

Reductie van ammoniak- emissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvloeistof

Ing. P. Hoeksma en J. Oosthoek (IMAG-DLO)
Ir. N. Verdoes en Ir. J.A.M. Voermans (PV)

imag-dlo



Reductie van ammoniak- emissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvloeistof

*Reduction of ammonia emission from pig
housing by flushing with aerated slurry*

Ing. P. Hoeksma en J. Oosthoek (IMAG-DLO)
Ir. N. Verdoes en Ir. J.A.M. Voermans (PV)

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Reductie

Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvoeistof /Hoeksma [et al.]. -Wageningen :IMAG-DLO ; Rosmalen : PV.
Rapport 93-23 –III.

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

ISBN 90-5406-047-6 geb.

NUGI 849

Trefw.: ammoniakemissie ; varkenshouderij.

© 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

De varkensbedrijven staan voor de opgave om de ammoniakemissie uit de stallen en mestopslagen aanzienlijk te beperken. De eerste benadering door het landbouwkundig onderzoek is geweest de mest snel en frequent uit de stallen te verwijderen en buiten de stallen in een afgedekte opslag te bewaren. In dat kader uitgevoerd onderzoek met mestschuiven leverde in **1987** niet de gewenste resultaten op. In het buitenland zijn reeds vele jaren spoelsystemen bekend, waarmee de mest uit de mestkanalen verwijderd wordt, vaak met gebruik van (grote hoeveelheden) water. Gebruik van water bij het spoelen is voor de Nederlandse varkensbedrijven, gezien het toenemende mestvolume, echter onacceptabel.

Omzetting van ammoniak in nitraat (nitrificatie) is een bekend proces in de afvalwaterreiniging en in de mestverwerking en wordt veel toegepast. Een combinatie van deze twee technieken (spoelen en nitrificeren) werd gezien als een mogelijkheid om de ammoniakemissie uit stallen bij de bron aan te pakken.

De samenwerking tussen het IMAG-DLO en het Proefstation voor de Varkenshouderij (PV) te Rosmalen heeft geleid tot een praktijkonderzoek op het regionale varkensproefbedrijf te Sterksel. Doelstelling was om de ammoniakemissie uit de stallen fors te verlagen, zonder negatieve effecten op de kwaliteit van de mest. De aandacht van het PV **heeft** vooral bij het technisch functioneren van de spoelsystemen gelegen, terwijl het IMAG-DLO verantwoordelijk was voor de bereiding van de spoelvloeistof en de uitvoering van het meetprogramma.

De medefinanciering door FOMA (Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek) is een belangrijke stimulans geweest bij dit onderzoek. Naast de auteurs van dit rapport hebben de volgende personen een belangrijke bijdrage geleverd aan dit onderzoek: Ing. M.M.L. van Asseldonk, Ing. M. Duijf, Ing. J.H.M. van Cuyck, Ing. M.C.W. Daanen en C.H. van Lochem.

Wij spreken de wens uit dat de resultaten van dit onderzoek toepassing zullen vinden in de praktijk en zo een bijdrage zullen leveren aan het bereiken van een aanvaardbare ammoniakemissie **in de varkenshouderij**.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur IMAG-DLO

Dr. ir. L.A. den Hartog
directeur PV

Inhoud

	pagina
Voorwoord	3
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en methoden	11
2.1 Stallen en afdelingen	11
2.2 Spoelen	12
2.2.1 Verdringingsstelsel	12
2.2.2 Vervangingsstelsel	14
2.2.3 Stelsel met hellende vloer	14
2.2.4 Bedrijfsvoering en procescontrole	15
2.3 Bereiding spoelwater	15
2.3.1 Scheiden	16
2.3.2 Beluchten	18
2.3.3 Bezinken	19
2.3.4 Bedrijfsvoering en procescontrole	19
2.4 Meetmethoden	20
2.4.1 Ammoniakemissie	20
2.4.2 Temperatuur en relatieve vochtigheid	21
2.4.3 Stikstof- en fosforbalans	21
2.4.4 Hokbevuiling	22
2.4.5 Technische resultaten	23
2.4.6 Bemonstering waterstromen	24
2.4.7 Chemische analyses	24
2.5 Proefschema	25
3 Resultaten en discussie	26
3.1 Technische ervaringen met spoelsystemen	26
3.2 Bereiding spoelwater	26
3.2.1 Scheiden	26
3.2.2 Beluchten	28
3.2.3 Nabezinken	33
3.2.4 Samenstelling waterstromen	33
3.3 Ammoniakemissie	34
3.3.1 Ammoniakemissieverloop over enkele dagen	34
3.3.2 Ammoniakemissie per mestronde	36
3.3.3 Ammoniakemissie per dierplaats	38
3.4 Hokbevuiling	39
3.5 Stikstof- en fosforbalans	41
3.6 Technische resultaten	42
3.7 Kosten	43

4 Conclusies en aanbevelingen	45
Summary	47
Literatuur	49
Bijlagen	51

Samenvatting

Op het Varkensproefbedrijf 'Zuid en West Nederland' te Sterksel is door het IMAG-DLO en het Proefstation voor de Varkenshouderij gedurende twee jaar onderzoek verricht naar de bereiding van spoelvoeistof uit vleesvarkensmest en naar het effect van spoelen van de mest uit de stal op de ammoniakemissie.

Spoelvoeistof werd bereid door de vleesvarkensmest te scheiden en vervolgens de dunne fractie te beluchten en het slib te laten bezinken. Het scheiden had tot doel zoveel mogelijk organisch materiaal uit de mest te verwijderen en te concentreren in de dikke fractie. Twee scheidingsapparaten werden getest: een zeefbocht en een trilzeef. De trilzeef bleek beter te voldoen dan de zeefbocht. Het beluchten had tot doel de in de dunne fractie aanwezige ammoniak biologisch om te zetten in nitraat. De nitrificatie vond plaats in een continuproces bij een slibbelasting van 2 - 8 g NH₄⁻N/kg.uur en een hydraulische verblijftijd van 1- 2 dagen. De ingestelde minimumzuurstofconcentratie in de beluchtingstank bedroeg 1mg/l. De procestemperatuur varieerde van 15 - 30 °C. Onder deze omstandigheden werd een volledige omzetting van ammoniak in nitraat verkregen.

Het energieverbruik voor beluchting bedroeg 58 kWh/dag. In de wintermaanden **werd de reactorinhoud bijverwarmd**. Hiervoor werd jaarlijks 820 m³ aardgas verbruikt.

De nabezinking van de beluchte voeistof vond plaats in een Dortmundtank. Het effect hiervan op het drogestofgehalte van de spoelvoeistof was echter zeer beperkt door de slechte bezinkeigenschappen van het slib. Het grootste deel van de proefperiode werd zonder nabezinking gewerkt. Het drogestofgehalte van de bereide spoelvoeistof bedroeg gemiddeld ca. 3%.

In het onderzoek werden drie verschillende spoelsystemen toegepast: het 'verdringings-systeem', het 'vervangingsysteem' en het systeem met hellende vloer. Bij de eerste twee systemen bevond zich voortdurend ca. 0,10 m spoelvoeistof in de mestkanalen, waarin de verse mest werd opgevangen; de voeistof **werd 2 - 4 keer per dag** ververst. Bij het systeem met hellende vloer liep de verse urine direct vanaf de hellende **vloer het mestkanaal in**. De **vaste mest werd 6 keer per dag** van de vloer gespoeld.

De drie spoelsystemen bleken als ontmestingsstelsel goed te functioneren. Het systeem met hellende vloer had als nadeel dat zich bij storing snel vaste mest in de mestkanalen ophoopte. In de loop van het onderzoek kwam hiervoor het vervangingsstelsel in de plaats. De spoelsystemen werden getest in vleesvarkensafdelingen met gedeeltelijk roostervloer en 80 dierplaatsen. Het effect van spoelen werd vastgesteld **door de ammoniakemissie** van de drie spoelafdelingen en van twee traditioneel uitgevoerde referentieafdelingen gedurende ruim twee jaar gelijktijdig te meten. Eén referentie-afdeling was uitgevoerd met gedeeltelijk roostervloer en één met volledig roostervloer.

De emissie werd bepaald als het produkt van de ammoniakconcentratie in de ventilatielucht en het ventilatiedebiet. Beide werden continu gemeten. De ammoniakconcentratie werd gemeten met een NO_x-monitor in combinatie met een NH₃-converter. Het ventilatiedebiet werd gemeten met meetventilatoren.

De ammoniakemissie van de referentie-afdeling met volledig roostervloer was met 3,1 kg

per dierplaats per jaar het hoogst; die van het vervangingssysteem met 1,3 kg per dierplaats per jaar het laagst. De emissiereductie van het vervangingssysteem ten opzicht van de referentie-afdeling met volledig roostervloer bedroeg 60%. De effectiviteit van het verdringingssysteem en het systeem met hellende vloer was geringer, met een reductie van resp. 55 en 50%. De ammoniakemissie werd sterk beïnvloed door hokbevuiling.

1 Inleiding

Ammoniak (NH₃) is, naast onder andere stikstofoxyde (NO_x) en zwaveldioxyde (SO₂), één van de verzurende componenten in het milieu. Ammoniak is verantwoordelijk voor ongeveer een derde deel van de totale jaarlijkse zure neerslag in Nederland. Regionaal is de zuurbelasting van de bodem onaanvaardbaar hoog. De veehouderij is de grootste bron van ammoniakemissie in Nederland. In 1988 werd met behulp van emissiefactoren de totale landelijke ammoniakemissie berekend op ca. 250 kton per jaar, waarvan ca. 225 kton afkomstig was uit de veehouderij (Hey en Schneider, 1990). Van de totale ammoniakemissie uit de veehouderij komt ca. 63% voor rekening van de rundveehouderij, ongeveer 23% voor de varkenshouderij; de rest is afkomstig uit de pluimveesector en andere veehouderijsectoren (Oudendag en Wijnands, 1989). Het overheidsbeleid is erop gericht om door middel van technische maatregelen een emissiereductie te bereiken van 70% in het jaar 2000 ten opzichte van 1980 (Ministeries LNV en VROM, 1989).

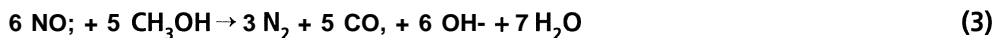
Ammoniak ontstaat door enzymatische omzetting van ureum die met de urine door de dieren wordt uitgescheiden. Emissie van ammoniak vindt plaats in de stal, tijdens opslag in mestkelder of mestsilo en bij toediening van de mest. Becijferd is dat ca. 40% van de ammoniakemissie uit varkensmest plaatsvindt uit stal en mestopslag en ca. 60% tijdens en na het toedienen. Afdekken van mestsilo's is, mits voor de juiste uitvoering wordt gekozen, een effectief middel om de emissie tijdens opslag te beperken (de Bode, 1991). Bij het toedienen op grasland kan een sterke emissiereductie worden verkregen door de mest te injecteren of zodebemesting toe te passen. Daarnaast kan onderwerken van mest op bouwland de emissie aanzienlijk beperken (Bussink *et al.*, 1990; Bruins, 1991). Ook de veevoeding is een aangrijpingspunt voor beperking van de emissie. Door verstrekking van een uitgebalanceerd rantsoen, dat past bij de behoefte van het dier, kan de uitscheiding van stikstof in de mest worden verminderd (Jongbloed, 1991).

Voor een overzicht van maatregelen en technieken om de NH₃-emissie uit varkensstallen terug te dringen, kan verwezen worden naar een inventarisatie van de Werkgroep Varkens van de Stuurgroep Emissie-arme Huisvestingssystemen (Verdoes, 1990). Hierin worden ruim 50 technieken en varianten, elk al dan niet als perspectiefrijk, beoordeeld. Uit deze inventarisatie blijkt dat de NH₃-emissie uit varkensstallen op veel manieren kan worden aangepakt. Van slechts enkele maatregelen zijn op dit moment (gunstige) resultaten bekend. Beperking van de emissie uit de stal is in principe mogelijk door frequente afvoer van de geproduceerde mest naar een gesloten opslagruimte. Gezien de snelheid waarmee ureum in ammoniak wordt omgezet (onder gemiddelde omstandigheden in een mestkelder bedraagt de halfwaardetijd van ureum ca. 7 uur (Elzing *et al.*, 1992)) dient de mest meerdere keren per dag volledig afgevoerd te worden om voldoende effect op de emissie te sorteren. Bij de gangbare ontmestingsystemen op varkensbedrijven is frequente en volledige mestafvoer praktisch niet haalbaar. Snelle en volledige mestafvoer is wel mogelijk indien de mest uit de stal wordt gespoeld. Dit wordt in Italië en de Verenigde Staten op een groot aantal bedrijven toegepast, zij het niet met het doel de emissie uit de stal te verminderen, maar als ontmestingsstelsel. Doorgaans wordt in deze landen water als spoelwater gebruikt.

Het Proefstation voor de Varkenshouderij en het IMAG-DLO hebben in een gezamenlijk project onderzoek gedaan naar de toepassing van spoelsystemen, waarbij ammoniakvrije dunne mest als spoelvoelstof werd gebruikt. In het bereidingsproces van de spoelvoelstof speelt nitrificatie een belangrijke **rol. Hierbij wordt de** in de dunne mest aanwezige ammoniak onder toevoer van zuurstof door beluchting in nitraat omgezet volgens de reacties:



In eerste instantie wordt uit ammoniak nitriet (NO_2^-) gevormd. Nitriet wordt vervolgens verder geoxydeerd tot nitraat (NO_3^-), mits voldoende zuurstof aanwezig is. Indien aan deze voorwaarde niet wordt voldaan, bijvoorbeeld wanneer de beluchting wordt stopgezet, dan treedt denitrificatie op. Volledige denitrificatie van nitraat (met methanol als koolstofbron) kan met de volgende reactievergelijking worden weergegeven:



De snelheid waarmee het nitrificatieproces verloopt, wordt sterk beïnvloed door de temperatuur (Willers et al., 1993). Verder is de processnelheid afhankelijk van de concentraties aan ammoniak en nitriet in de reactor (Anthonisen et al., 1976). Hoge concentraties werken procesremmend. Dit betekent o.a. dat de ammoniaktoevoer naar de beluchtingstank afgestemd moet zijn op de omzettingssnelheid tot nitraat.

De belangrijkste doelstelling van het project was een mestbehandelingsmethode te ontwikkelen om de ammoniakemissie uit de stal te beperken, met als voorwaarde dat vervolgens bij opslag en toediening van de mest geen emissiebeperkende maatregelen nodig zouden zijn. Als tweede voorwaarde werd gesteld dat de mestbehandeling de kwaliteit van de mest, die van het bedrijf afgevoerd moest worden, niet negatief mocht beïnvloeden en zo mogelijk diende te verbeteren.

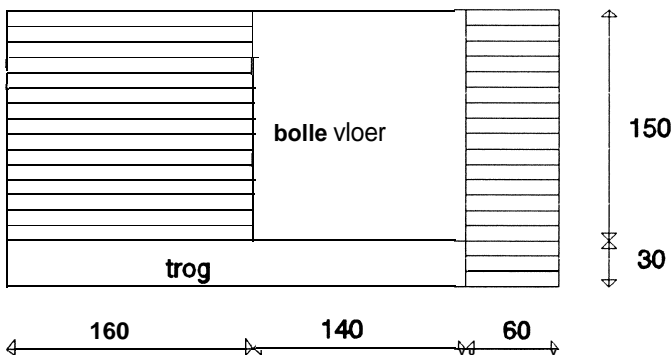
Dit rapport beschrijft de technische ervaringen met drie verschillende spoelsystemen en een methode om spoelvoelstof uit de mest te bereiden. Tevens wordt het effect van de mestbehandeling op de ammoniakemissie uit de stal beschreven. Er wordt ingegaan op de invloed van de spoelfrequentie, de hoeveelheid spoelvoelstof, het roostertype, de hokbevuiling en het seizoen (buitentemperatuur) op de ammoniakemissie. Ook wordt een kostenanalyse gegeven.

2 Materiaal en methoden

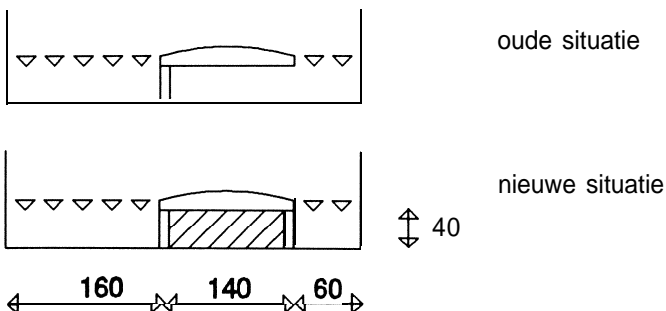
2.1 Stallen en afdelingen

Het onderzoek werd in twee vleesvarkensstallen op het Varkensproefbedrijf 'Zuid en West Nederland' in Sterksel in de jaren 1988 tot 1991 uitgevoerd. In de ene stal bevonden zich 4 afdelingen: 3 afdelingen waarin werd gespoeld en een referentie-afdeling. De spoelafdelingen waren uitgevoerd met een gedeeltelijk roostervloer en 0,40 m diepe mest/spoelkanalen onder de roosters. De referentie-afdeling was uitgevoerd met een volledig roostervloer en een 1,2 m diepe mestkelder met een opslagcapaciteit voor ca. 6 maanden. In de andere stal bevond zich een tweede referentie-afdeling die was uitgevoerd met een gedeeltelijk roostervloer. Deze afdeling was eveneens geheel onderkelderd met een 0,40 m diepe kelder.

De vijf onderzoekafdelingen hadden een centraal voerpad en twee rijen van 5 hokken. De hokken hadden afmetingen van 1,80 m bij 3,60 m (figuur 1). Alle afdelingen waren voorzien van een 0,9 m breed voerpad. Er werden betonnen roosters toegepast met een



Figuur 1 Afmetingen en inrichting van de vleesvarkenshokken met gedeeltelijk roostervloer (cm).
Figure 1 Measures and layout of the pig pens with partly slatted floor (cm).



