

Mestdroging in een leghennenstal met mestbandbatterijen

**Energieverbruik, drogestofgehalte van de
mest en ammoniakemissie**

*Manure drying in a poultry house with belt
batteries: energy input, dry matter content of
the manure and ammonia volatilization*

Ing. W. Kroodsmā
Dr.Ir. N.W.M. Ogink
Ing. R. Bleijenberg
Ing. M.A. Bruins

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Kroodsmā, W.

Mestdroging in een leghennenstal met mestbandbatterijen: energieverbruik, drogestofgehalte van de mest en ammoniakemissie = Manure drying in a poultry house with belt batteries: energy input, dry matter content of the manure and ammonia volatilization / W. Kroodsmā, N.W.M. Ogink, R. Bleijenberg en M.A. Bruins. – Wageningen : IMAG-DLO. – Ill. (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek ; 95-2)

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

ISBN 90-5406-107-3

NUGI 849

Trefw.: ammoniakemissie ; pluimveeteelt ; mest ; energieverbruik ; legbatterijen.

© 1995

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

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

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

Abstract

Kroodsma, W., N.W.M. Ogink, R. Bleijenberg and M.A. Bruins. Manure drying in a poultry house with belt batteries: energy input, dry matter content of the manure and ammonia volatilization. DLO Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Wageningen, The Netherlands, July 1995. Report 95-2, 29 pp.; 6 figs.; 6 tables; 9 refs.; English and Dutch summaries, NL.

This report presents an investigation into reducing the energy expenditure of drying poultry manure on manure belts and its effects on the dry matter content of the manure and the ammonia volatilization. The research was carried out in a hen house with belt batteries and a drying system with perforated tubes. Daily drying time and ventilation rate for drying the manure were varied. The lowest energy expenditure levels were measured at 16 hours' drying with a ventilation rate of $0.78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$, and at 24 hours' drying at a rate of $0.58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$. There was a positive linear relation between energy expenditure and dry matter content of the manure. There was no significant effect of drying treatments on ammonia emission, but the house temperature had a strong effect on ammonia emission.

Keywords: energy expenditure, dry matter content, ammonia emission, poultry manure, manure drying.

Voorwoord

Mestdroging op het pluimveebedrijf wordt meer en meer toegepast vanwege de perspectieven voor de afzet van de mest en de mogelijkheden voor vermindering van de ammoniakemissie. Drogen kost echter energie. De indruk bestaat dat met betrekkelijk eenvoudige maatregelen op energie kan worden bespaard zonder dat dit nadelige consequenties heeft voor mestkwaliteit en ammoniakemissie.

In dit kader is door Novem (Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv) te Sittard in 1992 medefinanciering toegekend aan een onderzoek naar het energie-efficiënt drogen van leghennenmest op het pluimveebedrijf. Het onderzoek werd uitgevoerd door drie DLO-instituten, t.w. Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO), Instituut voor Veehouderij en Diergezondheid (ID-DLO, locatie Beekbergen) en het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO).

In dit rapport wordt verslag gedaan van het deelonderzoek naar de mogelijkheden voor beperking van het energieverbruik bij mestdroging op bandbatterijen in de stal. Daarbij is tevens de relatie gelegd met de ammoniakemissie uit de stal.

Een woord van dank wil ik richten tot de familie v.d. Heuvel voor de bereidheid hun bedrijf beschikbaar te stellen voor het onderzoek en de gastvrijheid die we mochten ondervinden tijdens de uitvoering van het onderzoek.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	9
2.1 Stal en inrichting	9
2.2 Mestdroging en warmtewisseling	10
2.3 Bedrijfsvoering	11
2.4 Proefopzet	11
2.5 Energie	12
2.6 Ventilatie-debiet, ammoniakconcentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	13
2.7 Dataverwerking en statistische analyse	14
3 Resultaten	15
3.1 Energieverbruik	15
3.2 Ammoniakemissie	16
3.3 Drogestofgehaltes	17
3.4 Temperatuurverloop van de drooglucht	20
4 Discussie	21
4.1 Energieverbruik en drogestofgehalte	21
4.2 Warmtewisseling	22
4.3 Ammoniakemissie	23
5 Conclusies	24
Summary	25
Literatuur	26
Bijlage	27

Samenvatting

In de zomer van 1993 en de winter van 1993–1994 werd onderzoek gedaan naar de beperking van het energieverbruik bij het drogen van mest in een stal met mestbandbatterijen en een geperforeerd leidingsysteem. Belangrijk uitgangspunt hierbij was dat de wekelijks afgeleverde mest een drogestofgehalte van minimaal 50% had en de ammoniakemissie beperkt bleef tot de Groen Label norm van 35 g NH₃ per henplaats per jaar. Onderzocht werd of door het beperken van de droogtijd of door het verlagen van de droogcapaciteit het drogestofgehalte van de mest en de ammoniakemissie uit de stal werd beïnvloed. Het onderzoek naar een beperkte droogtijd werd zowel in de zomerperiode als in de winterperiode uitgevoerd. De droogtijd werd beperkt van 24 uur naar 20 en 16 uur drogen per dag, de droogcapaciteit bedroeg hierbij 0,78 m³ h⁻¹ hen⁻¹. In de winterperiode werd aanvullend onderzoek gedaan naar een geringere droogcapaciteit van respectievelijk 0,75 en 0,58 m³ h⁻¹ hen⁻¹ bij 24 uur droging per dag. Periodes met dezelfde variant duurden een week en werden per variant een aantal malen herhaald.

Uit de resultaten blijkt dat er een positief verband is tussen de hoeveelheid verbruikte energie en het drogestofgehalte van de mest. Het hoogste energieverbruik bedroeg gemiddeld 3,6 kWh hen⁻¹ jaar⁻¹ bij continu drogen met 0,78 m³ h⁻¹ hen⁻¹; het gemiddeld drogestofgehalte bedroeg 64,3%. Het laagste energieverbruik werd gemeten bij 16 uur drogen met 0,78 m³ h⁻¹ hen⁻¹ en bij het continu beluchten met 0,58 m³ h⁻¹ hen⁻¹. Het energieverbruik varieerde bij deze behandelingen van 2,2 tot 2,5 kWh jaar⁻¹ hen⁻¹; het gemiddelde drogestofgehalte bedroeg 57,5%. De berekeningen tonen aan dat een besparing van 1 kWh gepaard gaat met een gemiddelde daling van 5,4 procenteenheden droge stof. Er werd geen aantoonbare invloed waargenomen van de droogbehandeling op de ammoniakemissie. Bij een staltemperatuur van 22 °C bedroeg de gemiddelde emissie 27 g NH₃ per henplaats per jaar. De staltemperatuur bleek de emissie sterk te beïnvloeden. Bij een temperatuurstijging van 1 °C nam de ammoniakemissie proportioneel met 21,8% toe.

1 Inleiding

In de leghennenhouderij zijn in het verleden droogsystemen ontwikkeld waarbij de mest voor langere tijd onder de batterijen werd opgeslagen (zgn. dieppit- en kanalenstallen). Vanwege hinder van stank en ammoniak en overlast van vliegen en ongedierte zijn deze droogsystemen verdrongen door het droogstelsel op bandbatterijen. Hierbij wordt buitenlucht middels warmtewisseling met stallucht en/of menging met stallucht voorverwarmd en wordt de opgewarmde lucht onder een druk van ca. 300 Pa via geperforeerde leidingen over de op de banden liggende mest geblazen. Uit onderzoek van Kroodsma *et al.* (1985) blijkt dat de mest op de mestbanden tot ca. 45% droge stof kan worden gedroogd, waarbij het elektriciteitsverbruik ruim 1 kWh jaar⁻¹ hen⁻¹ bedraagt. Van Horne (1994) constateert op negen bedrijven dat het mestdrogen gemiddeld 1,7 kWh jaar⁻¹ henplaats⁻¹ vraagt. Per bedrijf varieert het verbruik van 0,94-2,4 kWh jaar⁻¹ henplaats⁻¹. In dit onderzoek zijn geen drogestofgehalten van de mest verzameld, waardoor een goede vergelijking tussen stroomverbruik en mestkwaliteit niet mogelijk is. In de meeste gevallen wordt na een week voordroging de mest uit de stal verwijderd en rechtstreeks met containers van het bedrijf afgevoerd. In een aantal gevallen wordt de mest opgeslagen in een open loods. Door broei in de mest wordt de mest nagedroogd tot meer dan 55% droge stof. Kroodsma (1989) onderzocht de ammoniakemissie uit leghennenstallen met drie verschillende mestbehandelingssystemen, t.w. opslag van dunne mest onder de batterijen, bandbatterijen zonder droging waarbij de mest tweemaal per week werd afgevoerd en bandbatterijen met droging waarbij de mest eenmaal per week werd afgevoerd. Uit dit onderzoek blijkt dat de emissie in stallen met bandbatterijen gering is. Eveneens blijkt dat de emissie bij bandbatterijen zonder droging verder kan worden verminderd als de mest frequenter uit de stal wordt verwijderd; dit vraagt echter extra arbeid. Bij bandbatterijen met mestdroging kan de emissie verder worden verminderd door de mest tot een hoger drogestofgehalte te drogen en de mest niet een week maar na een kortere periode te verwijderen. Dit gaat echter gepaard met een hoger energieverbruik of extra arbeid. Uit hetzelfde onderzoek komt naar voren dat tijdens de opslag minder emissie optreedt uit goed gedroogde mest dan uit slecht gedroogde mest. Uit 1.000 kg mest met 37,5% droge stof emitteert 7,5 kg ammoniak en uit 1.000 kg met 52,5% droge stof 5,2 kg ammoniak. Uit onderzoek van Bruins *et al.* (1994) blijkt dat uit mest met 66% droge stof slechts 0,6 kg ammoniak per 1.000 kg mest emitteert.

