

Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVIII

Stal voor vleeskuikens met vloerverwarming en mixluchtventilatoren voor het drogen van de strooisellaag

A Scheer,
J.M.G. Hol
G. Mol

IMAG Rapport 2003-15
Juli 2003

CIP-GEGEVENS KONINKLIJK BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

A. Scheer, J.M.G. Hol, and G. Mol -Wageningen: IMAG (Rapport 2003-15/Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek; 2003)

ISBN 90-5406-237-1

NUGI 849/NUR 950

Trefw.: ammoniakemissie, geuremissie, drogen van mest, vleeskuikens

© 2003 IMAG, Postbus 43 - 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317-476300

Telefax 0317-425670

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

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

Abstract

A. Scheer, J.M.G. Hol, and G. Mol. Ammonia and odour emission from livestock housing systems; house for broilers with floor heating and air-mixing for drying litter.

Institute of Agricultural and Environmental Engineering, report 2003 –15 (in Dutch, with summary in English).

Ammonia emission from animal husbandry has to be reduced in the Netherlands by 70% in the year 2005, compared with the emission level in 1980. Moreover, new odour legislation requires measurements of the odour emissions of the main conventional and newly developed housing systems. Research was carried out into the emission of ammonia and odour from a mechanically ventilated commercial housing system for broilers. The entire living area of the broilers was covered with litter. The reduction of ammonia was realised by drying the litter and keeping dry the litter with floor heating and by aeration of warmer “ceiling air” over the surface of the litter.

The research was carried out during two production periods: July - August and October - November 2002. The ammonia emission amounted 12,4 g/year during the summer period and during the autumn period 10,2 g/year per broiler, including a correction for the non-occupied periods (19%). This emission was (about 85%) lower than the general level given for traditional housing systems for broilers of 80 g/year per broiler. The geometric mean odour emission from the broiler housing system per animal was 0,21 OU_e /s during both measuring periods (8 measurements).

Keywords: ammonia emission, odour emission, litter drying, broilers

Voorwoord

Onderzoek naar emissies uit veehouderijgebouwen onder praktijkomstandigheden vergroot het inzicht in en de kennis over de milieubelasting vanuit de agrarische sector. Met deze kennis nemen de mogelijkheden toe om deze belasting te verminderen c.q. te voorkomen. Op voordracht van de Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen is onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een stal voor vleeskuikens. Het onderzoek is uitgevoerd door IMAG in een stal van de Mts. Oldenburger te Assen. Wij zijn alle partijen zeer erkentelijk voor de goede samenwerking. Wij vertrouwen erop dat van de resultaten nuttig gebruik wordt gemaakt.

Dr. Ir. C.E. van 't Klooster
Directeur Business Unit IMAG

Inhoud

Abstract	3
Voorwoord	4
Samenvatting	6
1 Inleiding	8
2 Materiaal en methode	9
2.1 Stal- en bedrijfssituatie	9
2.1.1 Bedrijfssituatie	9
2.1.2 Huisvesting	9
2.1.3 Ventilatie	9
2.1.4 Ammoniakemissiereducerend principe	10
2.2 Bedrijfsvoering	10
2.2.1 Zoötechniek	10
2.2.2 Klimaatregeling	11
2.2.3 Voeding	11
2.2.4 Gezondheid	12
2.3 Metingen	12
2.3.1 Algemeen	12
2.3.2 Productiegegevens	13
2.3.3 Strooisel	13
2.3.4 Klimaat	13
2.3.5 Ventilatie-debiet	14
2.3.6 Ammoniakconcentratie	14
2.3.7 Geurconcentratie	15
2.4 Dataverwerking	15
3 Resultaten	17
3.1 Productieresultaten	17
3.2 Strooiselmonsters	17
3.3 Klimaat en ventilatie-debiet	18
3.4 Ammoniakconcentratie en –emissie	19
3.5 Geurconcentratie en -emissie	21
4 Discussie	22
5 Conclusie	24
Summary	25
Literatuur	27
Bijlagen	29

Samenvatting

Ammoniak is naast NO_x en SO_x één van de meest belangrijke verzurende componenten in ons milieu. De Nederlandse overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau van 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn. In dit kader werd door de IMAG meetploeg gedurende twee productieronden (zomer en herfst) onderzoek verricht naar de ammoniakemissie uit een nieuwe vleeskuikenstal. Het emissiereducerend principe van het stalontwerp gaat uit van het droog houden van de strooisellaag, met als doel de afbraak van urinezuur en eiwitten tot ammoniak te vermindern.

Het onderzoek werd uitgevoerd tijdens twee productieronden in een nieuwe vleeskuikenstal met grondhuisvesting voor ca. 46.000 vleeskuikens. De inwendige maten van de stal waren 22,6 m breed en 90 m lang. Het emissiereducerend principe van het stalontwerp bestond uit een vloerverwarming en mixluchtventilatoren. De mixluchtventilatoren die waren verdeeld over twee rijen in de lengterichting van de stal, zogen warmere lucht uit de nok van de stal aan en bliezen dit over het oppervlak van het strooisel uit. In de stal waren vijf voertransportbuizen met voerpannen en zes wateraanvoerleidingen met drinknippels en met lekbakjes aanwezig. Het ventilatiesysteem bestond uit 11 ventilatoren (diameter 80 tot 140 cm) in de achtergevel, inlaatventielen in de zij- en voorgevels en een klimaatcomputer. De maximale ventilatiecapaciteit was $195.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ ($4,2 \text{ m}^3/\text{uur}$ per geplaatst dier). De dieren werden opgezet op circa 2 cm houtstrooisel en hadden 24 uur per dag blauw en/of groen licht.

Van 25 juni tot en met 4 augustus (zomerperiode) en van 1 oktober tot en met 7 november 2002 (herfstperiode) werd de ammoniakemissie (ammoniakconcentratie x ventilatiedebiet) en het buiten- en stalklimaat gemeten. Op 25 juni 2002 werden 44.500 kuikens in de stal geplaatst (bezettingsgraad $22,1$ dieren per m^2). Op dag 30 van de productieronde werd een deel uitgeladen, op dag 41 werden de resterende dieren afgevoerd. De herfstperiode werd gestart op 1 oktober 2002 met 48.000 kuikens (bezettingsgraad $23,8$ dieren per m^2). Op dag 31 werd een deel uitgeladen en op dag 38 werden de resterende dieren afgeleverd. De productieresultaten waren beter dan het landelijk gemiddelde.

De gemiddelde buiten- en stalluchttemperatuur was voor de zomerperiode respectievelijk $21,6^\circ\text{C}$ en $26,8^\circ\text{C}$ en voor de herfstperiode respectievelijk $11,6^\circ\text{C}$ en $24,9^\circ\text{C}$. Het bijbehorende gemiddelde ventilatiedebiet per gemiddeld aanwezig dier was in de zomerperiode $2,8 \text{ m}^3/\text{uur}$ en in de herfstperiode $1,1 \text{ m}^3/\text{uur}$. De gemiddelde temperatuur van de mixlucht was respectievelijk $25,0^\circ\text{C}$ en $24,0^\circ\text{C}$. De drogestof- en ammoniumgehaltes van het strooisel bedroegen per meetperiode respectievelijk 586 en $3,66 \text{ g/kg}$ voor de zomerperiode en 617 en $3,47 \text{ g/kg}$ voor de herfstperiode.

Gedurende de zomerperiode was de gemiddelde ammoniakemissie 12,4 g en voor de herfstperiode 10,2 g per jaar per geplaatst dier (incl. 19% leegstand). De emissie was daarmee aanzienlijk lager (ca. 85%) dan de emissiefactor van 80 g/jaar per dier uit de Regeling Ammoniak en Veehouderij (Infomil, 2002). Uit de discussie blijkt dat verschillende factoren een rol kunnen hebben gespeeld bij de emissiereductie. Waarschijnlijk speelt het snelle indrogen van uitwerpselen een belangrijke factor. Nader onderzoek is echter gewenst om hierover sluitende uitspraken te kunnen doen.

De geometrisch gemiddelde geuremissie bedroeg in de zomerperiode 0,41 $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$ per dierplaats en in de herfstperiode 0,11 $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$ per dierplaats. De geometrisch gemiddelde geuremissie voor de hele periode bedroeg 0,21 $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$ per dierplaats.

1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn SO_2 (zwaveldioxide), NO_x (stikstofoxiden; NO en NO_2 (stikstofmonoxide en stikstofdioxide)) en NH_3 (ammoniak), samen met hun reactieproducten, in het kort SO_x , NO_y en NH_x genoemd. In 1999 was 66% van de NH_x depositie uit eigen land afkomstig. De landbouw droeg in 2000 voor 94% bij aan de nationale emissie van NH_3 . De Nederlandse overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau van 2000 (157 kton) in 2010 tot 100 kton gedaald moet zijn. De bijdrage van de landbouw aan de NH_3 emissie moet dan gedaald zijn tot 86%, ofwel 86 kton (Sliggers, 2001). Om de tot doel gestelde emissiereductie te kunnen realiseren is onder andere invoering van emissiebeperkende staltechnieken en -systemen noodzakelijk.

Naast de problematiek van de emissies van ammoniak speelt ook de geurhinder, die wordt veroorzaakt door landbouwactiviteiten een steeds belangrijkere rol in de wet- en regelgeving. De landbouwsector is, samen met de industrie en het wegverkeer, een belangrijke bron van geurhinder in Nederland (VROM, 1998). In het Nationaal Milieubeleidsplan van 1989 is hierover opgenomen dat maximaal 750.000 woningen in 2000 geurbelast mogen zijn. Voor het jaar 2010 geldt als doelstelling geen ernstige hinder (VROM, 1989). Geurhinder in de landbouw wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door twee bronnen, namelijk het toedienen van dierlijke mest en het vrijkomen van geur uit de veehouderijgebouwen. Momenteel wordt voor veehouderijbedrijven de Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996 toegepast (VROM en LNV, 1996). Sinds 1999 voert de IMAG-meetploeg geurmetingen uit aan de stalsystemen die zijn opgenomen in het ammoniakmeetprogramma, met gebruikmaking van een standaard meetprotocol voor geuremissiemeting (Ogink en Klarenbeek, 1997; Ogink en Mol, 2002).

Behalve via onderzoek komen er ook vanuit de praktijk ideeën en initiatieven om de ammoniakemissie terug te dringen. Om deze op waarde te schatten dienen in potentie emissiearme maatregelen onder normale bedrijfsomstandigheden te worden gemeten. De aanvragen voor emissiemetingen konden tot 2003 worden ingediend bij het secretariaat van de IMAG-meetploeg (Bijlage A). De Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen van de meetploeg beoordeelt alle aanvragen op de volgende criteria: perspectief voor wat betreft de vermindering van de ammoniakemissie, toepasbaarheid in de praktijk en mogelijke negatieve milieueffecten.

In bovenstaand kader werd door IMAG onderzoek verricht naar de ammoniak- en geuremissie van een stal voor vleeskuikens. Het ammoniakemissiereducerend principe van het onderhavige huisvestingsstelsel gaat uit van het droog houden van de strooisellaag, met als doel de afbraak te verminderen van urinezuur en eiwitten tot ammoniak. Om dit te bereiken beschikte de stal over vloerverwarming en mixluchtventilatoren. Deze lieten warme lucht uit de nok van de stal over het strooisel circuleren. De gemeten ammoniakemissie werd vergeleken met de emissiefactor voor een traditionele vleeskuikenstal zoals die is opgenomen in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (Infomil, 2002).

2 Materiaal en methode

2.1 Stal- en bedrijfssituatie

2.1.1 Bedrijfssituatie

Op het gemengde agrarisch bedrijf (akkerbouw en vleeskuikens) werd het onderzoek uitgevoerd. In 2001 werden 2 identieke vleeskuikenstallen in gebruik genomen en gedurende twee productieronden werden in één van de stallen de metingen uitgevoerd. De ingang was aan de zuidgevel van de stal, alwaar zich ook de aardappelbewaarplaats, werktuigenberging en een paardenstal bevonden. Aan de westzijde grensde de stal aan een identieke vleeskuikenstal en aan de oost- en noordzijde aan akkerbouwland. Zie Bijlage B.

2.1.2 Huisvesting

De geïsoleerde stal was 22,6 meter breed en 90,0 meter lang (binnenmaten). Om het ventilatiedebiet te kunnen meten, werd een ventilatiekast in de stal gebouwd (zie § 2.3.5). Deze besloeg 20 m² (1% van het totale vloeroppervlak). Hierdoor was het beschikbare vloeroppervlak 2.014 m². In deze stal konden ca. 46.000 dieren worden gehuisvest. De dieren waren gehuisvest op 100% strooiselvloer. Over de lengte van de stal hingen vijf opklapbare voertransportbuizen met totaal 580 voerpannen met een panafstand van 75 cm. De pannen werden automatisch gevuld met behulp van detectiesensors. Over de lengte van de stal hingen zes opklapbare wateraanvoerleidingen met 3426 drinknippels en lekbakjes. Tevens hingen in de stal twee rijen met elk acht verticaal geplaatste kokers met traploos regelbare mixluchtventilatoren. Het opgegeven luchtdebiet van de in de koker geplaatste ventilator was 5200 m³/uur bij een tegendruk van 0 Pa. De lucht uit de kokers werd horizontaal over het strooisel geblazen. De stal was verder voorzien van een vloerverwarming, vier heteluchtkanonnen en een waternevelinstallatie. De waternevelinstallatie was geïnstalleerd om oververhitting van de dieren tijdens hete zomerdagen te beperken. De leidingen met spuitdoppen hingen in de lengterichting van de stal. Het water werd met behulp van de spuitdoppen over de dieren en het strooisel verstoven. Het aan en uit schakelen van de nevelinstallatie werd automatisch geregeld op basis van de buitenluchttemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid in de stal. Bijlage B geeft een plattegrond van het bedrijf en Bijlage C de stal met de plaats van de apparatuur.

