof, R. en J.W. van der Haar, 1994. Ammoniakemissie van vleeskuikenouderdieren bij verschillende vormen van huisvesting. Praktijkonderzoek Pluimveehouderij, PP-uitgave no. 18, Beekbergen, 15 pp.

Middelkoop, J.H. van en E.J.M. Hanssen, 1994. Hoofdstuk 1: Inleiding. In: J.H. Middelkoop (ed.), Naar veehouderij en milieu in balans - 10 jaar FOMA onderzoek, deel pluimvee, Ede, p. 9-10.

Nationaal Milieubeleidsplan, 1989. Ministerie van VROM, 90055/5-89.

Notitie Mest- en Ammoniakbeleid Derde Fase, 1993. Tweede Kamer, vergaderjaar 1992-1993, 19882, nr. 34, SDU-Uitgeverij, 's Gravenhage.

Ouwerkerk, E.N.J. van (ed.), 1993. Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. DLO, Wageningen, 178 pp.

Richtlijn Ammoniak en Veehouderij, 1991. Richtlijn in het kader van de Hinderwet. Ministerie van LNV en Ministerie van VROM, Den Haag, p. 24-26.

Ross, 1995. Stalkaarten, productieboeken en managementrichtlijnen. Europese Pluimvee Industrie (EPI) n.v.

Scholtens, R., 1993. NH<sub>3</sub>-converter + NO<sub>x</sub>-analyzer. In: E.N.J. van Ouwerkerk (ed.), Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, Wageningen, p. 59-62.

Schutte J.B. en J.D. van der Klis, 1994. Hoofdstuk 2: Veevoedkundige mogelijkheden om de stikstof- en fosforuitscheiding bij pluimvee te reduceren. In: J.H. Middelkoop (ed.), Naar veehouderij en milieu in balans - 10 jaar FOMA onderzoek, deel pluimvee, Ede, p. 11-20.

Uitvoeringsregeling Interimwet ammoniak en veehouderij, 1996. Ministerie van LNV en Ministerie van VROM, Den Haag (nog niet gepubliceerd).

Weast, R.C., M.J. Astle en W.H. Beyer, 1986. Handbook of Chemistry and Physics. 67th Edition, Boca Raton, Florida, 163 pp.

Willers, H.C., P.J.W. ten Have, P.J.L. Derikx en M.W. Arts, 1993. Temperature-dependancy of nitrification and required anoxic volume for denitrification in the biological treatment of veal calf manure. *Bioresource Technology* (43), p 47-52.

