

Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie in de Milieu-onderzoekstal voor rundvee

*Framework of ammonia emission reduction
research in the new IMAG-DLO experimental
building for cattle*

Ir. M.C.J. Smits, Ing. W. Kroodsmma,
Ing. D. Swierstra en Ir. W. de Boer

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Opzet

Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie voor rundvee /
M.C.J. Smits ... [et al.]. – Wageningen : IMAG-DLO. – Rapport 93-8 – III.

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

ISBN 90-5406-041-7 geb.

NUGI 849

Trefw.: ammoniakemissie ; rundveehouderij

© 1993

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.

Voorwoord

Het beperken van de ammoniakemissie uit de veehouderij heeft een hoge prioriteit. Gezien de grote bijdrage aan de totale ammoniakemissie wordt in het onderzoek veel aandacht besteed aan de beperking van de emissie uit de melkveehouderij. Voor de opslag en aanwending van mest zijn reeds praktisch toepasbare emissie-arme technieken beschikbaar. Voor het verkrijgen van meer inzicht in de achtergronden en de invloedsfactoren bij het terugdringen van de ammoniakemissie uit melkveestallen is nog een aanzienlijke onderzoekinspanning vereist. De effecten van onder andere mestbehandelingsmethoden, vloeruitvoeringen en stalinrichtingen dienen hiertoe onderzocht en vastgesteld te worden. Door verschillende principes voor mogelijke oplossingen gelijktijdig te onderzoeken, kunnen op basis van een goede vergelijking, snel relevante onderzoeksresultaten verkregen worden. Deze overwegingen hebben geleid tot de realisatie van een Milieu-onderzoekstal voor rundvee met drie in beginsel identieke afdelingen. De opzet van het onderzoek in deze accommodatie wordt in dit rapport beschreven en toegelicht. Bij de planning en realisatie van het onderzoek wordt in een projectteam samengewerkt. Naast de auteurs hebben de overige leden van dit projectteam, t.w. G.J. Monteny, A. Elzing, F. Ettema, J.W.H. Huis in 't Veld, A. Keen, A.C. Smits, en M.C. Verboon (PR) bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport. Voor de medefinanciering van het tot nu toe verrichte onderzoek zijn wij de overheid en het bedrijfsleven erkentelijk. Ik hoop dat de resultaten van het onderzoek snel zullen leiden tot in principe bruikbare oplossingen, die door het bedrijfsleven en het praktijkonderzoek verder kunnen worden ontwikkeld.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	6
1 Inleiding	8
2 Materiaal	10
2.1 Accommodatie	10
2.2 Dieren	11
2.3 Rantsoen	11
3 Balansen en ammoniakemissie	13
3.1 De stikstof-, fosfor- en kaliumbalans	13
3.2 Ammoniakemissie	14
4 Onderzoekfacetten	16
4.1 Mestverwijdering en -behandeling	16
4.2 Bouwtechnisch onderzoek aan vloer- en stalsystemen	16
4.3 Huisvestingstechnisch onderzoek	17
4.4 Gedrag, gezondheid en reproductie	18
5 Analyse van de emissiegegevens	19
5.1 Stabiliteit en tijdsduur van een experiment	19
5.2 Vergelijkend onderzoek	20
6 Toetsing geschiktheid van de opzet voor vergelijkend emissie-onderzoek	21
6.1 Beschrijving van de proef	21
6.2 Resultaten van de toetsing	22
Summary	24
Literatuur	26

Samenvatting

In de Milieu-onderzoekstal voor rundvee kunnen gelijktijdig de ammoniakemissies van 2 experimentele afdelingen worden vergeleken met een referentie-afdeling. De referentie-afdeling is een ligboxenstal met een standaardroostervloer en mestkelder. In de experimentele afdelingen kunnen verschillende vloer- en mestbehandelingssystemen en stalrichtingen aangebracht worden. De bouwkundige uitvoering van de afdelingen is in beginsel identiek. Dankzij goede isolatie en met behulp van temperatuurgestuurde, mechanische ventilatie is het stalklimaat in de afdelingen nagenoeg gelijk te houden. De samenstelling van de diergroepen (10 droogstaande, niet-drachtige zwartbonte koeien per afdeling) in de verschillende afdelingen is afgestemd op een zo goed mogelijke vergelijkbaarheid door het gemiddelde begingewicht en het gewichtsverloop van de diergroepen in de verschillende afdelingen zoveel mogelijk gelijk te houden. Per afdeling wordt iedere dag een zelfde hoeveelheid voer verstrekt. Het rantsoen bestaat uit luzerne en een speciaal, eiwitrijk krachtvoer. Hiermee wordt een ureumconcentratie in de urine nagestreefd, die vergelijkbaar is met die van lacterende koeien. De energiewaarde van het voer is afgestemd op een beperkte groei.

De emissie (g/h) wordt bepaald door het ventilatiedebiet, gemeten met een meetventilator, te vermenigvuldigen met de ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht. De ammoniakconcentratie in representatieve monsters van die lucht wordt automatisch gemeten in een NO_x -monitor, nadat de ammoniak in een converter volledig is geoxydeerd tot NO .

Naast de hiervoor beschreven nauwkeurige meting van de ammoniakemissie vindt toetsing plaats van de bruikbaarheid van een indirecte bepaling van de emissie op basis van de stikstofbalans. Hierbij wordt de emissie berekend als 'restpost': de N-input via het rantsoen minus de niet-gasvormige N-output.

Behalve de emissiereducties worden ook invloeden van emissiebeperkende maatregelen op het dier bestudeerd. De mestbehandelings- en mestverwijderingssystemen, bouwtechnische aanpassingen en huisvestings- en inrichtingssystemen, die in de Milieu-onderzoekstal bestudeerd worden, worden in dit rapport ook kort toegelicht.

Na ingebruikname van een nieuwe stal leiden toenemende bevulling (vloer en kelderoppervlakken), eventueel indringing van mest en urine in materialen en acceleratie van biologische processen aanvankelijk tot een toename van de emissie per tijdseenheid. Alvorens de emissiereductie in een experiment vast te kunnen stellen, dienen de emissies in de te vergelijken afdelingen zich min of meer gestabiliseerd te hebben op een bepaald niveau.

Het 'overall'-gemiddelde van de per uur vastgelegde ammoniakemissie in de hoofdperiode van een experiment wordt per afdeling berekend. De overall-gemiddelden van de experimentele afdelingen worden vervolgens uitgedrukt als percentage van het overall-gemiddelde van de referentie-afdeling. Deze relatieve cijfers geven een beter beeld van het effect van een behandeling dan de absolute emissiecijfers. De absolute cijfers zijn sterk afhankelijk van onder andere seizoeninvloeden.

Naast deze eenvoudige, rekenkundige benadering ter bepaling van de emissiereductie van een experimentele behandeling, wordt onderzocht hoe tijdreeksanalyse gebruikt kan worden om een nauwkeurigere schatting van het gemiddelde effect en de nauwkeurigheid van dat gemiddelde te krijgen. Daarbij kan gecorrigeerd worden voor omge-

vingsvariabelen en kan de variabiliteit en afhankelijkheid in de tijd in het analysemodel beschreven worden.

In de eerste fase van het onderzoek is, volgens de opzet van een latijnsvierkant, een proef uitgevoerd waarbij diergroepen gebalanceerd zijn verloot over de 3 afdelingen en 3 perioden. In de ene experimentele afdeling is een hellende, dichte vloer met epoxy-troffeltoplaag, giorgoot en mestschuif aangebracht (DB); in de andere een standaardroostervloer met eveneens een epoxy-troffeltoplaag (RB). De zijanten van deze roostervloer zijn behandeld met een polyurethaan-impregneermiddel.

Uitgedrukt als percentage van de emissie van de referentie-afdeling zijn de voor periode-effect en diergroep-effect gecorrigeerde emissies van de afdelingen met behandelingen DB en RB respectievelijk 59 en 101. Het verschil in emissie tussen DB en de referentievloer is significant ($P < 0,05$). Tussen RB en de referentievloer kon geen verschil aangetoond worden. Tussen perioden moet, mede onder invloed van de temperatuur, rekening gehouden worden met verschillen in absolute emissiereductie (in g/h) en in mindere mate met verschillen in relatieve emissiereductie (in %). Om deze reden zullen experimenten na enige tijd herhaald worden. De evenwichtig samengestelde diergroepen kunnen nagenoeg uitgesloten worden als oorzaak van emissieverschillen.

Doordat een goede, gelijktijdige vergelijking mogelijk is, kan in relatief korte tijd het inzicht in de achtergronden en de invloedsfactoren bij het terugbrengen van de ammoniakemissie uit melkveestallen aanzienlijk vergroot worden.

