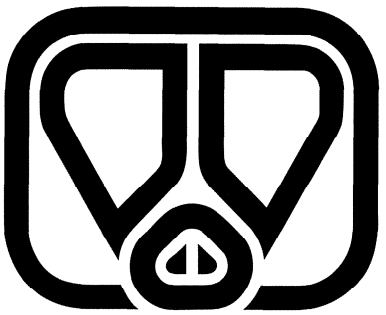
ing. P.F.M.M. Roelofs
ing. G.P. Binnendijk

Gezondheidseffecten van stof in varkensstallen en de invloed van een aangepast ventilatiesysteem op de stofconcentratie

Respira tory health effects of dust in pig houses and the effect of an adapted ven tila tion syste tn



P raktijkonderzoek Varkens houderij

Locatie:
Proefstation voor de Varkenshouderij
Postbus 83
5240 AB Rosmalen
tel. 073 - 528 65 55

Proefverslag nummer P 1.242
juni 2000
ISSN 0922 - 8586

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	4
	SUMMARY	6
1	INLEIDING	8
2	LITERATUUROVERZICHT	10
2.1	Gezondheidsklachten bij varkenshouders	11
2.1.1	Prevalentie van respiratoire klachten	11
2.1.2	Onderscheiden ziektebeelden	12
2.1.3	Afname van de longfunctie	14
2.2	Effect op productiviteit van de varkens	15
2.3	Normwaarden	16
2.4	Relatie met bedrijfsuitrusting en bedrijfsvoering	18
2.5	Methoden om het stofgehalte te verlagen	20
3	MATERIAAL EN METHODE	23
3.1	Huisvesting en bedrijfsvoering	23
3.2	Proefbehandelingen	24
3.3	Waarnemingen	25
3.4	Verwerking gegevens	26
4	RESULTATEN	29
4.1	Kwaliteit van de stallucht	29
4.1.1	Etmaalgemiddelden van de stofconcentraties	29
4.1.2	Verloop stofconcentraties tijdens het etmaal	31
4.1.3	Hoeveel heden endotoxinen	31
4.2	Technische resultaten	31
4.3	Meerkosten van het schone-neuzenventilatiesysteem	32
5	DISCUSSIE	33
5.1	Proefopzet	33
5.2	Meetmethoden	33
5.3	Invloed op concentraties agentia	34
5.4	Invloed op de varkens	35
5.5	Betekenis voor de praktijk	35
6	CONCLUSIES	37
	LITERATUUR	38
	BIJLAGEN	45

SAMENVATTING

Varkenshouders hebben relatief veel respiratoire klachten, wat voor een belangrijk deel wordt toegeschreven aan de luchtkwaliteit in de stallen. Mogelijke risicofactoren zijn de hoeveelheden inhaleerbaar en respirabel stof, de endotoxinen, allergenen, microorganismen, diverse gassen en combinaties van de genoemde stoffen, die doorgaans in stallucht aanwezig zijn. Blootstelling aan stallucht kan resulteren in koorts, hoofdpijn, algemene malaise en respiratoire klachten. De meeste van deze aandoeningen treden acuut op en zijn reversibel. De belangrijkste respiratoire klachten treden echter pas op na jarenlange blootstelling en kunnen irreversibel zijn. Naast de blootstelling aan risicofactoren speelt ook erfelijke aanleg een rol bij het al dan niet ontwikkelen van klachten. Vanwege de relaties tussen de verschillende risicofactoren - de meeste agentia vormen bestanddelen van het stof of zijn daar gedeeltelijk aan gehecht - is het aannemelijk dat de klachten zullen afnemen als de hoeveelheid stof in stallucht wordt teruggebracht De hoeveelheid stof in stallucht wordt onder andere beïnvloed door de voersoort en het voersysteem, de vloeruitvoering, het strooiselgebruik en de ventilatie. Mogelijke technieken om de stofconcentratie te verlagen zijn: interne luchtfiltratie, ionisatie, het wekelijks verwijderen van gesedimenteerd stof en het binden van stofdeeltjes met olie of vetten. Nadelen van de tot nu toe beproefde technieken zijn dat ze niet effectief genoeg zijn of te duur zijn, of beide.