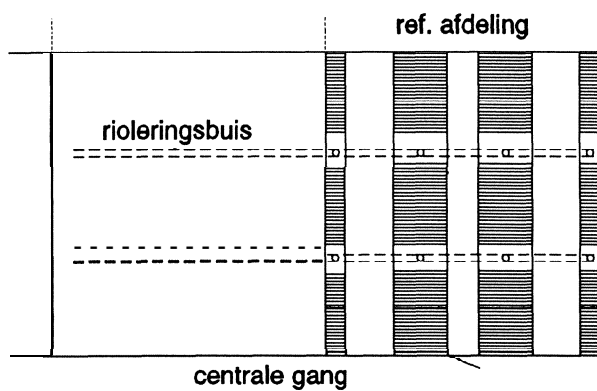
Figuur 2 Doorsnede van de referentie-afdeling met gedeeltelijk roostervloer, voor en na de aanpassing (cm).
Figure 2 Cross section of the control unit with partly slatted floor, before and after the adaptation (cm).

balkbreedte van 100 mm en een spleetbreedte van 20 mm. De bolle vloeren waren uitgerust met vloerverwarming.

In de loop van het onderzoek werd de referentie-afdeling met gedeeltelijk roostervloer identiek aan de spoelafdelingen, nl. met alleen mestkanalen onder de roosters (figuur 2). Van één spoelafdeling werden de betonnen roosters vervangen door metalen driekant-roosters.

Alle afdelingen werden mechanisch geventileerd met indirecte luchtinlaat via de centrale gang. De inlaat van ventilatielucht naar de afdelingen vond plaats via mineraalwol-ventilatieplafonds. De inkomende lucht werd in de centrale gang voorverwarmd.

De mest uit de referentie-afdeling met gedeeltelijk roostervloer werd eenmaal per twee weken via rioleringsbuizen afgevoerd. De twee rioleringsbuizen lagen in de lengterichting onder de stal. Elk mestkanaal was voorzien van twee afvoerpunten (figuur 3).



Figuur 3 Ligging van de rioleringsbuizen in de referentie-afdeling met gedeeltelijk roostervloer.
Figure 3 Position of the drain pipes in the control unit with partly slatted floor.

Per afdeling konden 80 varkens worden gehuisvest. De dieren werden driemaal daags, om 7.30 uur, 15.00 uur en 23.00 uur, gevoerd met brijvoer in troggen. De brijvoerinstallatie was restloos voerend en volledig geautomatiseerd.

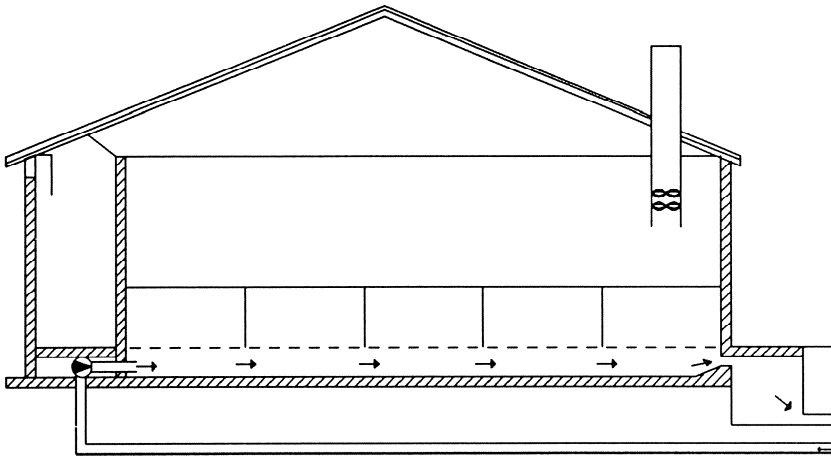
2.2 Spoelen

In het onderzoek werden drie verschillende spoelsystemen toegepast:

- (1) het verdringingssysteem;
- (2) het vervangingssysteem;
- (3) het systeem met hellende vloer.

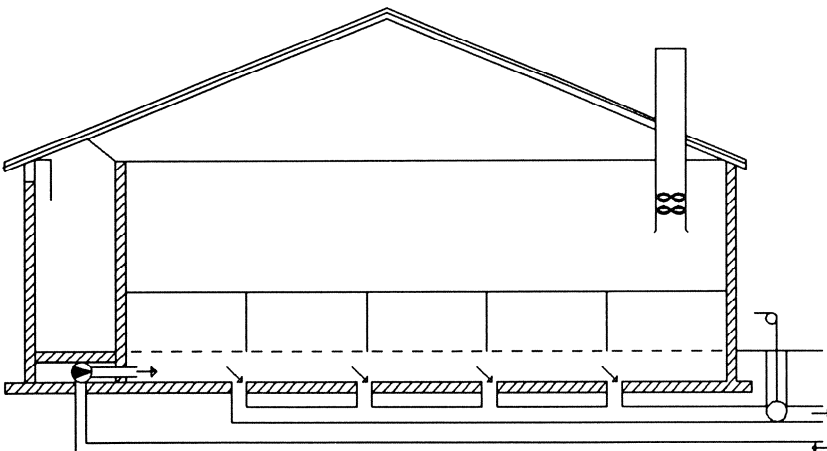
2.2.1 Verdringingssysteem (spoelsysteem 1)

Bij dit systeem was op de vlakke keldervloer een laag van ca. 0,10 m spoelvloeistof aanwezig. Een drempel aan het einde van de mestkanalen zorgde ervoor dat de vloeistof niet kon wegstromen. Figuur 4 toont een doorsnede van het verdringingssysteem.

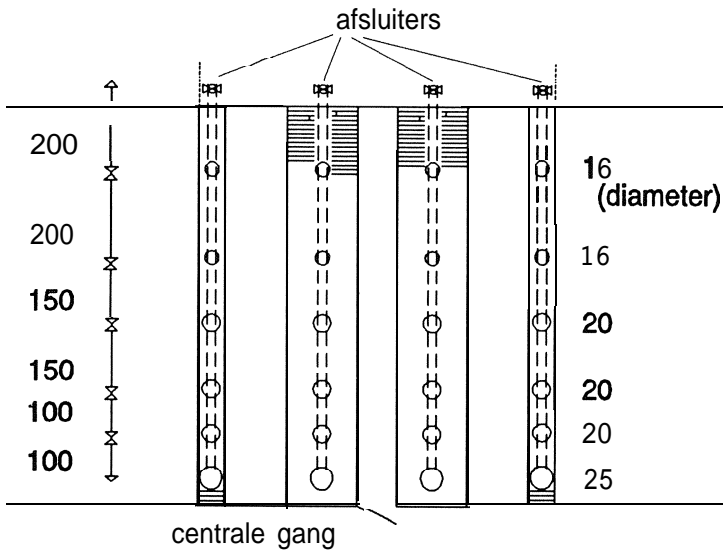


Figuur 4 Doorsnede van de afdeling met het verdringingsstelsel.
Figure 4 Section of the unit with the push-out system.

Bij iedere spoelbeurt werden de twee spoelkanalen onder de roosters na elkaar gespoeld om een zo groot mogelijke spoelkracht te verkrijgen. De spoelkracht werd tevens vergroot door het brede spoelkanaal in tweeën te verdelen d.m.v. een muurtje in de lengterichting van het kanaal. De verse spoelwater stuwde de aanwezige water, met hierin de geproduceerde mest, over de drempel heen uit de kanalen, terwijl een laag van ca. 0,10 m verse spoelwater ($\pm 4 \text{ m}^3$) achterbleef. Er trad daardoor enige vermenging op van de aanwezige en de verse spoelwater. De gebruikte spoelpomp had een capaciteit van $60 \text{ m}^3/\text{h}$ bij een vermogen van 10 kW. Per spoelbeurt werd ca. 7 m^3 spoelwater gebruikt; 1 m^3 in de beide smalle kanalen en $2,5 \text{ m}^3$ in de beide brede kanalen. Het aantal spoelbeurten varieerde van 1 tot 4 per dag.



Figuur 5 Doorsnede van de afdeling met het vervangingsstelsel.
Figure 5 Section of the unit with the replacement system.



Figuur 6 Wijze van aanleg van het IC-Vacumest systeem (cm).
Figure 6 Setting of the IC slurry removal system (cm).

2.2.2 Vervangingsysteem (spoelsysteem 2)

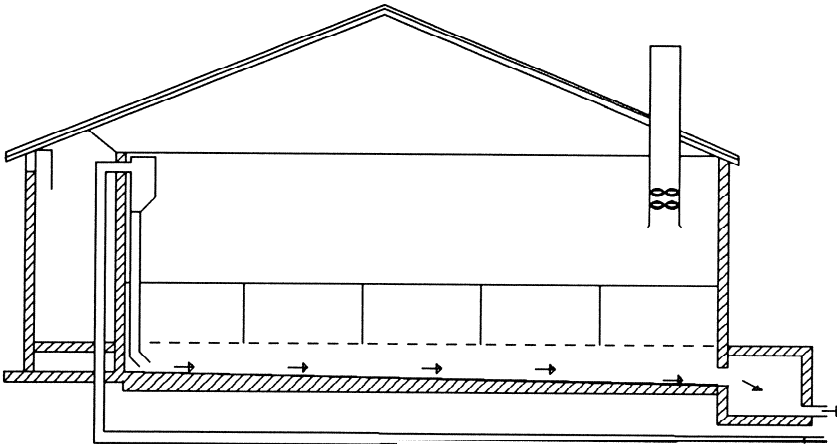
Sij dit systeem was ook continu een laag van 0,10 m spoelvloeistof in de spoelkanalen aanwezig. De mestafvoer vond plaats via het zgn. IC-Vacumest systeem. Figuur 5 toont een doorsnede van de afdeling met het vervangingsysteem.

Onder elk spoelkanaal lag een rioleringsbuis onder een afschot van 3‰, uitgerust met meerdere afvoeropeningen en aan het einde een afsluiter, die door middel van een luchtcilinder werd bediend. De diameter van de afvoeropeningen werd naar de afsluiter toe steeds kleiner en de afstand tussen de afvoeropeningen groter, zodat het mestniveau in het mestkanaal gelijkmatig zakte en een vacuümwerking ontstond (figuur 6). Dit uitmeststelsel wordt gedetailleerd beschreven door Thelosen *et al.* (1993). Als de afsluiter geopend werd, liep de aanwezige vloeistof met daarin de geproduceerde mest via een centrale afvoerleiding naar een buffertank. De keldervloer was direct daarna nagenoeg schoon. Na het afsluiten van de buizen werd een laag verse spoelvloeistof in de mestkanalen gelaten. Het vloeistofniveau werd met niveauvoelers gecontroleerd. Per speelbeurt werd ca. 5 m³ spoelvloeistof gebruikt. Het aantal speelbeurten bedroeg 1 tot 4 per dag.

2.2.3 Systeem met hellende vloer (spoelsysteem 3)

De vloeren van de spoelkanalen hadden een helling van 1,5%. De gier liep direct weg en de vaste mest werd uit de kanalen gespoeld met behulp van spoelvloeistof uit stortbakken. Ter vergroting van de spoelkracht waren ook hier de brede spoelkanalen in tweeën verdeeld, zoals bij het verdringingsstelsel. Figuur 7 toont een doorsnede van de afdeling met het systeem met hellende vloer.

De stortbakken bevonden zich aanvankelijk boven het ventilatieplafond, maar werden



Figuur 7 Doorsnede van de afdeling met het systeem met hellende vloer.

Figure 7 Section of the unit with the sloped floor.

vervolgens onder het ventilatieplafond (zo hoog mogelijk) tegen de muur in de afdeling gemonteerd. De uitloopopeningen werden verbreed van 77 tot 250 mm diameter. De stortbakken werden gevuld met een pompje vanuit een voorraadput onder de centrale gang. Het pompje (debiet $10 \text{ m}^3/\text{h}$) werd met een tijd klok geschakeld. De bakken waren zo geconstrueerd dat ze bij een bepaald vloeistofniveau leegstortten. De spoelfrequentie bedroeg 6 keer per dag. Per spoelbeurt werd $1,25 \text{ m}^3$ vloeistof gebruikt; 400 l per breed mestkanaal en 225 l per smal kanaal.

In een later stadium van het onderzoek werd spoelsysteem 3 vervangen door spoelsysteem 2. In het proefschema onder 2.5 worden ze respectievelijk 'vervanging I' en 'vervanging II' genoemd.

2.2.4 Bedrijfsvoering en procescontrole

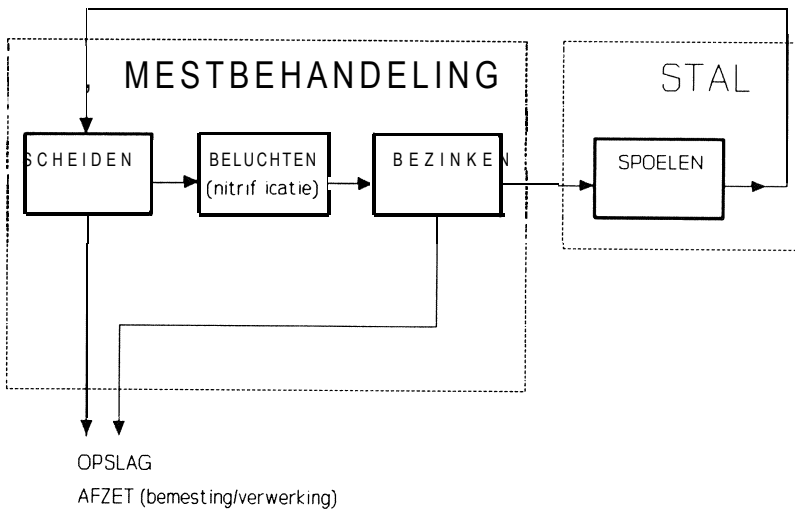
Om in de tijd een continu-aanbod van ammonium naar de mestbehandelingsinstallatie te krijgen, werden de dieren in de drie spoelafdelingen in eerste instantie gespreid opgelegd. In een later stadium werd zoveel mogelijk gelijktijdig opgelegd om de afdelingen beter met elkaar te kunnen vergelijken.

De spoelbeurten waren zoveel mogelijk over de dag gespreid ten behoeve van de continuïteit van het behandelingsproces.

Het spoelen van de afdelinaen aebeurde geheel automatisch. Met tijd klokken werd het gewenste tijdstip, de tijdsduur van het spoelen en de spoelfrequentie geregeld. Sturing van de laagdikte van de spoelvloeistof in de mestkanalen gebeurde d.m.v. niveauregelaars. Het spoelen werd beveiligd door een aantal alarmschakelaars.

2.3 Bereiding spoelvloeistof

De spoelvloeistof werd uit de dunne mest bereid via mechanische scheiding en beluchting, eventueel gevolgd door bezinking. In figuur 8 is het processchema weergegeven.



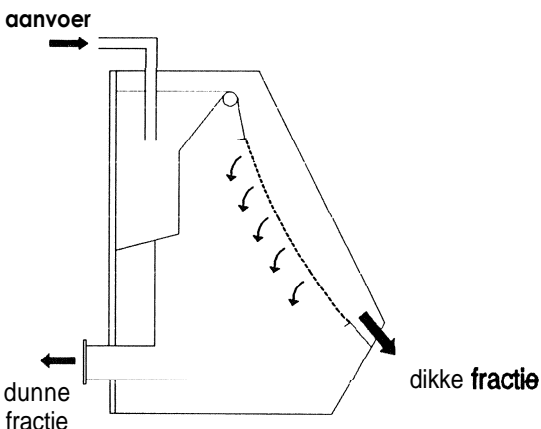
Figuur 8 Schema van de bereiding van spoelvoestof.
Figure 8 Flow chart of the preparation of flushing liquid.

2.3.1 Scheiden

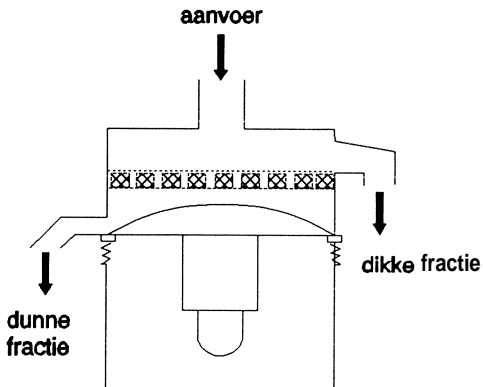
De te scheiden vloeistof die uit de stal werd gespoeld, bestond uit een mengsel van verse mest en spoelvoestof, in de verhouding van ca. 1:25. Het scheiden van deze vloeistof had tot doel zoveel mogelijk organisch materiaal uit de vloeistof te verwijderen en dit te concentreren in de dikke fractie, met als randvoorwaarde dat het totale vloeistofvolume in het systeem constant bleef. In het onderzoek werden twee scheidingsapparaten achtereenvolgens gebruikt, n.l. een zeefbocht en een trilzeef.

Zeefbocht

De zeefbocht bestond uit een verticaal opgestelde (hyperbolisch) gebogen zeef. De zeef



Figuur 9 Schematische weergave van de zeefbocht.
Figure 9 Diagram of the inclined screen.



Figuur 10 Schematische weergave van de trilzeef.

Figure 10 Diagram of the vibrating screen.

was samengesteld uit horizontaal geplaatste driehoekige stripjes met een onderlinge afstand van 0,5 mm. De helling van de zeefbocht kon worden gevarieerd. De te scheiden vloeistof werd via een overlopende voorraadbak over de zeef gepompt. Figuur 9 toont een schematische weergave van de zeefbocht.