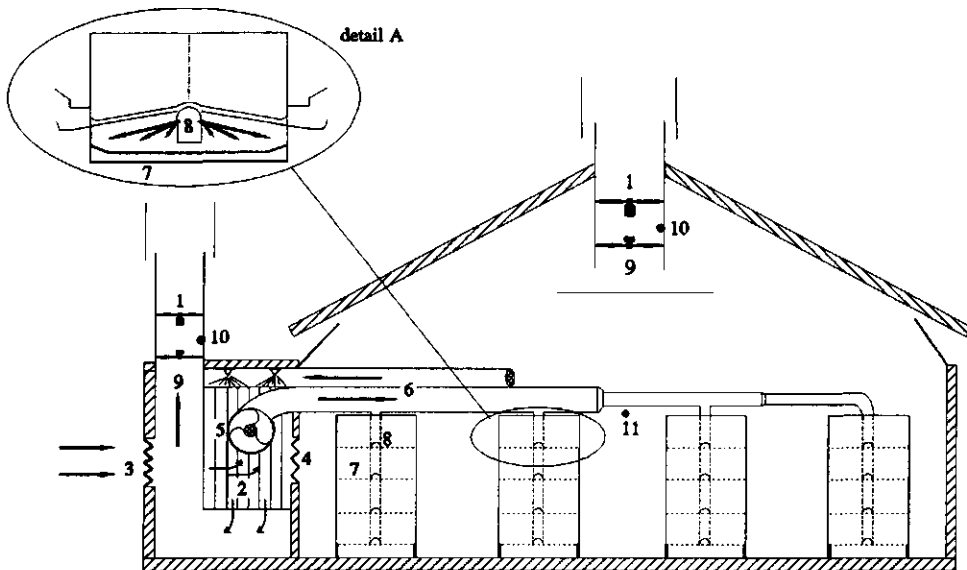
Voor het pluimveebedrijf is het van groot belang om de kosten voor het drogen te beperken, de mest zo droog mogelijk af te leveren en de emissie van ammoniak vergaand te verminderen. In de zomer van 1993 en de winter van 1993-1994 is onderzoek uitgevoerd in een mechanisch geventileerde stal met een geavanceerd warmtewisselingsstelsel en bandbatterijen met een geperforeerd leidingsstelsel. Het hoofddoel van het onderzoek was nagaan in hoeverre het energieverbruik vermindert door beperking van de droogtijd of door vermindering van de droogcapaciteit en welke gevolgen dit heeft voor het drogestofgehalte van de mest en de ammoniakemissie uit de stal. Om verstopping van de gaatjes in de geperforeerde leidingen te voorkomen, mag 's winters geen condensvorming op deze leidingen plaatsvinden. Onderzocht is of met de geïnstalleerde warmtewisselingsapparatuur condensvorming op de geperforeerde leidingen wordt voorkomen. In aanvulling op het LEI-DLO onderzoek (van Horne, 1994) naar het energie-

verbruik op leghennenbedrijven is nagegaan welk percentage benodigd is voor de stalventilatie, voor de mestdroging en voor het overige verbruik.

2 Materiaal en methode

2.1 Stal en inrichting

De stal was 68 m lang en 11 m breed; de hoogte van de zijwand was 3,0 m en van de nok 5,5 m. In figuur 1 is de dwarsdoorsnede van de stal schematisch weergegeven. Het dak was geïsoleerd met 50 mm dupanel. De wanden waren opgebouwd uit gasbetonblokken van 0,2 m dik. De luchtinlaatkleppen waren aan weerszijden van de stal in twee delen gemonteerd. In de stal waren vier Meller vier-etagebatterijen van 56 m lengte met mestbandbeluchting geplaatst. De kooien waren 500 mm breed en 510 mm diep. In de lengterichting van de batterij waren tussen de kooien twee roestvrijstalen drinkknipfels per kooi in combinatie met een V-vormige morsgoot gemonteerd. De stal was voorzien van een computergestuurd ventilatiesysteem. Er waren vier nokventilatoren (Multifan, ϕ 630 mm, 1,5 kW) en drie gevelventilatoren (Fanco 34125 RS HP, 1,5 kW). De maximumcapaciteit van een nokventilator was 9.300 m³/h; de minimumcapaciteit was ingesteld op ca. 10% van de maximumcapaciteit. Bij oplopende staltemperaturen werd eerst de capaciteit van de nokventilatoren tot het maximum opgevoerd. Indien de staltemperatuur toch nog boven de 24,5 °C kwam, werden de gevelventilatoren ingeschakeld die uitsluitend maximaal draaiden met 38.000 m³/h; eerst de middelste gevelventilator, bij nog hogere staltemperaturen achtereenvolgens automatisch de andere twee gevelventilatoren.

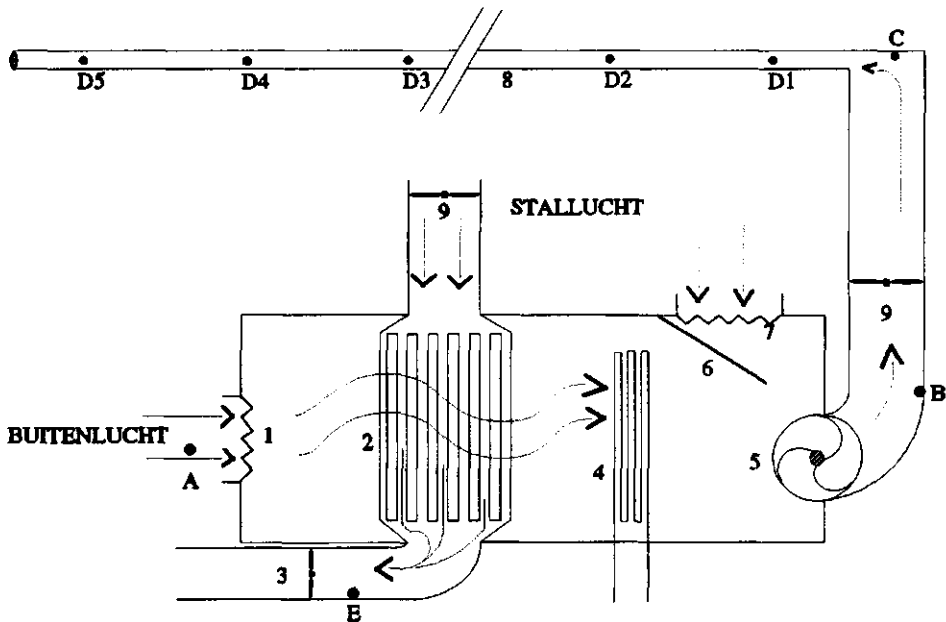


Figuur 1 Leghennenstal met bandbatterijen en mestdrogingsysteem; detail A: mestband met geperforeerde leiding; 1: afzuigventilator, 2: warmtewisselaar, 3: buitenluchtfilter, 4: recirculatiefilter, 5: ventilator mestdroging, 6: buizensysteem mestdroging, 7: mestband, 8: geperforeerde leiding, 9: meetventilator, 10: meetpunt NH₃-concentratie 11: T/RV-sensor stallucht.

Figure 1 Hen house with belt batteries and a manure drying system; detail A: manure belt with perforated tube, 1: exhaust fan, 2: heat exchanger, 3: outside air filter, 4: recirculation filter, 5: fan manure drying, 6: tube system for manure drying, 7: manure belt, 8: perforated tube, 9: anemometer, 10: sampling NH₃ concentration 11: T/TV sensor in house air.