1 Inleiding

Het onderzoek naar emissie-arme huisvesting van rundvee is enige jaren geleden gestart met het inventariseren van de omvang van de ammoniakemissie uit een gangbare ligboxenstal. Aansluitend is de ontwikkeling gestart van technische methoden om de emissie substantieel te reduceren (Monteny, 1991; Kroodsmā et al., 1993).

In de rundveehouderij worden de meeste stallen natuurlijk geventileerd. Om de emissie te kunnen bepalen, moet het ventilatiedebiet bekend zijn. Methoden om het debiet bij natuurlijke ventilatie te meten, zijn in ontwikkeling, maar nog niet beschikbaar.

Vooralsnog kunnen stalemissies uitsluitend in mechanisch geventileerde stallen worden bepaald. Aanvankelijk was er in Nederland slechts één mechanisch geventileerde rundveestal voor experimenteel emissie-onderzoek beschikbaar.

Uitbreiding van de onderzoekcapaciteit was gewenst, omdat er in enkele jaren een groot aantal oplossingsrichtingen ontwikkeld en getest dienden te worden. De tijdsdruk is vooral ingegeven door de overheidsdoelstelling, die een ammoniakemissiereductie uit de dierlijke produktiesector van 30% in 1995 en 50 à 70% in 2000 ten opzichte van 1980 behelst.

Bij vergelijking van onderzoekresultaten in de tijd doet zich de vraag voor, in hoeverre verschillen mede veroorzaakt worden door – veelal niet te beïnvloeden – verschillen in proefomstandigheden. Veranderingen kunnen ondermeer optreden in de opbouw van de veestapel en de kwaliteit en samenstelling van het voer. Ook het seizoen is een mogelijke invloedsfactor. Bekend is dat de staltemperatuur en het ventilatievoud invloed hebben op de emissie, maar een eenduidige relatie op stalniveau is nog niet vastgesteld (Elzing et al., 1992a; De Boer, 1993). Wel is duidelijk dat de emissiereducties, die bij een bepaalde temperatuurrange gevonden zijn, niet zonder meer vergeleken kunnen worden met die bij een andere temperatuurrange.

De wenselijkheid tot uitbreiding van de onderzoekcapaciteit in een accommodatie waar een goede en relatief snelle vergelijking van verschillende oplossingsrichtingen mogelijk is, heeft geleid tot de realisatie van de Milieu-onderzoekstal voor rundvee, waarvan de opzet in algemene zin in dit rapport beschreven wordt. Tevens wordt in dit rapport een in drievoud herhaald experiment, dat is uitgevoerd ter onderbouwing van de aanpak van het vervolgonderzoek, weergegeven.

Dit rapport vormt de basis voor latere rapportages over het onderzoek in deze accommodatie, waarin de nadruk zal liggen op verkregen resultaten bij vergelijking van verschillende mestbehandelingssystemen, vloeruitvoeringen en -afwerkingen en huisvestings-systemen.

Op basis van dit vergelijkende onderzoek kunnen emissiefactoren gekwantificeerd worden, die in emissieverklarende modellen geïntegreerd kunnen worden. Voorafgaand aan het onderzoek in de Milieu-onderzoekstal vindt veelal vooronderzoek plaats in een modelopstelling: de zogenaamde stalsimulator. Naast bestudering van fysische en chemische processen, die bij het ontwijken van ammoniak een rol spelen (Elzing et al., 1992a), wordt in dit modelsysteem ondermeer ook de invloed van vloervarianten bestudeerd (Elzing et al., 1992b). Mede op basis van de in de simulator verkregen resultaten worden systemen geselecteerd voor het onderzoek in de Milieu-onderzoekstal.

In de Milieu-onderzoekstal vindt tevens vergelijkend onderzoek plaats naar de invloed van emissiebeperkende maatregelen op het dier. Bij de ontwikkeling van emissie-arme

systemen zijn een gewaarborgde gezondheid en het welzijn van de dieren essentiële randvoorwaarden .

In hoofdstuk 2 worden de accommodatie, de proefdieren en de voerstrategie beschreven. In hoofdstuk 3 wordt weergegeven hoe de ammoniakemissie wordt gemeten en hoe die -experimenteel- wordt berekend uit de stikstofbalans. In hoofdstuk 4 worden alle facetten van het onderzoek -mestbehandelingssystemen, bouwtechnische aanpassingen, huisvestingssystemen en welzijn- in grote lijnen beschreven.

Gedetailleerde rapportage hiervan vindt separaat plaats. In hoofdstuk 5 worden de analytische aspecten weergegeven van een vergelijking van de emissies bij verschillende behandelingen, binnen één periode. In hoofdstuk 6 worden de opzet en de resultaten beschreven van een toetsing van de vergelijkbaarheid, op basis van gedurende meerdere perioden herhaalde proeven.

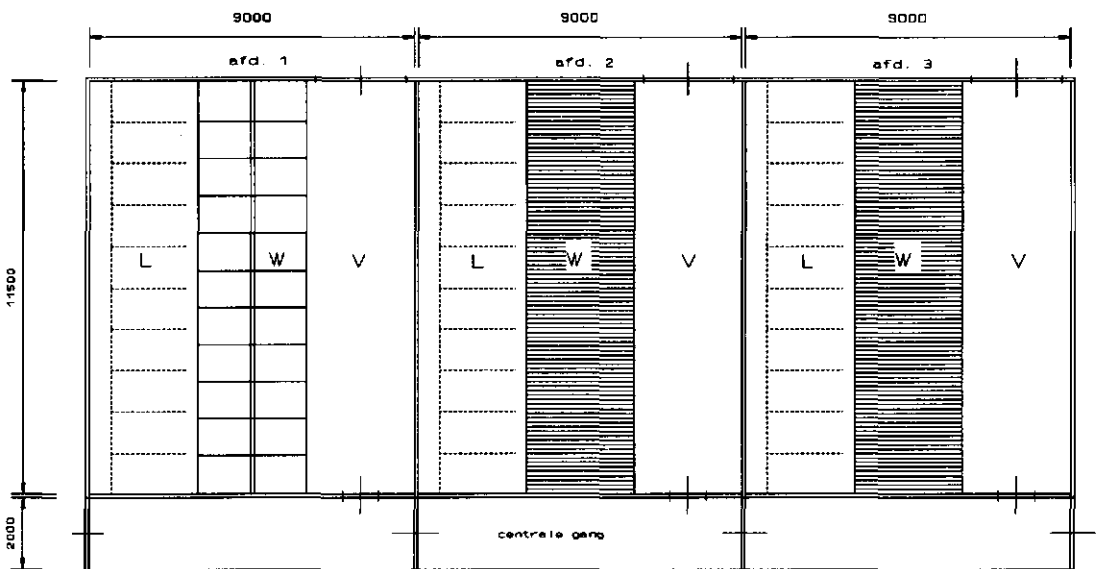
2 Materiaal

2.1 Accommodatie

De Milieu-onderzoekstal op het IMAG-DLO proefbedrijf 'De Vijf Roeden' te Duiven is in oktober 1991 gereedgekomen. In figuur 1 is de plattegrond weergegeven van de accommodatie, die bestaat uit 3 afdelingen met elk een lengte van 11,5 meter en een breedte van 9 meter. Om zoveel mogelijk flexibiliteit in de inrichting te houden zijn de voergang, de mestgang en het liggedeelte in alle afdelingen 3 m breed. In de uitgangssituatie is het liggedeelte onderverdeeld in ligboxen met een breedte van 1,15 m en een diepte van 2,40 m; het voorste deel (0,6 m) van het liggedeelte wordt niet gebruikt.

In afdeling 1 is in de uitgangssituatie een 3% naar het midden hellende, dichte vloer (prefab-elementen) aangebracht, met een giergoot in het midden. Het loopvlak is voorzien van een epoxy-troffeltoplaag. In afdeling 2 is een standaardroostervloer aangebracht. Het loopvlak van deze vloer is eveneens voorzien van een epoxy-troffeltoplaag. De zijkanten van de roosters zijn voorzien van een polyurethaan-impregneer. Afdeling 3 heeft een standaardroostervloer. Deze afdeling is bedoeld als referentie. De inrichting van deze afdeling blijft steeds hetzelfde. Die van de beide andere afdelingen, waaronder met name het vloertype en de vloerafwerking alsook mestverwijdering en -behandeling, worden steeds gewijzigd.

Om een vergelijkbaar stalklimaat in de afdelingen te realiseren en om de klimaatinvloeden van buiten te beperken, is de stal geïsoleerd en worden de afdelingen afzonderlijk, mechanisch geventileerd. Mechanische ventilatie is ook noodzakelijk om het debiet, dat vermenigvuldigd met de ammoniakconcentratie de ammoniakemissie oplevert, nauwkeurig te kunnen bepalen.