Op het Varkensproefbedrijf in Rosmalen is tussen oktober 1991 en mei 1997 (met onderbrekingen) onderzocht of de stofconcentratie van stallucht zonder veel kosten kan worden verlaagd door aanpassing van het ventilatiesysteem. De onderzochte ventilatiesystemen waren:
balansklep.
een traditioneel ventilatiesysteem met luchtinlaat via balanskleppen en mechanische luchtafvoer via bovenafzuiging;
schone-neuzen:
een aangepast ventilatiesysteem met luchtinlaat via een horizontale koker boven de werkgang van waaruit de lucht via een ACC-ventilatiedoek de afdeling in wordt gezogen en mechanische luchtafvoer via onderafzuiging.
De invloed van deze systemen op de concentraties stof en endotoxinen, op de technische resultaten en op de kosten is bepaald.

Het onderzoek is uitgevoerd in twee identieke afdelingen voor gespeende biggen. De afdelingen bestonden uit zes grond hokken met 44% dichte, bolle vloer met vloerverwarming en 56% metalen driekantrooster. De hokken waren geschikt voor tien biggen. De biggen werden gelijktijdig opgelegd en kregen onbeperkt droogvoer, de eerste drie weken na opleg meel en daarna gepelleteerd voer.
Gedurende elf ronden zijn stofconcentraties gemeten. Het ventilatiesysteem heeft zowel invloed op de gemiddelde stofconcentratie van de stallucht als op het verloop van de stofconcentratie gedurende het etmaal. Bij schone-neuzenventilatie namen op 1,70 m hoogte boven het midden van de werkgang de concentraties inhaleerbaar stof af van 2,7 naar 2,2 mg/m^3 ($p < 0,01$) en respirabel stof van 0,56 naar 0,44 mg/m^3 (niet significant). De concentraties van deze stoffracties zijn met 20% teruggebracht. De afname was overdag groter dan 's nachts. Omdat de concentratie endotoxinen per mg inhaleerbaar stof niet veranderde (respectievelijk 1.824 en 1.822 EU per milligram stof) is de concentratie endotoxinen in de lucht evenredig afgenomen met de concentratie inhaleerbaar stof.
De concentratie inhaleerbaar stof op 1 m boven de dichte vloer in de hokken nam af met ongeveer 25%, van 3,5 mg/m^3 naar 2,6 mg/m^3 ($p < 0,01$).

Voor een aantal agentia in de lucht bestaan MAC-waarden (maximaal geaccepteerde concentraties). De gezondheidsrisico's van concentraties beneden deze waarden worden acceptabel geacht. Voor stof in stallen bestaan deze grenswaarden nog niet. In 1991 is in de USA 2,4 mg/m^3 als grenswaarde voorgesteld. Vanwege de hoeveelheid

endotoxinen in stalstof is echter het No-Effect Level (NEL) voor stof in stallen waarschijnlijk lager. De Gezondheidsraad heeft voor endotoxinen een gezondheidskundige advieswaarde van 50 EU/m^3 (ongeveer 5 ng/m^3) vastgesteld. Dit is aanzienlijk lager dan de in dit onderzoek gemeten concentraties van 6.106 EU/m^3 en 10.113 EU/m^3 in de afdelingen met schone-neuzenventilatie respectievelijk balansklepventilatie. Deze metingen zijn uitgevoerd in de winter, aan het einde van een opfokperiode.