2.1.3 Ventilatie

De stal werd mechanisch geventileerd met elf ventilatoren geplaatst in de noordgevel. Hiervan zaten zes ventilatoren boven- en vijf onder in de gevel (bijlage D). De drie bovenste ventilatoren met een diameter van 80 cm werden continue traploos geregeld. De overige ventilatoren konden alleen aan of uit. Hiervan had één ventilator een diameter 1,00 meter en

zeven ventilatoren een diameter van 1,40 meter. De maximaal beschikbare ventilatiecapaciteit van de stal was bij een onderdruk van circa 30 Pa 195.000 m³/uur of 4,2 m³/uur per dier bij 46.000 dierplaatsen. In beide lengtezijden van de stal en aan de kopzijde van de stal zaten totaal 113 regelbare luchtinlaatventielen (86 x 32 cm) op een hoogte van 1,50 meter. Alle uitgaande lucht van de stal werd door de ventilatoren aangezogen en afgevoerd naar buiten.

2.1.4 Ammoniakemissiereducerend principe

Het ammoniakemissiereducerend principe van het onderhavige systeem is gebaseerd op het remmen/ verminderen van de afbraak(snelheid) van urinezuur en onverteerde eiwitten tot ammoniak. Het systeem beoogt dit te bereiken door de verse keutels die in het strooisel terecht komen snel in te drogen tot een drogestofgehalte boven 60%, en indirect zo ook het drogestofgehalte van het gehele strooisel te verhogen. Voor zowel bandmest als strooiselmest is aangetoond dat hogere drogestofgehalten tot lagere emissies leidden (Groot Koerkamp, 1998; Kroodsmā *et al.*, 1989). Naast het watergehalte van het strooisel zijn de zuurgraad en de temperatuur belangrijk voor het afbraakproces (tot ammoniak/ammonium) en het vervluchtigingsproces (van ammoniak uit het strooisel naar de stallucht).

Het onderhavige systeem bestaat uit 16 zogenaamde regelbare mixluchtventilatoren waarmee warme lucht uit de nok van de stal naar beneden wordt getransporteerd en in horizontale richting over het strooisel wordt geblazen. In oriënterend onderzoek van Groot Koerkamp *et al.* (2000) bleek dat oppervlaktedroging van het strooisel het drogestofgehalte verhoogde. Om de verdamping van vocht uit strooisel te ondersteunen en condensatie van waterdamp op de vloer tegen te gaan, wordt gedurende het eerste deel van de mestronde de vloer verwarmd.

De verwachting bestond dat het systeem naast het hierboven beschreven effect ook een positief effect zou hebben op het microklimaat bij het dier (door een betere luchtuitwisseling) en tot een lager energieverbruik zou leiden (door benutting van de warmte in de nok van de stal gedurende de eerste weken en een lager ventilatiedebiet door effectievere ventilatie van het microklimaat).

2.2 Bedrijfsvoering

2.2.1 Zoötechniek

In Tabel 1 staan gegevens over de bedrijfsvoering van beide productieronden. Tijdens het uitladen werd een deel van de dieren uit de stal gehaald, dit betrof ca. 20% van de opgezette dieren. Bij het afleveren volgde het restant van de dieren. De bezettingsgraad werd berekend aan de hand van het beschikbare oppervlak (2.014 m²).

Tabel 1 Opzet-, uitlaad- en afleverdata van de kuikens en bezettingsgraad per productieronde.

Table 1 Start, removal and finishing date of the broilers and the rate of stocking for the two fattening periods.

Productieronde	Zomer	Herfst
Opzet	24 juni 2002	2 oktober 2002
Uitladen	24 juli 2002 (dag 30)	1 november 2002 (dag 31)
Aflevering	5 augustus 2002	8 november 2002
Aantal opgezette kuikens	44.500	48.000
Bezettingsgraad (aantal dieren per m ²)	22,1	23,8

2.2.2 Klimaatregeling

Het stalklimaat werd geregeld met een klimaatcomputer op basis van de streeftemperatuur. Hiertoe waren 4 temperatuursensoren, op één derde en twee derde van de lengte over de stal verspreid, geïnstalleerd op een hoogte van 40 cm boven de stalvloer. De ventilatoren en de verwarming werden geregeld op basis van de gemiddelde staltemperatuur. De streeftemperatuur daalde met 1 °C per dag gedurende de eerste 7 dagen en daarna met 0,5 °C per dag van 34 °C aan het begin van de ronde tot respectievelijk 25,5 °C (zomerronde) en 17,0 °C (herfstronde) op de dag van aflevering.

Als ventilator 1, 2 en 3 (Bijlage D) op 100% draaiden en de staltemperatuur lag boven de streeftemperatuur, dan werden deze ventilatoren teruggeregeld en werd ventilator 4 aangezet. Vervolgens werden ventilator 1, 2 en 3 weer gebruikt voor de fijn regeling. Bij een staltemperatuur boven de streeftemperatuur, werden deze drie weer teruggeregeld en werd ventilator 5 aangezet, enzovoort. De klepstanden van de inlaatventielen werden zodanig geregeld dat een gelijkmatige temperatuurverdeling in de stal ontstond.

De vloerverwarming was de eerste 9 tot 10 dagen in bedrijf, waarbij de watertemperatuur werd teruggeregeld van ca. 32 °C naar 25 °C. Hierna werd alleen onverwarmd water gecirculeerd. De regelaar van de mixluchtventilatoren werd per dag circa 1 stand hoger gezet. De maximale stand was 40, waarbij het luchtdebiet maximaal was. Als de buitenluchttemperatuur boven de 28 °C kwam, werd de hoge druk waternevelinstallatie in bedrijf gesteld. De waternevelinstallatie werd uitgeschakeld als de relatieve luchtvochtigheid in de stal 85 tot 90% was. De vernevelinstallatie werd regelmatig gebruikt tijdens de zomerperiode tussen 8-15 juli (productiedag 14-21) en van 17 juli tot 2 augustus (productiedag 33-39).

2.2.3 Voeding

De vleeskuikens hadden gedurende de zomerronde de eerste 13 dagen continu voer tot hun beschikking. Daarna werd vanaf dag 14 volgens een curve gevoerd van 80 gram op dag 1 oplopend naar 160 gram per dier aan het einde van de ronde. In de zomerperiode werd tussen 22:30 tot 24:00 uur de aanvoer van voer naar de voerpannen gestopt, in de herfstperiode was dit tussen 21:30 en 0:30 uur. De vleeskuikens werden gevoerd volgens een drie-fase voersysteem (vleeskuikenkorrel). Tabel 2 toont de samenstelling van het voer per fase en de

periode waarin het betreffende voer werd gegeven. Gedurende de eerste 14 dagen hadden de dieren continu drinkwater tot hun beschikking. Daarna werd 4 maal daags water verstrekt van 0:00 – 03:00 uur, 6:00 – 9:00 uur, 12:00 – 15:00 uur en van 18:00 – 21:00 uur.

Tabel 2 Periode, energiewaarden en ruw eiwitgehalte van het voer per fase.

Table 2 *Period, the energy values and the crude protein content of the feed per phase.*

Fase	Periode (productiedag)	Omzetbare energie (MJ/kg)	Ruw eiwitgehalte (g/kg)
1	1 tot 11	11,9	221
2	11 tot 30	12,5	197
3	30 tot einde	12,7	195

2.2.4 Gezondheid

De dieren en de stal werden 2 maal per dag gecontroleerd om ongeveer 7:00 uur en 19:00 uur. Hierbij werden dode en geselecteerde dieren verwijderd. De vleeskuikens waren gehuisvest in een stal zonder toetreding van daglicht. De verlichting bestond uit groen en blauw licht. Groen licht zorgt voor meer activiteit van de dieren dan blauw licht. Tijdens beide productieronden werd de stal de eerste 14 dagen 24 uur per dag verlicht met groen licht. Vervolgens drie dagen met groen en blauw licht. De hierop volgende dagen met blauw licht en de laatste week voor aflevering continue groen en blauw licht.

Bij opzet van de dieren werd de vloer bedekt met 2 cm fijne houtkrullen. Na één productieronde werd de strooisellaag verwijderd en de stal schoongemaakt en ontsmet met formaldehyde.

2.3 Metingen

2.3.1 Algemeen

De meetronden liepen parallel aan de productieronden (zie Tabel 1). Tijdens de meetronden werden productiegegevens geregistreerd door de bedrijfscomputer en de voerleverancier (§ 2.3.2) en monsters van de strooisellaag genomen (§ 2.3.3). De geurconcentratie werd per meetperiode 5 keer bepaald (§ 2.3.7). Gedurende de meetronden zijn de volgende variabelen continu gemeten:

- Klimaat van de stal en buiten (zie § 2.3.4);
- Ventilatie-debiet van de stal en instelling mixluchtventilatoren (zie § 2.3.5);
- Ammoniakconcentratie van de in - en uitgaande lucht (zie § 2.3.6).

De meetapparatuur voor continu metingen werd bestuurd door een programmeerbare datalogger. Alle verzamelde gegevens werden hierin opgeslagen. Eenmaal in de drie minuten werden alle variabelen gemeten en opgeslagen. Iedere week werd de apparatuur gecontroleerd en werd de algemene situatie in de stal opgenomen. Hiervan werden notities gemaakt in een logboek.

2.3.2 Productiegegevens

De volgende productiegegevens werden geregistreerd tijdens de productieronden:

- Aantal opgezette dieren;
- Aantal productiedagen;
- Aflevergewicht (kg);
- Voerverbruik (kg);
- Waterverbruik (l);
- Uitval (%).

Uit deze gegevens werd de groei per dag (g), de voerconversie (kg voer/kg vlees) en de water/voerverhouding berekend. De voerconversie wordt berekend door de totale hoeveelheid opgenomen voer te delen door het totale afgeleverde gewicht. De door de boer beschikbaar gestelde gegevens gingen echter uit van een kuikengewicht van 1.500 gram. Daaruit werd de voerconversie bepaald met behulp van een correctiefactor voor voerconversie (KWIN, 2002; blz. 370) voor een standaard afgeleverd gewicht (2.050 g). Met deze gecorrigeerde voerconversie kunnen koppels beter onderling worden vergeleken.

2.3.3 Strooisel

Om een indruk te krijgen van het de samenstelling van het strooisel werden tijdens de metingen wekelijks strooiselmonsters uit de stal genomen. Hiertoe werd met de hand op verschillende plekken in de stal een monster van het strooisel genomen (van top tot bodem). De monsters werden over twee diagonalen genomen. Per week werden 9 deelmonsters genomen en hiervan werd één mengmonster gemaakt. Van dit mengmonster werd een chemische analyse gemaakt van totaalstikstof, ammoniumstikstof, drogestofgehalte en pH.

2.3.4 Klimaat

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) werden in de stal en buiten aan de noordzijde van de stal continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). In de stal werd de gemiddelde staltemperatuur gemeten met twee sensoren, deze hingen op 40 cm boven de vloer op één derde en op tweederde van de lengte van de stal. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de lucht die door de mixventilatoren werd verspreid werd gemeten met 2 sensoren. De sensoren hingen boven twee mixluchtventilatoren op circa 2,5 meter boven de vloer (Bijlage C). De sensoren werden vóór en na elke meetronde gecontroleerd. De gemiddelde temperatuur in de vloer werd op 4 plaatsen gemeten op één derde en op tweederde van de lengte van de stal aan de oost- en westzijde met in de vloer aangebrachte temperatuursensoren.

2.3.5 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (m^3/uur) werd met meetventilatoren gemeten. Hiervoor werd een wand met meetventilatiekokers in de stal vóór de oorspronkelijke ventilatiegevel geplaatst (zie Bijlage D). De stalventilatoren waren volledig van elkaar gescheiden door middel van compartimenten. Vóór de drie regelbare ventilatoren 1, 2 en 3 (0,8 m diameter) waren meetventilatoren van 0,71 meter doorsnede geplaatst; vóór ventilator 4 (1,0 m diameter) twee meetventilatoren van 0,63 meter doorsnede en vóór de ventilatoren met een diameter van 1,4 m werden drie meetventilatoren van 0,71 meter doorsnede geplaatst. Alle lucht, die de stal verliet, werd op deze wijze met de meetventilatoren gemeten. Per omwenteling van een meetventilator werden vier pulsen afgegeven en het aantal pulsen per seconde werd geregistreerd. De relatie tussen het aantal pulsen per seconde en het ventilatie-debiet werd bepaald met behulp van een windtunnel (Berckmans *et al.*, 1991; Scholtens en van 't Klooster, 1993). De kalibratie van twee meetventilatoren met een diameter van 0,63 m en 0,71 m vond plaats na afloop van de metingen. De resultaten zijn vermeld in Bijlage E. Voor de meetventilatoren met een gelijke diameter werd dezelfde kalibratielijn gebruikt. Uit ervaring is namelijk gebleken dat meetventilatoren met dezelfde diameter en dezelfde omstandigheden nagenoeg dezelfde kalibratielijn hebben.

Het lucht-debiet van de mixluchtventilatoren is niet gemeten. Wel werd gedurende de herfst-ronde de stand van de toerenregelaar geregistreerd.

2.3.6 Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie werd continu gemeten met behulp van een NO_x -monitor (Advanced Pollution Instrumentation Inc., model 200A). Deze methode staat beschreven in Scholtens (1993); een korte beschrijving staat in Bijlage F. Om NH_3 met de NO_x -monitor te kunnen meten moet het eerst door een convertor omgezet worden tot NO. Het gevormde stabiele NO werd met een pomp door teflonslangen naar de monitor gezogen en aldaar gemeten. De gemeten NH_3 -concentratie in ppm werd met een factor 0,71 (bij 20 °C en 1 atm.) omgerekend naar mg NH_3 per m^3 lucht (Weast *et al.*, 1986).

De monsternamepunten van de uitgaande lucht bevonden zich in de meetventilatiekokers. Bij vier van de elf ventilatoren werd de ammoniakconcentratie gemeten. De luchtmonsters werden genomen in ventilatiekoker 2, 4, 5 en 9 (Bijlage D). De monsternamepunten van de ingaande lucht bevonden zich op één derde en twee derde van de stallengte aan de west- en oostzijde bij een inlaatventiel.

Tijdens de eerste en tweede ronde werd iedere week de monitor gekalibreerd met 11,0 ppm respectievelijk 10,1 ppm NO-gas en werd de ammoniakconcentratie in de stal gecontroleerd met behulp van een gasdetectiebuisje. De stoffilters in de luchtleiding voor de convertors werden regelmatig vervangen. De resultaten van de kalibraties van de monitor zijn vermeld in Bijlage F. Volgens het gebruikte meetprincipe was het signaal van de monitor lineair met

de ammoniakconcentratie. De convertors werden voor en na de beide meetronden gekalibreerd. De resultaten staan in Bijlage G.