Trilzeef

De gebruikte trilzeef (figuur 10) bestond uit een horizontaal opgestelde, ronde zeef die in trilling werd gebracht door middel van een elektromotor (0,35 kW), uitgerust met een as met twee gewichten in excentrische positie. Door de positie ten opzichte van elkaar en de massa van de gewichten te variëren, kon het trillingspatroon (frequentie en amplitude) worden ingesteld. De trilzeef had een diameter van 800 mm. De te scheiden vloeistof werd midden op de zeef gepompt. Het zeefdek was uitwisselbaar. In dit onderzoek werd met een maaswijdte van 0,210 mm gewerkt. Een aantal kortdurende tests werden uitgevoerd met maaswijdten van 0,177, 0,290 en 0,410 mm. Met de 0,177 mm zeef werden slechts enkele tests gedaan. Met de andere maaswijdten werden gedurende testperioden van enkele weken dagelijks metingen gedaan.

Tegen de onderkant van het zeefdek bevonden zich, opgesloten tussen het zeefdek en een ondersteunende plaat, 75 kunststof ringen (Ø 50 mm, hoogte 25 mm) die vrij bewogen door de trilling van de motor. Varkensharen die door de zeef staken, werden hierdoor afgesneden.

Het scheidingsrendement van de zeefbocht en de trilzeef, op basis van droge stof, werd berekend met de volgende formule:

$$R = \left(1 - \frac{C_d * M_d}{C_i * M_i}\right) * 100 \quad (4)$$

waarin: R = scheidingsrendement (%)

C_d = drogestofgehalte in de dikke fractie (g/kg)

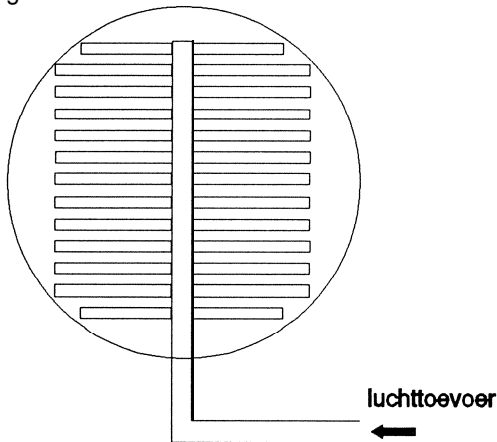
M_d = massa van de dikke fractie (kg)

C_i = drogestofgehalte in het influent (g/kg)

M_i = massa van het influent (kg)

2.3.2 Beluchten

Het doel van de beluchting was volledige nitrificatie van ammonium. Het nitrificatieproces vond plaats in een open stalen tank ($\varnothing 3,7$ m) met een volume van 40 m^3 . De luchttoevoer gebeurde met een roots blower ($5,5$ kW) met een capaciteit van 130 m^3 lucht per uur. Het luchtdebiet was traploos instelbaar d.m.v. een frequentieregelaar. De lucht werd over de bodem van de tank verdeeld door 32 van PVC-buizen ($\varnothing 70$ mm, lengte $0,75$ m) gemaakte verdeelelementen, die waren voorzien van nauwe sleuven aan de onderzijde. De buizen waren omhuld met geperforeerde rubberen manchetten. In figuur 11 is de positie van de luchtverdeelelementen op de bodem van de beluchtingstank weergegeven.



Figuur 11 Luchtverdeelelementen in beluchtingstank (bovenaanzicht).

Figure 11 Air distribution elements in the aeration tank (top view).

Verwarming

De binnenwand van de beluchtingstank was voorzien van ethyleenverwarmingsslang, aangesloten op een CV-ketel. De ingestelde minimumprocestemperatuur bedroeg $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Verwerkingscapaciteit

Uitgaande van een actiefslibgehalte van 10 g per l tankinhoud en een nitrificatiesnelheid van $1-2$ g $\text{NH}_4^+\text{-N}$ per kg slib per uur, bedroeg de verwerkingscapaciteit van de reactor $4,8-9,6$ kg N per dag. Een vleesvarken produceert dagelijks gemiddeld ca. $3,8$ kg mengmest met een $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -gehalte van 5000 mg/kg. De totale $\text{NH}_4^+\text{-N}$ productie van de 240 dieren in de spoelafdelingen bedroeg ca. $4,6$ kg per dag. De reactor was dus overgedimensioneerd.

Opstart

Voor het opstarten van het beluchtingsproces in december 1988 werd 40 m^3 nitrificerend slib ($14,6$ g volatile suspended solids (vss) per liter; pH $8,6$) uit de kalvergiervoorzuiveringsinstallatie te Elspeet aangevoerd. Om de benodigde voorraad spoelvoerstof aan te maken werd als voeding (substraat) dagelijks $1-3\text{ m}^3$ bezonken zeugegier gebruikt. De samenstelling van het substraat is gegeven in tabel 1.

Tabel 1 Samenstelling van het substraat dat werd gebruikt bij het opstarten van het beluchtingsproces.

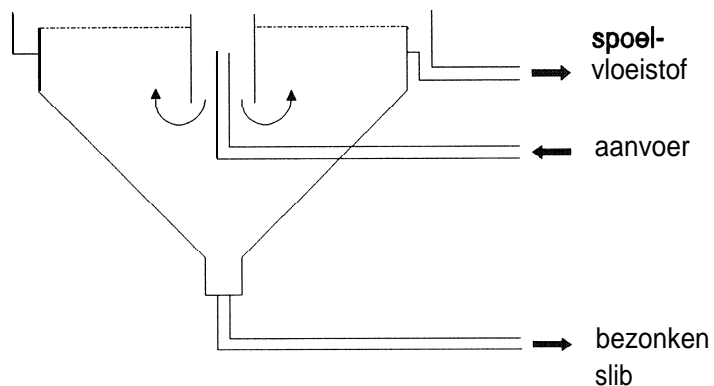
Table 1 Composition of the substrate used for the start up of the aeration process.

Droge stof	(g/kg)	12
Chemisch zuurstofverbruik	(mg/l)	8900
Kjeldahl-stikstof	(mg/kg)	2100
Ammoniumstikstof	(mg/kg)	1650
pH		7,8

Het beluchtingsproces werd na 11 maanden stilgelegd in verband met een lek in het beluchtingssysteem en verstopping van een aantal beluchtingselementen. De reactor werd geleegd en enkele beluchtingselementen werden vervangen. Na 8 dagen werd de reactor weer gevuld met 25 m³ slib dat was bewaard en 15m³ vloeistof uit de stal, die voor ongeveer de helft uit mest bestond.

2.3.3 Bezinken

Gedurende een deel van de proefperiode werd, na de beluchting, slibbezinking met slibretournering toegepast. Een deel van het bezonken slib werd afgescheiden en uit het proces verwijderd. Dit gebeurde via een aftappunt in de slibretourleiding. De bezinking vond plaats in een Dortmundtank met een inhoud van 6 m³ en een bezinkoppervlak van 5,4m². In figuur 12 is een doorsnede van deze tank weergegeven,



Figuur 12 Doorsnede van de bezinktank (Dortmundtank).

Figure 72 Section of the settling tank (Dortmund tank).

2.3.4 Bedrijfsvoering en procescontrole

De dunne mest die bij iedere spoelbeurt uit de stal vrijkwam, werd via een voorraadtank direct over de scheider gepompt. De dikke fractie werd afgevoerd naar een opslagsilo. De dunne fractie werd opgevangen in een voorraadtank, van waaruit de beluchtingstank continu werd gevoed. Het voedingsdebiet was afhankelijk van de spoelfrequentie in de stal. Via twee overlooppijpen stroomde het effluent over naar de nabezinker of direct naar de voorraadtank voor de spoelvloeistof. De luchtinbreng werd afgestemd op een

zuurstofdeficiet in de reactor dat afhankelijk was van de gewenste (ingestelde) zuurstofconcentratie (3 mg/l). Als er geen zuurstofvraag was (blower buiten werking) werd de vloeistof langs de zuurstofelektrode in beweging gehouden d.m.v. een kleine propellerroerder. De elektrode was onderaan een bol bevestigd en dreef daardoor op ca. 0,20 m onder het vloeistofoppervlak in de beluchtingstank.

De zuurstofconcentratie en de pH van de reactorinhoud werden continu gemeten. Dagelijks werden de concentraties ammonium, nitriet en nitraat handmatig met kleurstrookjes (Merck) bepaald. Alle voorraadtanks waren voorzien van sensoren voor het minimum- en maximumvloeistofniveau. Ter beheersing van de schuimontwikkeling in de reactor werd een antischuimmiddel toegevoegd.

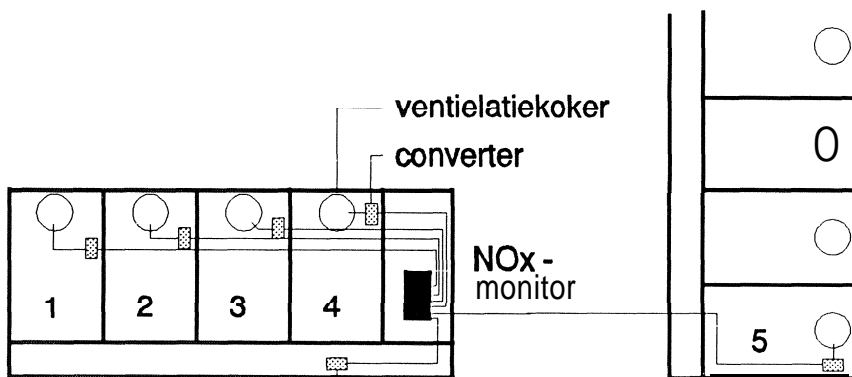
2.4 Meetmethoden

2.4.1 Ammoniakemissie

De ammoniakemissie wordt berekend als het produkt van de ammoniakconcentratie in de ventilatielucht en het ventilatiedebiet. Beide worden continu gemeten.

Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie werd gemeten met een NO_x-monitor (Monitor Labs Model ML 8840) in combinatie met een NH₃-converter (tot 1990 Model ML 8750; na 1990 eigen ontwerp van roestvast staal 316). Het meetprincipe berust op de chemiluminescentiereactie van NO met ozon onder vorming van NO₂ en O₂, waarbij fotonen worden uitgezonden. Het aantal fotonen is een maat voor de NO-concentratie en dus voor de NH₃-concentratie. Het werkingsprincipe van de NO_x-monitor is beschreven door Scholtens (1990). De omzetting van NH₃ in NO in de converter vond plaats bij een temperatuur van ca. 750 °C. De converters waren aanvankelijk buiten de afdelingen in de centrale gang



- afd. 1 verdringingssysteem*
- afd. 2 vervangingssysteem*
- afd. 3 systeem met hellende vloer*
- afd. 4 volledig rooster (ref.)*
- afd. 5 gedeeltelijk rooster (ref.)*

Figuur 13 Situatieschets van de onderzoekafdelingen met de NH₃-meetopstelling.

Figure 13 Overview of the experimental units and the position of the equipment for measuring NH₃ emission.

van de stal geplaatst. In de loop van het onderzoek werden deze zo dicht mogelijk bij de monsternamenpunten in de ventilatiekokers geplaatst. Dit om te voorkomen dat ammoniak zich aan de wand van de transportleidingen zou hechtenen/of zou oplossen in condens, waardoor een meetfout zou kunnen ontstaan (Van Ouwwerker, 1993). De ventilatielucht werd door verwarmde leidingen (FEP-Teflon) naar de monitor gezogen. Figuur 13 geeft een situatieschets van de twee stalgebouwen met de vijf onderzoekafdelingen en de meetopstelling.

Ven tila tiedebiet

Van iedere stalafdeling werd de hoeveelheid uitgaande ventilatielucht gemeten met een meetventilator die onder de stalventilator (Fancom FM 1450) in de ventilatiekoker was geplaatst. Deze meetventilator was een groot formaat anemometer met dezelfde diameter als de stalventilator. Het frequentiesignaal van de meetventilator werd omgezet in een voltsignaal, waaruit het ventilatiedebiet werd berekend. De ijking van meetventilatoren werd uitgevoerd met behulp van een windtunnel volgens NEN 1048-11.

Gegevensverwerking

Uit de meetwaarden werden uurgemiddelde en daggemiddelde emissies berekend. De uurgemiddelde emissies werden gebruikt om het verloop van de emissie over korte perioden (dagen) weer te geven; de daggemiddelde emissies om het verloop over de mestronden en de totale meetperiode weer te geven. Verder werden de cumulatieve emissies per mestrondte en over de totale meetperiode berekend.

2.4.2 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

De temperatuur en in mindere mate de relatieve luchtvochtigheid zijn factoren die de ammoniakemissie uit de stal beïnvloeden. Van zowel stallucht als buitenlucht (vanaf mestrondte 5) werden de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten met sensoren van Rotronic (Hygromer, L-100). De sensoren waren op een hoogte van ca. 1,5 m centraal in de afdelingen geplaatst. De voeler voor de buitenluchtmeting bevond zich aan de buitenmuur van de stal in de schaduw.

2.4.3 Stikstof- en fosforbalans

Aanvoer van stikstof naar een varkensstal vindt hoofdzakelijk plaats via het voer. Via de inkomende ventilatielucht komt een geringe hoeveelheid stikstof de stal binnen. Stikstof wordt afgevoerd via vastlegging (retentie) door de dieren, via de mest en via de uitgaande ventilatielucht (emissie). Aanvoer van fosfor vindt uitsluitend plaats via het voer. Afvoer van fosfor gebeurt door vastlegging door de dieren en via de mest. Via het opstellen van de N-balans zou de emissie uit de stal berekend kunnen worden. Het opstellen van de P-balans dient als controle.

De stikstofbalans kan als volgt worden weergegeven:

$$N_{\text{voer}} = N_{\text{vastgelegd in dier}} + N_{\text{mest}} + N_{\text{emissie}} \quad (5)$$

De fosforbalans is weer te geven als:

$$P_{\text{voer}} = P_{\text{vastgelegd in dier}} + P_{\text{mest}} \quad (6)$$

De stikstof- en fosforbalans werden opgesteld van de referentie-afdeling met volledig roostervloer over de laatste twee mestronden (6 en 8) waarvan de NH_3 -emissie is gemeten. Gezien de lage stikstofconcentratie in de inkomende stallucht (gemiddeld 0,1 ppm) is deze niet in de balans opgenomen. De verschillende N- en P-stromen werden als volgt vastgestelde.

Voer

De hoeveelheden verstrekt startvoer en afmestvoer werden door een computergestuurde voerinstallatie geregistreerd. Bemonstering van de droge voerkruimel (start- en afmestvoer afzonderlijk) gebeurde **om de één à twee weken**. Elke maand werd een mengmonster gemaakt en geanalyseerd.

Vastlegging in dier

Bij het opleggen werd het totaalgewicht van de dieren gemeten, Na het afleveren werd op de slachterij het geslacht gewicht bepaald. Er bestaat een vrijwel vaste factor van 1,3 tussen het aflevergewicht en het geslacht gewicht. Gerekend is met gemiddelde gehalten van 2,32% N en 0,5% P in het varkensvlees (opgave PV en IVVO-DLO).

Mest

Vóór het opleggen van de dieren werd de mestkelder zo goed mogelijk leeggemaakt. Er bleef een laag van ca. 0,10 m mest in de kelder achter. Ma afleveren van de dieren en reinigen van de stal werd de mest op diverse plaatsen in de kelder, gespreid over het hele mestoppervlak, bemonsterd met behulp van een monsterbuis. De onderste 0,10 m werd hierbij niet meegenomen. Per stalhelft werd een mengmonster gemaakt en geanalyseerd. De mest werd tevens bemonsterd tijdens het leegzuigen van de mestkelders. Hierbij werden tijdens het zuigen 5 monsters uit de zuigleiding genomen en gemengd tot één mengmonster. Het mestvolume (inclusief reinigingswater) werd eveneens gemeten. De hoeveelheid N en P in de mest werd berekend op basis van de gehalten van alle mengmonsters.

2.4.4 *Hokbevuiling*

Verschillen in NH_3 -emissie tussen afdelingen kunnen, behalve door het spoelsysteem, ook **door andere factoren veroorzaakt worden**. Een daarvan is hokbevuiling, die afhankelijk is van het vloertype en sterk wordt beïnvloed door de staltemperatuur. Om de invloed van het seizoen en het vloertype op de hokbevuiling vast te stellen, werd van afdeling 1, 2 en 5 gedurende een winter- en een zomerperiode, van beide referentie-afdelingen gedurende één mestronde en van afdeling 1 gedurende één mestronde vóór en twee ronden ná vervanging van de betonnen roosters door metalen driekantroosters de hokbevuiling gemeten. De mate van hokbevuiling werd tweemaal per week vastgelegd.

De verschillende afdelingen werden daartoe per hok beoordeeld op bevuilding van:

- het rooster voor;
- de dichte vloer;
- het rooster achter;
- de dieren.

Ook werd genoteerd of er sprake was van diarree bij de dieren. De beoordelingen zijn binnen een ronde steeds door dezelfde persoon uitgevoerd. De mate van bevuilding werd weergegeven door per hokgedeelte een score te geven van 0 t/m 5, waarbij de waardering 0 betekent dat er geen bevuilding was en de waardering 5 een zeer ernstige bevuilding. Vóór april 1990 werden de scores 0 t/m 3 gebruikt. Bij het toekennen van een score zijn de volgende beoordelingscriteria gehanteerd:

- grootte van de mestplek;
- versheid (natheid) van de mestplek;
- natheid van de roosters.

Bij het omrekenen van de scores per hok naar een score per afdeling werd gebruikgemaakt van wegingsfactoren, volgens de formule:

$$\text{Bevuilding afdeling} = (5 * RV + 10 * DV + 3 * RA + 2 * D) / 20 \quad (7)$$

waarin: RV = bevuilding rooster voor (breed rooster)

DV = bevuilding dichte vloer (liggedeelte)

RA = bevuilding rooster achter (noodrooster)

D = bevuilding dieren

Bij de beoordeling van hokken met volledig roostervloer werd de vloer in drie sectoren verdeeld, zoals bij gedeeltelijk roostervloeren en werd voor de middelste sector dezelfde wegingsfactor gebruikt als voor de dichte vloer.