## Symbolenverklaring

|                     |  |
|---------------------|--|
| $H_3, NH_4^+$       | ongebonden ammoniak, gebonden ammoniak   |
| TAN                 | Total Ammoniacal Nitrogen (gebonden en ongebonden stikstof in ammoniak)  |
| $a$                 | dissociatie constante  |
| $C_j$               | concentratie van component j in het strooisel (mmol/kg)  |
| $C_j$               | concentratie van component j in water (mmol/g)   |
| $F_{NH_3}$          | functie die het relatieve aandeel ongebonden ammoniak in TAN weergeeft   |
| $w_c$               | watergehalte op natte basis (g/kg strooisel)   |
| $B, M(T)$           | parameters van de logistische groeicurve   |
| $T$                 | temperatuur ( $^{\circ}C$ )  |
| $pH$                | zuurgraad (-)  |
| $\Phi_{NH_3}^*$     | vervluchtigingsgraad van ammoniak (mmol/m <sup>2</sup> .u)   |
| $k$                 | overdrachtscoëff. voor de vervluchtiging van ammoniak (g/m <sup>2</sup> .u)  |
| $z_t$               | natuurlijke logaritme van de werkelijke (=gemeten) gemiddelde dagelijkse emissie uit de stal (ln (g NH <sub>3</sub> /u)) |
| $\eta_t$            | natuurlijke logaritme van de geschatte gemiddelde dagelijkse emissie uit de stal (ln (g NH <sub>3</sub> /u))             |
| $\epsilon_t$        | het verschil tussen de werkelijke en geschatte dagelijkse emissie uit de stal (ln (g NH <sub>3</sub> /u))                |
| $\phi$              | $\phi$ is de correlatie tussen opeenvolgende waarnemingen van de afwijking $\epsilon_t$                                  |
| $a_t$               | onafhankelijk verdeelde fout (innovaties) met 0 als gemiddelde   |
| $\alpha_i$          | regressie-coëfficiënt voor co-variabele i  |
| sNH <sub>3</sub> se | geschatte ammoniakemissie op basis van het model (g NH <sub>3</sub> /u)  |
| Periode             | periode (1-6) / droogstelsel aan (=1) of uit (=0)  |
| Lengte              | duur van de periode periode (dagen)  |
| $t_o$               | temperatuur buiten ( $^{\circ}C$ )   |
| $RV_o$              | relatieve luchtvochtigheid buiten (%)  |
| $t_i$               | temperatuur in de stal ( $^{\circ}C$ )   |
| $RV_i$              | relatieve luchtvochtigheid in de stal (%)  |
| NH <sub>3</sub> cs  | ammoniakconcentratie in de stal (mg/m <sup>3</sup> )   |
| NH <sub>3</sub> cb  | ammoniakconcentratie buiten (ingående lucht) (mg/m <sup>3</sup> )  |
| $Q_s$               | ventilatie-debiet van de stal (m <sup>3</sup> /u)  |
| $Q_b$               | debiet van het droogstelsel (m <sup>3</sup> /u)  |
| NH <sub>3</sub> se  | ammoniakemissie uit de stal (g/u)  |
| NH <sub>3</sub> p   | ammoniakemissie uit de pot (mmol/m <sup>2</sup> .u)  |
| $R^2$               | verklaarde variantie (%)   |
| Pwds                | waterdampdrukverschil (kPa)  |

## Bijlage A Klimaat en droogstelsysteem

**Tabel A.1** Klimaatregeling in de stal.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Ventilatiesysteem                    | mechanisch, onderdruk, dwarsventilatie   |
| Aantal ventilatoren                  | 3  |
| Plaats ventilatoren                  | verdeeld over de linkerzijgevel (Zuidoost)                                     |
| Luchtinlaat                          | 32 regelbare kleppen van met max. inlaattoopp. van 0,1 m <sup>2</sup> per klep |
| Maat en plaats van de kleppen        | 0,60 x 0,23 m op 1,50 m in de zijgevels  |
| Aantal kleppen in de rechterzijgevel | 26 automatisch bestuurd kleppen in de rechterzijgevel                          |
| Aantal kleppen in de linkerzijgevel  | 6 handbediende kleppen in de linkerzijgevel                                    |
| Merk ventilatoren                    | Multifan   |
| Diameter                             | 0,63 m   |
| Aantal bladen                        | 6  |
| Maximum debiet per ventilator        | 11.750 m <sup>3</sup> /u   |
| Klimaatcomputer                      | STIENEN PCS - 9000 pluimveecomputer  |
| Klimaatregeling                      | op basis van temperatuur (en evt. rh)  |
| Plaats temperatuursensor             | 0,50 m boven het strooisel   |
| Verwarming                           | met heteluchtkanon   |
| Instellingen                         |  |
| begin P-band                         | 19 °C  |
| lengte P-band                        | 4 °C   |
| neutrale zone                        | 1 °C   |
| maximum ventilatie                   | 100% (= 35.250 m <sup>3</sup> /u)  |
| minimum ventilatie                   | 10%  |