Figuur 1 Plattegrond van de Milieu-onderzoekstal. V = voergang ; L = ligboxen ; W = mestgang.
Figure 1 Lay-out of the experimental building; V=feeding area ; L= lying area ; W= walking area.

De ventilatoren hebben een maximale capaciteit van 7300 m³/h. Het ventilatievoud kan automatisch -afhankelijk van de staltemperatuur- en handmatig geregeld worden. In de uitgangssituatie is de ventilatie bij een staltemperatuur tot 8 °C minimaal (overeenkomend met 30% van de maximale capaciteit); tussen 8 en 18 °C neemt de ventilatie lineair toe met de temperatuur tot de maximale capaciteit (100%); boven 18 °C wordt steeds maximaal geventileerd.

De mestkelders in de verschillende afdelingen zijn volledig van elkaar gescheiden.

2.2 Dieren

In elke afdeling zijn 10 onthoornde, droogstaande, niet-drachtige, zwartbonte melkkoepen gehuisvest. Er wordt gebruikgemaakt van niet-lacterende dieren omdat er geen melkquotum beschikbaar is. Hoewel via het rantsoen een urinesamenstelling wordt nagestreefd, die vergelijkbaar is met urine van lacterende dieren, wordt een directe vergelijking van de absolute emissiecijfers met die van melkgevende dieren bemoeilijkt. In de gekozen opzet kan echter wel een goede schatting van het relatieve effect (% emissiereductie) van een inrichtingsvariant ten opzichte van de overigens gelijke referentie verkregen worden. Overigens bestaat er bij lacterende dieren, onder invloed van een groot aantal factoren (zoals samenstelling en wijze van verstrekking van het rantsoen, lactatie- en drachtigheidsstadium, produktieniveau, ras, stalklimaat), waarschijnlijk ook een grote variatie in emissie. Het lijkt derhalve vooral van belang om een vergelijking gelijktijdig uit te voeren met gelijkwaardige groepen en omstandigheden, afgezien van de te onderzoeken emissie-beïnvloedende factor. Bijkomend voordeel van de in dit onderzoek gebruikte categorie dieren is dat de groepen stabielere zijn dan lacterende groepen dieren, aangezien er geen verloop in het lactatiestadium (en drachtigheidsstadium) is.

De dieren zijn afkomstig van het eigen bedrijf, van proefaccommodaties van zusterinstellingen en van particuliere bedrijven. Van de laatste mogelijkheid wordt alleen gebruik gemaakt indien de andere 'bronnen' uitgeput zijn. Van de aangekochte dieren is namelijk niet bekend of ze vrij zijn van bepaalde ziekten. Ze worden daarom gedurende een quarantaineperiode van 3 weken elders opgesteld. Bij aankoop en gedurende de quarantaineperiode wordt gecontroleerd op uitwendige gebreken. De dieren worden door een dierenarts opgevoeld om drachtigheid uit te sluiten en dienen na bloed- en urine-onderzoek op melkerskoorts, I.B.R., B.V.D. en Para-T.B.C., vrij van deze ziektekiemen bevonden te worden, voordat ze in de Milieu-onderzoekstal worden toegelaten.

Bij aanvang van een experiment worden de dieren over de afdelingen verdeeld. Per afdeling wordt een nagenoeg gelijk begingewicht van de groep nagestreefd.

2.3 Rantsoen

In overleg met IVVO-DLO en het Proefstation voor de Rundveehouderij is het rantsoen van de proefdieren zodanig samengesteld, dat de N-concentratie in de urine vergelijkbaar zou moeten zijn met die van normale, lacterende dieren met een gangbaar (grassilage, maïssilage en krachtvoer) rantsoen. Tevens wordt een lage groei per dag nagestreefd om de proefdieren gedurende een aantal experimenten te kunnen gebruiken. Deze restricties hebben geleid tot een rantsoen met een laag VEM- en een hoog eiwit-

aanbod. Er wordt 90 kg kunstmatig gedroogde luzerne en 30 kg speciaal krachtvoer per groep van 10 dieren per dag gevoerd. De drogestof-, VEM- en ruw-eiwitgehalten van de rantsoencomponenten staan vermeld in tabel 1. Het gevoerde krachtvoer is zeer eiwitrijk. De samenstelling van de gevoerde luzerne varieert in de praktijk enigszins. Uitgaande van een diergewicht van 600 à 700 kg levert dit rantsoen een op basis van de VEM in het rantsoen berekende groei van 500 à 600 gram per dag.

Tabel 1 Drogestof-, VEM-, en ruweiwitgehalten van de rantsoencomponenten.

Table 1 Dry matter content, energy content (1000 VEM \approx 6,908 MJ nett energy) and protein content of luzerne and concentrates.

	luzerne	krachtvoer
ds (g/kg produkt)	875	880
VEM (-/kg ds)	702	945
re (g/kg ds)	193	380

3 Balansen en ammoniakemissie

3.1 De stikstof-, fosfor- en kaliumbalans

De stikstofbalans op stalniveau kan in formulevorm weergegeven worden door:

$$N_{rv} + N_{kv} = N_m + N_w + NH_3 \uparrow$$

waarbij

- N_{rv} = hoeveelheid stikstof in het ruwvoer
- N_{kv} = hoeveelheid stikstof in het krachtvoer
- N_m = hoeveelheid stikstof in de mengmest
- N_w = hoeveelheid stikstof in het aangezette weefsel (groei)
- $NH_3 \uparrow$ = hoeveelheid stikstof, geëmitteerd als ammoniak

Deze balansvergelijking geeft inzicht in de N-stromen in een stal.

De N-input is aan de linkerzijde van de balansvergelijking weergegeven; de N-output aan de rechterzijde. Bij lacterende melkkoeien zou aan de rechterzijde van deze balansvergelijking nog de N-output in de melk (het melkeiwit) toegevoegd moeten worden en bij drachtige dieren de N die in het embryo en het daarbij ontwikkelende maternale weefsel wordt vastgelegd.

De N-balans geeft de situatie op een bepaald moment weer. In de stal zal er normaliter een continue omzetting van ureum in ammoniak zijn. Daarbij spelen naast de mengmest in de kelder ook de op de stalvloer aanwezige urine en faeces een belangrijke rol.

De ammoniakemissie wordt nauwkeurig gemeten. Daarnaast wordt onderzocht of de emissie ook berekend kan worden als restpost van de N-balans. Aangenomen wordt dat de gasvormige N-emissie vrijwel uitsluitend in de vorm van ammoniak verdwijnt. De ammoniakemissie wordt, uitgaande van deze balansvergelijking, berekend als het verschil tussen de N-input (voer-N) en de niet-gasvormige N-output (N_w en N_m). De aldus berekende emissie kan verschillen van de werkelijke emissie, vooral als de fouten, die bij het bepalen van de N-input en de niet-gasvormige N-output optreden, in deze 'restpost' accumuleren. Slechts een klein deel van de totale hoeveelheid stikstof vervluchtigt daadwerkelijk. Er kan derhalve een grote relatieve fout ontstaan (van Ouwerkerk, 1993). De N-balans wordt per experiment bepaald. Aangezien er groepsvoeding wordt toegepast en de mestproduktie alsook de emissie per afdeling wordt bepaald, is de groep van 10 dieren in een afdeling de kleinste experimentele eenheid voor de N-balansbepalingen. De fosfor- en de kaliumbalans worden eveneens per experiment bepaald. Evenals bij stikstof vormen het ruwvoer en het krachtvoer de inputbronnen. De netto-output van deze elementen wordt onderverdeeld in groei en in uitscheiding van faeces en urine. In tegenstelling tot stikstof kunnen fosfor en kalium niet uit de mest emitteren. Bij correct uitgevoerde monsternames en analyses dienen de fosfor- en kaliumbalans sluitend te zijn. Op deze wijze kan indirect gecontroleerd worden in hoeverre de N-balans op een correcte wijze is bepaald.

Voersamenstelling en -hoeveelheid

De N-, P- en K-input worden per experiment berekend uit de verstreekte hoeveelheden voer en de RE-, P- en K-gehalten in het voer. De hoeveelheden ruwvoer en krachtvoer (en

eventuele resten) worden dagelijks afgewogen. De luzerne wordt wekelijks per afdeling aangevoerd in balen. Per afdeling wordt van iedere te voeren baal een 'pluk'-monster genomen en gekoeld bewaard. Per experiment worden per afdeling het RE-, P- en K-gehalte bepaald van een monster dat na grondige menging wordt genomen uit de verzamelde plukmonsters. De samenstelling van het krachtvoer wordt per aangeleverde partij bepaald. Uiteraard wordt naar een zo constant mogelijke samenstelling gestreefd.