2.4.5 Technische resultaten

De volgende produktietechnische resultaten en gezondheidsparameters van de dieren werden op het proefbedrijf standaard vastgelegd: dieraantallen, begingewicht, duur mestrond, voeropname, aantal gestorven dieren en oorzaken van sterfte. De slachterij leverde de volgende kengetallen: geslacht gewicht, vleespercentage en long- en leverafwijkingen. Het eindgewicht werd berekend als 1,3 maal het geslacht gewicht (zie 2.4.3). Hieruit werden ondermeer de groei en de voederconversie op hokniveau berekend. De totale EW-opname werd berekend volgens de formule:

$$\text{EW-totaal} = \text{voergift totaal} * 1,03 \quad (8)$$

Hierbij werd geen rekening gehouden met de hoeveelheden van verschillende voersoorten. Na het slachten werden de dieren geclassificeerd op spekdikte en op type (beveleedheid). Voor deze laatste parameter gelden 4 klassen: AA (best), A, B en C (slechtst). In de loop van het onderzoek werd de beoordeling op spekdikte door de slachterij vervangen door de beoordeling op percentage mager vlees.

Op de variabelen 'classificatie' en 'long/leverafwijkingen' werd een statistische analyse uitgevoerd volgens de drempelmethode voor een multifunctionele verdeling, beschreven door Mac Cullagh (1980). De overige variabelen werden statistisch geanalyseerd met behulp van variantie-analyse.

2.4.6 Bemonstering vloeistofstromen

Voor het bemonsteren van de verschillende vloeistofstromen werd gebruikgemaakt van monsterkranen in de vloeistofleidingen. De vloeistof uit de stal werd in de toevoerleiding naar het scheidingsapparaat bemonsterd, nadat de vloeistof twee buffertanks was gepasseerd. Enige vermenging van vloeistof van verschillende spoelbeurten was op deze wijze onvermijdelijk. Voorzover bemonstering van de vloeistof van uitsluitend één spoelbeurt gewenst was, werd bemonsterd bij de instroomopening van de buffertank bij de stal. De afgescheiden dikke fractie werd bemonsterd in een opvangput onder het scheidingsapparaat, of in een opvangbak, die ook werd gebruikt voor het meten van het volume. De inhoud van de beluchtingstank werd bemonsterd via een monsterkraan in de tankwand.

De frequentie waarmee de verschillende vloeistofstromen werden bemonsterd varieerde van enkele keren per uur tot één keer per maand, afhankelijk van het doel van de analyse.

2.4.7 Chemische analyses

Vloeistofmonsters

De chemische analyse van de vloeistofmonsters werd voor het merendeel uitgevoerd op het Milieulaboratorium van het IMAG-DLO. Droge stof en organische stof werden soms op de proeflocatie bepaald. De monsters voor analyse op ammonium, nitriet en nitraat

Wijziging	Afdeling	Mestronden							
		1	2	3	4	5	6	7	8
uitvoering	referentie GR	geheel onderkelderd			mestkanalen				
mestkanaal	hellende vloer	hellend				vervanging			
spoelbakken	hellende vloer	boven plafond			onder plafond				
spoelfrequentie per dag	verdringing	2 - 4		2		1	2	1 - 2	
	vervanging I	2 - 4		2		1	2	1	
	vervanging II						1		1 - 2
loagdik te	verdringing	10 cm							
	vervanging I	10 cm			10-5 cm		10 cm		
	vervanging II						10 cm		
roostertype	verdringing	beton				metaal			
mestscheider		zeefbocht		trilzeef					
nabezinken		in Dortmundtank			in beluchtingsvat				
NH3-mee tci jfers		nee	ja				nee		ja

Figuur 14 Overzicht van wijzigingen tijdens de proefperiode.

Figure 14 Overview of changes during the experimental period.

werden direct na monsternamen gecentrifugeerd. **De** monsters werden tot het moment **van** analyse gekoeld (ca. 4 °C) bewaard. Tijdens transport van de proeflocatie naar het IMAG-DLO werd gebruikgemaakt van een koelbox.

De volgende bepalingen werden volgens standaardmethoden van het Nederlands Normalisatie-instituut (1988) uitgevoerd: droge stof, organische stof, ammonium, nitraat, nitriet, Kjeldahl-stikstof, fosfaat, kalium, chloride, pH (met elektrovoelmeter: HANNA Instruments HI 8417), chemisch zuurstofverbruik (CZV) en biologisch zuurstofverbruik (BZV).

Voermonsters

De analyses van de voermonsters werden uitgevoerd op het Centraal Cooperatief Laboratorium in Veghel. Stikstof **werd** volgens standaard NEN-normen bepaald. Fosfaat werd bepaald volgens EG-voorschriften.

2.5 Proefschema

Het onderzoek werd uitgevoerd **in de periode van januari 1989 tot augustus 1991**. In deze periode werden 8 mestronden gedraaid. De eerste mestronde diende om het beluchtingssysteem op te starten, het spoelsysteem **in te regelen en de meetapparatuur te installeren**. In deze mestronde werden **geen ammoniakemissiemetingen uitgevoerd**. In mestronde 7 werden **aanpassingen aan het ammoniakmeetsysteem uitgevoerd, waardoor slechts een beperkt deel van de tijd metingen werden uitgevoerd**. De resultaten van deze metingen zijn niet in beschouwing genomen.

Tijdens de proefperiode werden diverse wijzigingen in de mestbehandeling aangebracht. Deze betroffen zowel de technische installatie als de bedrijfsvoering. Een samenvattend overzicht van de wijzigingen is gegeven in figuur 14.

3 Resultaten en discussie

3.1 Technische ervaringen met spoelsystemen

Het verdringingsstelsysteem (systeem 1; figuur 4) en het vervangingsstelsysteem (systeem 2; figuur 5) functioneerden als uitmeststelsysteem goed. De spoelkanalen werden goed schoon-
gespoeld, hoewel na verloop van tijd in de kanalen een laag van 10 tot 15 mm bezinksel van zand en voerresten achterbleef. Dit bezinksel werd na iedere mestrondte handmatig verwijderd. Beide spoelsystemen gaven weinig technische storingen. Een punt van aandacht bleek de controle van het vloeistofniveau in de spoelkanalen van systeem 2. De sensoren voor de niveaumeting bleken enkele keren door vervuiling niet te functioneren, waardoor na het leeglaten de spoelkanalen niet automatisch werden gevuld. Dit probleem kan zich in principe bij systeem 1 niet voordoen, omdat hier met een overloop wordt gewerkt.

Het systeem met hellende vloer (systeem 3; figuur 6) bleek aanvankelijk als uitmeststelsysteem minder goed te functioneren. Doordat te weinig spoelkracht kon worden ontwikkeld, bleef een deel van de vaste mest op de hellende vloer achter. Na verplaatsing van de stortbakken en verwijding van de uitstroomopeningen bleek het systeem aanzienlijk beter te voldoen; de vloeren werden nu wel goed schoon. Hoe sneller de urine van de hellende vloer afloopt des te geringer zal de ammoniakemissie uit de spoelkanalen zijn. Het is daarom van belang dat de vloer zo glad mogelijk is afgewerkt, eventueel door het aanbrengen van een coating. Ook de helling van de vloer speelt in dit verband een rol. Overigens komt één en ander ook het wegspoelen van vaste mest ten goede. De snelheid waarmee de urine van de vloer afloopt, was niet in het meetprogramma van dit onderzoek opgenomen.

Het systeem met hellende vloer heeft het nadeel dat bij storing zich vaste mest onder de roosters zal ophopen, wat bij de twee andere systemen niet het geval is.

3.2 Bereiding spoelvloeistof

3.2.1 *Scheiden*

Zeefbocht

Reeds na enkele maanden werd duidelijk dat scheiding van de vloeistof uit de stal met een zeefbocht een moeilijk beheersbaar proces is. De zeef raakte snel verstopt door het ontstaan van een slijmlaag, gevormd door micro-organismen. Het scheiden was een discontinu proces, waardoor de slijmlaag voldoende kans kreeg zich te ontwikkelen. Verstopping van de zeef werd eveneens veroorzaakt door varkensharen. Bij een schone zeef werd een dikke fractie verkregen met een ds-gehalte van ca. 13%; na enkele dagen was dit gedaald tot ca. 6%. Dagelijkse reiniging van de zeef was daarom nodig. Het scheidingsrendement bedroeg ca. 2% bij een schone zeef en ca. 8% bij een sterk vervuilde zeef. De zeef is onder verschillende hellingshoeken getest. Het drogestofgehalte van de dikke fractie bleek daarbij onafhankelijk van de ingestelde hellingshoek. De zeefbocht werd na enkele maanden vervangen door een trilzeef.

Trilzeef

Tabel 2 geeft de scheidingsresultaten van de trilzeef bij verschillende maaswijdten.

Tabel 2 Scheidingsresultaten van de trilzeef bij verschillende maaswijdten.

Table 2 Separation results of the vibrating screen at different mesh sizes.

Maaswijdte (mm)	Ds-gehalte (%)		Scheidingsrendement (%)				
	inluent	dikke fractie	CZV	d.s.	stikstof	fosfaat	kalium
0,177	2,1 - 2,5	5-15		3-11			
0,210	2,0 - 3,5	8 - 17		3 - 9			
0,290	3,2 - 4,0	9-15	6-13	3 - 7	2 - 5	2 - 4	2 - 3
0,410	2,7 - 2,8	13-20		2 - 4			

De minimumwaarden van het drogestofgehalte van de dikke fractie (in volume slechts 3 - 5% van het influent) werden gemeten bij vervuilde zeef. De maximumwaarden werden gemeten bij schone zeef. Voor de rendementen geldt het omgekeerde. Uit tabel 2 blijkt dat het gemiddelde ds-gehalte van de dikke fractie toenam bij een grotere maaswijdte van de zeef. Tegelijkertijd nam het scheidingsrendement af. De scheidingsrendementen waren zowel voor droge stof als voor N, P en K relatief laag. De gehalten in de dunne fractie waren daarom maar weinig lager dan in het influent. Vooral het grove (vezelachtige) materiaal werd uit het influent afgescheiden. Dit komt tot uiting in een iets hoger afscheidingsrendement voor CZV dan voor de andere componenten. Een deel van de CZV dat in de dunne fractie terecht komt, zal tijdens de beluchting worden geoxydeerd en vertegenwoordigt dus een zuurstofvraag. Hoe meer (gemakkelijk afbreekbaar) organisch materiaal met de dunne fractie mee gaat, des te groter zal de zuurstofbehoefte in de beluchtingsstap zijn.

Het ds-gehalte van de dikke fractie was afhankelijk van de verhouding spoelvoestof/mest in het influent, die werd bepaald door de spoelfrequentie en het groeistadium van de dieren. Het ds-gehalte van de dikke fractie kon enigszins beïnvloed worden door de hoekinstelling van de zeef te variëren. Het ds-gehalte van de dikke fractie bleek vrijwel onafhankelijk van het vloeistofdebiet. Er werd gewerkt met een debiet van 6-8 m³/h.

De frequentie waarmee de zeef gereinigd moest worden, was sterk afhankelijk van de maaswijdte. De zeven met de kleinste maaswijdten (0,177 en 0,210 mm) moesten gemiddeld één keer per week worden gereinigd; de zeef van 0,290 mm één keer per 2 à 3 weken. Bij de zeef van 0,410 mm trad geen verstopping op door haren, maar wel door aanslag op de zeef van slib en mest, die daarom maandelijks verwijderd moest worden. De reinigingsfrequentie zou verlaagd kunnen worden door toepassing van bijvoorbeeld roterende borstels, eventueel in combinatie met sproeiers (Verdoes et al., 1992).

Hoewel de scheidingsstap in de eerste plaats bedoeld is om een zo 'schoon' mogelijke spoelvoestof te produceren, moet ook aan de samenstelling van de dikke fractie voldoende aandacht worden geschonken. De kwaliteit van de dikke fractie dient zodanig te zijn, dat afzet ervan geen probleem vormt. Dit betekent dat eisen gesteld moeten worden aan het drogestofgehalte. Dit zou minimaal gelijk moeten zijn aan het ds-gehalte van de geproduceerde mest. Gestreefd zou kunnen worden naar het maximum ds-gehalte waarbij de mest nog goed is te verpompen, toe te dienen en eventueel verder te verwerken. Het gewenste ds-gehalte bedraagt dan maximaal ca. 20%. Onder deze omstandigheden zou zich echter vloeistof in het systeem ophopen, omdat een kleiner

volume zou worden afgescheiden dan er wordt geproduceerd. Aan het volume van de dikke fractie wordt daarom als eis gesteld dat dit gelijk moet zijn aan de mestproductie minus de verdamping tijdens het proces. Op deze manier blijft een constante hoeveelheid vloeistof in circulatie.

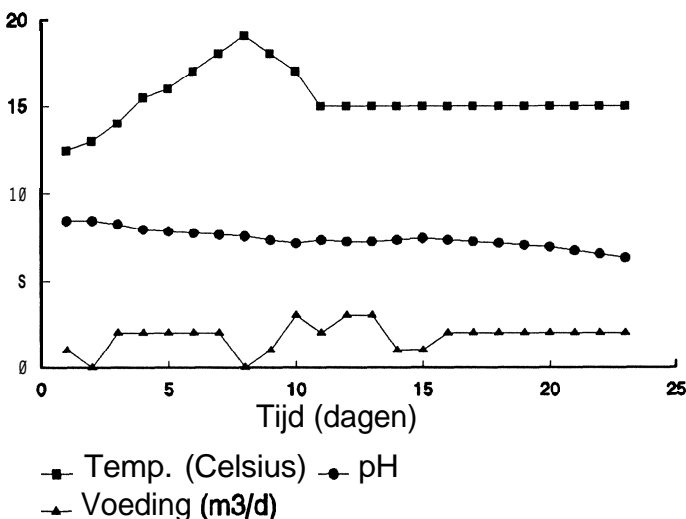
3.2.2 Beluchten

Opstartfase

In figuur 15 is het verloop weergegeven van de temperatuur, de pH en de dagelijkse voeding van de beluchter tijdens de opstartfase. Deze besloeg een periode van ca. 3 weken vanaf 9 december 1988.

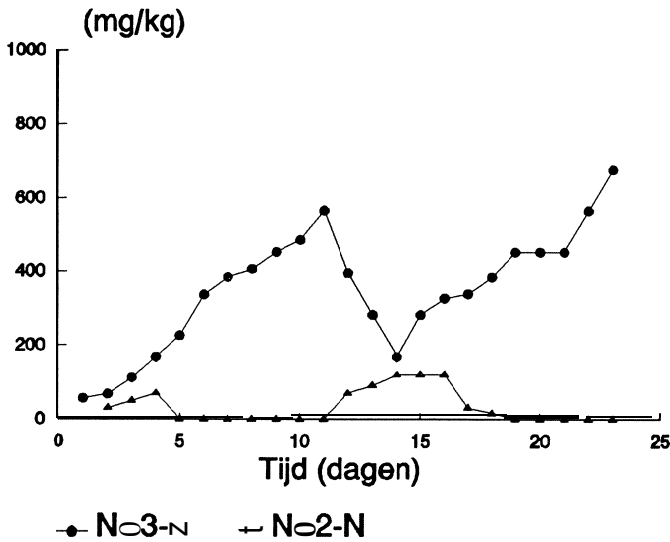
In figuur 16 is het verloop weergegeven van de nitriet- en nitraatconcentratie tijdens de opstartfase.

In de eerste week van de opstartfase was de voeding van de beluchter 2 m^3 zeugegier per dag; dit kwam overeen met een ammoniakbelasting van $4,8\text{ g N}$ per kg organische stof per dag. De procestemperatuur steeg in deze fase van 13 naar $19\text{ }^\circ\text{C}$. Onder deze omstandigheden werd ammonium volledig in nitraat omgezet, waarvan het gehalte opliep tot ca. 600 mg N/kg op dag 11. Het via nitrificatie gevormde zuur zorgde voor een pH-daling van $8,5$ naar $7,9$. In de tweede week van de opstartfase werd de ammoniumbelasting opgevoerd tot $7,2\text{ g N}$ per kg organische stof per dag (voeding: 3 m^3 gier/dag). De procestemperatuur daalde tot de ingestelde minimumtemperatuur van $15\text{ }^\circ\text{C}$. Onder deze omstandigheden nam het nitrietgehalte in de reactor toe tot 120 mg N per kg reactorinhoud en daalde het nitraatgehalte tot 180 mg N/kg . De pH daalde, in tegenstelling tot wat hierbij mocht worden verwacht, licht. In de derde week van de opstartfase vond bij lagere ammoniumbelasting ($4,8\text{ g N}$ per kg organische stof per dag) weer volledige nitrificatie plaats. Het nitraatgehalte nam toe tot ca. 700 mg N/kg en de pH daalde tot $6,4$. Na een periode van 20 dagen was een redelijk stabiele situatie bereikt. De dagelijkse



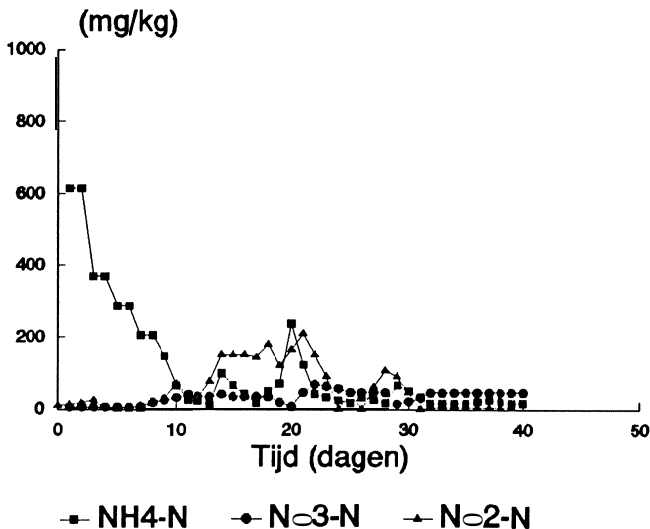
Figuur 15 Verloop van de temperatuur, de pH en de dagelijkse voeding van de beluchter tijdens de opstart van het beluchtingsproces.