**Tabel A.2** Droogstelsysteem.

|   |  |
|---|--|
| Ventilator                              | Nordisk centrifugaal, type: CNA-400/D LG<br>380 V, 5 standen |
| Gemeten droogdebiet                     | 4000 - 4500 m <sup>3</sup> /u                                |
| Buizen                                  | pvc, diameter 75 mm.   |
| Gaatjes strooiseldroging                | om de 0,10 m. 1 gaatje van 5 mm.                             |
| Gaatjes mestdroging                     | om de 0,20 m. 2 gaatjes van 6 mm.                            |
| Extra ventilatoren ingezet in periode 5 | KTB Antriebtechnik, G. Bauknecht A.G.                        |
| Links                                   | 220 V, 50 Hz, 2,4 A cos $\phi$ 0,98 2760 rpm.                |
| Rechts                                  | 220 V, 50 Hz, 3,6 A  |

## Bijlage B Kengetallen van de stal

| Kengetal   | Stal                         | Landelijk/norm     |
|--|------------------------------|--------------------|
| Aantal dierplaatsen (hennen + hanen)                         | 4732                         |                    |
| Aantal hennen opgezet  | 4760                         |                    |
| Aantal hanen opgezet   | 540                          |                    |
| Aantal hennen per haan                                       | 8,81                         |                    |
| Uitval hennen (%)  | 14,7                         | 10 <sup>1</sup>    |
| Uitval hanen (%)   | 44,6                         | 35 <sup>1</sup>    |
| Aantal kippen aan begin van periode 3 (16.5.95)              | 4679                         |                    |
| Strooiseloppervlak (m <sup>2</sup> )                         | 319 (2x56x2,85)              |                    |
| Roosteroppervlak (m <sup>2</sup> )                           | 344 (2x56x3,0+6x1,3)         |                    |
| Totaal loopoppervlak (m <sup>2</sup> )                       | 663                          |                    |
| Verhouding strooisel/rooster                                 | 48:52                        |                    |
| Legnesten oppervlak (m <sup>2</sup> )                        | 40 (2x50x0,40)               |                    |
| Legbandoppervlak (m <sup>2</sup> )                           | 25 (50x0,5)                  |                    |
| Totaal staloppervlak (excl. serviceruimte) (m <sup>2</sup> ) | 728                          |                    |
| Kippen per m <sup>2</sup> strooisel                          | 16,6                         |                    |
| Kippen per m <sup>2</sup> rooster                            | 15,4                         |                    |
| Kippen per m <sup>2</sup> totaal staloppervlak               | 7,3                          | 6,5 <sup>1</sup>   |
| Kippen per m <sup>2</sup> tot. stalopp. aan begin van per. 3 | 6,4                          |                    |
| Strooisel bij opleg (kg/m <sup>2</sup> )                     | 2,8                          |                    |
| Aantal legnesten   | 82                           |                    |
| Aantal hennen per legnest                                    | 58                           |                    |
| Aantal hennen per m <sup>2</sup> legnest                     | 119                          |                    |
| Type voerlijn voor hennen                                    | LACO ketting met hanegril    |                    |
| Aantal eenheden  | 312 m. (6x stallengte)       |                    |
| Aantal hennen per meter ketting                              | 15,3                         | 14-17 <sup>2</sup> |
| Type voerlijn voor hanen                                     | Cumberland pannen            |                    |
| Aantal eenheden  | 58, 14 eetplaatsen per pan   |                    |
| Aantal hanen per pan   | 9,3                          | 9-10 <sup>3</sup>  |
| Electronische weger  | Polem PV 30 Standard         |                    |
| Type drinkstelsysteem  | 690 nippels met lekgoot      |                    |
| Aantal kippen per nippel                                     | 7,7                          | 8 <sup>2</sup>     |
| Totale ventilatiecapaciteit (m <sup>3</sup> /u)              | 35.250                       |                    |
| Ventilatiecapaciteit per kip (m <sup>3</sup> /kip)           | 6,65                         | 9,0 <sup>3,4</sup> |
| Lichtstelsysteem   | 28 tl-buizen van 32 Watt elk |                    |
| Lichtsterkte (Watt/kip)                                      | 0,17                         |                    |
| Lichtsterkte (Watt/m <sup>2</sup> )                          | 1,23                         | 1,2 <sup>3</sup>   |

<sup>1</sup> KWIN, 1994.