2.3.7 Geurconcentratie

Geurmetingen werden uitgevoerd volgens het meetprotocol voor geuremissies uit de veehouderij (Werkgroep Emissiefactoren, 1996). De geuranalyses zijn uitgevoerd conform de Nederlandse voornorm NVN2820 met wijzigingsblad A1 (NNI, 1995/1996). Het geurlaboratorium van IMAG is onder nummer K072 door de Raad voor Accreditatie te Utrecht geaccrediteerd voor het uitvoeren van geuranalyses. De geurconcentraties en -emissies worden vermeld in resp. $\text{OU}_E \cdot \text{m}^{-3}$ en $\text{OU}_E \cdot \text{dierplaat} \cdot \text{s}^{-1}$.

Het monsternamepunt voor de geur bevond zich in een ventilatiekoker tussen de ventilator en de meetventilator ($\varnothing$ 0,71 m). Het geurmonster van werd tussen 10:00 en 12:00 uur aangezogen door een pomp bij de meetapparatuur. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode. Hierbij werd een lege teflon monsterzak, die zich in een gesloten vat bevond, via een teflon slang gevuld met stallucht. Door lucht uit het vat te zuigen (0,5 l/min), ontstond in het vat onderdruk en werd door een stoffilter (1-2 μm) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te voorkomen werd verwarmingslint langs de monsternameleiding aangebracht.

Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium van IMAG vervoerd om binnen 30 uur te worden gemeten. Aan de geuranalyses werd deelgenomen door een groep van 4 tot 6 panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en -emissies worden vermeld in respectievelijk $\text{OU}_E \cdot \text{m}^{-3}$ en $\text{OU}_E \cdot \text{s}^{-1}$. De uitdrukking 'OU_E' staat voor European Odour Units.

2.4 Dataverwerking

De ammoniakemissie, berekend als het product van de ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht en het ventilatiedebiet, werd voor iedere koker berekend. De totale emissie was de som van de emissie van de elf stalventilatoren. De ammoniakconcentratie werd bij vier stalventilatoren gemeten (zie § 2.3.6). De concentratie gemeten bij stalventilator 2 werd gebruikt voor de berekening van de emissie uit stalventilatoren 1, 2 en 3. De concentratie gemeten bij stalventilator 4 werd gebruikt voor de emissieberekening uit stalventilator 4 en 5. De concentratie gemeten bij stalventilator 6 werd gebruikt voor de emissieberekening uit stalventilator 6. De concentratie gemeten bij stalventilator 9 werd gebruikt voor de emissieberekening uit stalventilator 7, 8, 9, 10 en 11. Voor de berekening van de emissie werd de gemiddelde ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht verminderd met de gemiddelde ammoniakconcentratie van de ingaande lucht (gemiddelde van 4 meetpunten).

De meetronde werd gestart op de eerste hele dag na opleg van de dieren. Het einde van de meetronde werd bereikt op het laatste hele etmaal vóór alle kuikens afgeleverd werden. Dit was na circa 5-6 weken. De ammoniakconcentraties werden gecorrigeerd voor de rendementen van de convertors en kalibraties van de monitor. Missende uurwaarnemingen (als gevolg van apparatuur storingen) van ventilatiedebiet, ammoniakconcentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid werden niet geïnterpoleerd.

Uit de waarnemingen van de hiervoor benoemde gemeten parameters werden uur- en dag-gemiddelden berekend. Daggemiddelde ammoniakemissies (g/uur) van dagen met minder dan 20 uren gegevens werden niet meegenomen in de berekeningen. Een aantal meetdagen ontbrak door apparatuur- en elektriciteitsstoringen. In de zomermeetperiode werd hierdoor dag 1 t/m 7 gemist. In de herfstperiode was dit alleen dag 1. Door het open staan van buitendeuren tijdens het uitladen in de zomerperiode viel de onderdruk in de stal langdurig weg. Hierdoor kwam deze meetdag te vervallen (productiedag 30). Het bleek dat door een technische storing de metingen van de achtergrondconcentratie in de zomerperiode onbetrouwbaar waren. Daarom zijn de stalconcentraties gecorrigeerd met de gemiddelde achtergrondconcentratie in de herfstperiode ($0,08 \text{ mg/m}^3$).

De gemiddelde emissie (g/uur) werd berekend voor beide meetronden. Hiermee werd voor beide ronden de ammoniakemissie per geplaatst dier per jaar berekend, uitgaande van een leegstand van 19%. De leegstand is berekend met de verplichte minimale leegstand van 10 dagen en de gemiddelde productielengte van 43 dagen volgens KWIN (2002).

3 Resultaten

3.1 Productieresultaten

In tabel 3 staan de productieresultaten weergegeven van de twee productieronden. Tevens is het landelijk gemiddelde weergegeven.

Tabel 3 Bedrijfsresultaten en –kenmerken van de productieronden en het landelijk gemiddelde (KWIN, 2002).

Table 3 *Production results and features of the fattening periods and the national standard (KWIN, 2002).*

Productieronde	zomer	herfst	Landelijk gemiddelde
Aantal opgezette kuikens	44.500	48.000	-
Lengte productieronde (dagen)	41	38	43
Aantal kuikens uitgeladen	8.164 ¹	10.598 ²	-
Aflevergewicht (g)	1.523 ¹	1.623 ²	-
Aantal kuikens afgeleverd	35.286	34.570	-
Aflevergewicht (g)	2.514	2.255	-
Gemiddeld gewogen aflevergewicht (g)	2.328	2.107	2.050
Groei per dag (g)	56,8	55,4	49
Voerconversie (1.500 g)	1,28	1,33	1,53
Voerconversie (2.050 g)	1,50 ³	1,55 ³	1,75
Uitval (%)	2,4	5,9	4,2
Water/voer-verhouding	1,73	1,65	-

¹) productiedag 30 ²) productiedag 31 ³) berekend met correctiefactor KWIN 2002

De lengte van de zomerronde was 3 dagen langer dan van de herfstronde, waardoor het gemiddelde aflevergewicht hoger was dan de herfstronde. Het aflevergewicht van beide ronden was aanzienlijk hoger dan het landelijk gemiddelde. De voerconversie van beide productieronden was beduidend lager dan het landelijk gemiddelde. De gezondheidstoestand van de dieren (Ross) gedurende de zomerronde was goed maar gedurende de herfstronde (Ross hanen) beduidend minder wat uit het uitvalpercentage blijkt. Tijdens de herfstronde leden de dieren aan Colibacillose (darminfectie). Bijlage N geeft een overzicht van het medicijngebruik.

3.2 Strooiselmonsters

In Tabel 4 zijn de resultaten van de chemische en droge stofanalyses van de mest/strooiselmonsters per productieronde gegeven. Uit de resultaten blijkt dat voor zowel de bulk droge stofanalyses als voor de chemische analyses geen significant verschil bestaat tussen de zomer- en de herfstperiode. Voor beide rondes geldt dat het droge stofgehalte niet boven de beoogde 60% ligt. Het extra lage drogestofgehalte van productiedag 20 van de tweede ronde werd veroorzaakt door waterlekage in de stal. Daarnaast valt op dat het N-totaalgehalte hoog is vergeleken met gemiddelde vleeskuikenmest (normaal 30,5 g/kg). Het ammonium-N

gehalte is daarentegen juist laag (normaal 5,6 g/kg). Tijdens de monsternamen van het strooisel viel in beide meetperioden de zichtbaar versmeerde bovenlaag op.

Tabel 4 Droge stof, ammoniumstikstof (NH₄-N), totaal stikstof (totaal-N) en pH van de mestmonsters en gemiddelde met standaarddeviatie (stdv) van beide productieronden.

Table 4 Dry matter content, ammonium nitrogen (NH₄-N) total nitrogen (total-N) and pH of the litter, average and standard deviation (stdv) during the two measuring periods.

	Droge stof (g/kg)		NH ₄ -N (g/kg)		Totaal-N (g/kg)		PH (-)	
<i>Zomerperiode</i>								
Productiedag 8	726		-		-		-	
Productiedag 22	580		3,14		32,9		6,6	
Productiedag 30	514		4,28		33,5		6,8	
Productiedag 36	524		3,55		32,3		5,9	
Gemiddelde en stdv	586	98	3,66	0,6	32,9	0,6	6,4	0,5
<i>Herfsperiode</i>								
Productiedag 7	759		1,12		22,3		6,0	
Productiedag 14	699		2,13		32,8		5,7	
Productiedag 20	476		5,18		31,6		7,7	
Productiedag 28	598		2,82		35,3		5,7	
Productiedag 35	555		6,10		36,8		7,4	
Gemiddelde en stdv	617	112	3,47	5,7	31,8	2,1	6,5	1,0

3.3 Klimaat en ventilatiedebiet

In Tabel 5 zijn de gemiddelde temperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en het ventilatiedebiet per gemiddeld aanwezig dier tijdens beide meetperioden weergegeven. In bijlage H en I staan de daggemiddelden van temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stal- droog- en buitenlucht. In bijlage J staan daggemiddelden van de vloertemperatuur. In Bijlage K staat het totale ventilatiedebiet van de stal van de van beide productieronden grafisch gegeven.

Tabel 5 Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buiten- en stallucht, vloertemperatuur en het ventilatiedebiet per gemiddeld aanwezig dier per meetronde.

Table 5 Mean temperature and relative humidity of the outdoor and the indoor air, floor temperature and the ventilation rate per average placed animal per measuring period.

		zomer	herfst
temperatuur (°C)	buitenlucht	21,6	11,6
	stallucht	26,8	24,9
	ingaande menglucht	25,0	24,0
	vloer	33,7	29,6
relatieve luchtvochtigheid (%)	buiten	77	89
	stal	69	65
	ingaande menglucht	71	65
ventilatiedebiet (m ³ /uur per gem. aanwezig dier)		2,8	1,1

Uit de tabel blijkt dat de buitentemperatuur in de zomerperiode aanzienlijk hoger was dan de in de herfstperiode. De verschillen zijn in veel mindere mate terug te vinden in de staltempe-

ratuur. De lagere buitentemperatuur in de herfstperiode had tot gevolg dat het ventilatiedebiet ook aanzienlijk lager was ten opzichte van de zomerperiode.

De regelaar van de mixluchtventilatoren werd gedurende de productieperiode per dag circa 1 stand hoger gezet, dit betekende per dag een verhoging van het circulatiedebiet met ca 2,5% (Bijlage L).

3.4 Ammoniakconcentratie en –emissie

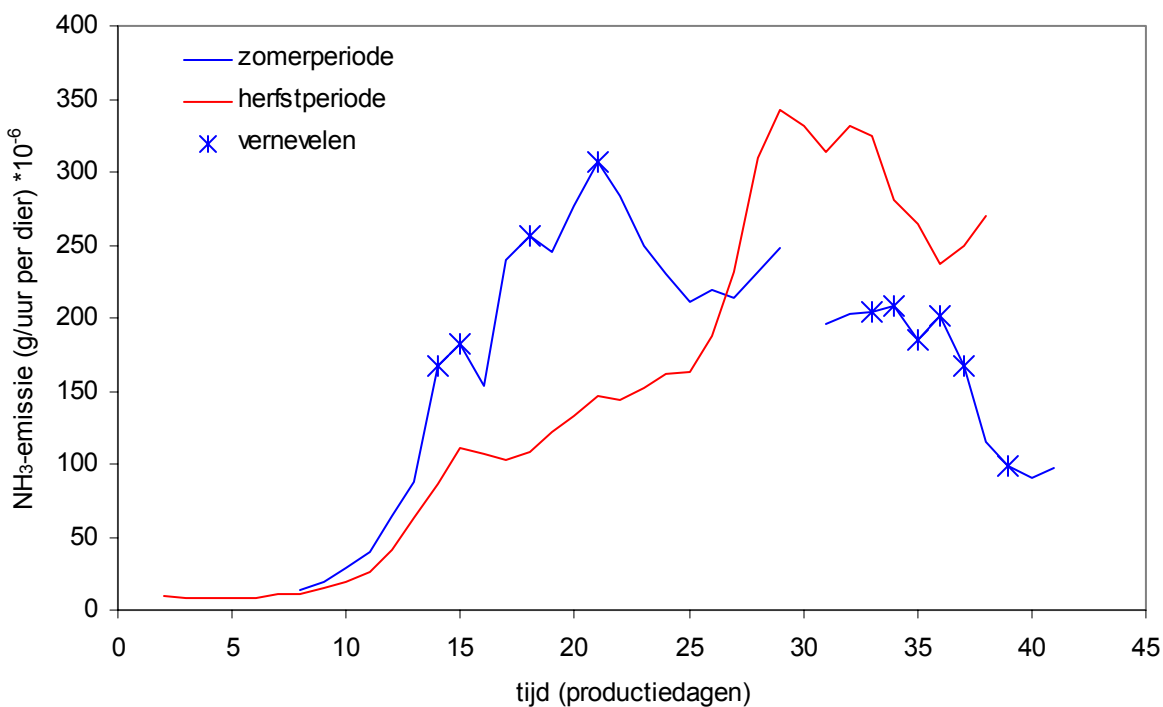
In tabel 6 staan de gemiddelde ammoniakconcentraties en –emissies tijdens de zomer- en herfstronde. De gemeten ammoniakconcentraties van beide productieronden zijn grafisch weergegeven in Bijlage M.

Tabel 6 Aantal geplaatste dieren, lengte productieronde, aantal bruikbare meetdagen, ammoniakconcentratie en ammoniakemissie per meetronde (leegstand 19%).

Table 6 *Number of placed animals, length of the fattening period, number of measuring days and the ammonia emission per measuring period (vacancy 19%).*

Meetronde	Zomer	Herfst
Aantal geplaatste dieren	44.500	48.000
Lengte productieronde (dagen)	41	38
Aantal bruikbare meetdagen	33	37
NH ₃ -concentratie uitgaande lucht (mg/m ³)	0,93	1,47
NH ₃ -concentratie ingaande lucht (mg/m ³)	0,08	0,08
Ammoniakemissie (g/uur)	77,9	68,7
Ammoniakemissie (g/jaar per dierplaats)	12,4	10,2
Ammoniakemissie reductie op jaarbasis t.o.v. RAV	84%	87%

De gemiddelde concentratie van de uitgaande lucht was gedurende de zomerronde 0,93 mg/m³, voor de herfstronde 1,47 mg/m³ en van de ingaande lucht 0,08 mg/m³. De ammoniakemissie was, rekening houdend met een leegstand van 19%, tijdens de eerste meetronde 12,4 g/jaar per dier en voor tweede meetronde 10,2 g/jaar per dier. De gemiddelde emissiereductie ten opzichte van de emissiefactor voor traditionele vleeskuikenstallen was ca. 85% (Infomil, 2002). Figuur 1 toont de daggemiddelde ammoniakemissie tijdens de zomer- en herfstperiode.