Figure 15 Course of temperature, pH and loading rate during the start-up of the aeration process.



Figuur 16 Verloop van de nitriet- en nitraatconcentratie tijdens de opstart van het beluchtingsproces.
Figure 16 Course of the nitrite and nitrate concentrations during the start-up of the aeration process.

ammoniumbelasting was nu gelijk aan de gemiddelde belasting met ammonium die na overschakeling op het mengsel van mest en spoelvoeistof uit de stal zou komen. Na overschakeling op het substraat uit de stal, vanaf januari 1989, stelde zich na ca. 30 dagen in de beluchter een evenwicht in.



Figuur 17 Verloop van de concentraties nitriet, nitraat en ammonium tijdens de heropstart van het beluchtingsproces.
Figure 17 Course of the nitrite, nitrate and ammonium concentrations during the restart-up of the aeration process.

Heropstart na storing

Direct na reparatie van het lek en reiniging van het beluchtingsstelsel in november 1989 werd de reactor per abuis te zwaar belast, waardoor het nitrificatieproces stagneerde. Op 17 november 1989 werd ca. 15 m³ zeugegier (25 kg NH₃-N) in de reactor gepompt.

In figuur 17 is het verloop weergegeven van de concentraties nitriet, nitraat en ammonium tijdens deze periode.

De reactorinhoud werd op dag 2, 4 en 6 verdund met water om de ammoniumconcentratie tot ca. 200 mg N/kg te verlagen. Tevens werd op dag 7, 8 en 14 resp. 8, 8 en 10 l geconcentreerd zwavelzuur (96%) toegevoegd om de pH tot een waarde van 7 te verlagen (verschuiving evenwicht NH₃ <==> NH₄⁺, naar rechts). Dit werd gedaan om het nitrificatieproces vlotter te laten verlopen. De omzetting van nitriet in nitraat bleef in deze fase moeizaam verlopen. Hoge nitrietconcentraties werden via denitrificatie weggevoerd nadat de beluchting was stopgezet. De tijdsduur tussen het opstarten van het beluchtingsproces en het verkrijgen van een stabiele situatie bedroeg ongeveer 40 dagen. Hierbij werd de dagelijks aangevoerde hoeveelheid ammonium uit de stal volledig omgezet en werd in de reactor geen nitriet gemeten. Het nitraatgehalte varieerde tussen 50 en 100 mg N/kg. De pH bedroeg ongeveer 8.

In tabel 3 zijn de belangrijkste proceskenmerken tijdens de opstartperiode gegeven. Op enkele procesparameters, die voor de procesvoering van belang zijn, zal nog kort worden ingegaan.

Tabel 3 Kengetallen van het beluchtingsproces tijdens de opstartperiode.

Table 3 Characteristics of the aeration process during the start-up period.

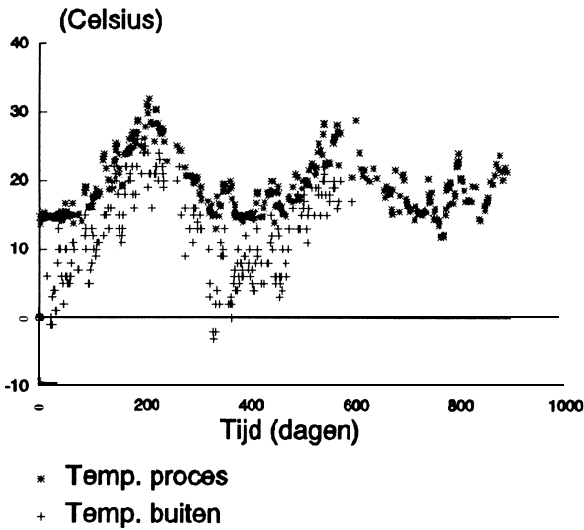
Slibgehalte	(g/kg)	10 - 15
Hydraulische verblijftijd	(uur)	24 - 48
Slibbelasting	(gN/kg.uur)	2 - 8
Zuurstofconcentratie	(°Cp/l)	≥ 1
Procestemperatuur	(m/kg) (°C)	≥ 20/15
NH ₄ -N		
NO ₂ -N	(mg/kg)	≤ 25
NO ₃ -N	(mg/kg)	≤ 300
PH		7,7 - 8,3

Temperatuur

In figuur 18 is het verloop van de procestemperatuur en de daggemiddelde buitentemperatuur over de gehele proefperiode weergegeven. In de zomer liep de temperatuur in de beluchter op tot ca. 30 °C. In de winter daalde de temperatuur zonder bijverwarming tot ca. 12 °C. Voor bijverwarming tot 15 °C werd, gemeten over een aaneengesloten periode van 103 weken, gemiddeld ca. 2,25 m³ gas per dag verbruikt. Gedurende 48 weken werd werkelijk bijverwarmd.

Belasting

Gedurende de proefperiode was er sprake van een sterk wisselende ammoniumbelasting. Om de NH₃-emissie van de verschillende stalafdelingen goed te kunnen vergelijken, werden de dieren in deze afdelingen vanaf de tweede mestronde zoveel mogelijk gelijktijdig opgelegd. Als gevolg hiervan varieerde de ammoniumtoevoer naar de beluchter sterk. Omdat de beluchter was overgedimensioneerd, werd hiervan geen nadeel ondervonden, d.w.z. de aangevoerde ammonium kon volledig worden omgezet. Voor praktijk-



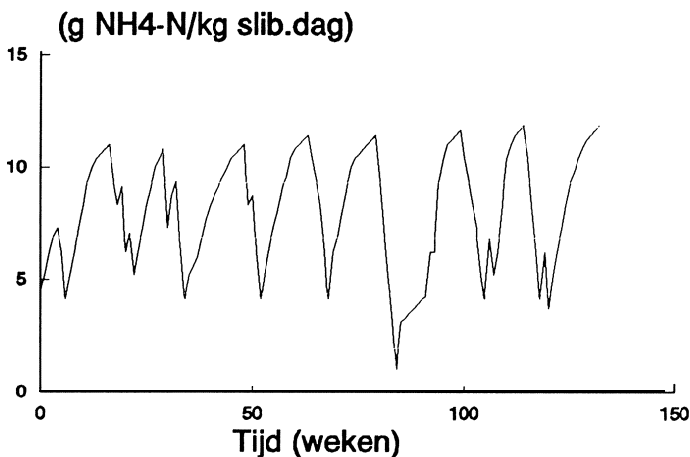
Figuur 18 Verloop van de procestemperatuur en de buitentemperatuur over de gehele proefperiode.

Figure 18 Course of the process temperature and the outside air temperature over the entire experimental period.

installaties zal de reactor kritischer gedimensioneerd kunnen worden, waarbij de verwerkingscapaciteit beter is afgestemd op de te verwerken hoeveelheid ammonium.

Gespreide oplegdata van de dieren over de verschillende afdelingen is dan te prefereren. Door een gerichte keuze van de spoelvolgorde kan een constante voeding van de reactor worden gerealiseerd.

In figuur 19 is de belasting met ammonium gedurende de proefperiode weergegeven.



Figuur 19 Ammoniumbelasting gedurende de proefperiode.

Figure 19 Loading rate of ammonium during the experimental period.

Zuurstofconcentratie

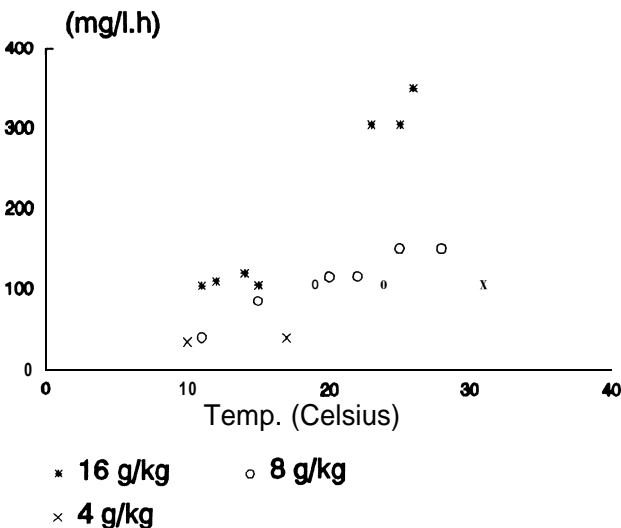
Aanvankelijk werd een minimumzuurstofconcentratie van 2 mg/l gehandhaafd om denitrificatie tijdens het proces te voorkomen. Bij deze zuurstofconcentratie was de denitrificatie in de reactor inderdaad minimaal. Wel kwam denitrificatie buiten de reactor, in de nabezinker en onder de stal, direct op gang. Bij een zuurstofconcentratie van 1 mg/l verliep de ammoniumomzetting zonder problemen. Onder deze omstandigheden werden in de reactor minimale concentraties nitraat en nitriet gemeten. Blijkbaar vond dan in de reactor eveneens denitrificatie plaats. Onduidelijk is of de denitrificatie in deze situatie via nitriet of via nitraat verloopt en of hierbij naast N_2 nog andere (tussen)producten, zoals het ongewenste N_2O , ontwijken. Groenestein *et al.* (1993) vonden recent aanwijzingen voor aanzienlijke N_2O -emissies in een mest/zaagselmengsel (diepstrooisel) onder zuurstofarme omstandigheden. Dit aspect van biologische mestbehandeling dient verder onderzocht te worden.

Met het oog op de energiebehoefte is een kritisch beluchtingsregime van het grootste belang. De meeste energie werd gebruikt voor het beluchten, nl. gemiddeld 58 kWh/dag, gemeten over een periode van 122 weken. Het energieverbruik werd nadelig beïnvloed door verstopping van beluchtingselementen en diensgevolge een ongelijkmatige verdeling van de lucht over de bodem van de reactor. De gebruikte beluchtingselementen bleken zeer gevoelig voor vervuiling en verstopping door kalkaanslag, zand en slib waardoor ze minder geschikt zijn voor deze toepassing. Gezocht dient te worden naar alternatieven.

Slibactiviteit

De slibactiviteit (specifiek zuurstofverbruik in $mg O_2$ per g organische stof per uur) is sterk gerelateerd aan de procestemperatuur. De gemiddelde slibactiviteit tijdens de proefperiode bedroeg 5 $mg O_2$ per g organische stof per uur.

Uit de resultaten van een laboratoriumproef bleek dat er een vrijwel rechtlijnig verband



Figuur 20 Slibactiviteit als functie van de procestemperatuur, bij verschillende slibgehalten.

Figure 20 Sludge activity as a function of the process temperature, at different sludge concentrations.

bestaat tussen de slibactiviteit en de temperatuur in het traject van 15-30°C. In figuur 20 is de slibactiviteit als functie van de temperatuur weergegeven bij verschillende slibconcentraties. De lage concentraties werden verkregen door het uitgangsmateriaal (inhoud reactor) met effluent uit de nabezinker te verdunnen.

3.2.3 Nabezinken

Gedurende een deel van de proefperiode werd na de beluchting nabezinking met slibretournering toegepast. De gebruikte maat voor de slibbezinking is de slibvolume-index (SVI). Dit is het volume dat een gram slib inneemt na 30 minuten bezinken in een maatcilinder. De SVI bedroeg in deze periode ca. 100ml/g. Naarmate het slibgehalte in de vloeistof steeg, verslechterden de bezinkeigenschappen. Ook door denitrificatie (opstijgende gasbellen) in de nabezinker werd de slibbezinking negatief beïnvloed. Het gevolg van de slechte bezinking was dat veel slib met de spoelvloeistof meeding en door het systeem circuleerde. Het grootste deel van de proefperiode werd gewerkt zondernabezinking. Slibretournering vond voortdurend plaats via vloeistofcirculatie. Getracht werd slibbezinking in een grote bezinksilo te laten plaatsvinden, Dit leidde echter niet tot het gewenste resultaat.

3.2.4 Samenstelling vloeistofstromen

In tabel 4 zijn de gemiddelde gehalten van belangrijke componenten in de vloeistofstromen bij de bereiding van de spoelvloeistof gegeven. De tabel geeft de kenmerken van de vloeistofstromen weer in de situatie dat het beluchtingsproces in 'steady state' verkeerde.

Tabel 4 Gemiddelde samenstelling van de vloeistofstromen bij de bereiding van spoelvloeistof.
Table 4 Average composition of the liquid flows in the process of preparing flushing liquid.

		Uitgespoelde mest	Dikke fractie	Influent beluchter	Effluent beluchter (spoelvloeistof)
NH ₄ -N	(mg/kg)	200	190	200	0
NO ₃ -N	(mg/kg)	7	7	7	150
N _{kj}	(mg/kg)	2000	3500	2000	1600
P ₂ O ₅	(mg/kg)	700	1150	710	680
K ₂ O	(mg/kg)	3200	3500	3200	3100
Cl	(mg/kg)	1500	1300	1500	1500
BZV	(mg/l)	3200		3000	2200
CZV	(mg/l)	30000	140000	25000	21000
d.s.	(g/kg)	35	130	32	28
pH		7,7	7,3	7,7	8,0

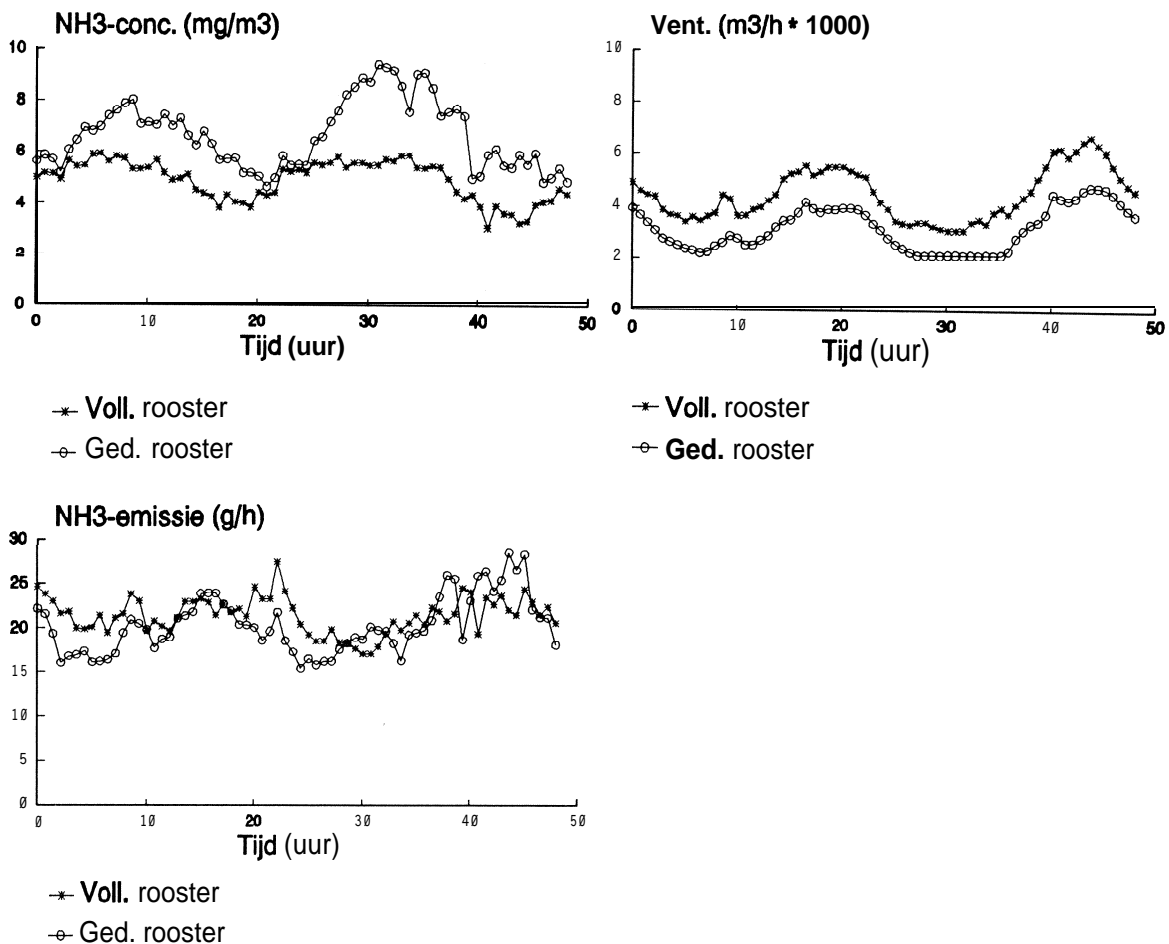
Uit tabel 4 blijkt dat door beluchting volledige omzetting van ammonium plaatsvond. Van de totale stikstofaanvoer naar de beluchtingstank werd ca. 20% biologisch omgezet. Het gevormde nitraat ging vrijwel geheel verloren als gevolg van denitrificatie in de stal en in de voorraadtanks. Een klein deel van het nitraat denitrificeerde reeds in de beluchtingstank. Tijdens het proces van intermitterende beluchting treedt mineralisatie van organisch materiaal op. Dit verklaart het verschil in N_{kj}-gehalte tussen het influent en het

effluent van de beluchter. Van de toegevoerde BZV werd tijdens beluchting ca. 25% afgebroken (verademd). De CZV-omzetting bedroeg ca. 15%. Gedurende de beluchting trad een geringe pH-verhoging op. Dit kan worden toegeschreven aan de afbraak van vetzuren en het uitdrijven van kooldioxyde. De concentraties van P-, K- en Cl-zouten veranderden niet.

3.3 Ammoniakemissie

3.3.1 Ammoniakemissieverloop over enkele dagen

In figuur 21 zijn de ammoniakconcentratie, het ventilatiedebiet en de ammoniakemissie van de referentie-afdelingen over een periode van 48 uur (25 - 26 mei 1990) weergegeven.