Mestsamenstelling en -hoeveelheid

N_M wordt bij beëindiging van een experiment bepaald door de volumehoeveelheid mest te meten en het stikstofgehalte (Kjeldahl-N) van een monster uit de gemixte mest te bepalen. De stikstof in de mengmest is ten dele afkomstig uit de faeces (niet verteerde N-verbindingen) en ten dele uit de urine (voornamelijk ureum-N).

Ter verificatie van de juistheid van het rantsoen, in relatie tot de beoogde urinesamenstelling, worden steekproefsgewijs urinemonsters verzameld. Van deze monsters worden de N- en de ureumconcentratie bepaald.

Naast het N-gehalte worden ook het drogestof-, as-, P- en K-gehalte van de mest bepaald. De P- en K-balansen worden mede op basis van deze output berekend. Het drogestofgehalte en het asgehalte van de mest worden bepaald ter controle. Het waterverbruik wordt per afdeling vastgelegd. Indien er geen vloeistof aan de mest wordt toegevoegd, dient het drogestofgehalte van de mest in de verschillende afdelingen in beginsel gelijk te zijn. Ook het asgehalte dient normaliter overeen te stemmen.

In het dier vastgelegde stikstof, fosfor en kalium

De dieren worden bij aanvang en beëindiging van ieder experiment en tussentijds bij langdurende experimenten gewogen. N_w kan geschat worden uit de door wegingen te bepalen gewichtstoename en het te schatten N-aandeel in die toename. Volgens Geay and Micol (1989) is de eiwitretentie bij oude dieren slechts 4 tot 6% van de dagelijkse groei. Op grond hiervan wordt in de N-balansberekeningen uitgegaan van 8 gram N-aanzet per kg groei. Slachtrijp te maken magere koeien zetten voornamelijk vet aan. In de eerste helft (eerste 60 dagen) van een normale afmestperiode wordt nog het meeste eiwit (spierweefsel) aangezet, maar in verhouding tot de overige onderdelen van de balans is de N, die in de groei wordt vastgelegd bij deze categorie dieren, zo gering dat met het verloop geen rekening behoeft te worden gehouden.

De P- en K-aanzet worden op dezelfde wijze geschat. De hoeveelheid P en K die per kg gewichtstoename worden vastgelegd, zijn bij volwassen dieren een fractie van die bij niet volwassen dieren. Guéguen *et al.* (1989) stellen dat bij dieren tot 600 kg uitgegaan kan worden van een aanzet (nettobehoeft) van 7 g P en 1,6 g K per kilogram gewichtstoename. Bij hogere gewichten neemt de mineralenaanzet per kg gewichtstoename af. In de balansberekeningen wordt uitgegaan van 3,5 g P en 0,8 g K per kg gewichtstoename. In verhouding tot de input en de overige output zijn de P- en K-aanzet zeer gering.

3.2 Ammoniakemissie

De ammoniakemissie ($NH_3 \uparrow$, in g/h) is het produkt van het ventilatiedebiet (Q_v in m^3/h) en de NH_3 -concentratie van de uitgaande lucht (x_{NH_3} in g/m^3):

$$NH_3 \uparrow = Q_v * x_{NH_3}$$

Het ventilatiedebiet wordt bepaald met behulp van een meetventilator, die in de ventilatiekamer onder de stalventilator is geplaatst. Per omwenteling geeft de meetventilator 4 pulsen af. Deze worden per 10 seconden geregistreerd. De relatie tussen het aantal pulsen en het debiet is vooraf bepaald in een windtunnel.

De NH_3 -concentratie wordt per afdeling, iedere 5 minuten, indirect gemeten. Hiertoe wordt continu ongeveer 0,5 liter stallucht per minuut vanuit de ventilatiekamer aangezogen. Deze aangezogen lucht wordt direct buiten de stal in een converter verhit tot 775°C , zodat de NH_3 oxydeert tot NO . Aansluitend wordt de lucht door teflonslangen naar een NO_x -monitor geleid. In de NO_x -monitor (Monitor Labs NO_x -monitor en NH_3 -converter, model 8840) wordt vervolgens de NO met een overmaat aan ozon (O_3) omgezet in stikstofdioxide (NO_2^*). Het gevormde NO_2^* -gas bevindt zich in een aangeslagen toestand. Bij terugkeer naar de grondtoestand komen fotonen (roodkleurig licht, golflengte: 1100 nm) vrij. De stralingsintensiteit van het roodkleurige licht wordt in de NO_x -monitor gemeten. Het meetprincipe -gebaseerd op de chemoluminescentiereactie- is uitvoerig beschreven door van Ouwkerk (1993). De NO_x -monitor en de converters worden regelmatig en systematisch gecontroleerd en gekalibreerd.

De ammoniakconcentratie en het ventilatiedebiet worden steeds per uur gemiddeld en met behulp van een data-logger vastgelegd. Afhankelijk van de vraagstelling en de analyse kunnen de uurgemiddelden van de ammoniakemissie in de tijd (tot over de totale duur van één experiment) gesommeerd worden, dan wel als zodanig of per grovere tijdseenheid in een analyse (bijvoorbeeld een tijdreeksanalyse) betrokken worden. Naast de emissie worden de -eveneens per uur gemiddelde- staltemperatuur en relatieve vochtigheid vastgelegd. Uit eerder onderzoek is namelijk gebleken dat de staltemperatuur een belangrijke emissiebepalende factor is (De Boer, 1993). Daarnaast worden incidenteel andere potentiële emissiebepalende factoren vastgelegd, zoals pH-metingen op de stalvloer en aan het mestoppervlak en subjectieve visuele beoordeling van de mate van bevuilding van de verschillende vloeren (bij roostervloeren inclusief de zijanten). Belangrijke factoren kunnen vervolgens eventueel aan de routinematige registratie toegevoegd worden.

4 Onderzoekfacetten

4.1 Mestverwijdering en -behandeling

Ammoniakemissie treedt op vanaf met mest en urine bevuilde oppervlakken. Aan mestverwijderingssystemen is in het verleden reeds veel onderzoek verricht. De laatste decennia is, ondermeer als gevolg van de storingsgevoeligheid, de slijtage en de gladheid, de dichte vloer met mestschuif verdrongen door de roostervloer met de daarondergelegen mestkelder. Een snelle, frequente en zo volledig mogelijke verwijdering van mest en urine pakt de emissiebron direct aan en biedt dus perspectief. Mestverwijderingstechnieken dienen daarom te worden geoptimaliseerd.

Onderzoek naar en toepassing van mestbehandelingssystemen in de praktijk heeft tot voor kort nauwelijks plaatsgevonden. Door mest te behandelen kan de ammoniakemissie beperkt worden.

Door verwijderings- en behandelingstechnieken te combineren, kunnen systemen ontstaan die een grote emissiereductie bewerkstelligen.

Het onderzoek aangaande mestverwijdering en -behandeling richt zich op technieken die

- door schuiven en spoelen de mest en urine afvoeren van hellende vloeren, zowel van beloopbare vloeren als van schijnvloeren onder de roosters, naar afgesloten kelders;
- door schuiven en spoelen de mest en urine afvoeren naar onder de roosters gesitueerde kelders;
- door aanzuren van de mest onder de roosters de pH verlagen.

Ook combinaties van de hierboven genoemde technieken, zoals bijvoorbeeld het schuiven en spoelen van de roosters en het aanzuren van de mest in de eronder gelegen kelder, worden bestudeerd.

Het spoelen wordt momenteel uitgevoerd met water en met water waaraan middelen zijn toegevoegd die de urease-activiteit op de mestgangvloer afremmen. Er wordt gestart met onderzoek naar het gebruik van gerecyclede, aangezuurde of beluchte vloeistof of aangezuurde dunne mest -verkregen na mestscheiding- als spoelvloeistof. Het gaat hierbij zowel om het ontwikkelen en optimaliseren van de benodigde technieken als om het vaststellen van het effect van toepassing van deze technieken op de ammoniakemissie. Vooral de laatste doelstelling wordt in belangrijke mate gerealiseerd in de Milieu-onderzoekstal. Vooralsnog is immers alleen hier een directe vergelijking van het effect van een techniek met een referentie mogelijk. Om het waterverbruik te beperken wordt elders onderzocht of het licht verontreinigde afvalwater van het melkveebedrijf (afkomstig van ondermeer de reiniging van de melkapparatuur, de melktank en de melkstal) voor het spoelen benut kan worden.

4.2 Bouwtechnisch onderzoek aan vloer- en stalsystemen

Het bouwtechnische onderzoek omvat zowel de functionele als de technische uitvoering van de vloer in relatie tot de ammoniakemissie.

Het onderzoek aangaande de functionele uitvoering richt zich op:

- dichte vloeren versus roostervloeren;
- aanpassing van de geometrie van de roostervloer (balk- en spleetbreedte en zijwandoppervlakte).