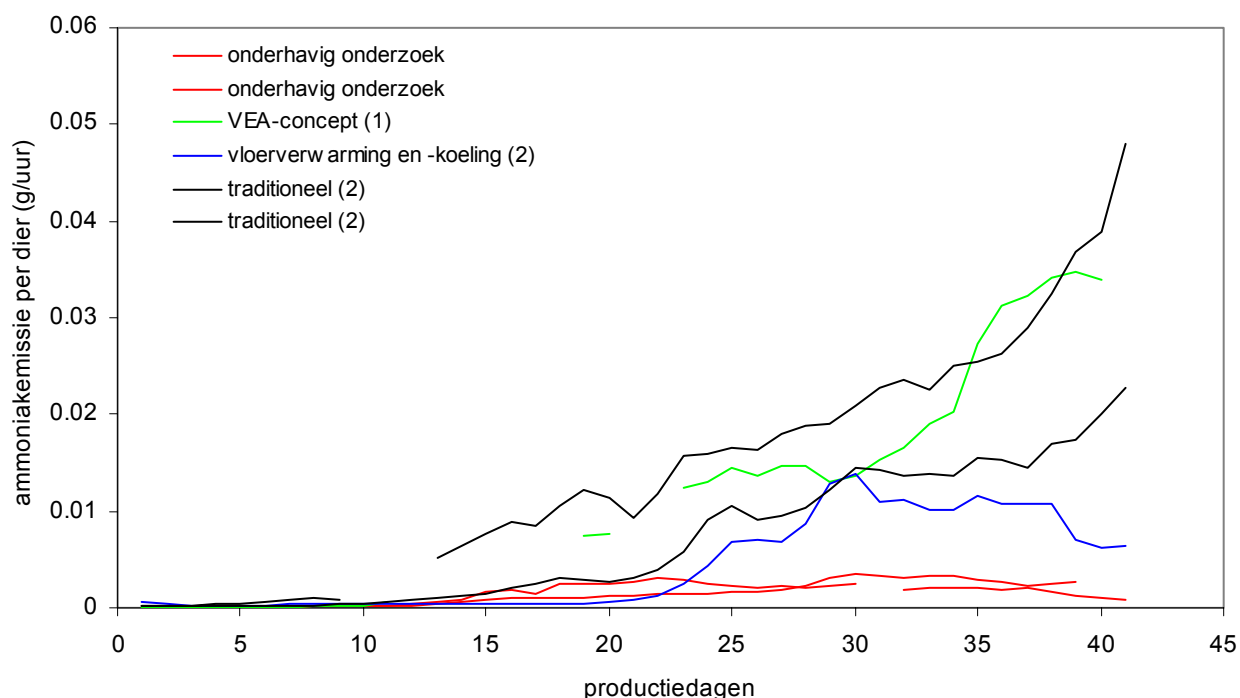


Figuur 1 Verloop van de ammoniakemissie (g/uur per dier) tijdens zomer- en herfstronde.

Figure 1 Trend of the ammonia emission (g/h per animal) during the summer and autumn.

De emissie komt na ongeveer een week op gang. De emissie was tijdens de zomerperiode van dag 8 tot en met dag 26 hoger dan de herfstperiode. Het verloop van beide emissielijnen werd beïnvloed door klimaatomstandigheden en uitladen van dieren. In figuur 1 wordt in het emissieverloop van de zomerperiode de dagen waarop water wordt verneveld weergegeven met een *. Een direct effect op emissie was niet zichtbaar. Een verandering van het strooisel na een periode met vernevelen was wel zichtbaar. Mogelijk is wordt de emissie op langere termijn beïnvloed door vernevelen.

Het verloop van de emissie in beide perioden is typerend voor een vleeskuikenproductie ronde. De emissie neemt in de eerste helft van de productieronde geleidelijk toe om vervolgens af te vlakken dan wel te dalen als gevolg van uitladen van dieren. Eerder onderzoek bij traditionele vleeskuikenstallen laten regelmatig een vergelijkbaar patroon zien (Hol en Groot Koerkamp, 1998 (nr. 2 in figuur); Wever *et al.*, 1999 (nr. 1 in figuur)), echter op een veel hoger emissieniveau. In figuur 2 wordt het huidige resultaat van beide ronden in één figuur geplaatst met enkele andere metingen.



Figuur 2 Verloop van de ammoniakemissie (g/uur per dier) voor verschillende vleeskuikenstallen (1) is gerapporteerd in Wever *et al.* 1999 en (2) in Hol en Groot Koerkamp 1998 .

Figure 2 Trend of the ammonia emission (g/h per animal) for different broiler buildings (1) is reported in Wever *et al.* 1999 and (2) in Hol en Groot Koerkamp 1998.

3.5 Geurconcentratie en -emissie

In Tabel 7 wordt de geurconcentratie en -emissie per dierplaats voor de zomer- en herfst-ronde gegeven. In de zomerronde zijn 3 en in de herfstronde 5 geurmetingen uitgevoerd.

Tabel 7 Gemiddelde geurconcentratie van uitgaande lucht, ventilatiedebiet en geuremissie uit de stal en per geplaatst dier gedurende de zomer- en herfstronde.

Table 7 Mean odour concentration of outlet air, ventilation rate and odour emission of the broiler house and per placed animal for both periods.

	zomer	herfst
Aantal metingen	3	5
Geurconcentratie (OU _E /m ³)	468	416
Gemiddeld debiet (m ³ /uur)	161.680	56.642
Geuremissie (OU _E /s)	18.218	5.259
Aantal geplaatste dieren	44.500	48.000
Geuremissie afdeling per geplaatst dier (OU _E /s)	0,41	0,11

De geometrisch gemiddelde geuremissie bedroeg in de zomerperiode 0,41 OU_E/s per dierplaats en in de herfstperiode 0,11 OU_E/s per dierplaats. De geometrisch gemiddelde geuremissie voor de hele periode bedroeg 0,21 OU_E/s per dierplaats.

4 Discussie

De ammoniakemissie tijdens de twee productieronden die werden gemeten was laag vergeleken met de 0,080 kg/jaar/dier voor traditionele grondhuisvestingssystemen. De reductie was gemiddeld ca. 85%. De lage emissiereductie werd gerealiseerd door enerzijds lage concentratie van ammoniak in de uitgaande lucht (de continue metingen werden bevestigd door handmatige metingen) en anderzijds door een laag ventilatiedebiet dat mogelijk was door de effectieve interne menging. De grote emissiereductie ten opzichte van de emissie van een traditioneel systeem lijkt te suggereren dat het emissiereducerende principe, dat is gebaseerd op het verminderen van de afbraak van urinezuur en onverteerde eiwitten tot ammoniak door middel van het versneld drogen van het mengsel van mest en strooisel (in het vervolg aangeduid met strooisellaag), goed heeft gefunctioneerd. Echter, de drogestofanalyses van de strooiselmonsters die werden genomen om de drogende werking van het systeem te bevestigen (Tabel 4) gaven aan dat geen sprake was van een drogere strooisellaag dan gebruikelijk in traditionele systemen.

Een verklaring voor de gevonden lage emissie in relatie tot het drogestofgehalte van het strooisel, is waarschijnlijk te vinden in het feit dat de bulkbepaling van het drogestofgehalte van een mengmonster van de strooisellaag niet de juiste parameter was voor het vaststellen van de werking van het systeem. Dat het systeem ondanks de relatief lage bulkdrogestofgehaltes toch effectief leek te zijn, bleek uit de lage ammoniumgehaltes en de hoge N-totaalgehaltes in de strooisellaag. Dit wijst erop dat de afbraaksnelheid van urinezuur en onverteerde eiwitten tot ammonium (en uiteindelijk ammoniak) daadwerkelijk geremd was. De drogende werking waaraan het systeem zijn effectiviteit ontleende zou kunnen worden verklaard door het snel indrogen van de verse uitwerpselen in de toplaag, die aan intensieve luchtuitwisseling was blootgesteld. Algemeen is bekend dat afbraakprocessen in pluimveemest al sterk worden geremd als het drogestofgehalte boven de 50% komt.

Een andere factor die mogelijk een rol zou kunnen hebben gespeeld is de versmering van de toplaag van het strooisel. In de zomerperiode werd gedurende enkele dagen water verneveld om verkoeling in de stal aan te brengen. In de herfstperiode was sprake van verstopping in de waterleiding, waardoor enkele waterbakken overliepen. Het type voer gedurende de eerste ronde en het optreden van diarree tijdens de tweede ronde hebben waarschijnlijk ook bijgedragen aan de nattere toplaag. Dit leidde zichtbaar tot de ontwikkeling van een versmeerde toplaag van het strooisel. Ook in dit geval geldt dat niet de drogestofgehaltes van de bulk van de strooisellaag bepalend zijn voor de emissie, maar de ontwikkeling van de verticale textuur. Deze beïnvloedt de vervluchtiging van de ammoniak in de strooisellaag negatief, hetgeen de emissie verlaagt. Dit verschijnsel werd ook in een vleeskuikenstal met vloerverwarming en -koeling waargenomen (Hol en Groot Koerkamp, 1998). De emissiereductie werd in het geval van versmering van de toplaag niet gerealiseerd via het beoogde drogingsprincipe.

Of bovenstaande veronderstellingen over de causaliteit juist zijn, zal door verder onderzoek bevestigd moeten worden. Bovendien geldt dat bij beide bovengenoemde reductiemechanismen het lage ventilatiedebiet (gemiddeld 30% lager dan doorgaans gebruikelijk is) ook bijdroeg aan de verlaging van de ammoniakemissie. Een dergelijke lage ventilatie werd mogelijk gemaakt door een effectieve menging van de stallucht door de mixluchtventilatoren. Hierdoor ontstond, ook bij een laag ventilatiedebiet, een gunstig microklimaat. Dit ventilatie-effect op de ammoniakemissie is derhalve wel een systeemgebonden eigenschap.

De geuremissie die in deze vleeskuikenstal gemeten is voldeed met 0,21 OU_E/s per dierplaats aan het beeld dat bestond voor vleeskuikenstallen, namelijk dat alle tot nu toe gemeten stallen een geuremissie van zo'n 0,22 OU_E/s per dierplaats laten zien. Dit geldt voor zowel de traditionele als de ammoniakemissiereducerende stallen (Ogink en Lens, 2000; Mol en Ogink, 2002).

5 Conclusie

De ammoniakemissie van een vleeskuikenstal met continu mestdroging door circulatie van noklucht van de strooisellaag was gedurende de zomerronde gemiddeld 12,4 g per dierplaats per jaar en voor de herfstronde 10,2 g per dierplaats per jaar (incl. 19% leegstand). Op jaarbasis was de ammoniakreductie 85% lager dan de emissiefactor voor traditionele stallen.

De geometrisch gemiddelde geuremissie bedroeg in de zomerperiode 0,41 $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$ per dierplaats en in de herfstperiode 0,11 $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$ per dierplaats. De geometrisch gemiddelde geuremissie voor de hele periode bedroeg 0,21 $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$ per dierplaats.

Summary

Deposition of ammonia, besides NO_x and SO_x deposition, causes acidification and eutrophication of the environment. Animal husbandry is the main source of ammonia emission in the Netherlands. The policy of the Dutch government aims at a reduction of 50% in the year 2000 and 70% in 2005, as compared with the emission level in 1980. Within this framework research was carried out by IMAG into the emission of ammonia and odour from a mechanically ventilated commercial housing system for broilers. The principal for the reduction of ammonia was to keep the litter as dry as possible, with the aim to decrease the decomposition of uric acid and protein to ammonia.

The research was carried out during two fattening periods of respectively 41 and 38 days in a new broiler house (22,6 m x 90,0 m) for approximately 46,000 broilers. The entire living area of the broilers was covered with litter. The reduction of ammonia was realised by floor heating and by aeration of warmer “ceiling air” over the surface of the litter with special ventilators. Feed was supplied by means of feeding pans and water by means of drinking nipples with leakage troughs underneath. The ventilation system consisted of 11 large ventilators (diameter 80, 100 and 140 cm) in the back wall, inlet openings in the side and front walls, and a climate control computer. The maximum ventilation capacity was 195,000 m^3/h (4.2 m^3/h per broiler). The temperature was gradually decreased from 34 °C to 25.5 °C during the summer period and to 17.0 °C (fall period) at the day of delivery. The broilers were housed on 2 cm wood shavings and coloured blue and green light was given 24 h per day.

From June 25th to August 4th and from October 1st to November 7th 2002, the emission of ammonia was measured by means of continuous measurement of the ammonia concentration (NO_x monitor) and ventilation rate (anemometers). The indoor and outdoor climate were also measured continuously. On June 25th 44,500 broilers were placed (stocking rate 22.1 animals per m^2). On day 30 of the production period a part of the animals were removed, on day 41 the rest of the animals were removed. During the autumn period, on October 1st 48,000 broilers were placed (stocking rate 23.8 m^2). On day 31 a part of the animals were removed and the rest on day 38. The health status of the animals was generally fairly good during the summer period and during the autumn period moderate (Coli), though several medications were carried out. The production results were better compared to the national standard.

The mean outside temperature was 21.6 °C during the summer period and 11.6 °C during the autumn period. The mean temperature of the air in the house was 26.8 °C and 24.9 °C, respectively. The corresponding mean ventilation per animal was in the summer 2.8 m^3/h and in the autumn 1.1 m^3/h . The temperature of the drying air (above the special ventilators) was 25.0 °C and 24.0 °C, respectively. The dry matter and ammonia content of the litter

amounted 586 g/kg and 3,66 g/kg in the summer period and 617 g/kg and 3,47 g/kg for the autumn period.