2.2 Mestdroging en warmtewisseling

De drooglucht werd door boven de mestbanden gemonteerde pvc-buizen (17.000 mm²), met aan weerszijden om de 100 mm een gat van ϕ 4 mm, geblazen (figuur 1, detail A). Om tijdens perioden met lage buitentemperaturen de droogcapaciteit te verhogen en om condensvorming op het buizensysteem en de geperforeerde leidingen te voorkomen, werd de lucht die over de mest werd geblazen opgewarmd tot ca. 18 °C door een IPB-warmtewisselaar. In figuur 2 is de warmtewisselaar schematisch weergegeven. De capaciteit van de droogventilator bedroeg 14.000 m³/h; de capaciteit van de afzuigventilator bedroeg 8.500 m³/h. De drooglucht werd van buiten de stal door een filter aangezogen en werd tijdens passage in de warmtewisselaar opgewarmd met stallucht. De stallucht werd afgezogen door vier modules met elk 156 polyethyleenbuisjes. De buisjes waren 1,27 m lang met een wanddikte van 0,9 mm en een inwendige diameter van 29,2 mm. Het warmtewisselaarspakket (lucht/lucht) werd driemaal per dag gedurende 15 minuten automatisch gereinigd. Het water werd met sproeiers over het pakket verdeeld en na passage door de buisjes opgevangen in een pompput. Gedurende de sproeitijd werd via een magneetklep leidingwater in de pompput toegevoegd. Via een overloop werd een hoeveelheid vuil water afgevoerd die overeenkwam met het toegevoegde leidingwater. Wanneer de temperatuur van de drooglucht uit de warmtewisselaar onder de 18 °C



Figuur 2 Schematische weergave van het opwarmen van lucht door de warmtewisselaar; 1: buitenluchtfilter, 2: warmtewisselaar, 3: afzuigventilator, 4: verwarmingselement, 5: ventilator mestdroging, 6: recirculatieklep, 7: recirculatiefilter, 8: geperforeerde leiding, 9: meetventilator, A-C: T/RV-sensoren drooglucht, D1-D5: T-sensoren drooglucht, E: T/RV-sensor ventilatielucht.

Figure 2 Scheme of air heating through a heat exchanger; 1: outside air filter, 2: heat exchanger, 3: fan, 4: heating element, 5: fan manure drying, 6: recirculation valve, 7: recirculation filter, 8: perforated tube, 9: anemometer, A-C: TIRH sensors, D1-D5: T-sensors, E: T-sensor.

kwam, werd via het recirculatiefilter stallucht bij de buitenlucht gemengd tot een maximale verhouding van 1:1. Bij intensief gebruik van recirculatielucht werd het stoffilter eenmaal per dag met een stofzuiger gereinigd.

Indien bij de maximale mengverhouding de ingestelde temperatuur van 18 °C niet werd bereikt, werd de lucht met warm water bijverwarmd door een warmtewisselaar die was aangesloten op een CV-ketel. 's Zomers werd bij een staltemperatuur van 24,5 °C of hoger, de afzuigventilator in de warmtewisselaar uitgeschakeld. Dit was tevens het moment dat de eerste gevelventilator aansloeg (zie paragraaf 2.1).

2.3 Bedrijfsvoering

Bij de start van de zomermetingen (zie paragraaf 2.4) waren 18.235 LSL-hennen aanwezig op een leeftijd van 27 weken. Het uitvalspercentage gedurende de zomermetingen was 0,33% en het gemiddelde legpercentage 94,7%. Het gemiddelde voerverbruik (re-gehalte 175 g/kg) was 118,8 g dag⁻¹ hen⁻¹ en het gemiddelde waterverbruik 222 ml dag⁻¹ hen⁻¹. Bij het begin van de wintermetingen waren er 17.929 hennen van 50 weken oud. Het uitvalspercentage gedurende de wintermetingen was 0,86% en het gemiddelde legpercentage 81,6%. Het gemiddelde voerverbruik (re-gehalte 170 g/kg) was in die periode 116,5 g dag⁻¹ hen⁻¹ en het gemiddelde waterverbruik 196 ml dag⁻¹ hen⁻¹.

Het voer werd met een voersleepketting viermaal per dag toegediend. Het drinkwater werd gerantsoeneerd verstrekt. Gedurende de zomermetingen was het licht van 03.00 tot 19.00 uur continu aan, de overige uren was het licht uitgeschakeld. Gedurende de wintermetingen werd intermitterende verlichting toegepast, van 02.00 tot 03.00 en van 17.00 tot 18.00 was het licht aan, van 03.00 tot 17.00 was het licht een kwartier per uur aan en van 18.00 tot 02.00 uur was het licht uitgeschakeld. Iedere week werd de mest uit de stal verwijderd en in containers direct van het bedrijf afgevoerd.

2.4 Proefopzet

Het onderzoek werd uitgevoerd in een zomer- en een winterperiode. In beide perioden bedroeg de droogcapaciteit 0,78 m³ h⁻¹ dierplaats⁻¹. De droogduur werd per week gevarieerd en werd ingesteld op 24, 20 en 16 uur per dag. Elke instelling werd in beide perioden in duplo en volgens loting uitgevoerd (tabel 1). In de zomerperiode werd gedurende één week een extra meting uitgevoerd, waarbij de mest 20 uur werd gedroogd. De wintermetingen begonnen met een proefweek (8^e). Gezien het goede verloop werden ook deze gegevens in de analyse opgenomen. In de winterperiode werd het onderzoek verlengd met vijf meetweken, waarbij de mest bij een geringere droogcapaciteit gedurende 24 uur per dag werd gedroogd. Dit onderzoek werd in duplo uitgevoerd met twee verschillende ventilatiecapaciteiten (0,75 en 0,58 m³ h⁻¹ dierplaats⁻¹) en afgesloten met een referentieweek met de oorspronkelijke droogcapaciteit. Een meetweek begon en eindigde op de dag (dinsdag) dat de mest uit de stal werd verwijderd.

Het onderzoek naar het drogen van mest in de zomerperiode werd uitgevoerd van 27 april 1993 tot 16 juni 1993 (meetweek 1 tot en met 7). De droogduur van 24, 20 en 16 uur

per dag is aangeduid met resp. de codes Z24, Z20 en Z16. Bij Z20 werd de mestbandbeluchting van 22.00 tot 02.00 uur uitgeschakeld en bij Z16 van 22.00 tot 06.00 uur. Het onderzoek in de winterperiode werd uitgevoerd van 7 december 1993 tot 1 maart 1994. De droogduur van 24, 20 en 16 uur per dag is aangeduid met resp. de codes W24, W20 en W16. Bij W20 werd de mestbandbeluchting van 22.00 tot 02.00 uur uitgeschakeld en bij W16 van 18.00 tot 02.00 uur. Het onderzoek met het 24 uur per dag drogen met een geringere droogcapaciteit werd verricht van 25 januari 1994 tot 22 februari 1994 (meetweek 14 tot en met 17) en afgesloten met een referentieweek met de oorspronkelijke droogcapaciteit en 24 uren drogen per dag (meetweek 18). De periode met $0,75 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ dierplaats⁻¹ is aangeduid met de code C1 en de periode met $0,58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ dierplaats⁻¹ als C2. Tijdens het onderzoek is bij de verschillende ventilatiecapaciteiten de druk voor en achter in de geperforeerde leidingen gemeten. In tabel 1 zijn de verschillende behandelingen, de druk voor en achter in de geperforeerde leidingen en de codes weergegeven.

Tabel 1 Overzicht van de droogtijd, de droogcapaciteit, de druk voor en achter in de geperforeerde leiding en de gebruikte codes van de verschillende behandelingen.

Table 1 Review of drying time, drying capacity, pressure in the front and the end of the perforated tube and the used codes of the different treatments.

Meetweek (nummer)	Droogtijd (h/dag)	Droogcapaciteit ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ dierplaats ⁻¹)	Druk (Pa)		Code
			voor	achter	
Zomer					
1 en 5	24	0,78	520	380	Z24
2, 6 en 7	20	0,78	520	380	Z20
3 en 4	16	0,78	520	380	Z16
Winter					
8 ^a , 8, 13 en 18	24	0,78	520	380	W24
9 en 10	20	0,78	520	380	W16
11 en 12	16	0,78	520	380	W20
14 en 15	24	0,75	450	350	C1
16 en 17	24	0,58	320	210	C2

^a proefweek voorafgaande aan de eigenlijke meetperiode

2.5 Energie

Met drie kWh-meters werd het elektriciteitsverbruik van de stal, de stalventilatoren en de mestdroging gemeten. Het verbruik van de overige apparatuur o.a. verlichting, voersleepketting en eierband werd berekend als het verschil tussen de som van het verbruik van de ventilatie en de droging en het totale stalverbruik. Op de CV-unit van de warmte-wisselaar was een meter geplaatst om het gasverbruik te meten. De standen van de meters werden dagelijks op dezelfde tijd genoteerd. De meterstand op de dag dat de meetweek eindigde was zowel de eindstand van een meetweek als de beginstand van de volgende week. Met behulp van deze gegevens werd per meetweek het energieverbruik berekend.

2.6 Ventilatie-debiet, ammoniakconcentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Iedere nokventilator was voorzien van een meetventilator (Masterfan, ϕ 630 mm). Door de grote diameter van de drie gevelventilatoren was het niet mogelijk de ventilatiecapaciteit ervan rechtstreeks te meten. Gezien de temperatuurinstelling werden deze ventilatoren alleen in de zomerperiode ingeschakeld. Besloten werd de middelste gevelventilator, die bij een hoge buitentemperatuur het eerst in werking trad, te voorzien van een meetunit die aan de uitblaaszijde van de gevelventilator werd aangesloten. De unit bestond uit een omkasting met twee ventilatoren (Multifan, ϕ 630 mm, 1,48 kW, 15.800 m³/h bij 30 Pa) die qua capaciteit vrijwel overeenkwamen met de gevelventilator. Beide ventilatoren werden voorzien van een meetventilator (Masterfan, ϕ 630 mm). Wanneer de gevelventilator werd ingeschakeld werden tegelijkertijd ook de twee ventilatoren in de unit ingeschakeld en werd de ventilatiecapaciteit met de meetventilatoren geregistreerd. Van de andere twee gevelventilatoren werd alleen de ingeschakelde tijd geregistreerd. De capaciteit van deze ventilatoren werd gelijk verondersteld aan die van de middelste gevelventilator die voorzien was van de meetunit. De hoeveelheid stallucht die via de warmtewisselaar de stal verliet en de hoeveelheid lucht die over de mestbanden werd geblazen, werden geregistreerd met meetventilatoren (Masterfan, ϕ 546 mm). Zie hiervoor figuur 2.