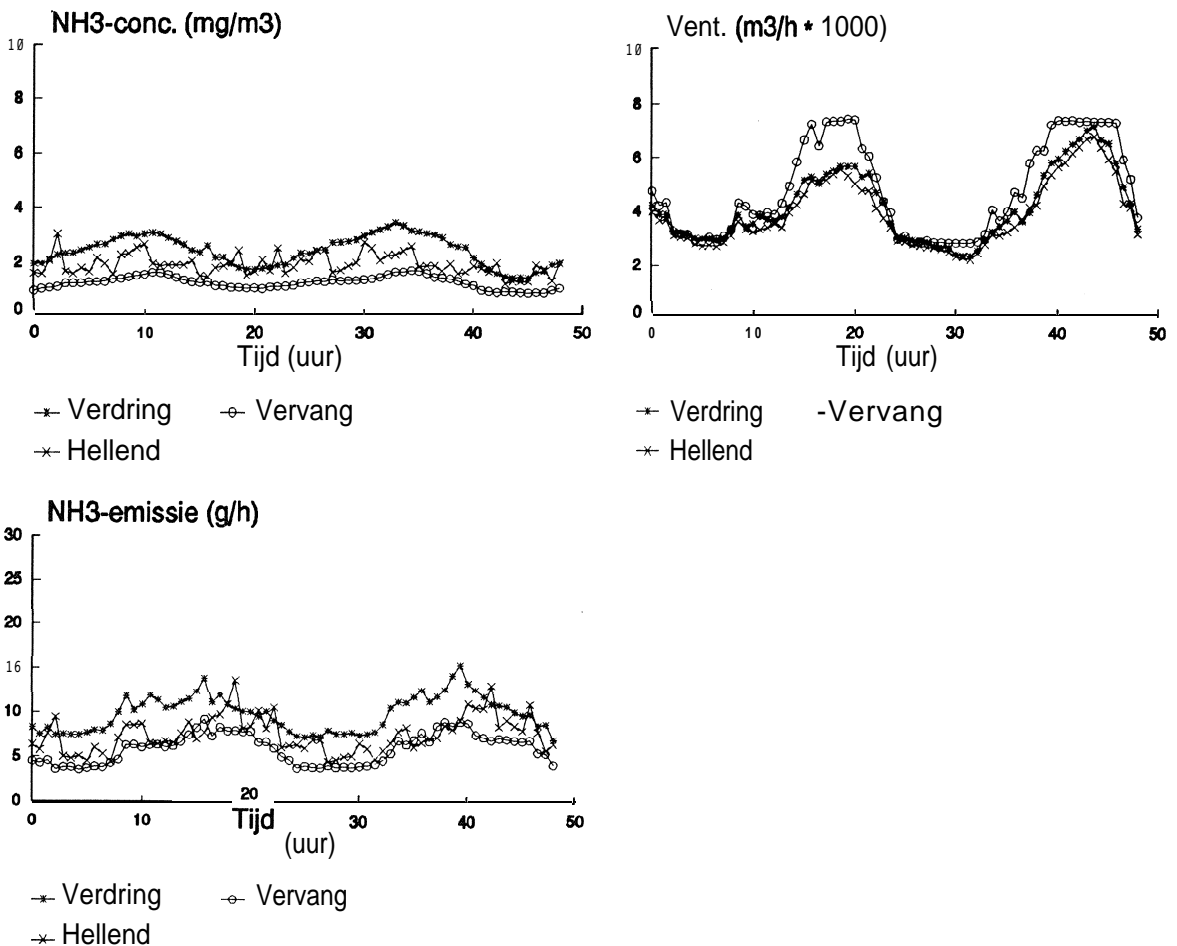
Figuur 21 Ammoniakconcentratie, ventilatiedebiet en ammoniakemissie van de referentie-afdelingen over de dagen 25 en 26 mei 1990.

Figure 21 Ammonia concentration, ventilation rate and ammonia emission from the control units, from May 25 - 26 1990.

Het gemiddelde diergewicht was in deze periode in beide afdelingen ca. 50 kg. Het temperatuurverloop in beide afdelingen was vrijwel gelijk en schommelde rond 20 °C. In de afdeling met volledig roostervloer werd ca. 25% meer geventileerd dan in de afdeling met gedeeltelijk roostervloer. Een hoger ventilatiedebiet veroorzaakt mogelijk hogere luchtsnelheden over het mestoppervlak (niet gemeten), wat een hogere ammoniakemissie tot gevolg kan hebben. Er bestaat overigens nog onvoldoende inzicht in de luchtsnelheden en luchtverdeling in varkensstallen bij een bepaald ventilatiesysteem. Meer kennis hieromtrent zou de basis kunnen vormen voor het ontwikkelen van ventilatiesystemen, waarmee de ammoniakemissie uit de stal kan worden beperkt.

De ammoniakconcentratie kende een karakteristiek verloop over de dag, t.w. hoog in de eerste helft van de dag en laag in de tweede helft. Het verloop van de ammoniakconcentratie over de dag werd tot op zekere hoogte bepaald door het ventilatiedebiet: bij een laag ventilatiedebiet werd een hoge concentratie gemeten en omgekeerd.

Veranderingen in de ammoniakconcentratie waren echter niet proportioneel met veran-



Figuur 22 Ammoniakconcentratie, ventilatiedebiet en ammoniakemissie van de spoelsystemen over de dagen 25 en 26 mei 1990.

Figure 22 Ammonia concentration, ventilation rate and ammonia emission from the flushing systems, from May 25 - 26 1990.

deringen in het ventilatiedebiet. In de afdeling met een gedeeltelijke roostervloer liep de ammoniakconcentratie overdag veel sterker op dan **in de afdeling met een volledige roostervloer, waarschijnlijk als gevolg van meer hokbevuiling in de eerste afdeling (zie 3 4)**

De berekende ammoniakemissie van beide afdelingen vertoonde een grillig verloop over de dag met een variatie van 16 tot 28 g per uur. Dit verloop werd mede bepaald door de activiteit van de dieren (voeren en mesten). De emissies van beide afdelingen lagen in de beschouwde periode op hetzelfde niveau.

In figuur 22 zijn de ammoniakconcentratie, het ventilatiedebiet en de ammoniakemissie van de spoelafdelingen over dezelfde periode van 48 uur **weergegeven. Het gemiddelde diergewicht in de afdelingen 1, 2 en 3 bedroeg respectievelijk ca. 60, 45 en 50 kg. De situatie in de afdelingen was verder gelijk. De ammoniakemissies van de spoelafdelingen lieten hetzelfde verloop zien als van de referentie-afdelingen, maar ze lagen, volgens verwachting, op een lager niveau, Systeem 3 toonde een sterk fluctuerende ammoniakconcentratie. Hier is het effect van spoelen (6 keer per dag) duidelijk zichtbaar. De systemen 1 en 2 werden in deze periode 3 keer per dag gespoeld. Er was geen duidelijke invloed van elke spoelbeurt afzonderlijk waar te nemen, vooral als gevolg van de bufferende werking van de laag spoelvloeistof in de spoelkanalen.**

3.3.2 Ammoniakemissie per mestronde

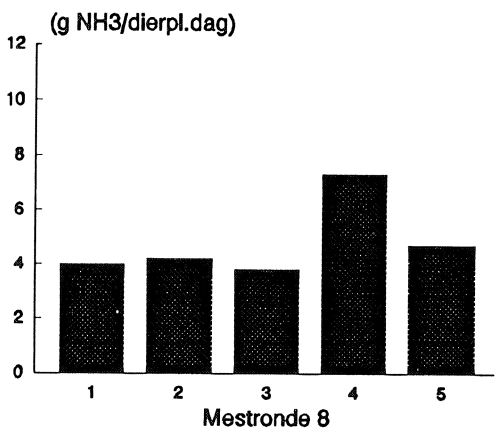
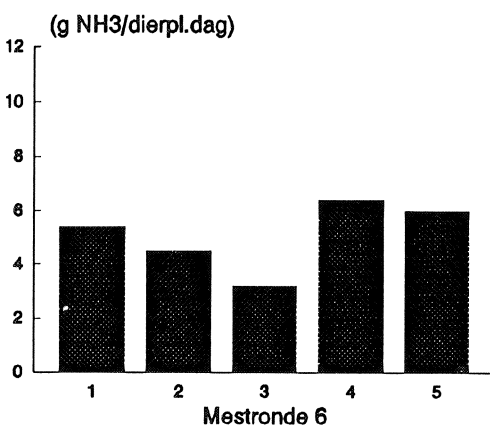
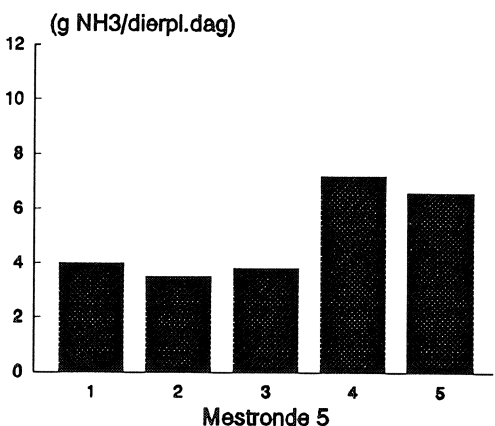
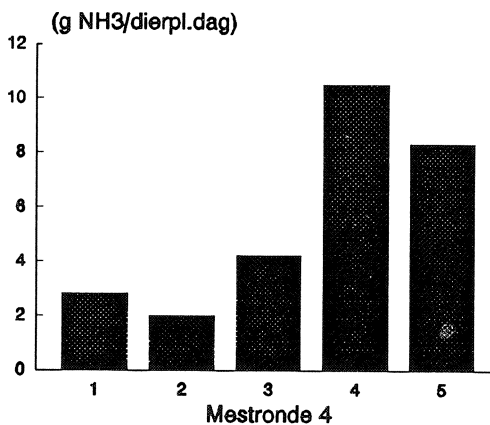
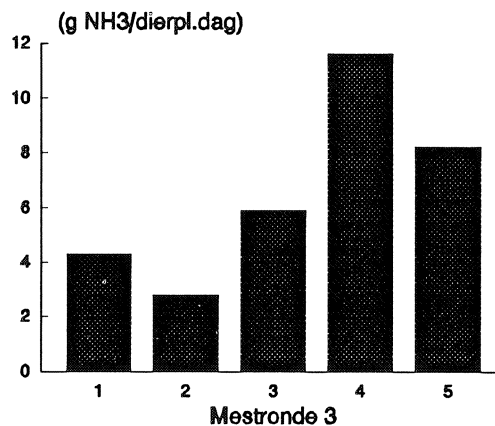
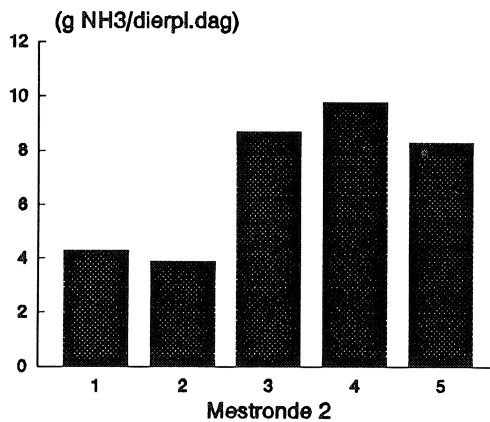
In figuur 23 is de ammoniakemissie, uitgedrukt in gram NH₃ per dierplaats per dag, van de onderzoekafdelingen per gemeten mestronde weergegeven.

In bijlage 1 zijn het aantal meetdagen, de gemiddelde waarden van de gemeten klimaatvariabelen en de cumulatieve ammoniakemissies van de onderzoekafdelingen per gemeten mestronde gegeven.

De specifieke ammoniakemissie van de vijf afdelingen varieerde per mestronde. De seizoeninvloed (temperatuur) speelde hierbij een rol, wat tot uitdrukking kwam in een afnemende ammoniakemissie van de spoelafdelingen van mestronde 2 tot 4. Bij de twee referentie-afdelingen was deze invloed niet zichtbaar. Op basis van de staltemperatuur en het ventilatiedebiet zou in mestronde 6 een lagere emissie mogen worden verwacht dan in mestronde 5 en 8. Dit was echter alleen het geval in spoelafdeling 3 en in de referentie-afdeling met volledig roostervloer. Naast de staltemperatuur, zullen dus andere factoren van invloed zijn geweest op de emissie.

De ammoniakemissie van spoelafdeling 1 (verdringingssysteem) en van spoelafdeling 2 (vervangingsysteem) was gemiddeld over de eerste 3 mestronden beduidend lager dan over de laatste 3 ronden; voor de referentie-afdelingen gold het omgekeerde. In de mestronden 2, 3 en 4 werd frequenter gespoeld dan in de ronden 5, 6 en 8 (zie proefschema; figuur 15). Bovendien functioneerden de spoelsystemen in de eerste helft van de onderzoeksperiode in het algemeen beter dan in de tweede helft.

Spoelafdeling 1 had de hoogste emissie in mestronde 6, hoewel de betonnen roosters waren vervangen door metalen driekantroosters. Het verwachte effect, namelijk een lagere emissie door verminderde hokbevuiling, bleef uit. Vermeld moet worden dat in mestronde 5 met een spoelfrequentie van 2 keer dag werd gewerkt; in mestronde 6 bedroeg die 1 keer per dag. Van Cuyck en Verdoes (1992) en Verdoes en Altena (1992) vonden een geringere hokbevuiling bij het gebruik van metalen roosters ten opzichte



- afd. 1 verdringingsysteem
 afd. 2 vervangingsysteem
 afd. 3 systeem met hellende vloer
 afd. 4 volledig rooster (ref.)
 afd. 5 gedeeltelijk rooster (ref.)

Figuur 23 Ammoniakemissie van de onderzoekafdelingen per mestronde.
Figure 23 Ammonia emission from the experimental units per finishing round.

van betonnen roosters. In de betreffende onderzoeken werd echter geen relatie gelegd tussen hokbevuiling en ammoniakemissie.

De emissie van spoelafdeling 3 (systeem met hellende vloer) nam vanaf mestronda 3 sterk af. Dit was het gevolg van de aanpassing van het systeem waardoor de spoelkracht werd vergroot. In mestronda 5 lag de emissie van spoelafdeling 3 op hetzelfde niveau als de andere twee spoelafdelingen.

Na de ombouw van het spoelsysteem met hellende vloer, tussen mestronda 5 en 6, werd in mestronda 6 een lagere emissie gemeten dan in spoelafdeling 2 met hetzelfde spoelsysteem. Men moet hierbij bedenken dat het de eerste mestronda in een 'nieuwe' afdeling betrof. Aannemelijk is dat de **vloer en de wanden van** een schone stal een hoeveelheid ammoniak kunnen absorberen, zodat tijdelijk een lagere ammoniakemissie plaatsvindt. In de volgende mestronda lagen de emissies van spoelafdeling 2 en 3 vrijwel op hetzelfde niveau.

De ombouw van de mestopslagruimte onder de referentie-afdeling met gedeeltelijk rooster tot mestkanalen onder de roosters, tussen mestronda 5 en 6, had niet een duidelijke vermindering van de emissie tot gevolg. Het gemeten verschil in emissie tussen mestronda 5 en 6 kan het gevolg zijn van verkleining van het emitterend oppervlak, maar kan ook veroorzaakt zijn door de lagere staltemperatuur in mestronda 6.

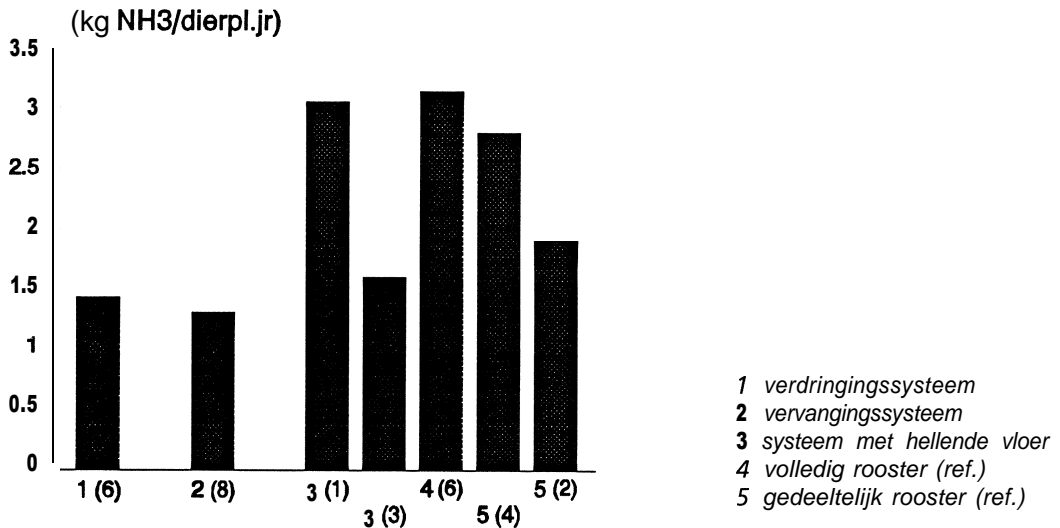
De referentie-afdeling met volledig roostervloer liet over de mestronden 2, 3 en 4 een duidelijk hogere ammoniakemissie zien dan over de mestronden 5, 6 en 8. Een verklaring hiervoor kan niet worden gegeven. Wel dient opgemerkt te worden dat tussen mestronda 3 en 4 alle leidingen tussen de NH_3 -converters en de NO_x -monitor werden schoongemaakt en dat tussen mestronda 4 en 5 bij alle NH_3 -meetpunten een converter werd geplaatst. Wat de invloed hiervan op de gemeten emissie geweest kan zijn, is voornog niet duidelijk.

3.3.3 Ammoniakemissie per dierplaats

Figuur 24 toont de ammoniakemissie per dierplaats per jaar, berekend als een gewogen gemiddelde over alle meetdagen. Er werd gerekend met 3,1 mestronden per jaar (groei van 25 tot 110 kg; groeisnelheid 750 g/dag) en 4 dagen leegstand tussen de mestronden. Van de systemen die tussentijds werden aangepast is de ammoniakemissie van voor en na de verbouwing in het diagram met twee staven weergegeven. Het getal tussen haakjes bij elke staaf geeft het aantal mestronden aan waarover de emissie is berekend. Bij het vervangingsstelsel werd gerekend met 8 mestronden: 6 mestronden in afdeling 2 en 2 mestronden in afdeling 3 (zie figuur 13).