During the summer period the emission of ammonia was 12.4 g/year per broiler and during the autumn period 10.6 g/year per broiler place, including a correction for the non-occupied periods (19%). The emission was substantial lower (about 85%) than the general level for traditional broiler houses (80 g/year per broiler). The geometric mean odour emission from the broiler housing system per animal was 0,21 OU_E/s during both measuring periods (8 measurements). The discussion pointed out that no statement could be made about the possibility of this system to reduce the ammonia emission. It is remarkable that cooling of the animals was done with a technique (water spraying) that does the opposite of the used ammonia reduction technique (drying).

Literatuur

- Berckmans, D., Ph. Vandenbroeck en V. Goedseels, 1991. Sensor for continuous measurement of the ventilation rate in livestock buildings. *Indoor Air* 3: 323-336.
- Groot Koerkamp, 1998. Ammonia emission from aviary housing systems for laying hens. Inventory, Characteristics and Solutions. Wageningen, IMAG-DLO, 161 pp.
- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H. van Middelkoop, J. van Harn en H. Gunnink, 2000. Oriënterend onderzoek naar de effecten van beluchting van de toplaag van strooisel in een vleeskuikenstal. Wageningen, IMAG nota P 2000-16; PP-rapport No. 20002, 15 pp.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp, 1998. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXX: Vleeskuikenstal met verwarming en koeling van de vloer met strooisel. Wageningen, DLO rapport 98-1004, 15 pp. excl. bijlage.
- Infomil, 2002. LA04 Regelgeving. Handreiking Ammoniak en Veehouderij. Rapport, Den Haag, 86 pp.
- Kroodsmä, W., W. Brunnekreef and D.A. Ehlhardt, 1989. Mogelijkheden voor mestbehandeling en vermindering van de NH₃-emissie op pluimveebedrijven (Possibilities for manure treatment and reduction of ammonia emissions on poultry farms). In: *Perspectieven voor de aanpak van de mest- en ammoniakproblematiek op bedrijfsniveau* (eds: A.A. Jongebreur and G.J. Monteny), *Proceedings Themadag 30 May te Ede*, DLO, Wageningen, the Netherlands, p. 13-38.
- KWIN, 2002. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2002-2003. Praktijkonderzoek Veehouderij, Praktijkboek 18, Lelystad, Uitgever Praktijkonderzoek Veehouderij, 433 pp.
- Mol, G. en N.W.M. Ogink, 2002. Geuremissies uit de veehouderij: het Pythia-project. Overzicht van de resultaten van drie jaar geuremissie-onderzoek in de varkenshouderij, de pluimveehouderij en de rundveehouderij uitgevoerd in de periode 2000 t/m 2002. IMAG rapport 2002-09, 63 pp.
- NVN 2820+A1, 1995,1996. Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer + aanvulling. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M. en J.V. Klarenbeek, 1997. Evaluation of a standard sampling method for determination of odour emission from animal housing systems and calibration of the Dutch pig odour unit into standardised odour units. Gepubliceerd in: *Proceedings of the International symposium. Ammonia and odour control from production facilities*. Vinkeboord, The Netherlands, 1997, p. 231-238.
- Ogink, N.W.M. en G. Mol, 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.

- Ogink, N.W.M. en G. Mol, 2000. Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage van geurmetingen in de varkenshouderij, pluimveehouderij en rundveehouderij. IMAG Nota P 2000-11, 36pp.
- Scholtens, R., 1993. NH₃-convertor + NO_x-analyser. In: E.N.J. Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 19-22.
- Scholtens, R. en C.E. van 't Klooster, 1993. Meetventilator. In: E.N.J. Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 59-62.
- Sliggers, J. (Ed), 2001. Op weg naar duurzame niveaus voor gezondheid en natuur. Overzichtspublicatie thema verzuring en grootschalige luchtverontreiniging. Rapport VROM 010344/h/10-01 17529/187, Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Den Haag, oktober 2001, 229 pp.
- VROM, 1989. Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
- VROM, 1998. Nationaal Milieubeleidsplan 3. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
- VROM en LNV, 1996. Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Waest, R.C., M.J. Astle and W.H. Beyer, 1986. Handbook of chemistry and physics, 67th Edition. Florida, CRC Press Inc.
- Wever, A.C., J.W.H. Huis in 't Veld en P.W.G. Groot Koerkamp, 1999. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLV: Vleeskuikenstal met isolatie en ventilatie volgens het VEA-concept. Wageningen, IMAG rapport 99-09, 21 pp. excl. bijlage.
- Werkgroep Emissiefactoren, 1996. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Verkrijgbaar via het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.

Bijlagen

Bijlage A	Kader en contactpersonen IMAG-meetploeg
Bijlage B	Plattegrond bedrijf
Bijlage C	Overzicht plaats meetapparatuur en inrichting stal
Bijlage D	Ventilatiegevel en meetventilatoren
Bijlage E	Kalibratieresultaten meetventilator
Bijlage F	Principe en kalibratieresultaten NO _x -monitor
Bijlage G	Omzettingspercentage convertors
Bijlage H	Temperatuur
Bijlage I	Relatieve luchtvochtigheid
Bijlage J	Vloertemperatuur
Bijlage K	Ventilatiedebiet
Bijlage L	Luchtdebiet mixluchtventilatoren
Bijlage M	Ammoniakconcentratie
Bijlage N	Lijst van medicijngebruik

Bijlage A Kader en contactpersonen IMAG-meetploeg

Kader

De IMAG-meetploeg verricht ammoniak- en geurmetingen ten behoeve van het ondersteunen van beleidsdoelstellingen van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Deze metingen vinden plaats aan bestaande en nieuw ontwikkelde systemen, voorzieningen en methoden tot het verminderen van de ammoniak- en geuruitstoot uit stallen. Het gaat hierbij met name om systemen waarvan de emissie nog niet eerder is gemeten (categorie I), systemen waarvan die uitstoot verandert als gevolg van beleidswijzigingen door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (categorie II) en systemen voor diersoorten waarvoor nog nauwelijks emissiearme systemen beschikbaar zijn (categorie III). Door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij zijn financiële middelen beschikbaar gesteld voor het meten van ammoniak- en geuremissies aan voornoemde systemen. Deze systemen worden uit de aanvragen geselecteerd door de Begeleidingscommissie van DLO onderzoeksprogramma 309 of haar gedelegeerde. Voor het uitvoeren van metingen beschikt de Begeleidingscommissie over een meetploeg. De uitvoerende instelling waaronder de meetploeg ressorteert is het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG). De metingen worden uitgevoerd volgens de beoordelingsrichtlijn “Emissiearme stallen” die is opgesteld door de Stichting Groen Label. De daarin genoemde landbouwkundige voorwaarden vallen onder de verantwoordelijkheid van de aanvrager.

Contactpersonen

Voorzitter Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen

Ir. J.H.G. Tuinte

Expertisecentrum LNV

Bezoekadres: Pascalstraat 10, 6716 AZ Ede

Postadres: Postbus 482, 6710 BL Ede

Telefoon: 0318 67 14 33

Coördinator IMAG-meetploeg

Ing. Annemieke Hol

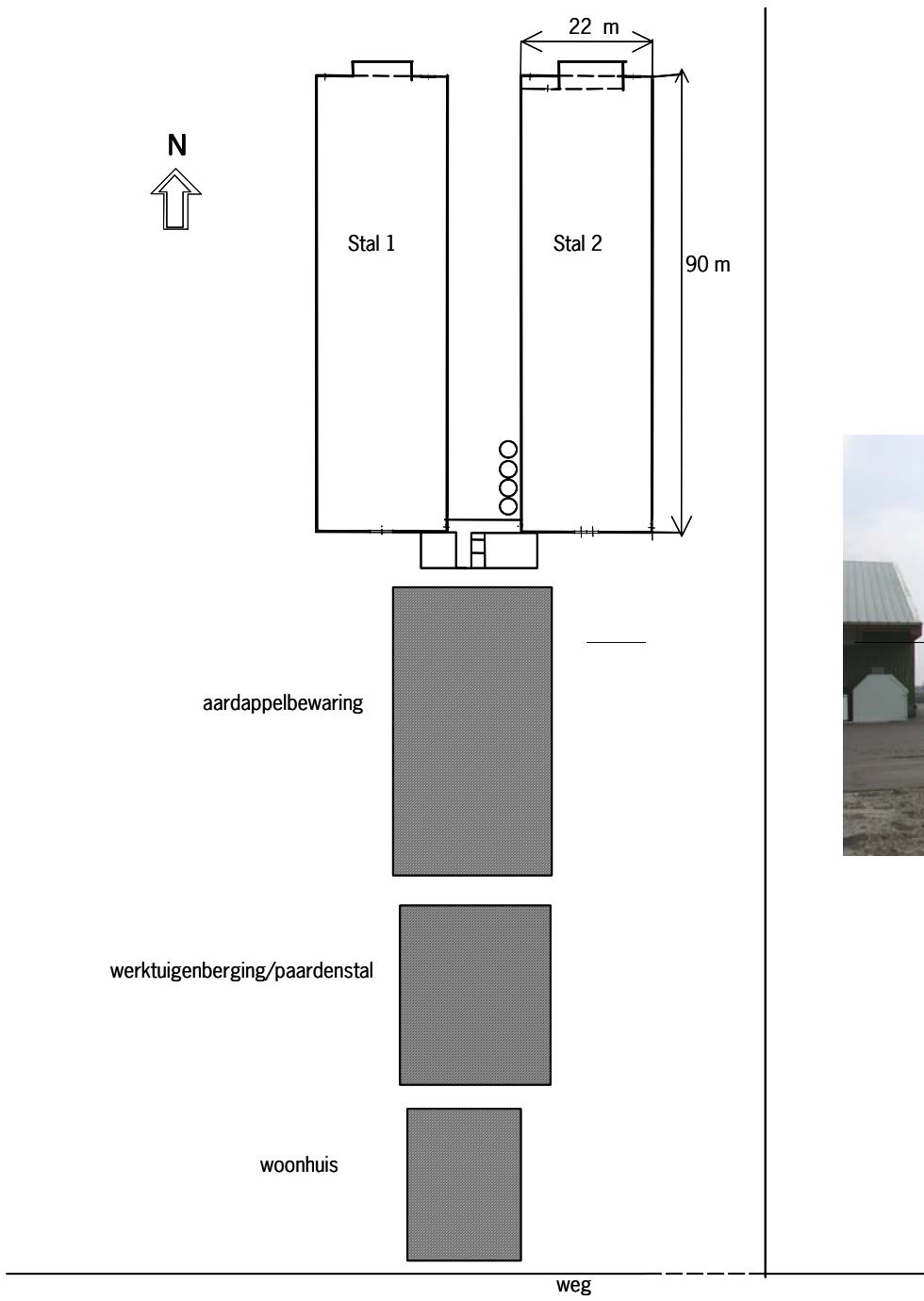
Instituut voor Milieu- en Agritechniek IMAG

Bezoekadres: Mansholtlaan 10-12, 6708 PA Wageningen

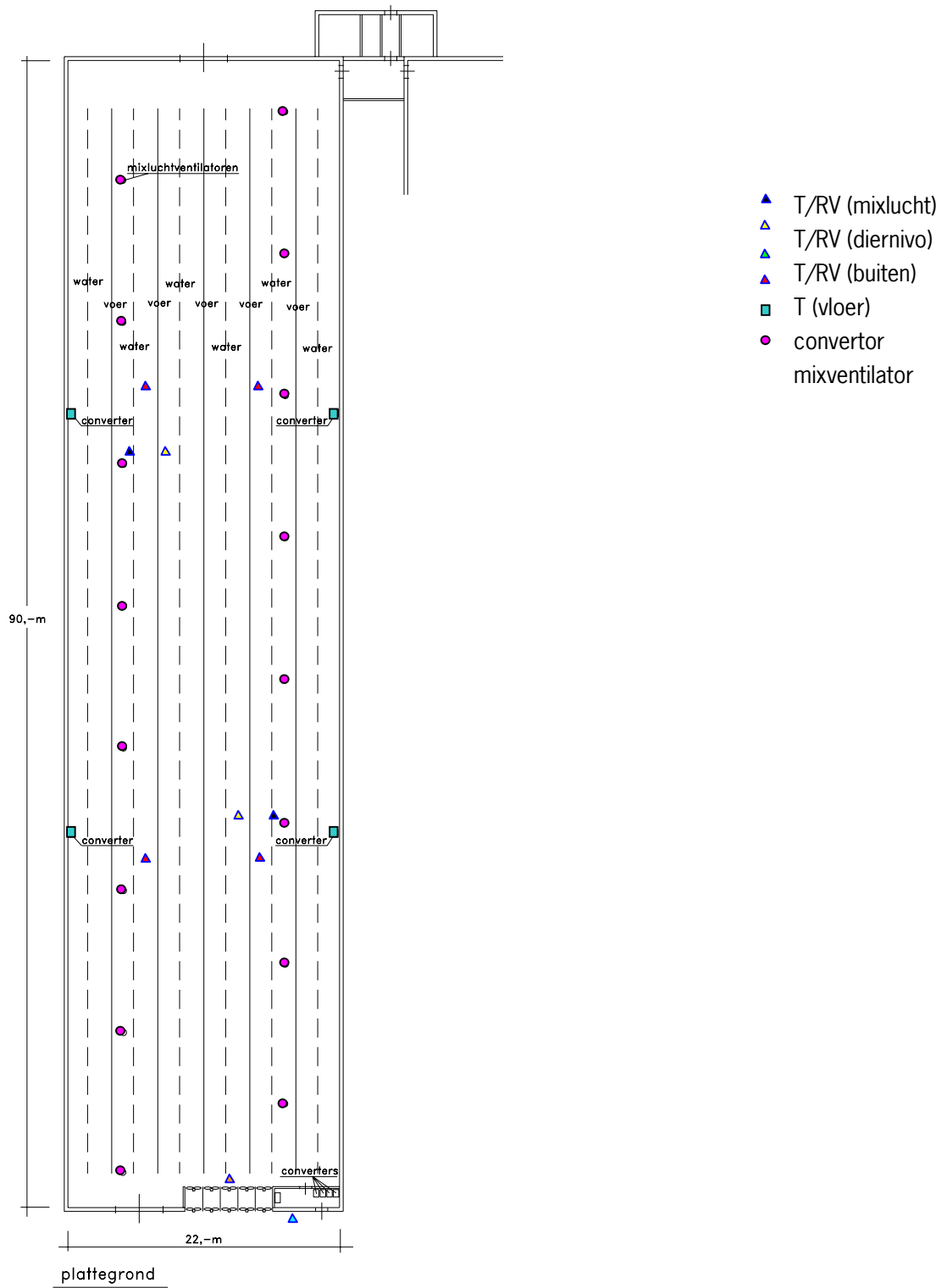
Postadres: Postbus 43, 6700 AA Wageningen