Bij iedere nokventilator, bij de gevelventilator met meetunit en bij de afzuigventilator van de warmtewisselaar waren monsternamenpunten voor ammoniak aangebracht. De concentratie in de lucht werd bepaald met een analyser (Monitor Labs, model 8840). Voor de omzetting van NH₃ naar NO werden converters met roestvrijstaal als katalysator toegepast. De conversie vond plaats bij 775 °C. Een nadere omschrijving van deze apparatuur en de toegepaste meetprincipes is beschreven door Scholtens (1993).

Bij de emissieberekening werd de geregistreeerde ventilatiehoeveelheid per ventilator vermenigvuldigd met de ter plaatse gemeten ammoniakconcentratie. De emissie via de twee gevelventilatoren die niet van meetapparatuur waren voorzien, werd berekend door de tijdsduur dat de ventilatoren waren ingeschakeld te vermenigvuldigen met het gemeten ventilatie-debiet en de ammoniakconcentratie van de gevelventilator met de meetunit.

De temperatuur (T) en de relatieve luchtvochtigheid (RV) werden gemeten met drie Rotronics HT-100 (luchtvochtigheidssensor: C80 Hygromer, temperatuursensor: Pt 100). Deze voelers registreerden de T en de RV op drie plaatsen, verdeeld over de lengte van de stal in de middelste looppas op 2,25 m hoogte. Deze voelers waren ook aangebracht buiten de stal, in de luchtaanvoerbuis direct na de warmtewisselaar en in het begin van de geperforeerde buis op de derde etage van de tweede batterij (figuur 2). In deze batterij waren in de geperforeerde buis op de tweede etage vijf temperatuurvoelers geplaatst op 0, 11, 22, 33 en 44 m vanaf het begin van de geperforeerde leiding. In figuur 2 geven de meetpunten A, B en C de plaats aan waar de temperatuur en de vochtigheid van de drooglucht werden gemeten, op de meetpunten D1 tot en met D5 werd alleen de temperatuur gemeten.

2.7 Dataverwerking en statistische analyse

Bij de analyse van de emissiedata werd de geregistreerde cumulatieve weekemissie eerst gestandaardiseerd naar een periode van 6,5 dag, n.l. van dinsdagavond 8 uur tot de volgende dinsdagmorgen 8 uur (totaal 156 uur). Dit werd gedaan om de variatie als gevolg van de tussen de weken verschillende afdraaitijd van de mestbanden te elimineren. Om logistieke redenen varieerde de mestafvoer tussen 08.00 en 14.00 uur. Doordat de emissie aan het eind van de droogweek bij een volle mestband het hoogste niveau bereikte, kon de totale weekemissie aanzienlijk worden verhoogd door laat op de dag af te draaien. Het is zinvol deze extra variatie te verwijderen om de effecten van de aangelegde behandelingen beter te kunnen beoordelen. De emissie gedurende de ontbrekende 12 uur werd berekend uit de gemiddelde uuremissie tijdens de droogweek. De gecorrigeerde totale weekemissie werd vervolgens omgerekend naar een emissie op jaarbasis per hen. Bij deze berekening werd uitgegaan van het werkelijk aantal aanwezige hennen en werd geen rekening gehouden met leegstand.

De staltemperatuur werd berekend als het gemiddelde van de uurwaarnemingen gedurende de gehele droogweek. De opwarming van de drooglucht werd berekend uit de gegevens die werden gesorteerd bij buitentemperaturen van -10, -5, 0, 5 en 10 °C. Bij elke sortering werd een temperatuurverschil van ± 1 °C aangehouden b.v. 5 °C tussen 4 en 6 °C. Bij deze temperatuurintervallen werd de temperatuurstijging gemeten in de warmtewisselaar, in de luchtaanvoerbuizen en in de geperforeerde leiding.

De effecten van de droogbehandelingen op het drogestofgehalte van de mest en de ammoniakemissie werden onderzocht met variantie-analyse met behulp van het statistische pakket Genstat 5 (Genstat 5 committee, 1989). De verklarende factor droogbehandeling had vijf niveaus, n.l. de drie droogtijden (Z/W24, Z/W20 en Z/W16 uur) en de twee afwijkende droogcapaciteiten (C1, C2). Omdat in twee seizoenen bij verschillende temperatuurniveaus werd gemeten, is bij de analyse, naast de factor droogbehandeling, ook de staltemperatuur als verklarende covariabele gebruikt.

De vijf droogbehandelingen kunnen, behalve kwalitatief, ook op een kwantitatieve schaal uitgedrukt worden door het bijbehorende energieverbruik voor het droogproces, uitgedrukt in kWh jaar⁻¹ hen⁻¹. Met behulp van een lineair regressiemodel werd de relatie tussen de te verklaren variabelen en het ingestelde energieverbruik onderzocht.

Bekend is dat de toevalscomponent in emissie in het algemeen proportioneel is met het emissieniveau. Door de logaritme van de emissie te nemen, kan worden voldaan aan de voor variantie-analyse geldende eis van een constante toevalscomponent ongeacht het emissieniveau. Daarom werd in dit onderzoek bij de variantie-analyse en het lineaire regressiemodel de logaritme van de emissie gebruikt.

3 Resultaten

3.1 Energieverbruik

In tabel 2 is een overzicht gegeven van het energieverbruik gedurende de meetweken in de zomer- en de winterperiode. In de winter is het energieverbruik van de stal, met hetzelfde aantal draaiuren van de mestdroogventilator, gemiddeld bijna 20% lager dan in de zomer. Dit verschil werd vooral veroorzaakt door het lagere energieverbruik van de stalventilatie in de winterperiode, gemiddeld bedraagt de stalventilatie in deze periode ca. 33% van het verbruik in de zomer. Het elektriciteitsverbruik voor de mestdroging werd duidelijk beïnvloed door de tijdsduur dat de droogventilator stond ingeschakeld. Bij de zomermetingen daalde, t.o.v. 24-uur droging (Z24), het elektriciteitsverbruik bij Z20 en Z16 tot resp. 83,7 en 67,3%. Bij de wintermetingen daalde, t.o.v. 24-uur droging (W24), het elektriciteitsverbruik bij W20 en W16 tot resp. 82,7 en 66,2%. Het elektriciteitsverbruik bij 24-uur drogen met verminderde capaciteit (C1) daalde tot 89,7%, bij de droogcapaciteit (C2) daalde het elektriciteitsverbruik tot 58,5%. Het elektriciteitsverbruik voor de mestdroging was in de winter gemiddeld iets hoger dan in de zomer; voor 24, 20 en 16 uur drogen was dit respectievelijk 11, 8 en 8%. De oorzaak is niet geheel duidelijk, waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat 's winters de afzuigventilator van de warmtewisselaar continu is ingeschakeld en zomers bij warm weer wordt uitgeschakeld. Het overig verbruik is zomers bijna 23% groter dan in de winter, de reden van het verschil wordt veroorzaakt door het grotere aantal verlichtingsuren in de zomerperiode.

Tabel 2 Gemiddeld wekelijks energieverbruik en onderverdeling naar de verschillende doeleinden.
Table 2 Average weekly energy expenditure and its division to different purposes.

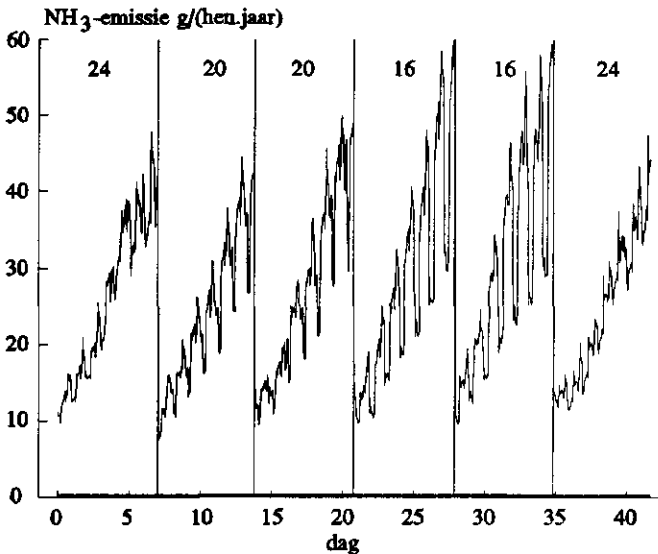
Behandeling	Energieverbruik (kWh/week)	Verdeling energieverbruik					
		Droging		Ventilatie		Overig	
		(kWh)	(%)	(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Z24	2.478	1.165	47,0	533	21,5	781	31,5
Z20	2.283	975	42,7	541	23,7	776	34,0
Z16	2.062	784	38,0	505	24,5	784	38,0
W24	2.051	1.278	62,3	170	8,3	595	29,0
W20	1.838	1.057	57,5	165	9,0	607	33,0
W16	1.626	846	52,0	179	11,0	602	37,0
C1	1.894	1.146	60,5	161	8,5	578	30,5
C2	1.494	747	50,0	135	9,0	598	40,5

Het energieverbruik in de vorm van aanvullende verwarming van lucht door de CV-unit kon door een defecte meter niet worden gemeten.