Deze weergave maakt een vergelijking van de emissies van de te onderscheiden systemen mogelijk, maar heeft als beperking dat het aantal mestronden per systeem varieert, zodat de invloed van het seizoen groot kan zijn. Bovendien varieerde het aantal meetdagen per mestronda, zodat ook het gewicht van de dieren en dus de mestproduktie van invloed kan zijn geweest.

Uit figuur 24 blijkt dat de ammoniakemissie van de referentie-afdeling met volledig roostervloer met 3,1 kg/dierpl.jaar het hoogst was. De emissie van de referentie-afdeling met gedeeltelijk roostervloer bedroeg na de aanpassing 1,9 kg/dierpl.jaar, tegen 2,8 kg/dierpl.jaar vóór de aanpassing. Hieruit blijkt duidelijk de invloed van verkleining van het kelderoppervlak op de emissie. De emissies van het verdringingsstelsel en het vervangingsstelsel waren het laagst en bedroegen respectievelijk 1,4 en 1,3 kg/dierpl.jaar.



Figuur 24 Ammoniakemissie van de verschillende stalsystemen per dierplaats per jaar. Het aantal mestronden is tussen () vermeld.

Figure 24 Ammonia emission from the different units per pig place per year. The number of finishing rounds is placed between ().

De emissiereductie van beide spoelsystemen ten opzichte van de referentie met volledig rooster bedroeg respectievelijk 55 en 60%. Dit reductieniveau is vergelijkbaar met dat van een spoelsysteem waarbij de spoelvloeistof wordt bereid door aanzuren tot pH 6 (Hoeksma et al., 1993).

Het vervangingssysteem was het systeem met de laagste ammoniakemissie. Dit systeem heeft als voordeel dat het een zeer betrouwbaar uitmeststelsel is; er kan ook mest worden afgevoerd als er door een storing niet gespoeld zou kunnen worden.

Het spoelsysteem met hellende vloer liet na de aanpassing duidelijk betere resultaten zien dan ervoor. Vergeleken met de twee andere spoelsystemen was de emissie echter hoger (1,6 kg/dierpl.jaar) en de emissiereductie derhalve lager.

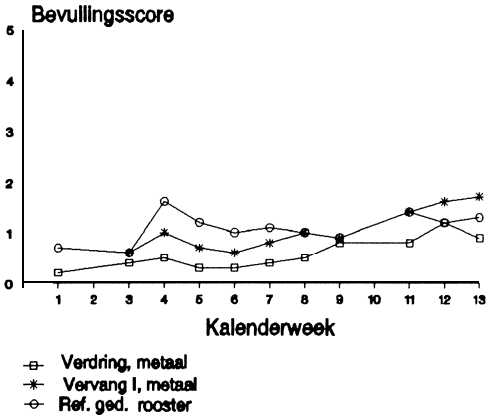
3.4 Hokbevuiling

Figuur 25 toont de hokbevuiling van drie afdelingen in een winterperiode (mestronde 7; opleg in december 1990) en in een zomerperiode (mestronde 8; opleg april 1991).

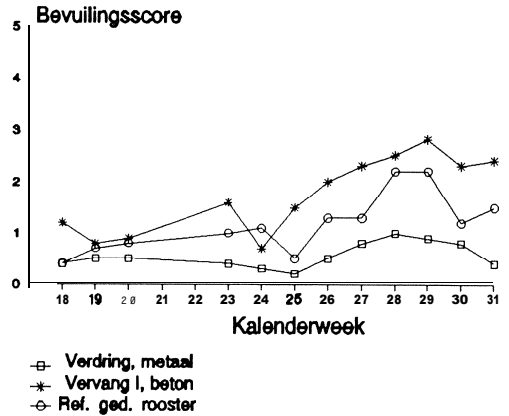
De afdeling met het verdringingssysteem en metalen roosters had de geringste hokbevuiling. Het verschil met de afdelingen met betonnen roosters was het grootst in de zomerperiode. In deze periode was er een sterke toename van de hokbevuiling in de afdelingen met betonnen roosters. De hokbevuiling nam toe naarmate de dieren langer in de afdeling aanwezig waren.

Figuur 26 toont de hokbevuiling van de twee referentie-afdelingen (beide met betonnen roosters) in mestronde 5 (opleg mei 1990). In de afdeling met volledig rooster trad duidelijk minder hokbevuiling op dan in de afdeling met gedeeltelijk rooster. Een grotere hokbevuiling in de zomer en een toename van de hokbevuiling, met name in hokken

Mestronde 7



Mestronde 8

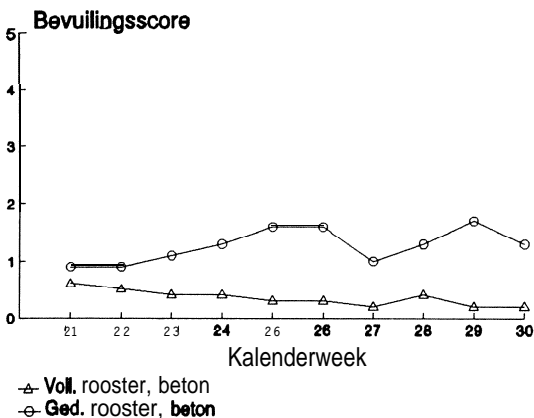


Figuur 25 Hokbevuiling van drie afdelingen in mestronde 7 (opleg december 1990) en mestronde 8 (opleg april 1991).

Figure 25 Befouling of pig pens of three units in finishing round 7 (start December 1990) and round 8 (start April 1991).

met gedeeltelijk roostervloer, naarmate de dieren zwaarder worden, zijn ook in het onderzoek van Van Cuyck en Verdoes (1992) en van Verdoes en Altena (1992) naar voren gekomen.

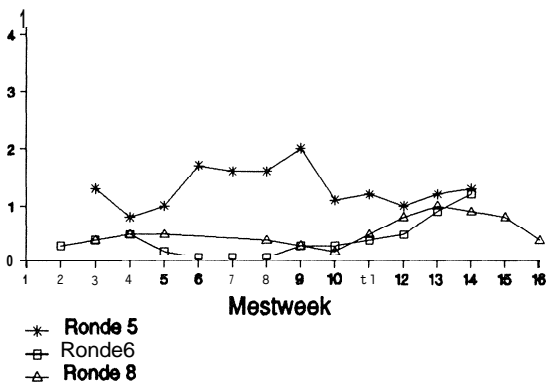
Figuur 27 toont de hokbevuiling in de afdeling met het verdringingsysteem in mestronde 5, 6 en 8. Ronde 5 en 8 werden met een verschil van 3 kalenderweken opgelegd. Tussen ronde 5 en 6 werden de betonnen roosters vervangen door metalen roosters. De meeste hokbevuiling trad op in ronde 5 (zomermaanden). Het effect van het vervangen van betonnen roosters door metalen roosters komt tot uitdrukking in een duidelijk verschil in hokbevuiling tussen mestronde 5 en 8. Bij deze vergelijking moet wel worden bedacht dat het stalklimaat in beide mestronden niet gelijk was en dat het verschillende koppels dieren betrof. Beide aspecten kunnen van invloed zijn geweest op het resultaat.



Figuur 26 Hokbevuiling van de referentie-afdelingen in mestronde 5 (opleg mei 1990).

Figure 26 Befouling of pig pens of the control units in finishing round 5 (start May 1990).

6 Bevuilingsscore



Figuur 27 Hogbevuiling in de afdeling met het verdringingsstelsel in de mest rondes 5, 6 en 8.
Figure 27 Befouling of pig pens in the unit with the push-out system in the finishing rounds 5, 6 and 8.

3.5 Stikstof- en fosforbalans

In tabel 5 zijn de stikstof- en fosforbalans van de referentie-afdeling met volledig roostervloer over mest rondes 6 en 8 gegeven.

Tabel 5 N- en P-balans van de referentie-afdeling met volledig roostervloer over de mest rondes 6 en 8 (in kg).

Table 5 N- and P-balances of the control unit with fully slatted floor in the finishing rounds 6 and 8 (in kg).

	Mestronde 6		Mestronde 8	
	N	P	N	P
Input				
voer	531	106	535	102
output				
retentie	168	36	161	35
mest	294	68	307	69
totaal	462	104	468	104
Input - Output	69	2	67	-2
Emissie	50		52	

Uit tabel 5 blijkt dat het via emissiemetingen vastgestelde stikstofverlies over beide mest rondes kleiner was dan via de balansmethode werd berekend. Van het stikstofverlies over mestronde 6 en mestronde 8 werd resp. 72% en 78% via de emissiemetingen teruggevonden. Het verschil tussen het berekende (balans) en het gemeten (emissie) stikstofverlies zou mogelijk verklaard kunnen worden door de emissie van N-verbindingen (N₂O, NO) die niet zijn gemeten. Verder kan het verschil worden gezocht in onnauwkeurigheden in bemonstering en chemische analyses en onnauwkeurigheid van de

ammoniakemissiemetingen. De P-balans klopt over beide mestronden vrijwel exact. Dit wijst op een grote mate van nauwkeurigheid van de uitgevoerde balansmetingen.

3.6 Technische resultaten

In tabel 6 zijn de technische resultaten van de 5 afdelingen over alle 8 mestronden gegeven. De beginleeftijd was voor alle proefgroepen gemiddeld gelijk, namelijk 68 dagen. De eindleeftijd van de dieren varieerde van 175 tot 180 dagen.

Tabel 6 Technische resultaten van de vleesvarkens in de periode december 1988 tot augustus 1991.
Table 6 Technical performances of the experimental units from December 1988 to August 1991.

Kenmerk	Verdring	Vervang	Hellend	Ref. VR*	Ref. GR*	Sign.	LSD
Aantal dieren opgelegd	640	800	400	640	640		
Begingewicht (kg)	23,5	23,1	23,6	23,2	23,5		
Berekend eindgewicht (kg)	105,8	106,2	106,2	108,6	108,9		
Duur mestronda (d)	107	108	110	112	112		
Groei (g/dier.d)	769	778	744	769	764	niet sign.	48
Voeropname (kg/d)	2,07	2,11	2,06	2,14	2,13	niet sign.	0,13
Voederconversie (kg/kg)	2,70 ^a	2,71 ^a	2,76 ^{ab}	2,78 ^b	2,79 ^b	P = 0,0425	0,07
EW-opname	2,14	2,17	2,12	2,20	2,19	niet sign.	0,14
EW-conversie	2,78 ^a	2,79 ^a	2,84 ^{ab}	2,86 ^b	2,87 ^b	P = 0,0425	0,07
Geslacht gewicht (kg)	81,1	81,5	81,5	83,7	83,9		
Vleespercentage	52,5	52,6	52,6	52,1	52,2	niet sign.	1,0

* VR = volledig rooster

GR = gedeeltelijk rooster

Tussen het vervangings- en het verdringingssysteem enerzijds en de referentie-afdelingen anderzijds werden significante verschillen gevonden ten aanzien van voederconversie en EW-conversie. Uitgaande van de huidige voerprijs zou de gunstiger voederconversie bij toepassing van deze spoelsystemen een financieel voordeel van gemiddeld ca. f 10,- per dierplaats per jaar opleveren. De andere technische resultaten verschilden niet tussen de diverse systemen.

Tussen de drie spoelsystemen en de referentie-afdeling met gedeeltelijke roostervloer werden geen verschillen gevonden in classificatie van de afgeleverde dieren. Wel was de verdeling van het aantal dieren over de typeklassen AA, A en B+C bij het vervangings- en verdringingssysteem significant gunstiger (meer AA en minder B+C dieren) dan bij de referentie-afdeling met volledig roostervloer.

Onderzoek naar long- en leveraandoeningen leverde geen significante verschillen op in het aantal aangetaste dieren en het aantal aangetaste longen tussen de verschillende afdelingen. De andere kenmerken werden niet getoetst wegens onvoldoende toetsmateriaal.

De resultaten van de dierclassificatie en het onderzoek naar long- en leveraandoeningen is opgenomen in bijlage 2. In deze bijlage is tevens een overzicht gegeven van het aantal uitgevallen dieren en de oorzaken hiervan. Er werden geen verschillen in uitval gevonden.

3.7 Kosten

In tabel 7 zijn de extra investeringsbedragen (incl. BTW) en exploitatiekosten van het mestspoelsysteem met rioleringsbuizen (vervangingsysteem) en een mestbehandelingsunit voor een bedrijf met 1000 en een met 3000 vleesvarkensplaatsen gegeven. De berekende investeringskosten zijn resp. f 247,- en f 150,- per dierplaats; de exploitatiekosten zijn resp. f 47,- en f 34,- per dierplaats per jaar. De kosten zijn indicatief. De investeringskosten van het verdringingsysteem en het systeem met hellende vloer worden iets lager ingeschat. Uitgangspunt bij de berekeningen is dat een bedrijf, waar mestspoelen wordt toegepast, wordt vergeleken met een traditioneel bedrijf waar mestopslag in diepe kelders onder de stal plaatsvindt. Bovendien is uitgegaan van nieuwbouw, waardoor minderkosten kunnen worden opgevoerd voor ondiepe mestkanalen t.o.v. diepe kelders. In verbouwingssituaties kan niet met deze minderkosten worden gerekend.

De kosten voor de mestbehandelingsunit zijn berekend op basis van Schellekens en Verdoes (1990) en Hoste en Baltussen (1993). Er is gerekend met 3,9% rente en 1% onderhoudskosten voor het bouwkundige deel van de investering. De onderhoudskosten voor de mestbehandelingsunit zijn op 3% gesteld.

Onder het spoelsysteem wordt verstaan: aanleg van de rioleringsbuizen, afsluiters, niveauregelaars, transportpompen, opslagput voor uitgespoelde mest en afwerking van

Tabel 7 Extra investeringen en exploitatiekosten bij nieuwbouw van een mestspoelsysteem met rioleringsbuizen en een mestbehandelingsunit voor twee vleesvarkensbedrijven (in guldens).

Table 7 Additional investments and running costs of a new built flushing system with drain pipes and a slurrytreatment system for two fattening pig operations (in guilders).

	1000 varkensplaatsen	3000 varkensplaatsen
Investeringen:		
Rioleringssysteem	36.000	90.000
Mestbehandelingsunit	225.000	465.000
Mestopslag	58.000	140.000
Afdekking mestopslag	28.200	55.000
Minderkosten ondiepe mestkanalen	-/ 100.000	-/ 300.000
Totaal investeringen	247.200	450.000
Per dierplaats	247	150
Exploitatiekosten:		
Vaste kosten		
- spoelsysteem (9,9%)	3.550	8.910
- mestbehandelingsunit (13,6%)	30.600	63.240
- mestopslag (11,4%)	6.610	15.960
- afdekking (16,4%)	4.620	9.020
- ondiepe mestkanalen (8,2%)	-/ 8.230	-/ 24.600
Variabele kosten		
- elektriciteit	8.000	24.000
- gas	1.850	5.470
Totaal jaarlijkse kosten	47.000	102.000
Kosten per dierplaats per jaar	47	34

de mestkelder. Onder de mestbehandelingsunit zijn de volgende posten begrepen: besturing van het systeem, aanvoerleiding van de spoelvoerstof, mestscheiding (door bezinken), beluchtingsvat, beluchter, meetapparatuur, nabezinker, compressor, opslag-tank voor de spoelvoerstof, elektrische aansluitingen en erfverharding. De arbeid voor het installeren van het geheel is in de berekening opgenomen. De arbeid van de varkenshouder om het spoelsysteem te beheren en te controleren en het voordeel door betere technische resultaten zijn niet zichtbaar gemaakt.

Hoste en Baltussen (1993) berekenden voor een bedrijf van 300 zeugeplaatsen een investering van *f*1.039,- per dierplaats. Dit betekent bijna *f*175,- exploitatiekosten per dierplaats. Ten opzichte van het gemiddeld behaalde saldo zijn in de vleesvarkenshouderij de kosten voor spoelen met beluchte spoelvoerstof hoger dan in de zeugenhouderij.

4 Conclusies en aanbevelingen

Door mestspoelen met ammoniakvrije spoelvloeistof kon de ammoniakemissie uit een vleesvarkensstal met 60% worden gereduceerd. De ammoniakemissie van een stal met een goed functionerend spoelsysteem was ca. 1,3 kg NH₃ per varkensplaats per jaar.

Ammoniakvrije spoelvloeistof kon goed uit mest worden bereid door de mest te scheiden en vervolgens de dunne fractie te beluchten. De energiebehoefte van deze behandelingsmethode was echter hoog (58 kWh/dag), wat mede het gevolg was van de omzetting van organisch materiaal tijdens het beluchten. Uit het onderzoek is verder gebleken dat deze biologische behandelingsmethode hoge eisen stelt aan de gebruiker wat betreft kennis van en inzicht in procesvoering.

De mestkwaliteit werd door de mestbehandeling, zoals uitgevoerd in dit onderzoek, niet verbeterd. Het drogestofgehalte van de mest die overblijft, was nagenoeg gelijk aan dat van de geproduceerde mengmest. Door beluchting werd de aanwezige minerale stikstof volledig in nitraat omgezet. Het gevormde nitraat ging verloren als gevolg van denitrificatie. Hierdoor trad een aanzienlijk stikstofverlies op.

Met spoelsystemen, waarbij de verse mest en urine in een laag ammoniakvrije vloeistof werd opgevangen, werd de hoogste emissiereductie bereikt. De vloeistof werd hierbij minimaal één keer per dag verversd. Met het vervangingssysteem werd een hogere emissiereductie verkregen dan met het verdringingsysteem. Een bijkomend voordeel van het vervangingssysteem is dat het een betere mestafvoer garandeert.