Het onderzoek van de technische uitvoering richt zich op:

- vloerafwerkingen (vlakheid, stroefheid, ruwheid);
- duurzaamheid (sterkte, stijfheid).

Smits en Swierstra (1993) geven een nadere beschrijving van eigenschappen van stalvloeren en de wijze waarop deze gemeten kunnen worden.

Alternatieve ontwerpen dienen te voldoen aan constructietechnische eisen in verband met de veiligheid en dienen getoetst te worden op duurzaamheid. Bij de ontwikkeling ervan dient uiteraard ook rekening gehouden te worden met de eisen ten aanzien van het dierlijk welzijn.

4.3 Huisvestingstechnisch onderzoek

Beperking van het emitterend oppervlak leidt mogelijk tot een aanzienlijke emissiereductie. Door de dieren gedurende de gehele dag of gedeelten van de dag vast te zetten en door functiegebieden (liggedeelte en vreetgedeelte) te combineren, neemt de potentieel emitterende oppervlakte in principe sterk af. Tussen de met mest en urine bevulde oppervlakte en de emissie wordt wel een lineaire relatie verondersteld.

In de grupstal worden de dieren vastgezet. Daardoor vallen functiegebieden -het liggedeelte en het vreetgedeelte- samen en ontbreekt een loopgedeelte, behalve bij het melken in een melkstal en bij weidegang. In een grupstal met mengmestkelder is de oppervlaktereductie ten opzichte van een ligboxenstal meer dan 60%. Groenestein en Montsma (1991) vonden in een praktijkonderzoek een zeer lage emissie vanuit een grupstal. De perspectieven van de grupstal zijn ook met het oog op bouwkosten en arbeidsproductiviteit volgens de NRLO/TNO-werkgroep 'Bedrijfssynthese en staltypen' (1981) positief te beoordelen, terwijl implementatie van een automatisch melksysteem en eventueel een automatisch voersysteem in een grupstal zeer wel mogelijk lijkt.

In de voerligboxenstal zijn het liggendeel en het vreetgedeelte, eventueel inclusief wateropname, gecombineerd. Hierdoor zijn de verblijftijden in de box langer, is er minder 'koeverkeer' en kan het loopgedeelte een geringere omvang hebben dan in een ligboxenstal. De oppervlaktereductie van het loopgedeelte is ongeveer 30%. Rond tijdstippen dat er gevoerd wordt, kan er een piek in de uitscheidingsfrequentie ontstaan. De excreta komen, doordat de dieren zich dan niet van een liggendeel naar een eetgedeelte hoeven te begeven, in een voerligboxenstal slechts op een beperkt deel van het vloergedeelte terecht, terwijl in een normale ligboxenstal een vrij gelijkmatige verdeling over een veel groter deel van het loop-eetgedeelte plaatsvindt. Hierdoor wordt wellicht ook een bijdrage aan de emissiereductie geleverd. Deze bijdrage zou nog verhoogd kunnen worden door de dieren gedurende de te verwachten pieken in de uitscheiding tijdelijk in de voerligboxen vast te zetten. Ook Snel *et al.* (1990) en Smits (1993a) beoordelen op grond van een theoretische benadering de grupstal en de voerligboxenstal als huisvestingssystemen waarvan een lagere emissie verwacht mag worden.

Voor een goede kwantitatieve onderbouwing van de hiervoor gesuggereerde effecten is vergelijkend onderzoek noodzakelijk, omdat daarbij de effecten van de overige factoren, die de emissie kunnen beïnvloeden, gelijk zijn. Inzicht in de factoren die bij deze huisves-

tingssystemen leiden tot een verlaagde ammoniakemissie, kan als basis dienen voor de ontwikkeling van nieuwe emissie-arme huisvestingssystemen, die ook bedrijfseconomisch kunnen concurreren met de ligboxenstal. De kosten en effectiviteit van mestbehandelingssystemen en andere emissiebeperkende maatregelen kunnen na dit onderzoek afgewogen worden tegen die van de onderzochte en de op basis daarvan te ontwikkelen huisvestingssystemen.

De consequenties voor het welzijn van de dieren van stalsystemen die leiden tot een beperking van de bewegingsvrijheid zullen middels literatuurstudie onderzocht worden.

4.4 Gedrag, gezondheid en reproductie

Gedrag

De verschillende vloeruitvoeringen en -afwerkingen kunnen de locomotie en de stabiliteit bij het uitvoeren van comfortgedragingen beïnvloeden (Smits, 1993b). Om dit vast te leggen, zullen aan de beloopbaarheid en stabiliteit te relateren gedragswaarnemingen worden verricht. Aan de waarnemingen dient, na het in gebruik nemen van een nieuw systeem of een nieuwe variant, een gewenningsperiode van minimaal 14 dagen vooraf te gaan. Per 'behandeling' zal, globaal op basis van een algemene indruk en meer in detail op basis van specifieke gedragsparameters, beoordeeld moeten worden of na 14 dagen reeds van gewenning sprake is.

De volgende gedragingen zullen met behulp van video-opnames bestudeerd worden: uitglijden; likken; krabben met de achterpoot; bespringen; verjagen; dringen bij het voerhek; verblijf in de ligboxen. Onderzocht zal worden welke gedragingen het risico op uitglijden verhogen. Deze risico-verhogende gedragingen zullen bij een vergelijking van het aantal uitglij-incidenten betrokken worden.

Gezondheid en reproductie

Klinische stoornissen zullen beschrijvend worden gerapporteerd. Gezien de te beperkte omvang van de groep per afdeling en de specifieke samenstelling, is een analytische benadering niet zinvol.

De tochtigheden zullen bijgehouden worden; de oestrusexpressie kan geremd worden door de vloerkwaliteit. Tochtige dieren beïnvloeden het gedrag.

5 Analyse van de emissiegegevens

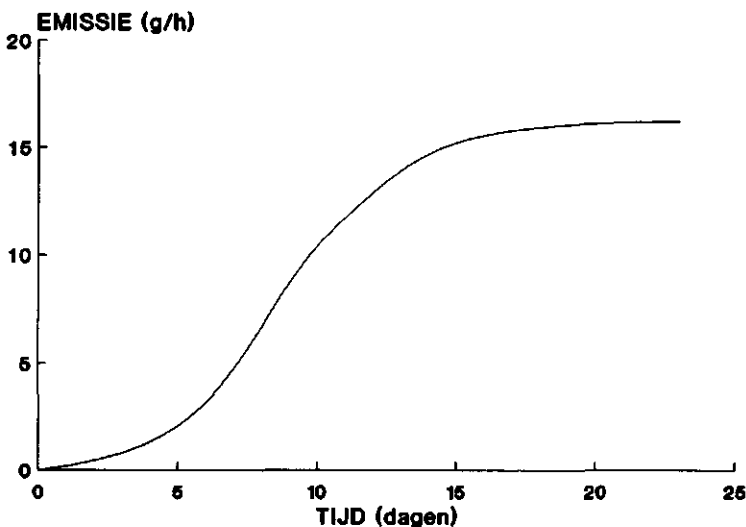
5.1 Stabiliteit en tijdsduur van een experiment

In figuur 2 is een fictief voorbeeld weergegeven van het verloop van de ammoniakemissie in de tijd, vanaf het moment dat een nieuwe stal in gebruik wordt genomen. Nadat een experiment met een nieuwe staluitvoering is gestart, neemt de emissie aanvankelijk duidelijk toe. Waarschijnlijk leiden toenemende bevuiling van de stal (vloer en kelderoppervlakken), eventueel indringing van mest of urine in materialen en acceleratie van biologische processen in de zogenaamde aanloopfase tot een toename van de emissie per tijdseenheid.

Pas als een evenwichtsniveau is bereikt in de verschillende afdelingen, kan de fase aanvangen waarin een zinvolle vergelijking van de afdelingen mogelijk is.

De stabiliteit in de verschillende afdelingen wordt kwalitatief beoordeeld aan de hand van -visuele indrukken van- de bevuiling van emitterende oppervlakken in de stal en het diergedrag (gewenning aan omstandigheden). Waarschijnlijk vergt het bereiken van stabiliteit, vooral bij niet eerder gebruikte vloeren en/of een lege kelder, enige tijd. Naar het zich laat aanzien, is hiervoor bij het tussentijds wisselen van diergroepen minder tijd nodig. Aan de periode die voorafgaat aan het bereiken van stabiliteit in de te vergelijken afdelingen wordt hierna gerefereerd als 'voorperiode'; aan de daaropvolgende periode tot het einde van het experiment wordt hierna gerefereerd als 'hoofdperiode'.