3.2 Ammoniakemissie

De ammoniakemissie van de meetweken 1, 3 en 15 werd niet bij de analyse betrokken omdat door technische storingen de ammoniakconcentratie, de temperatuur en/of het debiet niet volledig werden geregistreerd.

De uurwaarnemingen van de ammoniakemissie vertoonden een zaagtandpatroon in de tijd. Dit werd veroorzaakt door de toenemende hoeveelheid mest op de mestbanden gedurende de droogweek en het verwijderen van de mest na iedere week. In figuur 3 worden als voorbeeld de uremissies weergegeven gedurende de eerste zes weken in de winterperiode. In de week-grafieken is duidelijk een dag- en nachtritme waarneembaar, dat het duidelijkst tot uiting komt in de periode dat 's nachts de droogventilator gedurende 8 uur werd uitgeschakeld. Direct na het uit- en inschakelen van de droogventilator daalt en stijgt de emissie snel naar het laagste en hoogste punt van de dag. Hoewel in deze perioden wel de hoogste piekemissie optreedt, verschilde de weekemissie niet wezenlijk van de perioden met geen of kortere onderbreking van de droogtijd.



Figuur 3 Verloop van de uurwaarnemingen van de ammoniakemissie gedurende zes meetweken in de winter met 24, 20 en 16 uur mestbanddroging per dag.

Figure 3 The ammonia emission per hour by drying of manure during six weeks in winter with 24, 20 and 16 hour per day.

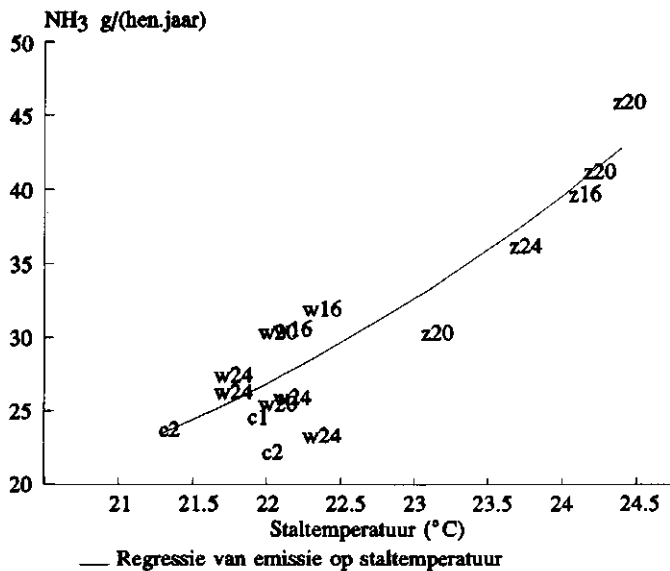
Uit de variantie-analyse bleek dat de droogbehandeling geen aantoonbare invloed op de emissie uitoefende. Hoewel een trend waarneembaar is van een oplopende emissie bij minder uren drogen per dag, is deze niet statistisch significant ($P > 0,10$). Door de grootte van de toevalscomponent in de emissie kunnen eventuele beperkte toenames in de emissie niet worden aangetoond. De staltemperatuur (T) hing wel duidelijk samen met de emissie. Lineaire regressie van de log(emissie) op T gaf de volgende regressievergelijking:

$$\log(\text{emissie}) = 3,286 + 0,197(T - 22) \quad (1)$$

De standaardfouten van de constante en de regressiecoëfficiënt waren respectievelijk 0,0321 en 0,0279. De constante in de vergelijking drukt het niveau van de log(emissie) uit bij een staltemperatuur van 22 °C. Op normale schaal uitgedrukt is de verwachte ammoniakemissie bij deze temperatuur 26,7 g jaar⁻¹ hen⁻¹, met een bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval dat ligt tussen 24,9 en 28,7 g jaar⁻¹ hen⁻¹. De regressievergelijking geeft aan dat een toename van de staltemperatuur met 1 °C gepaard ging met een stijging van 0,197 log-eenheden in de emissie. Op normale schaal houdt dit in dat de emissie proportioneel toeneemt met 21,8% per °C temperatuurstijging. De verwachte emissie op 23 °C bedraagt dus 1,218 x 26,7 = 32,5 g NH₃ per jaar⁻¹ hen⁻¹ en voor 24 °C 1,218 x 32,5 = 39,6 g jaar⁻¹ hen⁻¹. Teruggetransformeerd naar normale schaal luidt de regressievergelijking:

$$\text{Emissie} = 26,7 e^{0,197(T-22)} \quad (2)$$

In figuur 4 zijn de waargenomen emissiecijfers en de gefitte regressielijn op normale schaal afgebeeld.



Figuur 4 Waargenomen ammoniakemissie uitgezet tegen de staltemperatuur en de gefitte regressielijn.

Figure 4 Measured ammonia emission plotted against the indoor temperature in the hen house and the fitted regression line.

3.3 Drogestofgehaltenes

Er was een aantoonbaar effect van de droogbehandeling op het drogestofgehalte van de mest ($P < 0,05$). Minder uren drogen resulteerde in een lager gehalte. De staltemperatuur had geen aantoonbare invloed op het drogestofgehalte. In tabel 3 zijn de geschatte

drogestofgehaltenes voor de vijf droogbehandelingen weergegeven en het bijbehorende interval waarin het gehalte met 95% kans ligt. In bijlage 1 en 2 zijn resp. de gebruikte methoden voor monsternamen en analyse van de mest en de gemiddelde mestsaamenstelling per behandeling gegeven.

Tabel 3 Schatting van de drogestofgehaltenes (ds) bij de verschillende behandelingen en het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Table 3 Estimation of the dry matter contents (dm) at different treatments and the 95% confidence interval.

Behandeling	ds %	95%-Interval
W/Z24	64,2	61,6 - 66,8
W/Z20	60,6	57,7 - 63,5
W/Z16	57,5	54,3 - 60,7
C1	62,0	57,4 - 66,6
C2	57,7	53,1 - 62,3

De volgende behandelingen verschilden significant van elkaar (met onbetrouwbaarheidsdrempel $\alpha = 0,05$):

24 uur drogen versus 16 uur drogen	verschil + 6,7%
24 uur drogen versus C2	verschil + 6,5%
16 uur drogen versus C1	verschil - 4,5%

De overige behandelingen verschilden niet significant van 0.

Het is duidelijk dat, vergeleken met 24 uur drogen, 8 uur minder drogen per dag (W/Z16) of drogen met geringere droogcapaciteit (C2) ten koste ging van het drogestofgehalte van de mest, zij het dat de gehaltenes nog altijd ruim boven de 50% lagen. Dit komt ook tot uiting wanneer de droogbehandelingen uitgedrukt worden op basis van hun energieverbruik. Regressie van het drogestofgehalte op het energieverbruik voor het drogen geeft de volgende vergelijking:

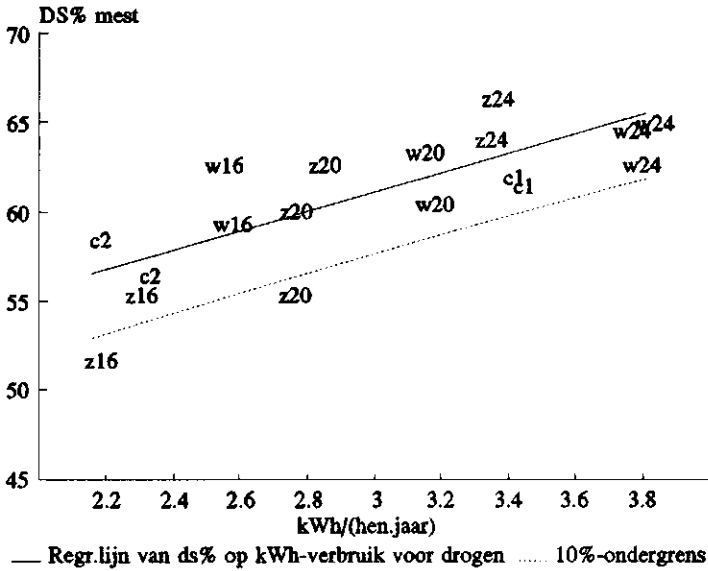
$$\text{Droge stof \%} = 64,3 + 5,40 (\text{Energie} - 3,60) \quad (3)$$