<sup>2</sup> IKC, 1994.

<sup>3</sup> ROSS, 1995.

<sup>4</sup> op basis van 2,5 kg per dier.



**Bijlage C Voersamenstelling**

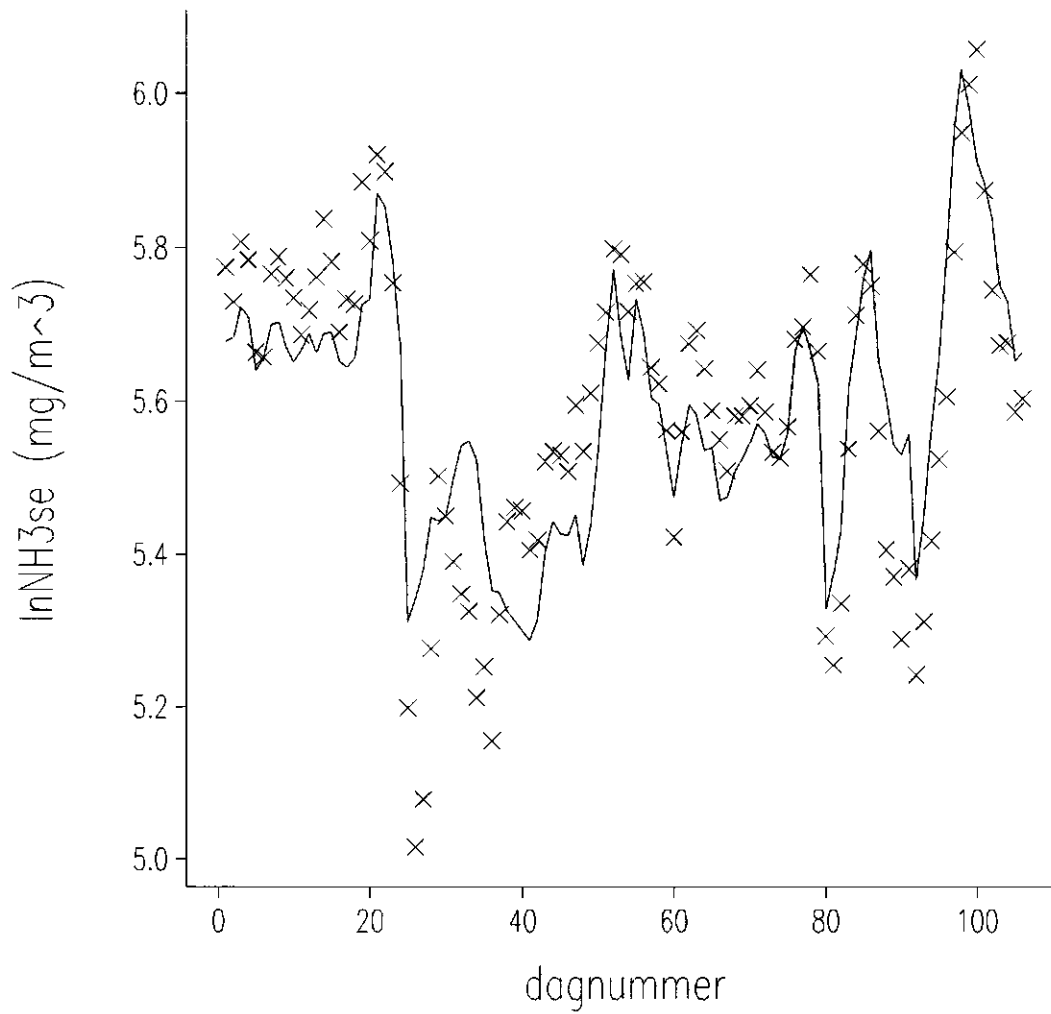
| Mengsel                            | Opfokvoer | Foktoom 1 | Foktoom 2 | Tarwe |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 18 - 22/23 weken                   | 70%       |           |           | 30%   |
| 22/23 - 40 weken                   |           | 55%       |           | 45%   |
| 40 - 59 weken                      |           |           | 45%       | 55%   |
| <b>Samenstelling (kg/100kg)</b>    |           |           |           |       |
| Mais                               | 54,8      | 22,7      | 11,4      |       |
| Braz. sojaschroot 46% re           | 18,2      | 22,2      | 23,9      |       |
| Maisglutenvoermeel 18,6% re        | 12,4      | 18,2      | 22,2      |       |
| Tapioca 66% zetmeel                | 5,0       |           |           |       |
| Lucernemeel 16-18% re              | 3,4       |           |           |       |
| Kalksteen                          | 2,4       | 13,7      | 20,1      |       |
| Mervit opfok 835                   | 1,3       |           |           |       |
| Mervit lysine/methionine 394       | 0,9       | 0,5       |           |       |
| Monocalciumfosfaat                 | 0,7       |           |           |       |
| Mervit fytase 345 2de deel in meel | 0,6       | 0,7       | 0,5       |       |
| Mervit AD3 E 320                   | 0,3       | 0,4       | 0,5       |       |
| Tarwegries                         |           | 7,3       | 10,0      |       |