De minimaal benodigde duur van de hoofdperiode van een experiment, wordt vastgesteld aan de hand van tijdreeksanalyse. Hierbij wordt de variatie in de tijd van de emissiecijfers gemodelleerd, rekening houdend met afhankelijkheden in de tijd en vastgelegde



Figuur 2 Fictief voorbeeld van het verloop van de ammoniakemissie in de tijd, vanaf het moment dat een nieuwe stal in gebruik wordt genomen.

Figure 2 Fictitious path of the emission rate curve after starting an experiment in a new building.

variabelen, zoals de temperatuur, die de emissie beïnvloeden. Uit vooranalyses is gebleken dat er, vanaf het moment dat er stabiliteit in de te vergelijken afdelingen is, nog minstens gedurende één week emissiecijfers vastgelegd dienen te worden om een representatief beeld te krijgen van de gemiddelde uuremissie van een behandeling en de nauwkeurigheid van dat gemiddelde. Tussen uren en dagen bestaat er namelijk een aanzienlijke variatie, die niet verklaard kan worden op basis van de vastgelegde gegevens.

5.2 Vergelijkend onderzoek

Het onderzoek in de Milieu-onderzoekstal is vooral gericht op het onderscheiden van perspectiefvolle oplossingsrichtingen voor de beperking van de ammoniakemissie uit stallen, op basis van vergelijking van de prestaties met een referentie. Daarbij wordt zoveel mogelijk gestreefd naar gelijke omstandigheden, afgezien van de te onderzoeken 'variabele'. Belangrijke aspecten hierbij zijn het klimaat, het rantsoen, de groepen dieren en de verzorging. Door monitoring van temperatuur en ventilatievoud (per uur) kan de vergelijkbaarheid van het klimaat in de verschillende afdelingen gecontroleerd worden. Niveauverschillen tussen na elkaar uitgevoerde experimenten ('tussen perioden') met betrekking tot de klimaatparameters kunnen zo ook vastgelegd worden. De vergelijkbaarheid van de groepen dieren wordt bij aanvang van een serie experimenten nagestreefd door zorgvuldige samenstelling van de groepen, met name ten aanzien van de gewichten. Daarna wordt het gewichtsverloop gevolgd en worden de groepssamenstellingen aangepast indien er verschillen ontstaan in de gewichtsonwikkeling van de groepen.

Afgezien van incidenteel noodzakelijke, individuele ziektebehandelingen worden de dieren in de verschillende afdelingen op dezelfde wijze verzorgd.

Het 'overall'-gemiddelde van de per uur vastgelegde ammoniakemissie in de hoofdperiode van een experiment wordt per afdeling berekend. De overall-gemiddelden van de experimentele afdelingen worden vervolgens uitgedrukt als percentage van het overall-gemiddelde van de referentie-afdeling. Deze relatieve cijfers geven een beter beeld van het effect van een behandeling dan de absolute emissiecijfers als zodanig. De absolute cijfers zijn -zoals eerder aangeduid- afhankelijk van ondermeer seizoeninvloeden. Naast deze eenvoudige rekenkundige benadering, ter bepaling van de emissiereductie van een experimentele behandeling, wordt onderzocht hoe tijdreeksanalyse gebruikt kan worden om een nauwkeurigere schatting van het gemiddelde effect en de nauwkeurigheid van dat gemiddelde te verkrijgen. Daarbij kan gecorrigeerd worden voor omgevingsvariabelen en kan de variabiliteit en afhankelijkheid in de tijd in het analysemodel beschreven worden. Al deze informatie kan dan direct gebruikt worden bij het vergelijken van de behandelingen. Omtrent dit onderzoek zal afzonderlijk gerapporteerd worden (De Boer en Keen, in voorbereiding).

6 Toetsing geschiktheid van de opzet voor vergelijkend emissie-onderzoek

6.1 Beschrijving van de proef

De experimentele eenheid in het onderhavige onderzoek wordt steeds gevormd door de combinatie van een groep dieren binnen een afdeling, gedurende een bepaalde periode. De waargenomen ammoniakemissies zijn binnen tijdreeksen (uren, dagen, weken of maanden) per diergroep in een afdeling (behandeling) niet onafhankelijk. Om een uitspraak te kunnen doen op basis van een statistische toets zijn onafhankelijke herhalingen nodig. Deze kunnen gerealiseerd worden door diergroepen te wisselen tussen afdelingen, door behandelingen te wisselen tussen afdelingen (met dezelfde diergroep), of door meerdere vergelijkbare accommodaties of diergroepen (een veelvoud van 3) te gebruiken. De beide laatste mogelijkheden zijn erg duur.

In de eerste fase van het onderzoek zijn, volgens de opzet van een latijnsvierkant, 3 herhalingen gerealiseerd door diergroepen gebalanceerd (dat wil zeggen elke combinatie precies 1 keer) te verloten over de 3 afdelingen en 3 perioden. De vergelijkbaarheid van de diergroepen is op deze wijze getoetst. De referentie-afdeling is, zoals steeds de ligboxenstal met standaardroostervloer. In de experimentele afdelingen zijn de in paragraaf 2.1 voor de uitgangssituatie beschreven vloeren aangebracht. In het statistische model worden dit de behandelingen genoemd. Een gedetailleerde beschrijving van de vloeruitvoeringen is weergegeven in Swierstra *et al.* (1993).

De meetperioden waarin is gemeten zijn steeds ongeveer van gelijke duur geweest, namelijk 3 weken, inclusief een aanloopfase van ongeveer één week. Er is slechts een korte aanloopfase nodig geweest omdat de afdelingen reeds een aantal maanden vóór deze experimenten in gebruik waren genomen. De gemiddelde emissie per uur in de laatste 2 weken van elke periode is geanalyseerd aan de hand van het volgende model:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + D_j + P_k + e_{ijk}, \text{ waarbij}$$

Y_{ijk} = de gemiddelde emissie per uur in de laatste $\frac{2}{3}$ weken van elke periode

B_i = behandelingseffect ($i=1\dots 3$)

D_j = diergroepseffect ($j=1\dots 3$)

P_k = periode-effect ($k=1\dots 3$)

e_{ijk} = niet verklaarde rest

Uitgaande van dit model zijn diergroepseffect, periode-effect en behandelingseffect met behulp van variantie-analyse getoetst middels de F-toets.

De aldus herhaalde experimenten geven een indruk van de vergelijkbaarheid van de diergroepen en het effect van de perioden. Daarnaast maken deze herhaalde experimenten het toetsen en zuiver schatten van een verschil tussen een 'behandeling' en de referentie, rekening houdend met een eventueel aanwezig periode-effect en een, naar verwachting zeer klein, diergroepseffect mogelijk.

6.2 Resultaten van de toetsing

In tabel 2 zijn de emissies, die in de achtereenvolgende perioden gevonden zijn, procentueel ten opzichte van de referentie-afdeling uitgedrukt, weergegeven.

Tabel 2 Gemiddelde ammoniakemissie per periode in de afdeling met een behandelde, hellende, dichte vloer met giergoot en schuif (DB) en in de afdeling met de behandelde roostervloer (RB), uitgedrukt als percentage van de gemiddelde emissie in de referentie-afdeling in dezelfde periode (100% = emissie van de referentie-afdeling in dezelfde periode).

Table 2 Mean ammonia emission values per period in the experimental unit with a full concrete floor sloping towards the middle, a top layer of epoxy mortar and a scraper (DB) and in the experimental unit with a slatted floor with a top layer of the same epoxy mortar and polyurethane-impregnated sides (RB), expressed as a percentage of the emission in the reference unit with a normal slatted floor within the same period (100% = emission of reference unit).

periode	DB (%)	RB (%)
1	57	100
2	64	98
3	55	105

Uit tabel 3 blijkt dat de emissie van DB tussen perioden varieert van 55 tot 64% van de referentie; die van RB varieert van 98 tot 105%. De vastgestelde variaties tussen de perioden kunnen ondermeer samenhangen met (kleine) verschillen in voeropname, staltemperatuur en ventilatievoud alsmede met meetonnauwkeurigheden.

Uit variantie-analyse blijkt dat van de totale variatie minder dan 2 procent verklaard wordt door het diergroep-effect ($P > 0,90$). Waarschijnlijk mede dankzij een juiste verdeling van de dieren over de groepen is het, conform de verwachting, mogelijk gebleken om deze bron van variatie nagenoeg uit te schakelen. Eerder is al aangegeven dat de N-aanzet een zeer klein aandeel van de totale N-balans uitmaakt. De benutting van de N door de groepen dieren is, bij een gelijk begingewicht van de groepen en een vrijwel gelijke groei, geen waarschijnlijke oorzaak van substantiële verschillen in emissie tussen diergroepen. De activiteit van de groepen dieren zou daarnaast de emissie kunnen beïnvloeden, maar hier zijn geen aanwijzingen voor verkregen.