De standaardfouten van de constante en de regressiecoëfficiënt waren respectievelijk 0,92 en 1,10. Als referentieniveau voor het energieverbruik in deze regressie is het gemiddelde verbruik bij 24 uur drogen genomen (3,60 kWh jaar⁻¹ hen⁻¹). Bij dit niveau bedroeg het verwachte drogestofgehalte 64,3%, met een 95%-betrouwbaarheidsinterval tussen 62,4 en 66,3%. De regressievergelijking geeft aan dat bij een besparing van 1 kWh voor het mestdrogen dit gepaard ging met een gemiddelde daling van 5,4 procent-eenheden droge stof. Het gemiddelde energieverbruik voor 16 uur drogen ligt op 2,37 kWh. Volgens de regressievergelijking was het drogestofpercentage op dit niveau:

$$64,3 + 5,40 (2,37 - 3,60) = 57,6\% \quad (4)$$

In figuur 5 zijn de waargenomen gehaltenes en de gefitte regressielijn tegen het energieverbruik voor drogen weergegeven. In de figuur is tevens de ondergrens aangegeven waar beneden bij een bepaald energieverbruik met 10% kans het drogestofgehalte van

een willekeurige droogweek ligt. Bij het laagste niveau van energieverbruik in dit onderzoek (Z16 en C2) bleek deze ondergrens op ca. 52% droge stof te liggen. Dit betekent dat bij dit lage energieniveau gemiddeld eenmaal in de 10 weken het drogestofgehalte onder de 52% uitkomt.

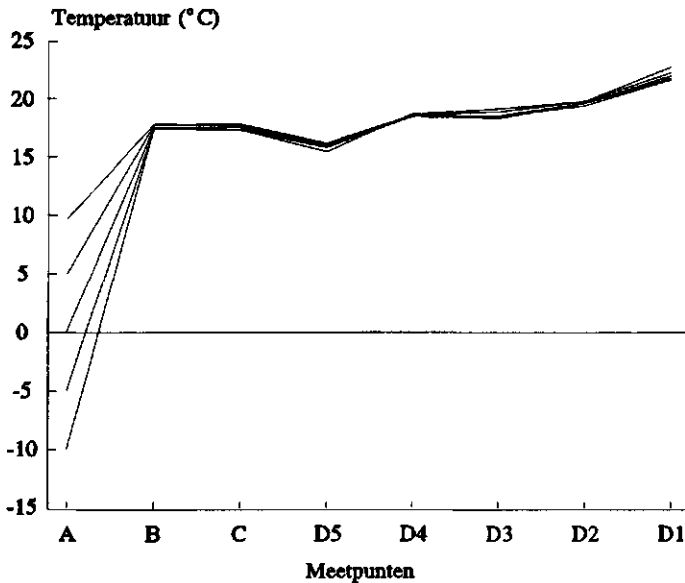


Figuur 5 Waargenomen drogestofgehalten in de mest, afgebeeld met de behandelingscodes, uitgezet tegen het energieverbruik voor drogen en de bijbehorende regressielijn met ondergrens waar beneden waarnemingen met 10% kans liggen.

Figure 5 Measured dry matter contents in the manure, viewed with the treatment codes, plotted against the energy expenditure for drying, and the regression line where below measurements occur with 10% chance.

3.4 Temperatuurverloop van de drooglucht

In figuur 6 is, bij verschillende buitentemperaturen, het temperatuurverloop van de drooglucht weergegeven na passage door de warmtewisselaar en door de geperforeerde leidingen.



Figuur 6 Temperatuurverloop van de drooglucht na passage door de warmtewisselaar en door de geperforeerde leidingen.

Figure 6 Temperature course of the drying air after passing the heat exchanger and the perforated tubes.

Uit het temperatuurverloop blijkt dat direct na passage door de warmtewisselaar (B) de ingestelde temperatuur van 18 °C werd bereikt. Bij deze droogluchttemperatuur werd geen condens op de leidingen waargenomen. Tijdens het transport in het buizensysteem (C) vond geen verdere opwarming plaats. De lichte temperaturdaling in het begin van de geperforeerde leiding (D1) is niet duidelijk, vermoedelijk werd dit veroorzaakt door het gebruik van andere temperatuursensoren in de geperforeerde leidingen. Doordat de staltemperatuur ca. 22 °C was, steeg de temperatuur bij de meetpunten D2 tot en met D5 tot de staltemperatuur.

Op basis van deze metingen kan niet worden nagegaan op welke wijze de drooglucht tot 18 °C werd opgewarmd. Wel bleek dat tijdens de winterperiode, bij buitenluchttemperaturen tot ca. 10 °C, steeds stallucht werd aangezogen via de recirculatieklep.

4 Discussie

4.1 Energieverbruik en drogestofgehalte

De resultaten tonen een duidelijk verband aan tussen het drogestofgehalte van de mest en het elektriciteitsverbruik voor droging van de mest. Zelfs bij behandelingen met het geringste energieverbruik (16 uur drogen met een droogcapaciteit van $0,78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ en 24 uur drogen met een droogcapaciteit van $0,58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ hen}^{-1}$) lagen de drogestofgehaltenes gemiddeld boven de 55%. Het drogen van mest tot meer dan 55% droge stof kost echter veel energie en het is de vraag of dit wel economisch verantwoord is.

Hieronder worden de kosten berekend voor het drogen en de afzet van mest met 50% en 60% droge stof. In 1994 werd bij directe aflevering van voorgedroogde leghennemest in containerbakken door Mestac (Mestafzetcoöperatie NCB b.a.) voor mest met 45-55% droge stof een ophaaltarief berekend van f 21,50 en voor mest met meer dan 55% droge stof f 16,50 per ton exclusief BTW. Bij een mestproductie van 150 g met 22% droge stof $\text{dag}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ bedraagt de jaarlijkse mestproductie bij 50% droge stof 24,1 kg en bij 60% droge stof 20,1 kg $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$. Uit figuur 5 kan worden afgeleid dat het stroomverbruik bij 60% droge stof 2,8 kWh $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ bedraagt. Onder aanname dat een besparing van 1,0 kWh leidt tot een daling van 5,4 procent-eenheden drogestof kost droging tot 50% droge stof ca. 1,0 kWh.

In tabel 6 zijn de kosten per kip per jaar berekend voor energie (f 0,20/kWh) en transport bij twee drogestofgehaltenes.

Tabel 6 Berekening van de kosten (guldens $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$) bij droging tot 50 en 60% droge stof.

Table 6 Calculation of the costs (Dfl. $\text{year}^{-1} \text{ bird}^{-1}$) at drying till 50 and 60% dry matter.

Drogestofgehalte (%)	Energie	Transport	Totaal
50	0,20	0,52	0,72
60	0,56	0,33	0,89

Uit de berekeningen blijkt dat op dit bedrijf droging tot 60% droge stof f 0,17 $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ meer kost dan drogen tot 50% droge stof.

In het onderzoek van Kroodsma (1985) werd de mest gedroogd met een droogcapaciteit van $0,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ bij een druk van 300 Pa op het eind van de geperforeerde leidingen. Bij deze instelling werd de mest gedroogd tot ca. 45% droge stof bij een energieverbruik van ca. 1,0 kWh $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$. Door van Horne (1994) werd een enquête uitgevoerd naar het elektriciteitsverbruik op leghennenbedrijven. Het energieverbruik van mestdroging op negen bedrijven varieerde van 0,94 tot 2,4 kWh $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$. In deze enquête werden geen drogestofgehaltenes vermeld, maar werd gesteld dat de pluimveehouder de droging laat afhangen van de mestafzetvorm en het prijsverschil van mest met verschillend drogestofgehalte. Uit het in dit rapport beschreven onderzoek komt naar voren dat, zelfs bij de meest energiebesparende droogvarianten het energieverbruik ca. 2 kWh $\text{jaar}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ bedraagt. Het gemiddelde drogestofgehalte was hoger dan 55%.

In het door Kroodsmas (1985) beschreven droogstelsel waren gaatjes van 3 mm doorsnede aanwezig. Door verstopping van de gaatjes zijn door de leverancier van het droogstelsel de gaatjes tot 4 mm vergroot. Dit betekent echter dat ventilatoren met een grotere capaciteit moeten worden geïnstalleerd om de drooglucht met voldoende druk en snelheid uit de gaatjes en over de mest te blazen. Hoewel met deze ingreep een grotere ventilatiecapaciteit bij de dieren mogelijk is leidt dit tot een hoger energieverbruik. Verstopping treedt vooral op op geperforeerde leidingen die door condensvorming vochtig zijn. Door goede opwarming van de drooglucht is verstopping om deze reden echter te voorkomen. Vervolgonderzoek zou moeten uitwijzen of door een meer optimale gaatjesgrootte en gaatjesafstand het energieverbruik kan worden vermindert en de gaatjes niet verstopt raken.