| Veevoedervet max. 3% pol.          |           | 3,6       | 5,6       |       |
| Vismeeel 66% re                    |           | 2,0       | 2,2       |       |
| Mervit LF 885                      |           | 1,8       | 2,2       |       |
| Soyaolie                           |           | 1,7       | 1,4       |       |
| Arg. Zonnebloemzaadschroot 32,9 re |           | 5,2       |           |       |
| Omzetbare Energie Kuikens          | 2514      |           |           |       |
| Omzetbare Energie Leghennen        |           | 2426      | 2293      |       |
| <b>Gehaltes (g/kg)</b>             |           |           |           |       |
| Vert. lysine                       | 7,8       | 9,3       | 8,4       |       |
| Vert. Meth.                        | 4,0       | 5,1       | 4,8       |       |
| Vert. Meth. + Cystine              | 6,2       | 7,7       | 7,3       |       |
| Calcium                            | 14,3      | 57,9      | 83,1      |       |
| Fosfor                             | 5,6       | 5,4       | 5,2       | 3,4   |
| Beschikbare fosfor                 | 5,0       | 4,1       | 3,7       |       |
| Ruw eiwit                          | 166       | 202       | 194       | 119   |
| Ruw vet                            | 29        | 77        | 92        |       |
| Ruwe celstof                       | 43        | 49        | 42        |       |
| As                                 | 78        | 192       | 258       |       |
| Kalium                             |           |           |           | 3,8   |
| Vocht                              |           |           |           | 133   |