De gemiddelde temperatuur is in periode 2 en 3 respectievelijk 1,5 °C en 6,2 °C hoger geweest dan in periode 1. De gemiddelde emissie van de referentie-afdeling in periode 2 is 16% hoger dan in periode 1 en in periode 3 is die 33% hoger dan in periode 1. Uit variantie-analyse blijkt dat het periode-effect ruim 19% van de totale variatie verklaart ($P < 0,10$). Bij een vergelijking van behandelingen tussen perioden moet hiermee rekening gehouden worden. De grootte van het periode-effect hangt waarschijnlijk vooral af van temperatuurverschillen tussen perioden. Er kunnen echter ook andere, niet gemeten, factoren verschillen tussen perioden.

Het behandelingseffect verklaart meer dan 75% van de totale variatie en is significant ($P < 0,05$).

Uitgedrukt als percentage van de emissie van de referentie-afdeling is de voor periode-effect en diergroep-effect gecorrigeerde emissie van de afdelingen met behandelingen (DB) behandelde hellende dichte vloer en (RB) behandelde roostervloer respectievelijk

59% en 101%. Het verschil in emissie tussen DB en de referentievloer, is significant ($P < 0,05$). Tussen RB en de referentievloer is er geen significant verschil.

Bij de gekozen opzet is het behandelingseffect volledig verstrengeld met de afdeling waarin de behandeling heeft plaatsgevonden. Eerder is reeds aangegeven dat bij de bouw van de accommodatie systematische verschillen tussen afdelingen zoveel mogelijk zijn uitgesloten. Het lijkt dan ook redelijk om aan te nemen dat de vastgestelde verschillen zijn toe te schrijven aan de behandelingen.

Ter controle van de herhaalbaarheid van het bij een behandeling gevonden emissie-reductiepercentage zullen herhalingen plaats moeten vinden. Met behulp van tijdreeks-analyse kunnen naast de vaste effecten, waaronder de behandelingen, ook de variabiliteit en de afhankelijkheid in de tijd van de gegevens gemodelleerd worden. Hierdoor kan beter aangeduid worden wat de nauwkeurigheid van een behandelingsverschil is, dan op basis van de hiervoor weergegeven variantie-analyse van gemiddelden per periode.

Door op de hiervoor geschetste wijze naar een zo goed mogelijke vergelijkbaarheid te streven en die voor het stalklimaat en de gewichtsontwikkeling van de diergroepen regelmatig te controleren, kunnen diverse oplossingsrichtingen in vrij korte tijd geëvalueerd worden. Perspectievolle oplossingsrichtingen zullen vervolgens op praktijkschaal verder ontwikkeld moeten worden.

Summary

In a new IMAG-DLO research building comparative studies can be performed on different factors that may reduce ammonia emission from cattle housing systems. Three units with basically the same features are available. One unit, with cubicles and a normal slatted floor, acts as a reference. In the other units different floors, manure removal and manure treatment systems as well as different housing systems (e.g. with less surface area contaminated with manure) can be investigated at the same time under the same conditions.

The units are well insulated and mechanically ventilated (rate depends on temperature) to realize the same climate in each unit. Each unit accommodates a group of 10 non-pregnant dry HF/DF cows.

To maximize comparability the animals are well-balanced grouped. The ration is made up of dried luzerne and a special concentrate to get near the urinary urea concentration of lactating animals and to moderate growth rate.

Ammonia emission (kg) is the product of ventilation rate (m^3/h), the concentration of ammonia in the exhaust air (kg/m^3) and the total time period (h) of concern in the calculation. The concentration of ammonia in representative samples of the exhaust air is measured automatically and with high accuracy in a NO_x -monitor, after the ammonia has been oxidized completely in a converter.

An indirect approach of calculating ammonia emission from the nitrogen balance is being evaluated, by subtracting the non-gaseous N output in faeces and urine from the N input in the feed.

Besides studying the effects of altering floors, manure treatment and different housing systems, animal welfare and health are also taken into account. These topics are all shortly illuminated in this report.

After a new building comes into use, befouling of the floor and the pit below it, and soaking in of urine and faeces in materials, as well as acceleration of microbiological processes, until a certain point in time result in an increase in emission rate. The reduction effect can only be determined if the emission rates in the units to be compared, do no longer show a substantial increase in emission rate. This may take 2 weeks or even more.

The overall mean of emissions per hour from the period with near constant emission rates is calculated per experimental unit. These overall means are then expressed as percentages of the overall mean of the reference unit. The expression in percentages gives a better impression of the effect of an experimental treatment than the absolute emissions.

At the first stage of the research, a latin square design experiment was carried out with 3 repetitions, by allotting the groups of animals ($n=3$) over the units ($n=3$) and the periods ($n=3$) in a balanced way.

In experimental unit 1, a 3% sloped solid concrete floor with a top layer of epoxy mortar and a scraper are installed, referred to as DB in the report. In experimental unit 2, on a normal slatted floor a top layer of the same epoxy mortar is carried and the sides of the slats are polyurethane-impregnated. This treatment is referred to as RB in the report. Expressed as a percentage of the emission of the reference unit, the emissions from the units with treatments DB and RB were 59% and 101% respectively, after correction for

the statistical effects of period and group of animals. Between DB and the reference setup the difference was significant ($P < 0,05$). Between RB and the reference there was no significant difference. From the statistical analysis it also can be concluded that differences between periods should be taken into account. No substantial difference between groups of animals, after carefully balancing them, are to be expected.

By performing time series analyses, corrections can be made for disturbing factors and the variability and interdependence of data can be modelled. These analyses can be used to achieve a better comparison between treatments. How time series analyses are to be used for emission data is not yet clear entirely. Soon these tools will become available from ongoing research at IMAG-DLO however.

By performing good comparisons at the same time it will take a relatively short period of time, for the knowledge of background and factors influencing the reduction of ammonia emission to be increased substantially.

Literatuur

- Boer, W.J., de, 1993. Box-Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op metingen van de ammoniak-emissie in een rundveestal. IMAG-DLO rapport 93-6, Wageningen, 33 pp
- Elzing, A., Kroodsmas, W., Scholtens, R. en G.H. Uenk, 1992a. Ammoniakemissie-metingen in een modelsysteem van een rundveestal: theoretische beschouwingen. IMAG-DLO rapport 92-3, Wageningen, 25 pp
- Elzing, A., Swierstra, D., Uenk, G.H. en W. Kroodsmas, 1992b. Ammoniakemissie-metingen in een modelsysteem van een rundveestal: de invloed van vloervarianten. IMAG-DLO rapport 92-10, Wageningen, 18 pp
- Geay, Y. and D. Micol, 1989. Growing and finishing cattle. In: Jarige, R. (Ed.): Ruminant Nutrition, INRA, John Libbey Eurotext, London, Paris, p. 121-152
- Groenestein, C.M. en H. Montsma, 1992. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen: Grupstal voor melkvee. DLO, Wageningen, rapport 91-1002, 14 pp
- Groot Koerkamp, P.W.G., N. Verdoes en G.J. Monteny, 1990. Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot. Deelrapport Bronnen, Processen en Factoren. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de rundveehouderij 8A. DLO, Wageningen, 83 pp
- Kroodsmas, W., Huis in 't Veld, J.W.H. and R. Scholtens, 1993. Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Prod. Sci.*, (in press)
- Monteny, G.J., 1991. Stand van zaken onderzoek vermindering ammoniak-emissie: perspectieven voor de toekomst. In: Verkerk, H.A.C. (Ed.): Mest & Milieu in 2000. Visie vanuit het landbouwkundig onderzoek. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij (13), DLO, Wageningen, p. 91-113
- NRLO/TNO-werkgroep "Bedrijfssynthese en staltypen", 1981. Bedrijfsomvang en staltype. IMAG-publikatie 158, Wageningen, 76 pp
- Oosthoek, J., 1989. Mogelijkheden voor rundveebedrijven. In: Perspectieven voor de aanpak van de mest- en ammoniakproblematiek op bedrijfsniveau. Verslag van de themadag mestbehandeling op de boerderij, 30 mei 1989
- Ouwerkerk, E.N.J. van (editor), 1993. Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, 178 pp
- Smits, A.C., 1993a. Perspectieven van verschillende stalsystemen in relatie tot beperking NH₃-emissie en welzijn dieren. In: Verslag studiedag "Welzijn en Milieu", 31 oktober 1991, NRLO-rapport 93/1, 's Gravenhage, p. 71-76
- Smits, M.C.J., 1993b. Gezondheid en gedragsaspecten van melkvee in het milieu-onderzoek. In: Verslag studiedag "Welzijn en Milieu", 31 oktober 1991, NRLO-rapport 93/1, 's Gravenhage, p. 57-64
- Smits, M.C.J. en D. Swierstra, 1993. Development of floors in loose housing systems for dairy cattle which will meet environmental and animal welfare demands. In: Proc. BIBM-, CEMBUREAU-, CIGR- & ERMCO-symposium "Concrete for a sustainable agriculture", 21-23 April 1993, Bologna, Italy (niet genummerd)
- Snel, L., 1990. Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot. Deelrapport rundvee. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de rundveehouderij 8B. DLO, Wageningen, 71 pp