4.2 Warmtewisseling

Voor dit onderzoek was een stal geselecteerd met een warmtewisselaar (lucht/lucht) die voorzien was van mogelijkheden om stallucht te recirculeren en de drooglucht met een warmtewisselaar (water/lucht) bij te verwarmen. Wanneer bij lage buitentemperaturen en bij maximale menging van stallucht de ingestelde temperatuur niet werd bereikt, werd de warmwatervoorziening ingeschakeld. Deze vorm van opwarming kost fossiele energie en moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Bij de droogcapaciteit van $0,78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ en een droogtijd van 16 uren is dit mogelijk door de mestdroging zoveel mogelijk uit te schakelen gedurende de koudste uren van een etmaal. Uit KNMI gegevens (1968) blijkt dat in de winter de laagste temperaturen voorkomen tussen 03.00 tot 08.00 uur. Het ligt voor de hand de droging in deze periode uit te schakelen. In het geval dat de mest met $0,58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ hen}^{-1}$ gedurende 24 uur wordt gedroogd, wordt de lucht langer door warmtewisseling en door bijmenging met stallucht opgewarmd en wordt de noodzaak voor bijverwarming vermindert.

Momenteel wordt het warmtewisselaarsgedeelte (lucht/lucht) in de praktijk niet of zeer beperkt geïnstalleerd door de hoge investering en de relatief lage energiekosten. In deze situaties wordt in eerste instantie de drooglucht geconditioneerd door recirculatie met stallucht in de verhouding 1:1. Wanneer dit in koude perioden niet toereikend is, wordt de droogcapaciteit verkleind. Om voldoende druk in de geperforeerde leidingen te handhaven, wordt afwisselend de mest op de helft van het aantal batterijen gedroogd. Door deze werkwijze wordt getracht bijverwarming zoveel mogelijk te beperken. Vooral in langdurige koude perioden neemt echter de kans toe dat de mest onvoldoende wordt gedroogd.

Stallucht bevat veel stof en moet met een stoffilter worden gereinigd om verstopping van de geperforeerde leidingen te vermijden. Bij frequent gebruik moeten de filters dagelijks worden gereinigd om een goede luchttoevoer te waarborgen. Dit vraagt veel aandacht van de pluimveehouder. Om deze reden is de ontwikkeling en toepassing van automatische reinigungsapparatuur voor stoffilters aan te bevelen.

In het kader van energiebesparing en vanuit het oogpunt van het zolang mogelijk uitstellen van bijmenging van stallucht, is opwarming van de buitenlucht een eerste vereiste. Onderzoek naar het rendement van warmtewisselaars en naar de mogelijkheden van grondbuizen is aan te bevelen. In het laatste geval kan naast de opwarming

van de drooglucht in koude perioden ook worden geprofiteerd van het afkoelende effect in warme perioden. In dit verband kan ook overwogen worden om met een geringere droogcapaciteit te drogen. Om dit te verwezenlijken moeten de gaatjes worden verkleind of het aantal gaatjes worden verminderd, waardoor met minder lucht toch voldoende druk in de geperforeerde leidingen kan worden opgebouwd om de lucht over de mest te blazen.

4.3 Ammoniakemissie

Uit de resultaten blijkt dat ondanks een goede droging de emissie in de loop van de week toenam. Dit verband werd ook aangetoond in het onderzoek van Kroodsmas (1989). De staltemperatuur is van invloed op de emissie. In de praktijk wordt gestreefd naar een staltemperatuur van 22 °C. Bij hoge buitentemperaturen stijgt de staltemperatuur en door de instelling van de ventilatieregeling neemt ook het ventilatiedebiet toe. Vooral in perioden met maximale ventilatie en temperaturen boven de 22 °C zal de emissie hoog zijn.

Uit het reeds genoemde onderzoek van Kroodsmas (1989) bleek dat de emissie bij slecht gedroogde mest (< 40% ds) aanmerkelijk hoger was dan bij goed gedroogde mest (> 50% ds). In het in dit rapport beschreven onderzoek werden drogestofgehaltes van 55 tot 65% gemeten. Door de hogere drogestofgehaltes en door de relatief geringe verschillen in de drogestofgehaltes was geen duidelijke relatie aanwezig tussen emissie en drogestofgehalte.

De ammoniakemissie bij een staltemperatuur van 22 °C bedroeg ca. 27 g jaar⁻¹ hen⁻¹. Dit is aanmerkelijk lager dan de emissiefactor van 35 g ammoniak, zoals die is opgenomen in de Interimwet Ammoniak en Veehouderij (1994). In het Handboek voor de Pluimveehouderij (1986) wordt een richtlijn voor de staltemperatuur van ca. 20 °C aangegeven. Uit het onderzoek van Van Horne (1994) blijkt dat in de praktijk gestreefd wordt naar een temperatuur van 22-23 °C. In de landbouwkundige randvoorwaarden voor de pluimveehouderij, zoals die beschreven zijn in de Beoordelingsrichtlijn in het kader van emissiearme stallen (1993), wordt een staltemperatuur van 20-25 °C aangegeven. Gezien het grote temperatuureffect van bijna 22% per °C op de emissie, kan de emissie, binnen het temperatuurtraject van 20-25 °C, zeer sterk variëren. Indien mocht blijken dat dit in zijn algemeenheid geldt voor leghennenstallen, ligt het voor de hand het emissieniveau van een stal te koppelen aan een referentietemperatuur.

5 Conclusies

Het totale energieverbruik is in de zomer belangrijk hoger dan in de winter. Dit wordt met name veroorzaakt door meer stalventilatie. Vooral het drogen van de mest kost veel energie.

Er is een aantoonbaar verband tussen een lager energieverbruik en een lager drogestofgehalte van de gedroogde mest. Het gemiddelde drogestofgehalte bij de verschillende behandelingen varieerde van 57,5 tot 64,2%. Het stroomverbruik van de verschillende behandelingen varieerde van ruim 2 tot meer dan 3,5 kWh jaar⁻¹ hen⁻¹. Uit de relatie tussen energieverbruik en drogestofgehalte bleek dat een besparing van één kWh jaar⁻¹ hen⁻¹ gepaard ging met een daling van 5,4% eenheden droge stof.

Bij een staltemperatuur van 22 °C bedroeg de ammoniakemissie 26,7 g jaar⁻¹ hen⁻¹. De temperatuur is van grote invloed op de emissie. Uit regressie van de emissie op de staltemperatuur werd berekend dat de emissie proportioneel met 21,8% toeneemt bij één graad temperatuurverhoging. De droogbehandeling oefende geen aantoonbare invloed uit op de ammoniakemissie.

Met de toegepaste warmtewisselaarsunit was het mogelijk om condensvorming op de geperforeerde leidingen te voorkomen. Een belangrijke schakel vormt bijmenging van stallucht. Voor een goed resultaat is zeer regelmatige reiniging van het stoffilter vereist.

Summary

Research was carried out into reducing energy expenditure on manure drying in a poultry house with belt batteries. During summer 1993 and winter 1993-1994, energy-saving methods were investigated in a hen house with a perforated tube system above the belt battery. Prerequisites for drying were that the removed manure should have a dry matter content of at least 50% and that ammonia emission should remain at a restricted level of $35 \text{ g NH}_3 \text{ year}^{-1} \text{ bird}^{-1}$. The research was carried out by reducing the daily drying time from 24 to 20 or 16 h day^{-1} at a ventilation rate of $0.78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$ and by reducing the ventilation rate from 0.78 to 0.75 or $0.58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$ at 24 hours' drying. The effect of limiting drying time has been investigated in both seasons. During the winter period effects of reducing the ventilation rate were examined. Experimental periods with the same treatment lasted one week and were repeated a number of times in both seasons.

There was a positive rectilinear relationship between the energy expenditure and the dry matter content of the removed manure. The highest energy expenditure level of $3.6 \text{ kWh year}^{-1} \text{ bird}^{-1}$ was measured at 24 hours' drying with a ventilation rate of $0.78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$; the mean dry matter content was 64.3%. The lowest energy expenditure levels were measured at 16 hours' drying with a ventilation rate of $0.78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$, and at 24 hours' drying with a rate of $0.58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ bird}^{-1}$. The energy expenditure of these treatments amounted to 2.2 till $2.5 \text{ kWh year}^{-1} \text{ bird}^{-1}$ and the mean dry matter content of the manure to 57.5%. An increase of $1 \text{ kWh year}^{-1} \text{ bird}^{-1}$ in energy expenditure resulted in a 5.4% higher dry matter content. There was no significant effect of drying treatments on ammonia emission. At an in-house temperature of $22 \text{ }^\circ\text{C}$ the mean emission was $27 \text{ g NH}_3 \text{ year}^{-1} \text{ bird}^{-1}$. The temperature had a strong effect on ammonia emission. The ammonia emission increased proportionally by 21.8% per degree Celsius.