## **Bijlage D Procedure monstername**

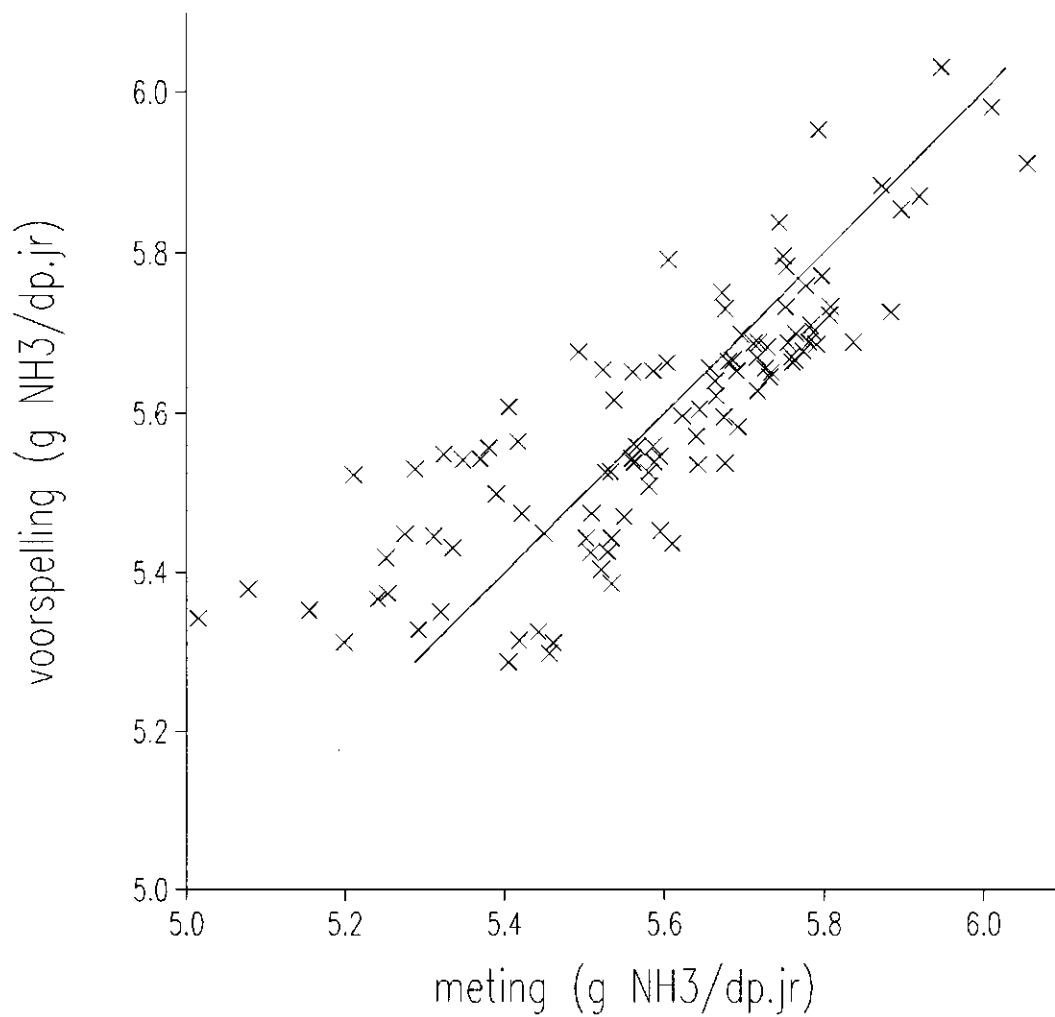
Procedure voor het nemen van strooiselmonsters.

- Wanneer:** 2 x per week, voor exacte data en tijdstippen zie bijlage F Logboek stalbezoeken.
- Plaats:** 10 plaatsen van de strooiselvloer (figuur 3.1), beide helften 5 monsters  $\pm$  1 m. na iedere dwarsgelegen droogbuis.
- Procedure:** Op de monsternamaplaatsen werd het strooisel over een baan van 0,2-0,5 m. (afhankelijk van de strooisellaagdikte) bij de gehele breedte van de vloer (2,80 m.) bijeengeschraapt en gemengd. Het bleek dat de strooiseigenschappen in het midden van de vloer en aan de zijkanten (roosterkant of buitenmuur) verschilden (dikte, ds%, samenstelling). Uit dit mengsel werd een vaste hoeveelheid in een emmer geschapt. De 10 monsters (als het strooisel was dichtgeslagen minder dan 10) werden in de emmer gemengd. Vanuit de emmer werd een deel in een plastic zak geschapt (pottenproef) en een deel in een plastic bekertje (gehalten-analyse) geschapt.