Verschenen rapporten

- 91-1 Dieën, J.H. van en A.A.J. Looije – Dimensionering van de werkplek bij het oogsten van tulpen in de broeierij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 23 pp., f 17,50
- 91-2 Buitink, W.J. – Onderzoek naar technieken ter verbetering van de stalhygiëne.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 23 pp., f 20,00
- 91-3 Bijl, R.S. – Ontwikkeling van een vloeistofdispenser voor het lekvrij bevochtigen van planten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 15 pp., f 20,00
- 91-4 Mol, R.M. de – BOSMest een beslissingsondersteunend systeem voor de optimalisering van de afzet en de verwerking van mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 180 pp., f 17,50
- 91-5 Bruins, M.A. – De ammoniakemissie tijdens en na het uitrijden van varkens-, runder- en kippemest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp. (excl. bijlage), f 20,00
- 91-6 Hendrix, A.T.M. – De arbeidsbehoefte bij de teeltwisseling van op substraat geteelde meermalig oogstbare gewassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 51 pp., f 20,00
- 91-7 Aarnink, A. – Persulp in het rantsoen van guste en dragende zeugen. Invloed op wateropname, mestkwaliteit en reproductie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp., f 20,00
- 91-8 Aarnink, A. – Rekenmodel voor de waterbehoefte van vleesvarkens (FYSWA).
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 pp., f 20,00
- 91-9 Klarenbeek, J.V., Huijsmans, J.F.M., Pain, B.F. en V.R. Phillips – Anglo-Dutch experiments on odour and ammonia emission following the spreading of piggery wastes on arable land.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 28 pp., f 25,00
- 91-10 Swierstra D. e.a. – Ontwikkeling Modern Melkbedrijf.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp., f 20,00
- 91-12 Arts, W.M.W.F., Vliet, T. van, Telle, M.G. en P.J.W. ten Have – Berekeningsmethoden voor de leidingweerstand van mengmest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 37 pp., f 20,00
- 91-13 Frénay, J.W. – Handleiding bij de Bouwtechnische Richtlijnen Mestbassins (HBRM 1991).
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 105 pp., f 25,00
- 91-14 Braak, N.J. van de en J.J.G. Breuer – Ventilatie in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 21 pp., f 20,00
- 91-15 Knies, P. – Drie kasverwarmingssystemen voor restwarmte.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 127 pp., f 35,00
- 91-16 Lokhorst, C. en H.W.J. Houwers – An automated oestrus detection system for sows in group housing.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp., f 25,00
- 91-17 Ouwerkerk, E.N.J. van en C.J.M. Scheepens – Temperatuur- en ventilatiebehoefte van gespeende biggen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp., f 25,00

- 91-18 Lange, J.M. – Het energieverbruik op de Friese melkveebedrijven, nu en in de toekomst.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 69 pp., f 35,00
- 91-19 Braak, N.J. van de – Kasventilatie met verdampingskoeling.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 20,00
- 91-20 Ipema, A.H., Ketelaar-de Lauwere, C.C. en J. Metz-Stefanowska – De invloed van zesmaal daags melken op melkproductie, technische aspecten en het gedrag van koeien.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 23 pp., f 20,00
- 91-21 Oude Vrielink, H.H.E. – Physical performance and fatigue.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 140 pp., f 40,00
- 91-22 Hoeksma P. – Voorkomen en bestrijden van schuimvorming bij de opslag van mengmest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 29 pp., f 30,00
- 91-23 Bruins, M.A. – Onderzoek naar de ammoniakemissie bij toediening van aangezuurde, verdunde mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp., f 20,00
- 91-24 Werken, J. van de – De ontwikkeling van een onbemande emissie-arme spuit voor de fruitteelt (OOSEF).
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., f 25,00
- 91-25 Letter, R. – De veiligheid van de trekkerchauffeur tijdens de toediening van gewasbeschermingsmiddelen in de fruitteelt.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 68 pp., f 25,00
- 92-1 Migchels, A. – Arbeidsbehoefte en arbeidsomstandigheden in de slachtkuikenmesterij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 40 pp., f 35,00
- 92-2 Bosma, A.H. – Techniek bij het inkuilen met korte veldperiode.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 48 pp., f 25,00
- 92-3 Elzing, A., Kroodsmas W., Scholtens, R. en G. Uenk – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal. Theoretische beschouwingen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 25 pp., f 30,00
- 92-4 Ketelaar-de Lauwere, C.C. – Het gebruik van een selectiepoort voor automatisch melken; de invloed op het gedrag en het welzijn van de koeien.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp., f 30,00
- 92-5 Huijs, J.P.G. en H.F. de Zwart – Optimalisering energiegebruik bij toepassing van warmtekrachtkoppeling en assimilatiebelichting bij tomaten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 68 pp., f 30,00
- 92-6 Demmers, T.G.M., Hissink, M.G. en G.H. Uenk – Het drogen van pluimveemest in een droogtunnel en het effect hiervan op de ammoniakemissie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 19 pp., f 20,00
- 92-7 Metz-Stefanowska, J., Rossing, W. en E. Benders – Efficiëntie van de overdracht van signalen van geïmplanteerde temperatuursensoren bij melkkoeien.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 23 pp., f 25,00
- 92-8 Loonen, J.W.G.M., Geurink, J.H., Hoekstra, H., Huijsmans, J.F.M. en H. Snijders – ProPro Noord-Brabant. Eindrapport Werkgroep Mestinjectie. Samenvatting drie jaar onderzoek emissie-arme mesttoediening.
Wageningen, IMAG-DLO rapport 92-8, CABO-DLO verslag 161, PR Rapport 140. 90 pp., f 25,00

- 92-9 Stanghellini, C., Bosma, A.H., De Lorenzi, F. and C. Werkhoven – Early detection of water stress in sub-humid climates.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 30 pp., f 35,00
- 92-10 Elzing, A., Swierstra, D., Uenk, G.H. en W. Kroodsmā – Ammoniakemissie-metingen in een modelsysteem van een rundveestal: de invloed van vloer-varianten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 14 pp., f 25,00
- 92-11 Pompe, J.C.A.M., Holterman, H.J. en B.C.P.M. van Straelen – Technical aspects of pesticide application.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 84 pp., f 40,00
- 92-12 Demmers, T.G.M. – Beknopte gebruikershandleiding voor biowassers.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp., f 20,00
- 92-13 Metz-Stefanowska, J., Ketelaar-de Lauwere, C.C., Ipema, A.H. en P.J.M. Huijsmans – Beïnvloeding van het koeveerkeer in de stal ten behoeve van het automatisch melken.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., f 35,00
- 92-14 Frénay, J.W. en G.Chr. Bouquet – Ondergrondse betonnen opslagsystemen voor mengmest: voorstudie, ontwerp en uitvoering.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 128 pp., f 50,00
- 92-15 Dieën, J.H. van – Bruikbaarheid van elektromyografie in ergonomisch onderzoek met speciale referentie naar de lage-rugmusculatuur.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp., f 35,00
- 92-16 Haulm killing and damaging potatoes. Proceedings of the Meeting of the Section Engineering of the EAPR, 6-9 September 1992, Wieringerwerf.
Wageningen, IMAG-DLO-rapport, 80 pp., f 35,00
- 93-1 Huis in 't Veld, J.W.H., W. Kroodsmā en S. van Westreenen – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van de roosters.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 25,00
- 93-2 Elzing, A. en D. Swierstra – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een varkensstal: invloed van vloerbevuiling en vloertype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 21 pp., f 25,00
- 93-3 Elzing, A. en W. Kroodsmā – De relatie tussen ammoniakemissie en stikstof-concentratie in de urine van melkvee.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 25,00
- 93-5 Dieën, J.H. van – Functional load of the low back.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 150 pp., f 40,00
- 93-6 Boer, W.J. de – Box Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakemissiemetingen in een rundveestal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp., f 30,00
- 93-7 Hoeksma, P., Scholtens, R. en A.J. van den Berg – Een milieuvriendelijk bedrijfs-systeem voor de varkenshouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., f 30,00

93-11 Aarnink, A.J.A., Houwers, H.W.J., Ouwerkerk, E.N.J. van en P.B. Hangelbroek – Vooronderzoek naar een milieu- en welzijnsvriendelijk huisvestingsstelsel voor vleesvarkens. Mestscheiding, vloerkoeling en grote groepen dieren. Wageningen, IMAG-DLO rapport, 45 pp., f 40,00

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

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