Literatuur

- Bruins, M.A., W. Kroodsma en R. Scholtens, 1994. De ammoniak- en geuremissie uit een gesloten opslag voor voorgedroogde leghennenmest: een oriënterend onderzoek. IMAG-DLO rapport 94-22, 30 pp
- Genstat 5 committee, 1989. Genstat 5 Reference Manual. Genstat 5 committee of the statistics department Rothamsted Experimental Station. Clarendon Press, Oxford. 749 pp
- Handboek voor de Pluimveehouderij, 1986. Consulentschap in Algemene Dienst voor Pluimveehouderij, Beekbergen. 366 pp
- Horne, P.L.M. van, 1994. Oorzaken en verschillen energieverbruik op leghennen-bedrijven. LEI-DLO publikatie 3. 156, 36 pp
- KNMI 1968. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations, No 1. Normalen voor het standaardtijdvak 1931-1960. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt. KNMI-publicatie 150-1
- Kroodsma, W., J. Arkenbout and J.A. Stoffers, 1985. New system for drying poultry manure in belt batteries. Wageningen. IMAG Research-Report 85-1, 27 pp
- Kroodsma, W., 1989. Mogelijkheden voor mestbehandeling en vermindering van de NH₃-emissie op pluimveebedrijven. In: perspectieven voor de aanpak van de mestammoniak problematiek op bedrijfsniveau. Wageningen, DLO- reeks Onderzoek inzake de Mest- en Ammoniakproblematiek in de Veehouderij (3), p. 13-38
- Ministerie VROM/Ministerie LNV, 1994. Uitvoeringsregeling ammoniak en Veehouderij. In: Interimwet Ammoniak en Veehouderij. Den Haag. 43 pp
- Scholtens, R., 1993. NH₃-converter + NO_x-analyser. In: E.N.J. van Ouwerkerk (edr.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de Mest en Ammoniak-problematiek in de Veehouderij. Wageningen. DLO-rapport no.16, p. 19-54

Bijlage Mestmonsternamen en gemiddelde mestsamenstelling van de verschillende droogvarianten.

De mestmonsters werden genomen terwijl de mest uit de stal werd afgevoerd en buiten de stal op een andere band viel. Driemaal werd mest in een emmer opgevangen: aan het begin, halverwege en aan het einde van het afdraaien van de mest. Na menging werd uit de emmers een monster genomen waarvan het drogestofgehalte werd bepaald.

Eveneens werd een mengmonster uit de drie emmers verzameld. Dit monster werd geanalyseerd op droge stof (ds), anorganische stof (as), N_{Kj} , NH_4-N , P_{totaal} , K^+ en pH.

De analyses werden in het milieulaboratorium van het IMAG-DLO uitgevoerd volgens onderstaande normen of methoden:

- De droge en anorganische stofbepaling volgens NEN 6620.
- De Kjeldahlstikstofbepaling volgens NEN 6481.
- De ammoniumstikstofbepaling volgens NEN 3235 4.1.
- De fosforbepaling volgens NEN-norm 6479.
- De kaliumbepaling met de gloeirest via de vlamfotometrische methode van A. Cottenie, Rijksuniversiteit Gent.
- De pH-bepaling werd in één deel mest en twee delen gedemineraliseerd water rechtstreeks gemeten.

Behandeling	ds (g kg ⁻¹)	as (%)	N_{Kj} (g kg ⁻¹)	NH_4-N (g kg ⁻¹)	P_{totaal} (g kg ⁻¹)	K^+ (g kg ⁻¹)	pH (-)
Z24	650	25,5	27,3	3,2	9,0	10,6	7,2
Z20	600	27,3	26,9	3,0	9,7	10,6	7,6
Z16	540	27,3	26,1	4,0	9,6	10,9	8,1
W24	640	31,5	27,9	2,0	8,2	11,1	8,1
W20	620	33,7	27,7	1,9	7,3	12,1	8,2
W16	610	28,9	29,5	2,4	8,6	12,9	8,1
C1	620	30,3	26,5	3,6	6,9	10,8	8,5
C2	580	29,7	26,1	1,8	7,6	10,8	8,5

Rapportenoverzicht 1994

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

- 94-15 Boer, W.J. de en N.W.M. Ogink, 1994. – Het effect van ventilatie en temperatuur op de ammoniakemissie uit een rundveestal : het schatten van behandelings-effecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-16 Ketelaar-de Lauwere, C.C. en E. Benders, 1994. – De invloed van het additioneel verstrekken van krachtvoer in de selectiebox en het melken op de bezoeken van koeien aan het automatisch melksysteem.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00
- 94-17 Top, M. van den, Akkermans, R. en H.H.E. Oude Vrielink, 1994. – Ergonomische knelpunten van volière- en legbatterijhuisvestingssystemen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 40,00
- 94-18 Burgers, B.C.H., Dieën, J.H. van en H.M. Toussaint, 1994 – Arbeidsongeschiktheid in de agrarische sector in Nederland.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 72 pp. f 45,00
- 94-19 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissie-beperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1992) : onderzoek depositie en emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 94-20 Braak, N.J. van de en P. Knies, 1994 – Onderzoek naar de invloed van schermtoepassing op energieverbruik en relatieve vochtigheid in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 35,00
- 94-21 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink, 1994. – Praktijk-onderzoek naar het drogen van leghennenmest in een droogtunnel en het effect op de ammoniak-, geur- en stofemissie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-22 Bruins, M.A., Kroodsmas, W. en R. Scholtens, 1994 – Ammoniak- en geuremissie uit een gesloten opslag voor voorgedroogde leghennenmest: een oriënterend onderzoek.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-23 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissie-beperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1993) : onderzoek emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 40,00
- 94-24 Zwart, H.F. de en J.P.G. Huijs, 1994 – Optimale bufferafmeting bij assimilatie-belichting met WKK in eilandbedrijf.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 94-25 Frénay, J.W., Straman, J.P. and C.R. Braam, 1994 – Circular prefabricated concrete tanks.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 45,00
- 94-26 Smits, A.C., Plomp, M. en S.A. Goedegebuure, 1995 – Vergelijking van gedrag, produktie en gezondheid van vleesstieren gehouden op betonnen en op met rubber beklede roostervloeren
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 45 pp. f 35,00
- 94-27 Maeyer, E.A.A. de en W. Huisman, 1995 – Oogst- en conserveringstechniek van vezelhenne.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 134 pp. f 45,00

- 94-28 Groot Koerkamp, P.W.G. en H. Montsma, 1995 – De ammoniakemissie uit een volièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroogtunnel.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 94-29 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.P.G en J.F.M. Huijsmans, 1994 – De invloed van een windhaag op emissies bij fruitteeltspuiten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. f 30,00
- 94-30 Ouwerkerk, E.N.J. van en P. Knies, 1995 – Energieverbruik en mogelijkheden van energiebesparing op verwarming en ventilatie in de intensieve veehouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-31 Groot Koerkamp, P.W.G. en R. Bleijenberg, 1995 – De ammoniakemissie uit drie typen volièrestallen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 35,00
- 94-32 Ouwerkerk, E.N.J. van en A.J.A. Aarnink, 1995 – Gasproductie in vleesvarkensstallen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 30,00
- 94-33 Bleijenberg, R., Kroodsma, W. en N.W.M. Ogink, 1995 – Spoelen met een formaline-oplossing in een ligboxenstal om de ammoniakemissie te beperken.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 37 pp. f 35,00
- 94-34 Elzing, A., Commissaris, A.C.H.M., Oosthoek, J. en C.M. Groenestein, 1995 – De urease-activiteit en de ammoniakemissie in varkensstallen met een mestschuifstelsel onder de roostervloer.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 30,00
- 94-35 Bleijenberg, R., Kroodsma, W. en N.W.M. Ogink, 1995 – Technieken om de ammoniakemissie uit ligboxenstallen met roostervloer te beperken = Techniques for the reduction of ammonia emission from a cubicle house with slatted floor.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 35,00
- 94-36 J.P.G. Huijs, J.P.G. en P. Knies, 1995 – Warmtekrachtkoppeling geëxploiteerd door glastuinders; energetische en economische effecten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 95-1 Out, P.G. en J.J.G. Breuer, 1995 – Effect van gecoat glas op de lichttransmissie en het energieverbruik van tuinbouwkassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 103 pp. f 45,00
- 95-3 Feenstra, F., Gigler, J.K., Mol, R.M.de en A.H. Bosma, 1995 – Logistiek bij de inzameling van biomassa.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 44 pp. f 40,00
- 95-4 Energie-effecten bij inzet WKK in eiland- en parallelbedrijf in kassen, 1995 – Huijs, J.P.G. en H.F. de Zwart.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 95-6 Breemhaar, H.G. en A. Bouman, 1995 – Oogsten en schonen van voor de akkerbouw nieuwe, oliehoudende gewassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 28 pp. f 35,00
- 95-7 Telle, M.G. en P. Knies, 1995 – Verschillen in elektriciteitsverbruik op Friese melkveebedrijven.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 33 pp. f 30,00
- 95-8 Derikx, P.J.L., Aarnink, A.J.A., Hoeksma, P. en H.C. Willers, 1995 – Vermindering van ammoniakemissie uit mest door een vloeibare afdeklaag = Reduction of ammonia emission from animal slurries by a liquid top layer.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 55 pp. f 45,00

95-12 Hoeksma, P., Ogink, N.W.M., Derikx, P.J.L. en G.W.M. Willems, 1995 – Bemonstering van drijfmest in transportwagens.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 35 pp. f 35,00

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

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