Telefoon: 0317 47 65 97

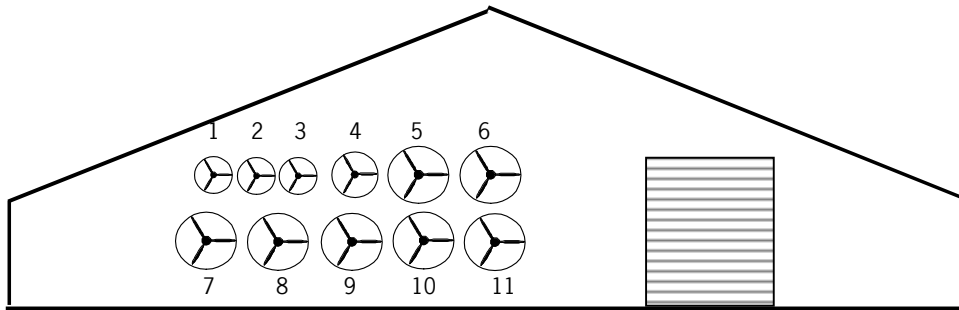
Bijlage B Plattegrond bedrijf



Bijlage C Overzicht water- en voerlijnen, meetapparatuur en mixventilatoren



Bijlage D Ventilatiegevel en meetventilatoren

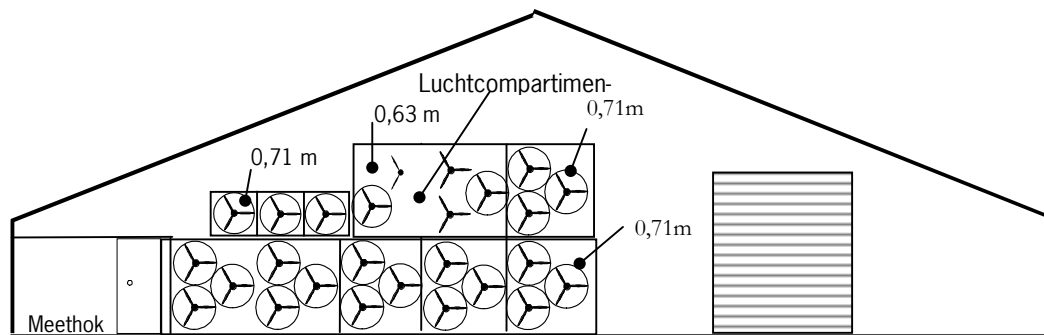


Schematische weergave van de stalventilatoren gezien vanuit de stal.

Verklaring van de nummers:

nummer	diameter (m)	type
1, 2 en 3	0,80	regelbaar
4	1,00	aan/uit
5 t/m 11	1,40	aan/uit

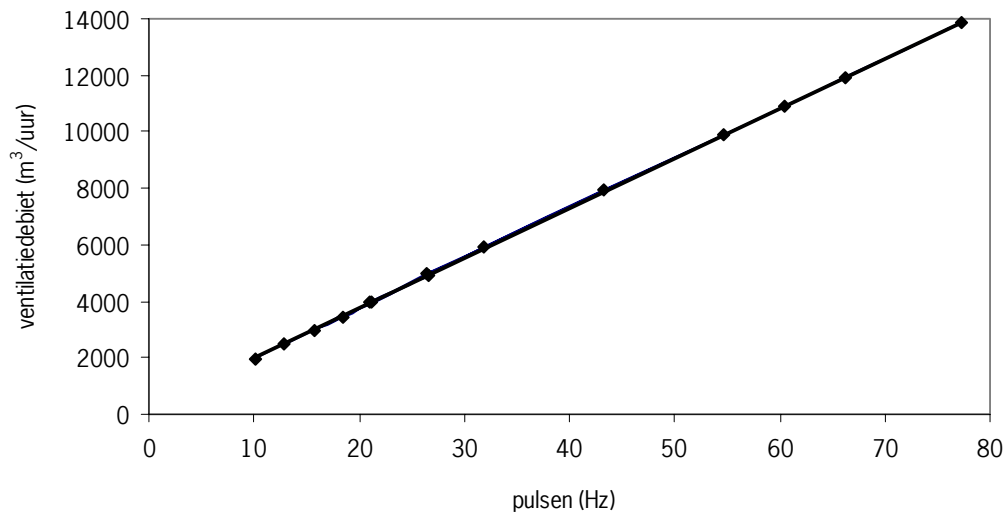
Schematische weergave van de meetventilatoren gezien vanuit de stal



Bijlage E Kalibratieresultaten meetventilator

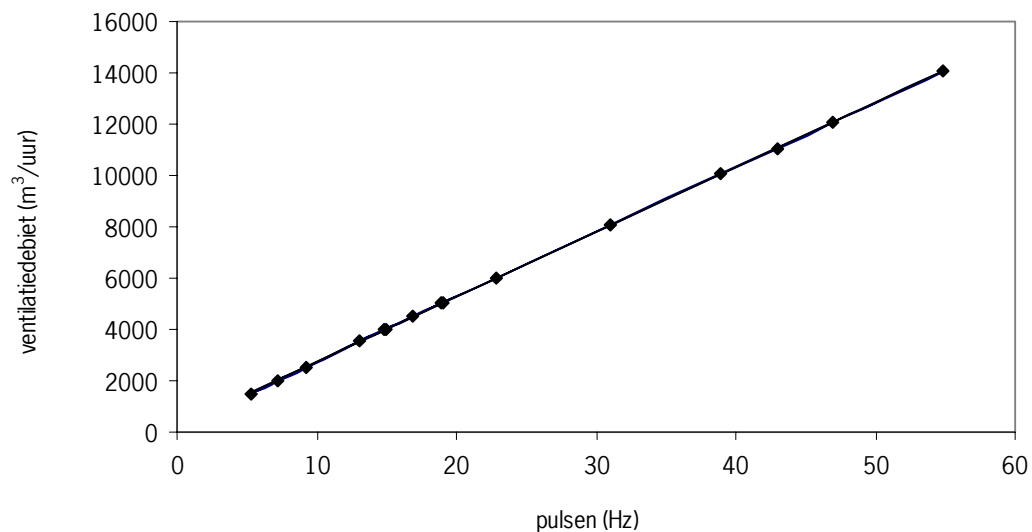
Een meetventilator met een diameter van 63 cm werd in januari 2003 gekalibreerd. De relatie tussen het ventilatiedebiet (V in m^3/uur) en het geregistreerde aantal pulsen per seconde (Hz) was voor de meetventilatoren met een diameter van 63 cm:

$$V = 176,44 * (\text{aantal pulsen}/1 \text{ sec}) + 230$$



Een meetventilator met een diameter van 71 cm werd in januari 2003 gekalibreerd. De relatie tussen het ventilatiedebiet (V in m^3/uur) en het geregistreerde aantal pulsen per seconde (Hz) was voor de meetventilatoren met een diameter van 71 cm:

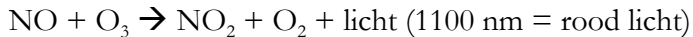
$$V = 252,98 * (\text{aantal Hz}) + 223$$



Bijlage F Principe en kalibratieresultaten NO_x-monitor

Meetprincipe

De ammoniakconcentratie werd continu gemeten met behulp van een NO_x-monitor (Advanced Pollution instimulation Inc., model 200A). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentiereactie tussen ozon (O₃) en NO. Bij deze reactie komt NO₂, zuurstof (O₂) en licht vrij:



De stroom lichtdeeltjes is evenredig met de NO-concentratie van de aangezogen lucht.

Hierna volgt een korte beschrijving van het systeem en de meetopstelling.

Om NH₃ te kunnen meten moet het eerst door een convertor omgezet worden tot NO. In de convertor passeert de luchtstroom een stoffilter (5-6µm) waarna het verhit wordt tot circa 775 °C. Bij deze temperatuur wordt NH₃ aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De convertor is zo dicht mogelijk bij het monsternamapunt gemonteerd om het transport van NH₃ tot een minimum te beperken. NH₃ adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord. De stallucht werd continu aangezogen via teflonslangen. Om condensvorming in de slangen te voorkomen waren alle slangen verwarmd met een verwarmingslint en omwikkeld met isolatiemateriaal.

Voor het meten van NO₂-concentraties kan een molybdeenconvertor worden toegepast. In deze convertor wordt NO₂ vrijwel voor 100% omgezet naar NO door oxidatie van NO₂ op molybdeen bij ca. 325 °C. Een molybdeenconvertor kan noodzakelijk zijn als, door transport van NO in zeer lange leidingen, NO wordt omgezet in NO₂. Tijdens testmetingen met een slang van 350 m is geen verschil gemeten in NO-concentraties voor en na transport door deze slang (Bleijenbergh, R en Ploegaert, J.P.M., 1994. Handleiding meetmethoden ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. Wageningen, IMAG-DLO rapport 94-1, 76 pp). Gedurende dit onderzoek werd geen gebruik gemaakt van een molybdeenconvertor in de monitor. Onder de gegeven meetomstandigheden vond tijdens het transport van lucht van de NH₃-convertor naar de NO_x-monitor geen aantoonbare omzetting plaats van NO in NO₂.

Kalibratieresultaten

De wekelijkse kalibratie van de monitor werd tijdens de eerste en tweede meetperiode uitgevoerd met respectievelijk 11 en 10,1 ppm NO-gas. Tijdens de eerste en tweede meetperiode bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 6,2% respectievelijk 10,1%.

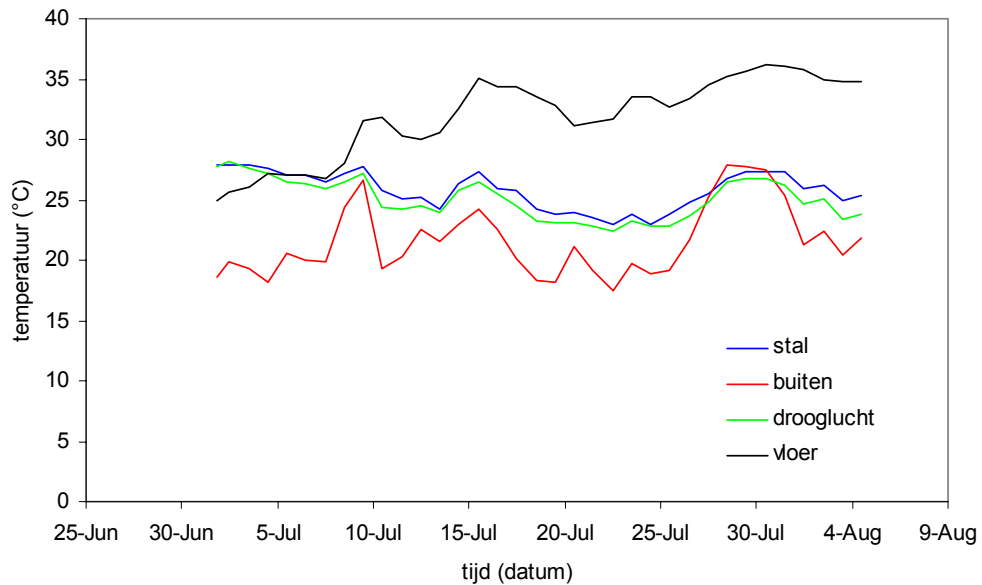
Bijlage G Omzettingspercentage convertors

In onderstaande tabel staat per meetpunt het gemiddelde omzettingspercentage van de convertors weergegeven bij aanbieding van 10 ppm NH₃. Deze waarden werden gebruikt voor de correctie van de ammoniakconcentraties.

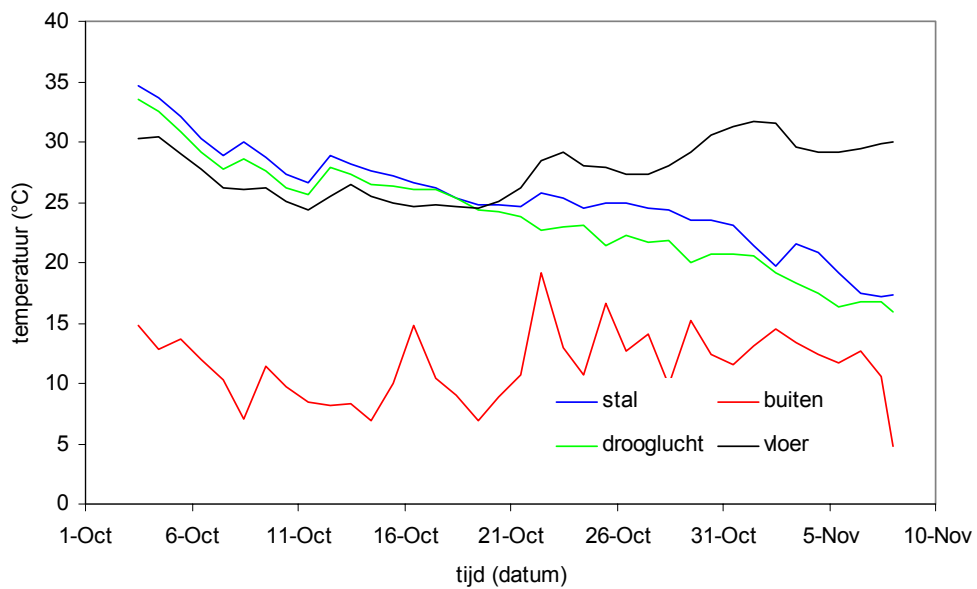
Meetperiode	1	2
Achtergrond ZO	-	94%
Achtergrond NO	-	93%
Achtergrond ZW	-	95%
Achtergrond NW	-	94%
Stalventilator 2	92%	93%
Stalventilator 4	95%	96%
Stalventilator 6	91%	95%
Stalventilator 9	92%	91%

Bijlage H Temperatuur

Daggemiddelden van de temperatuur van stallucht, buitenlucht, drooglucht en vloer voor de zomerperiode.