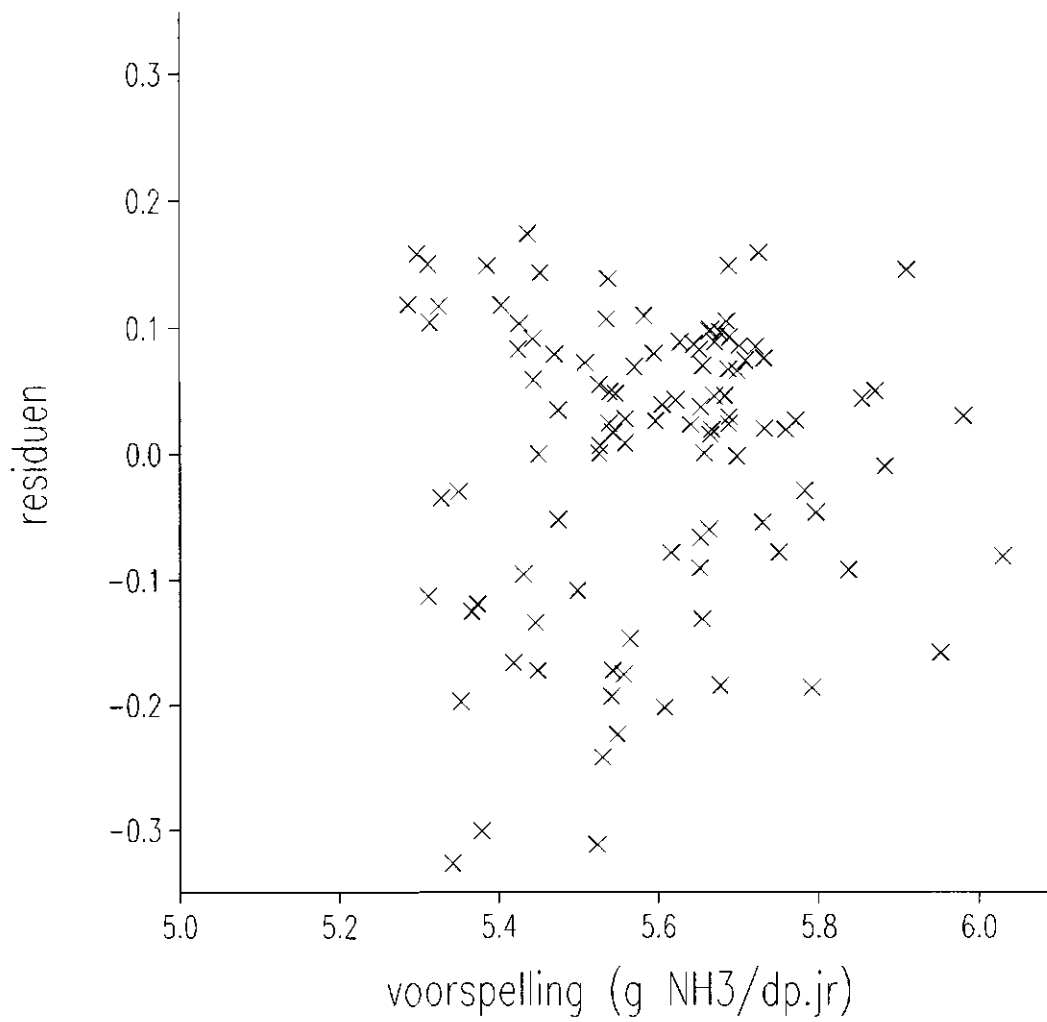
**Bijlage E**    **Beoordelingsgrafieken voor het emissiemodel**



**Figuur E.1** De gemeten (x) en gemodelleerde (-) ammoniakemissie uit de stal op log-schaal.



**Figuur E.2** De voorspelde (-) tegen de gemeten (x) ammoniakemissie uit de stal op log-schaal.



**Figuur E.3** De residuen van de gemodelleerde ammoniakemissie uit de stal tegende de voospelde emissie op log-schaal.