De voederconversie in de afdelingen waarin werd gespoeld, was iets gunstiger dan in de referentie-afdelingen. Dit wijst mogelijk op een goede gezondheid van de dieren,

Op basis van de specificaties van de in het onderzoek gebruikte vervangingssysteem in combinatie met biologische mestbehandeling is berekend, dat de kosten voor een bedrijf met 3000 dierplaatsen ca. f34,- per dierplaats per jaar bedragen. Dit is ongeveer een kwart van het gemiddelde saldo per afgeleverd dier in deze sector over de afgelopen 5 jaar.

De ammoniakemissie die uit een stal met een spoelsysteem resteert, is hoofdzakelijk afkomstig van de stalvloer. De emissie van de vloer wordt bepaald door de bevuilding van de vloer; deze vloerbevuilding wordt bepaald door het mestgedrag van de dieren. Bij hoge staltemperaturen treedt meer hokbevuilding op dan bij lage. In een afdeling met een volledig roostervloer is de hokbevuilding in het algemeen geringer dan in een afdeling met een gedeeltelijk roostervloer. Hier liggen aanknopingspunten voor verdere reductie van de ammoniakemissie uit de stal.

Het is aan te bevelen te zoeken naar aërobe mestbehandelingssystemen met een lager energieverbruik, bijvoorbeeld door een effectievere afscheiding van organisch materiaal vóór de beluchtingsstap of door een deel van de urine buiten het behandelingsproces te houden.

Het is aan te bevelen ventilatiesystemen voor varkensstallen te ontwikkelen, waarmee het stalklimaat beter kan worden beheerst. Het is bovendien aan te bevelen meer inzicht te verkrijgen in de luchtverdeling en luchtsnelheden in mechanisch geventileerde stallen. Onderzoek naar het vereiste ventilatievoud in relatie tot de gezondheid van de dieren in stallen met een spoelsysteem, is daarnaast gewenst.

Gezocht dient te worden naar vloertypen met een betere mestdoorlaat, met behoud van de beloopbaarheid.

Summary

A method for preparing flushing liquid from pig slurry and the effect of flushing on the ammonia emission from a pig house and on the technical performance of the farm was investigated by IMAG-DLO and the Research Institute for Pig Husbandry in a two-year research project at the experimental farm for pig husbandry 'Zuid en West Nederland' in Sterksel, the Netherlands. Flushing liquid was prepared by separation of the slurry, aeration of the liquid fraction and settling of the sludge, subsequently. The purpose of separation was to remove as much organic material from the slurry as possible and to concentrate it in the solid fraction. Two separators were tested: an inclined screen and a vibrating screen. The vibrating screen performed more satisfactorily than the inclined screen. The purpose of aeration was to convert ammonia biologically into nitrate. Nitrification took place in a continuous process at a loading rate of 2 - 8 g $\text{NH}_4^+\text{-N}$ per kg sludge per hour and at a hydraulic retention time of 1- 2 days. The minimum oxygen concentration in the aeration tank was 1mg/l. The process temperature varied from 15 to 30 °C. Under these circumstances, a complete conversion of ammonia into nitrate was achieved. The energy consumption for aeration was 58 kW/d. In winter, the reactor was heated. The yearly energy consumption for heating was 820 m³ of natural gas. Sludge settling was performed in a Dortmund tank. Settling had little effect due to bad settlement quality of the liquid. During most of the experimental period the pilot plant was operated without sludge settlement. The average dry matter content of the obtained flushing liquid was 3%.

In the research, three different flushing systems were tested: the 'push-out system', the 'replacement system' and the system with sloped floor. The first two systems were operated with 5 - 10 cm flushing liquid in the slurry channels in which the fresh slurry was collected; the liquid was renewed 1 - 4 times a day. In the third system the produced urine ran off the sloped floor into the slurry channel immediately. The faeces were flushed from the floor 6 times a day. The three flushing systems performed well as slurry removal systems. A disadvantage of the system with sloped floor appeared to be the accumulation of faeces in the channels when the process was interrupted. This was not the case with the other two systems. The system with sloped floor was replaced by a replacement system during the course of the project. The flushing systems were tested in housing units for 80 fattening pigs equipped with partly slatted concrete floors. The effect of flushing on the ammonia emission from the pig house was determined by measuring simultaneously and during a long period the emission of the flushed units and two traditional units as control units. One control unit had a partly slatted floor the other a fully slatted one.

The ammonia emission was determined by measuring the ammonia concentration of the exhaust ventilation air and the ventilation rate. The emission was calculated as the product of concentration and ventilation rate. The ammonia concentration was measured with a NO_x analyser in combination with an NH₃ converter. The ventilation rate was measured with a measuring ventilator, which was placed beneath the ventilator **in the ventilation shaft**.

The control unit with fully slatted floor showed the highest ammonia emission: 3.1 kg per pig place per year. The emission from the replacement system was the lowest, namely 1.3 kg per pig place per year. The ammonia emission was reduced by 60% when com-

paring the replacement system with the control unit with fully slatted floor. The effectivity of the other two flushing systems was less. The ammonia emission from the pig house was strongly influenced by befouling of the pen floor.

Literatuur

- Anthonisen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam and E.G. Srinath, 1976. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Journal of Water Poll. Contr. Fed.*, 48, 5: 835 - 852
- Bode, M.J.C. de, 1991. Odour and ammonia emissions from manure storage. In: Odour and ammonia emissions from life-stock farming. Elsevier Science Publishers, Essex, p. 59 - 66
- Bruins, M.A., 1991. De ammoniakemissie tijdens en na het uitbrengen van varkens-, runder- en kippemest. IMAG-DLO, Wageningen, rapport 91 - 5, 20 pp
- Bussink, D.W., J.V. Klarenbeek, J.F.M. Huijsmans en M.A. Bruins, 1990. Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne mest aan grasland. Nederlands Meststoffen Instituut, Den Haag, 19 pp
- Coppoolse, J., A.M. van Vuuren, J. Huisman, W.M.M.A. Jansen, A.W. Jongbloed, N.P. Lenis and P.C.M. Simons, 1990. De uitscheiding van stikstof, fosfor en kalium door landbouwhuisdieren, nu en morgen. Instituut voor Veevoedingsonderzoek, Lelystad, 131 pp
- Cuyck, J.H.M. Van en N. Verdoes, 1992. Vloeruitvoering en hokbevuiling bij vleesvarkens. Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, nr. 6: p. 11 - 13
- Elzing, A., W. Kroodsmas, R. Scholtens en G.H. Uenk, 1992. Ammoniakmetingen in een modelsysteem van een rundveestal: Theoretische beschouwingen. IMAG-DLO, Wageningen, rapport 92 - 3, 25 pp
- Groenestein, C.M., J. Oosthoek en H.G. van Faassen, 1993. Microbial processes in deep-litter systems for fattening pigs and emission of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide. In: Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. M.W.A. Versteegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen en J.H.M. Metz (Editors). EAAP Publication No. 69, 1993, Wageningen, p. 307 - 312
- Heij, G.J. en T. Schneider, 1991. Dutch priority programme on acidification. RIVM, Bilthoven. Final report second phase Dutch priority programme on acidification no. 200 - 09, 250 pp
- Hoeksma, P., R. Scholtens en A.J. van den Berg, 1993. Een milieuvriendelijk bedrijfssysteem voor de varkenshouderij. IMAG-DLO, Wageningen, rapport 93 - 7, 33 pp
- Hoste, R. en W.H.M. Baltussen, 1993. Beperking van ammoniakemissie op varkensbedrijven; actualisatie 1993. Mededeling Landbouw Economisch Instituut (LEI-DLO), Den Haag (in druk)
- Jongbloed, A.W., 1991. Ontwikkelingen in de produktie en samenstelling van mest bij varkens en pluimvee. In: Mest en Milieu 2000. Visie vanuit het Landbouwkundig Onderzoek. DLO, Wageningen, p. 25 - 48
- MacCullagh, P., 1980. Regression models for binomial data. *Journal of Royal Statist. Soc.*, B, 42: 109 - 142
- Ministeries LNV en VROM, 1989. Plan van aanpak beperking ammoniakemissie van de landbouw. Den Haag, 117 pp
- Nederlands Normalisatie Instituut, 1988. Overzicht van normen voor onderzoek van water en slib. Delft.
- Oudendag, D.A. en J.H.M. Wijnands, 1989. Beperking van de ammoniakemissie uit dierlijke mest. Een verkenning van mogelijkheden en kosten. Onderzoeksverslag 56, Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag, 72 pp

- Ouwerkerk, E.N.J. van (red.), 1993. Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. DLO, Wageningen, 178 pp
- Schellekens, J.J.M. en N. Verdoes, 1990. Met nieuwbouw ondiepe kelders tast u niet te diep in de buidel. *Boerderij/Varkenshouderij*, 75, 13: p. 18 - 21
- Scholtens, R., 1990. Ammoniakmessungen in zwangbelufteten Stallen. In: Ammoniak in der Umwelt. Symposium, Braunschweig, 10 -12 Oktober 1990. KTBL, Darmstadt, p. 20.1 - 20.9
- Thelosen, J.G.M., J.A.M. Voermans en J.H.M. van Cuyck, 1993. Rioleringsystemen voor de afvoer van mest. Proefstation voor de Varkenshouderij, Proefverslag 1.92, Rosmalen (in druk)
- Verdoes, N., 1990. Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot. Deelrapport Varkens. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij. DLO, Wageningen, 163 pp
- Verdoes, N. en H. Altena, 1992. Onderzoek in de milieustal. Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, 6, nr 2, p.10 - 14
- Verdoes N, G.M. den Brok en J.H.M. van Cuyck, 1992. Mechanische mestscheiders als mogelijke schakel in de mestverwerking op bedrijfsniveau. Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 1.77, 56 pp
- Willers, H.C., P.J.W. ten Have, P.J.L. Derikx en M.W. Arts, 1993. Temperature-dependency of nitrification and required anoxic volume for denitrification in the biological treatment of veal calf manure. *Bioresource Technology* 43, 47 - 52

Bijlage 1

Aantal meetdagen, gemiddelde waarden van de gemeten klimaatvariabelen en de cumulatieve ammoniakemissie per afdeling per mestrone.

	Verdringings- systeem	Vervangings- systeem	Systeem met hellende vloer	Referentie voll. rooster	Referentie ged. rooster
<i>Mestrone 2</i>					
oplegdatum	26-04-89	07-06-89	17-05-89	20-04-89	20-04-89
meetdagen	108	94	115	103	103
buitentemp. (°C)	–	–	–	–	–
staltemp. (°C)	23,8	22,8	24,2	22,6	21,1
vent. debiet (m ³ /h)	5420	6720	5230	6180	5660
NH ₃ -emissie (kg)	38,3	30,0	79,6	80,7	68,3
<i>Mestrone 3</i>					
oplegdatum	23-08-89	11-09-89	11-09-89	16-08-89	09-08-89
meetdagen	126	122	122	118	125
buitentemp. (°C)	–	–	–	–	–
staltemp. (°C)	20,2	20,6	24,1	21,3	19,9
vent. debiet (m ³ /h)	4490	4140	4310	5110	4560
NH ₃ -emissie (kg)	43,5	25,2	57,7	108,7	81,8
<i>Mestrone 4</i>					
oplegdatum	02-01-90	10-01-90	17-01-90	13-12-89	13-12-89
meetdagen	71	63	56	91	91
buitentemp. (°C)	–	–	–	–	–
staltemp. (°C)	19,0	19,6	19,3	20,0	18,0
vent. debiet (m ³ /h)	3550	4060	3920	5030	5290
NH ₃ -emissie (kg)	15,8	10,2	18,6	76,7	60,1
<i>Mestrone 5</i>					
oplegdatum	08-05-90	09-05-90	09-05-90	08-05-90	08-05-90
meetdagen	96	102	102	82	82
buitentemp. (°C)	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
staltemp. (°C)	22,8	21,6	22,5	21,7	21,1
vent. debiet (m ³ /h)	5520	6420	5430	5600	5120
NH ₃ -emissie (kg)	31,1	28,8	30,8	47,4	43,5
<i>Mestrone 6</i>					
oplegdatum	29-08-90	22-08-90	03-10-90	15-08-90	29-08-90
meetdagen	109	110	75	117	109
buitentemp. (°C)	8,8	9,2	6,9	9,5	8,8
staltemp. (°C)	18,7	19,4	19,2	19,2	18,3
vent. debiet (m ³ /h)	3400	4460	3380	3800	3680
NH ₃ -emissie (kg)	35,2	39,2	19,4	60,3	52,5
<i>Mestrone 8</i>					
oplegdatum	16-04-91	16-04-91	07-05-91	01-05-91	01-05-91
meetdagen	123	123	102	108	108
buitentemp. (°C)	18,7	18,7	19,4	19,2	19,2
staltemp. (°C)	21,9	21,9	22,6	22,0	19,1
vent. debiet (m ³ /h)	5010	5400	5130	4570	4920
NH ₃ -emissie (kg)	39,5	41,5	31,0	63,4	40,7

Bijlage 2

Tabel I *Uitval van vleesvarkens in de periode december 1988 tot augustus 1997.*

Kenmerk	Verdring	Vervang	Hellend	Ref. VR	Ref. GR	Sign.
aantal dieren opgelegd	640	800	400	640	640	
aantal dieren uitgevallen	10 (1,6%)	13 (1,6%)	1 (0,3%)	4 (0,6%)	13 (2,0%)	nietsign.
waarvan per oorzaak:						
- luchtwegaandoening	1	3	0	0	3	
- beenwerkaandoening	1	0	0	2	0	
- zenuwstelsel	0	2	0	1	0	
- breuk	1	0	0	0	0	
- agressief / niet te handhaven	2	0	0	0	0	
- achterblijven	3	6	0	1	5	
- onbekend	0	0	0	0	2	
- diversen	2	2	1	0	3	

Tabel II *Resultaten long-leveronderzoek van de vleesvarkens in de periode december 1988 tot augustus 1997.*

Kenmerk	Verdring	Vervang	Hellend	Ref. VR	Ref. GR	Sign.
% (aantal) onderzochte karkassen	84,9 (535)	88,2 (694)	76,9 (307)	88,2 (561)	87,7 (550)	
% (aantal) niet aangetast	95,1 (509)	96,1 (667)	96,4 (296)	95,6 (536)	94,0 (517)	niet sign.
% (aantal) dieren met:						
- aangetaste lever	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,2 (1)	
- afgekeurde lever	0,6 (3)	0,4 (3)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,5 (3)	
- aangetaste longen	2,8 (15)	2,9 (20)	2,4 (7)	3,0 (17)	4,6 (25)	niet sign.
- aangetaste lever + longen	0,6 (3)	0,2 (1)	0,6 (2)	0,5 (3)	0,2 (1)	
- aangetaste longen + afgekeurde lever	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	
- pleuritis	0,9 (5)	0,4 (3)	0,6 (2)	0,9 (5)	0,5 (3)	

Tabel III *Classificatie van de vleesvarkens in de periode december 1988 tot augustus 1997.*

Kenmerk	Verdring	Vervang	Hellend	Ref. VR	Ref. GR
aantal dieren geslacht	630	787	399	636	627
% (aantal) geclassificeerd	98,3 (619)	98,1 (772)	99,2 (396)	99,1 (630)	99,0 (621)
percentage (aantal) AA	9,4 (58)	12,6 (97)	8,0 (32)	6,2 (39)	8,1 (50)
percentage (aantal) A	75 (464)	68,8 (531)	71,5 (283)	74,4 (469)	71,8 (446)
percentage (aantal) B + C	15,6 (97)	18,6 (144)	20,5 (81)	19,4 (122)	20,1 (125)

Verschenen rapporten

- 92-1 Migchels, A. – Arbeidsbehoefte en arbeidsomstandigheden in de slachtkuikenmesterij.
Wageningen, IMAG-DL0 rapport, 40 pp., f 35,00
- 92-2 Bosma, A.H. – Techniek bij het inkuilen met korte veldperiode.
Wageningen, IMAG-DL0 rapport, 48 pp., f 25,00
- 92-3 Elzing, A., Kroodsma W., Scholtens, R. en G. Uenk – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal. Theoretische beschouwingen.
Wageningen, IMAG-DL0 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-DL0 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-DL0 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-DL0 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-DL0 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-DL0 rapport 92-8, CABO-DL0 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-DL0 rapport, 30 pp., f 35,00
- 92-10 Elzing, A., Swierstra, D., Uenk, G.H. en W. Kroodsma – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: de invloed van vloervarianten.
Wageningen, IMAG-DL0 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-DL0 rapport, 84 pp., f 40,00
- 92-12 Demmers, T.G.M. – Beknopte gebruikershandleiding voor biowassers.
Wageningen, IMAG-DL0 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 koeiverkeer in de stal ten behoeve van het automatisch melken.
Wageningen, IMAG-DL0 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-DL0 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 vloerbevuilding en vloertype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 21 pp., *f* 25,00
- 93-3 Elzing, A. en W. Kroodsmā – De relatie tussen ammoniakemissie en stikstofconcentratie 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 bedrijfsstelsysteem voor de varkenshouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., *f* 30,00
- 93-8 Smits, M.C.J., Kroodsmā, W., Swierstra, D. en W.J. de Boer – Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie in de Milieuonderzoekstal.
Wageningen, IMAG-DLO-rapport, 32 pp., *f* 35,00
- 93-9 Drost, H. en D. van der Drift -Vergelijkend arbeidshygiënisch onderzoek in twee huisvestingssystemen voor leghennen. Onderzoek naar omgevingscomponenten en ODS-symptomen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 54 pp., *f* 40,00
- 93-10 Uenk, G.H., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink – Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestilo's vóór en na het mixen van de mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., *f* 25,00
- 93-11 Aarnink, A.J.A., Houwers, H.W.J., Ouwkerk, E.N.J. van en P.B. Hangelbroek – Vooronderzoek naar een milieu- en welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem voor vleesvarkens. Mestscheiding, vloerkoeling en grote groepen dieren.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 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)