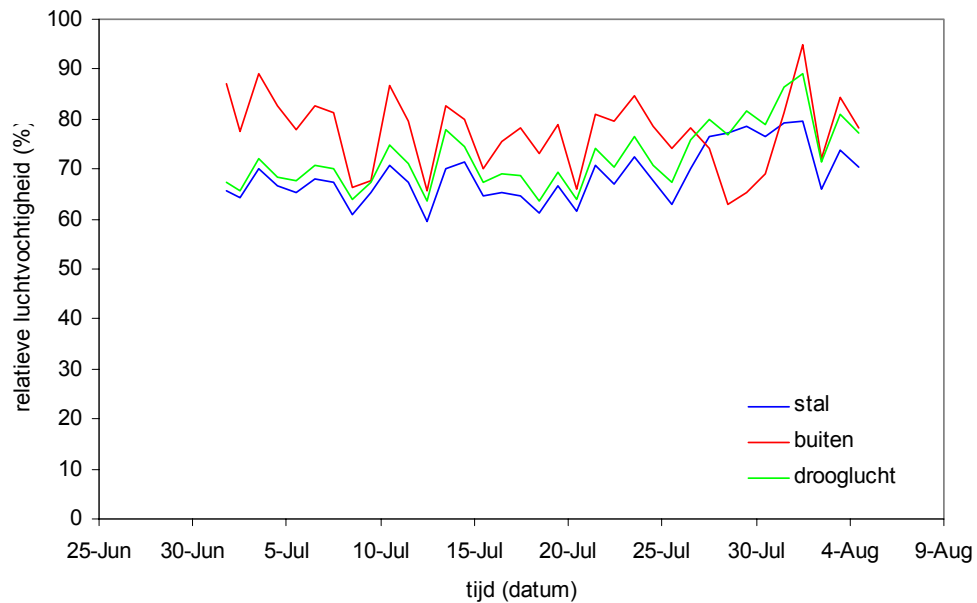


Daggemiddelden van de temperatuur van stallucht, buitenlucht, drooglucht en vloer voor de herfstperiode.

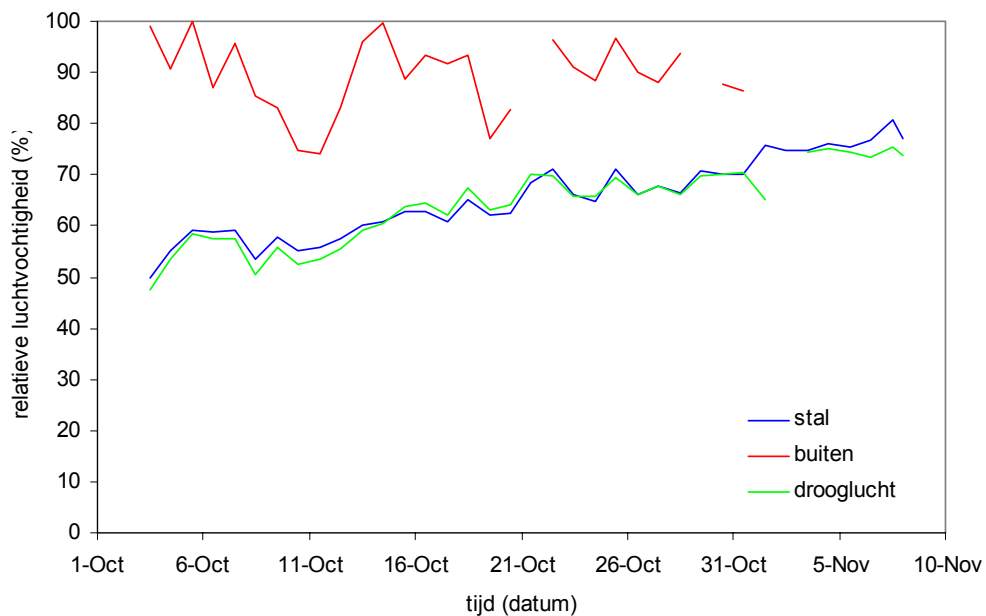


Bijlage I Relatieve luchtvochtigheid

Daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid van stallucht, buitenlucht en drooglucht voor de zomerperiode.

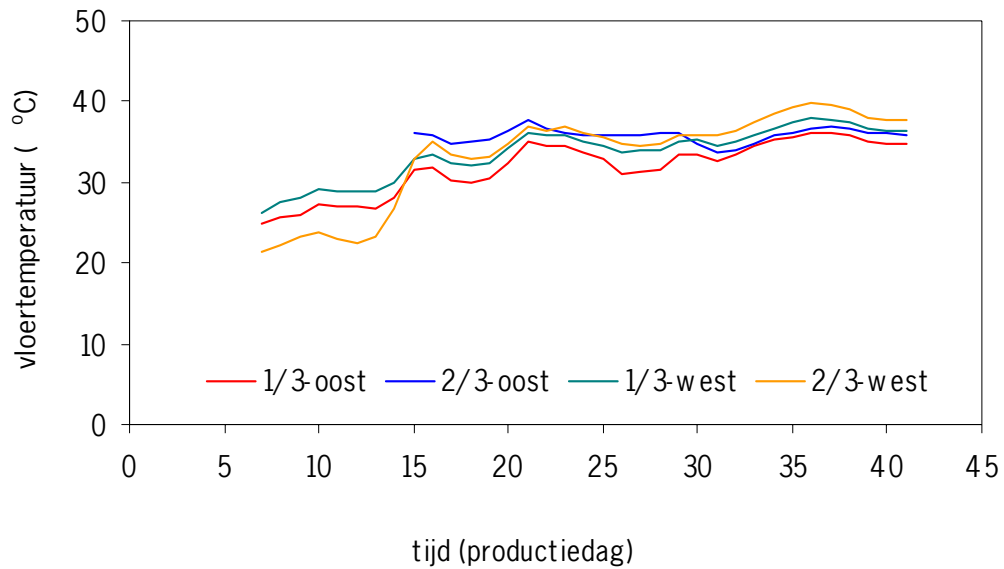


Daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid van stallucht, buitenlucht en drooglucht voor de herfstperiode.

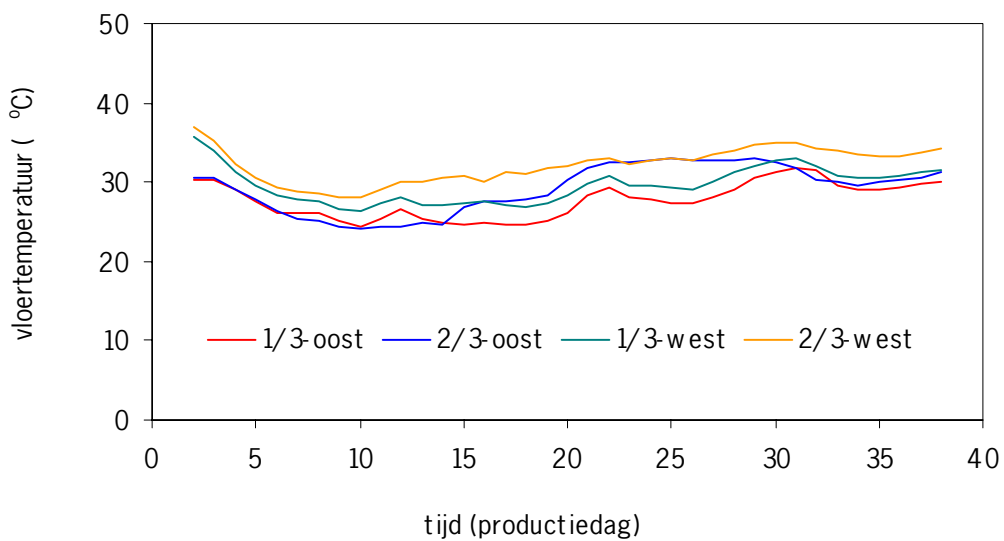


Bijlage J Vloertemperatuur

Daggemiddelden van de vloertemperatuur voor de zomerperiode.

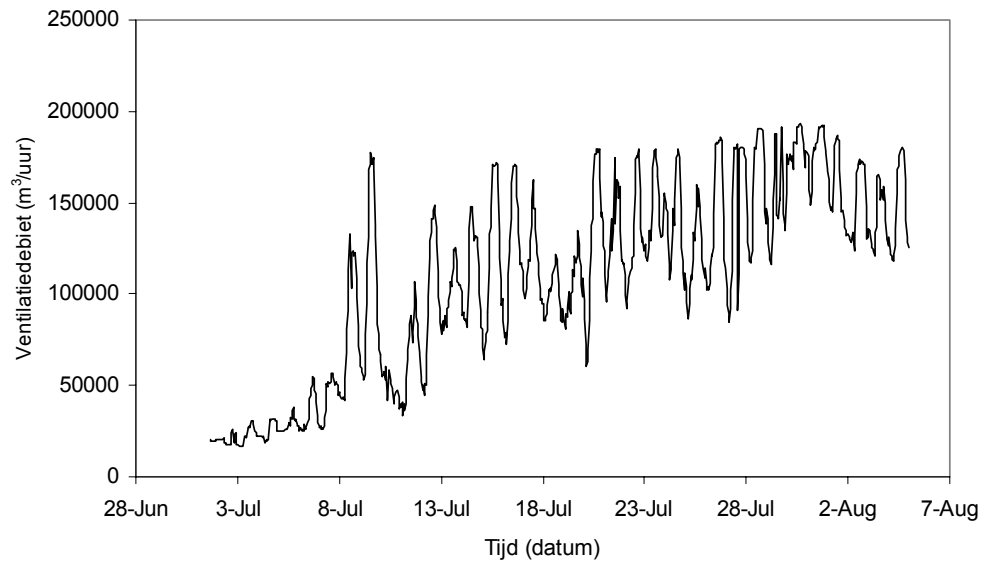


Daggemiddelden van de vloertemperatuur voor de herfstperiode.

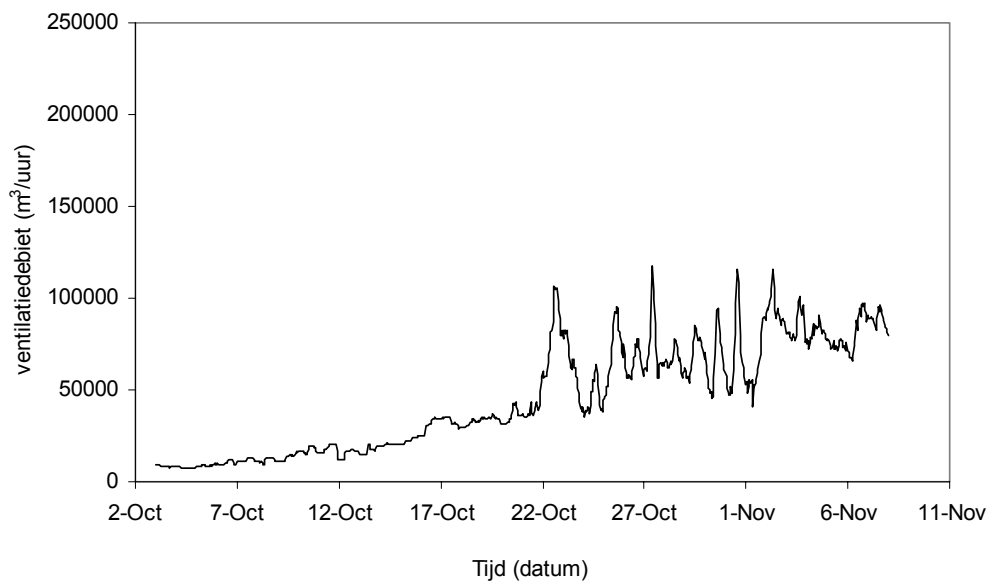


Bijlage K Ventilatiedebiet

Uurgemiddelden van het totale ventilatiedebiet (m^3/uur) tijdens de zomerperiode.

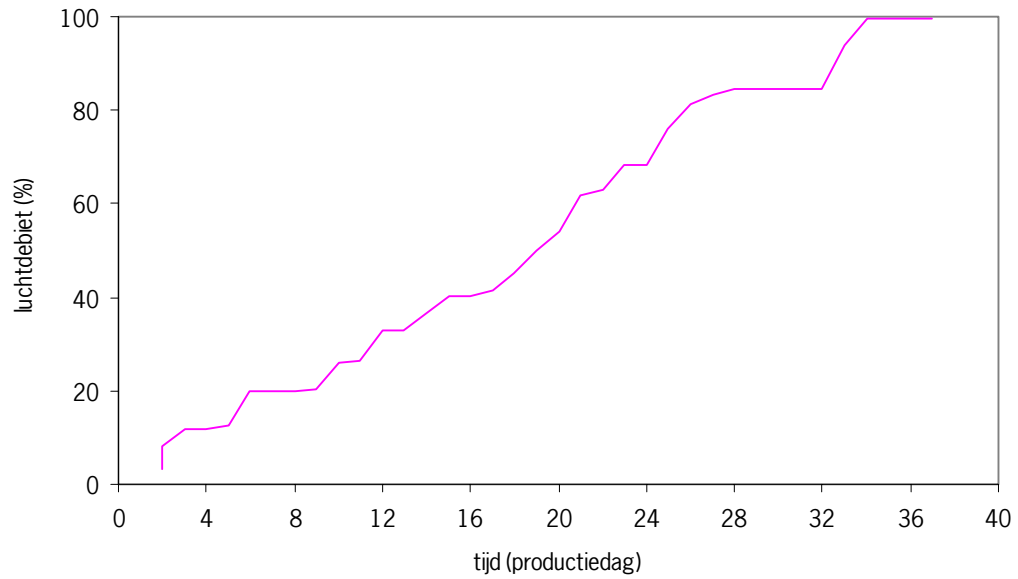


Uurgemiddelden van het ventilatiedebiet (m^3/uur) tijdens de herfstperiode.



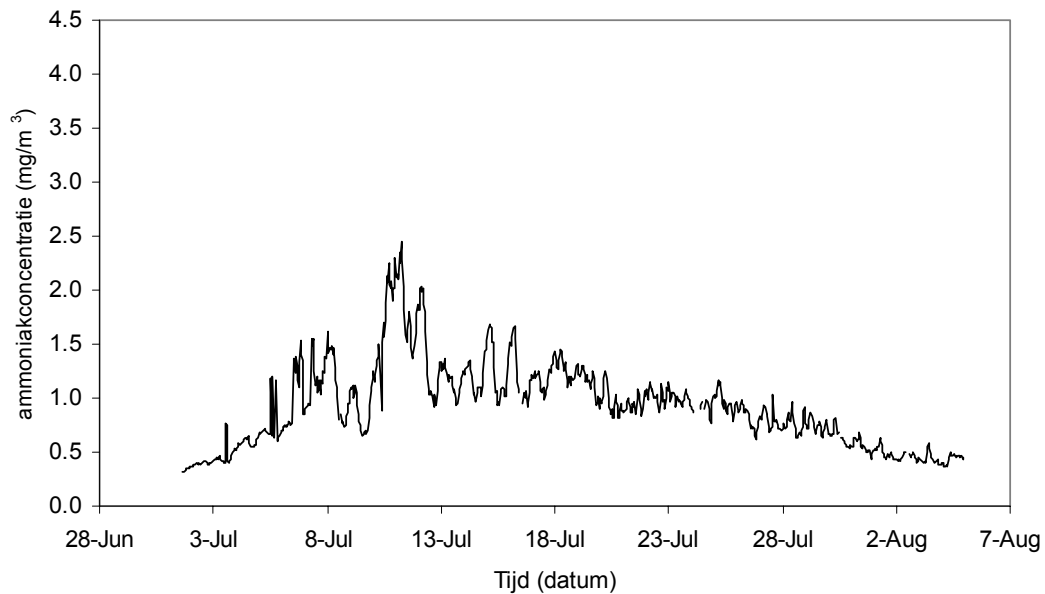
Bijlage L Luchtdebiet (%) mixluchtventilatoren

Daggemiddelden van de debietregeling mixluchtventilatoren gedurende de herfstronde.

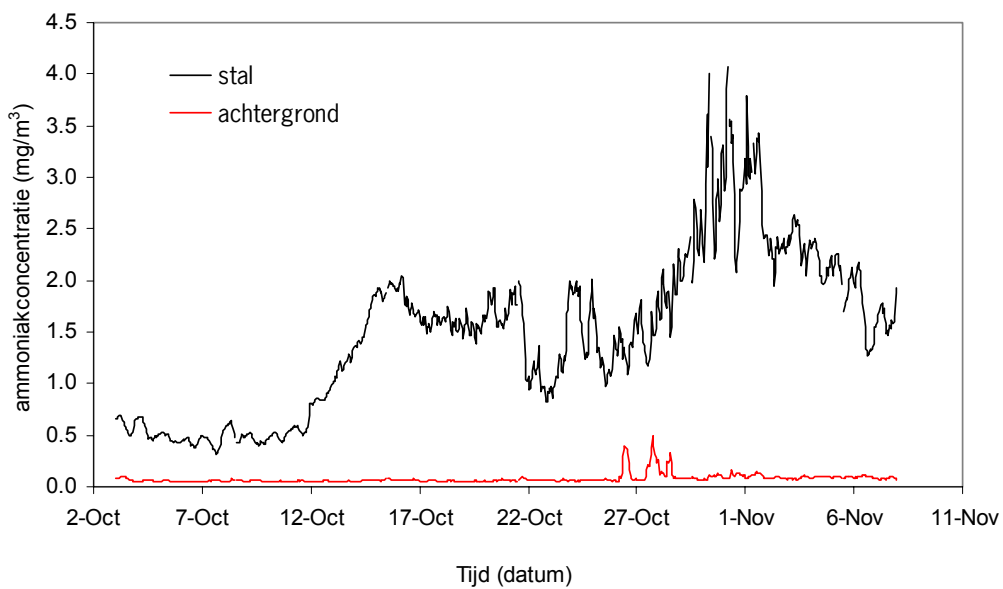


Bijlage M Ammoniakconcentratie

Uurgemiddelden van de NH_3 -concentratie (mg/m^3) van de uitgaande lucht tijdens de zomerperiode.



Uurgemiddelden van de NH_3 -concentratie (mg/m^3) van de uit- en ingaande lucht tijdens de herfstperiode.



Bijlage N Lijst van medicijngebruik

Leef- tijd dagen	zomer		herfst		Datum toediening	
	medicijnen/ vaccins	ziekte	medicijnen/ vaccins	ziekte	zomer	herfst
0	Linco-spectin 2786	RNL Preventie tegen heup- breken	Linco-spectin RNL 2786	Preventie tegen heupbreken	24-6-02	01-10-02
1	Linco-spectin 2786	RNL Preventie tegen heupbreken	Linco-spectin RNL 2786	Preventie tegen heupbreken	25-6-02	02-10-02
4	Paracilline	Anti- coccidiosemiddelen			28-06-02	
6	Paracilline	Anti- coccidiosemiddelen			30-06-02	
13			Biosol	Colibacillose		14-10-02
14	ND Clone 30	Verplichte enting	Biosol	Colibacillose	08-07-02	15-10-02
15	Gumboro W78		Biosol	Colibacillose	09-07-02	16-10-02
16	ND Clone 30	Verplichte enting	Biosol ND Clone 30	Colibacillose	10-07-02	17-10-02
17	Gumboro D78 IB	Gumboro Bronchitis	Biosol Gumboro D78 IB	Colibacillose Gumboro Bronchitis	11-07-02	18-10-02
19	Oxytetra Tylan	Slijm (ORT)	Biosol	Colibacillose	13-06-02	19-10-02
21	Oxytetra Tylan	Slijm (ORT)	Biosol	Colibacillose	15-06-02	20-10-02
26			Paracilline	Anti- coccidiosemiddelen		27-10-02
27			Paracilline	Anti- coccidiosemiddelen		28-10-02

Publicatieoverzicht

- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1991 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen I: slachtkuikenstal met vloerventilatie. Wageningen, DLO, rapport 91-1001, 14 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1991 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen II: grupstal voor melkvee. Wageningen, DLO, rapport 91-1002, 14 pp. excl. bijlage.
- Montsma, H. en C.M. Groenestein, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen III: biggenopfokstal met frekwente en restloze mestverwijdering. Wageningen, DLO, rapport 92-1001, 12 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IIIa: aanvullend onderzoek aan een biggenopfokstal met frekwente en restloze mestverwijdering. Wageningen, DLO rapport 93-1001, 9 pp excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IV: kraamopfokstal met gladde hellende vloer, giergoot en mestschuiven. Wageningen, DLO, Rapport 92-1002, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IVa: aanvullend onderzoek aan een kraamopfokstal met gladde hellende vloer, giergoot en mestschuiven. Wageningen, DLO, Rapport 94-1003, 13 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen V: vleesvarkensstal met dikstrooiselsysteem. Wageningen, DLO, Rapport 92-1003, 18 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1992 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen VI: vleesvarkensstal met diepstrooiselsysteem. Wageningen, DLO, Rapport 92-1004, 20 pp. excl. bijlage.
- Montsma, H. en C.M. Groenestein, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen VII: konijnenstal met mestscheiding, frekwente mestverwijdering en luchtafzuiging boven de giergoot. Wageningen, DLO rapport 93-1002, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen VIII: vleesvarkensstal met overdrukventilatie en luchtverdeling via slangen. Wageningen, DLO rapport 93-1003, 14 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen IX: kraamzeugenstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO rapport 93-1004, 13 pp.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1993 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X: potstal voor melkvee. Wageningen, DLO, Rapport 93-1005, 15 pp. excl. bijlage.

- Groenestein, C.M. en J.M.G. Hol, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XI: zeugenstal met gereduceerd roosteroppervlak. Wageningen, DLO, Rapport 94-1001, 12 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XII: kraamzeugenstal met mestverwijdering door schuiven over een gecoate putvloer. Wageningen, DLO, Rapport 94-1002, 11 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M., 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIII: zeugenstal met mestverwijdering door schuiven over een gecoate putvloer. Wageningen, DLO, Rapport 94-1004, 11 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIV: biggenopfokstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO rapport 94-1005, 12 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien. Wageningen, DLO, Rapport 94-1006, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVI: vleesvarkensstal met mestverwijdering door schuifsystemen. Wageningen, DLO, Rapport 94-1007, 19 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G., R. Bleijenberg en C.M. Groenestein, 1994 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVII: vleeskuikenouderdierenstal met halfroostervloer. Wageningen, DLO rapport 94-1008, 11 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVIII: compactbatterij voor leghennen met tweemaal daags verwijderen van natte mest. Wageningen, DLO rapport 95-1001, 11 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XIX: hellingstal voor vleesvarkens. Wageningen, DLO, Rapport 95-1002, 13 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XX: stal voor guste en dragende zeugen met mestopslag onder betonroosters. Wageningen, DLO rapport 95-1003, 10 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXI: zeugenstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO, Rapport 95-1004, 14 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., C.M. Groenestein en J.W.H. Huis in 't Veld, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXII: zeugenstal, kraamzeugenstal en biggenopfokstal met reductie van mestoppervlak en verdunning van mest. Wageningen, DLO, Rapport 95-1005, 23 pp. excl. bijlage.

- Hol, J.M.G., J.W.H. Huis in 't Veld en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIII: Bandbatterij voor leghennen met geoptimaliseerde mestdroging. Wageningen, DLO rapport 95-1006, 12 pp. excl. bijlage.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en C.M. Groenestein, 1995 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIV: vleesvarkensstal met verdunning van mest door opvang in ammoniakvrije vloeistof. Wageningen, DLO, Rapport 95-1007, 15 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B., J.M.G. Hol en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXV: zeugenstal, kraamzeugenstal en biggenopfokstal met pH-verlaging van de mest door spoelen met aangezuurde dunne mestfractie. Wageningen, DLO, Rapport 96-1001, 26 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXVI: zeugen- en kraamzeugenstal met mestverwijdering door schuiven en reductie van mestoppervlak. Wageningen, DLO, Rapport 96-1002, 15 pp. excl. bijlage.
- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXVII: vleesvarkensstal met koeling van mestoppervlak in de kelder. Wageningen, DLO, Rapport 96-1003, 15 pp. excl. bijlage.
- Reitsma, B. en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXVIII: biggenopfokstal met mestverwijdering door hellende mestband. Wageningen, DLO, Rapport 96-1004, 15 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXIX: scharrelstal voor leghennen. Wageningen, DLO, Rapport 96-1005, 12 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R., J.J.C. van der Heiden-de Vos en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXX: natuurlijk geventileerde ligboxenstal voor melkvee met hellende dichte vloer en zelfrijdende sproeischuiven. Wageningen, DLO, Rapport 96-1006, 15 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXI: verschillende huisvestingssystemen voor vleeskalveren. Wageningen, DLO, Rapport 97-1001, 15 pp. excl. bijlage.
- Satter, I.H.G., H. Gunnink, B. Reitsma en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXII: zeugenstal, kraamzeugenstal en biggenopfokstal met koeling van het mestoppervlak in de kelder. Wageningen, DLO, Rapport 97-1002, 23 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIII: behandeling van lucht uit een composteringsbak voor voorgedroogde leghennenmest door een fysisch-chemische wasser. Wageningen, DLO, Rapport 97-1003, 15 pp. excl. bijlage.

- Satter, I.H.G., J.M.G. Hol, J.H.W. Huis in 't Veld en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIV: vleesvarkensstal met mestverwijdering door spoelen met dunne mestfractie via spoelgoten. Wageningen, DLO, Rapport 97-1004, 17 pp. excl. bijlage.
- Satter, I.H.G., H. Gunnink en C.M. Groenestein, 1997 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXV: Zeugenstal met reductie van mestoppervlak en verdunning van mest door opvang in ammoniakvrije vloeistof. Wageningen, DLO, Rapport 97-1005, 12 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1997 – Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. Wageningen, DLO, Rapport 97-1006, 35 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVII: Vleesvarkensstal met specifieke hokinrichting en gereduceerd emitterend oppervlak. Wageningen, DLO, Rapport 98-1001, 13 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVIII: Behandeling van lucht uit een scharrelstal voor leghennen met een chemische wasser. Wageningen, DLO, Rapport 98-1002, 13 pp. excl. bijlage.
- Satter, I.H.G. en H. Gunnink, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIX: Scharrelstal voor leghennen met droging van de mest op banden onder de beun. Wageningen, DLO, Rapport 98-1003, 15 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXX: Vleeskuikenstal met verwarming en koeling van de vloer. Wageningen, DLO, Rapport 98-1004, 16 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXI: Natuurlijk geventileerde vleesstierenstal met betonroosters. Wageningen, DLO, Rapport 98-1005, 16 pp. excl. bijlage.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1998 - Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkkoeien. Wageningen, DLO, Rapport 98-1006, 16 pp. excl. bijlage.
- Wever, A.C. en J.M.G. Hol, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIII: Twee traditionele huisvestingssystemen voor vleeseenden. Wageningen, IMAG, Rapport 99-07, 25 pp. excl. bijlage.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp, 1999 - Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIV: Rondloopstal voor dragende zeugen met voerstation en strobed. Wageningen, IMAG, Rapport 99-08, 22 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en P.W.G. Grootkoerkamp, 2001 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LII: Volièrestal voor opfokhennen. Wageningen, IMAG Rapport 2001-12, 24 pp. excl. bijlage.

- Beurskens A.G.C., J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIII: Stal voor vleeskalkoenen met frequente strooiselverwijdering. Wageningen, IMAG Rapport 2002-14, 29 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIV: Stal voor vleeskuikenouderdieren met continue drogen van mest. Wageningen, IMAG Rapport 2002-15, 23 pp. excl. bijlage.
- A.G.C. Beurskens, J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LV: Volièrestal voor leghennen. Wageningen, IMAG, Rapport 2002-16, 28 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVI: Scharrelstal voor leghennen met frequente mest- en strooiselverwijdering. Wageningen, IMAG Rapport 2002-17, 21 pp. excl. bijlage.
- Huis in 't Veld, J.W.H., E. Evers en G. Mol, 2002 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII: Natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. Wageningen, IMAG Rapport 2002-18, 19 pp. excl. bijlage.
- Scheer, A., J.M.G. Hol en G. Mol, 2003 - Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVIII: Stal voor vleeskuikens met vloerverwarming en mixluchtventilatoren voor het drogen van de strooisellaag. Wageningen, IMAG Rapport 2003-15, 34 pp. excl. bijlage.