Bij het traditionele systeem met balansklepventilatie werd de voorgestelde, maar waarschijnlijk te hoge grenswaarde van 2,4 mg/m^3 gedurende de hele werkdag ver overschreden. Bij schone-neuzenventilatie werd deze tussen 7.30 uur en 10.00 uur - de periode waarin de meeste werkzaamheden in de desbetreffende afdelingen worden uitgevoerd - duidelijk overschreden. 's Middags was de stofconcentratie ongeveer gelijk aan de grenswaarde, maar dan is er doorgaans niemand in de afdeling aanwezig. Het is aannemelijk dat de dágelijkse werkzaamheden in de stal onrust bij de varkens en als gevolg daarvan verhoging van de stofconcentraties veroorzaken,

Het ventilatiesysteem had geen aantoonbare invloed op de groei (371 g/dag), de voeropname (0,63 kg/dag) en de voederconversie (1,73 kg voer/kg groei) van de biggen. Bij het schone-neuzensysteem zijn iets minder biggen uitgevallen dan bij het traditionele systeem (respectievelijk 0,6% en 1,8%; $p < 0,05$), maar alleen de uitvalsreden 'diversen' was significant lager.

In verhouding tot andere maatregelen om de hoeveelheid stof te beperken zijn de jaarkosten van het schone-neuzensysteem gering (circa f 100,- tot f 260,- per afdeling per jaar, dat is f 0,25 tot f 0,60 per afgeleverde big). Hierdoor kan het ventilatiesysteem, ook zonder invloed op technische resultaten, aanbevolen worden ter verbetering van de arbeidsomstandigheden van varkenshouders en werknemers.

SUMMARY

Pig farmers suffer from more respiratory diseases than other people, which is partly caused by poor air quality in pig houses. Possible risk factors are: concentrations of inhalable and respirable dust, endotoxins, allergens, several gases and combinations of these aerosols. Occupational exposure to air in pig houses may cause fever, headache, general malaise and respiratory complaints. Most of these disorders are acute and reversible. However, the most important respiratory complaints occur after several years of exposure and some of them may be irreversible.

As most of these risk factors are correlated - most of the agents are components of dust particles- it is expected that the disorders will decrease when dust concentration decreases. Dust concentrations are influenced by type of floors, litter use, ventilation level and ventilation system, feed and feeding system. Some possible measures to reduce dust concentrations are: internal air filtration, ionisation, weekly removal of sedimented dust and dust binding systems using oil or fat. Disadvantages of the measures that have been studied under Dutch conditions until now are that their effectiveness is not sufficient, that they are too expensive, or both.

Between October 1991 and May 1997 (with several interruptions), an experiment was carried out at the experimental farm at Rosmalen to study the effect of a cheap adapted ventilation system on dust concentrations in the air in pig houses.

The ventilation systems in this experiment were:

Tra ditional:

A traditional ventilation system, with air inlet by balance flaps and mechanica1 air exhaust at 1.70 m above the operator walkway;

Adapted:

A ventilation system with air inlet through a horizontal ventilation shaft for ceiling ventilation, only above the operator walkway. Air exhaust was mechanica1 by under-slat air extraction.

The experiments were done in rooms for weaned piglets. These rooms included six pens each, with 44% concrete floors with floor heating and 56% metal tribar slatted floors. The piglets were fed ad libitum; meal during the first three weeks after weaning and pelleted feed later.

Measurements were done during 11batches. The ventilation system affected both average dust concentration and variations in dust concentration during an average 24-hours period. At 1.70 m above the middle of the operator walkway, there was a 20% decrease of inhalable dust, respirable dust and endotoxin concentrations. Dust concentrations decreased from 2.7 to 2.2 mg/m^3 ($p < 0.01$) and from 0.56 to 0.44 mg/m^3 (not significant) respectively. The concentration of endotoxins in inhalable dust (1,824 and 1,822 EU/mg respectively) was not affected. This means that the concentration of endotoxins in the air decreased as much as the concentration of inhalable dust.

At 1 .0 m above the lying area of the piglets, total dust concentration decreased by about 25%, from 3.5 to 2.6 mg/m^3 ($p < 0.01$).

Dust concentrations decreased more during the day than during the night. In the Netherlands, there is no MAC (Maximum Accepted Concentration) for dust in stables. In 1991, Donham suggested a maximum of 2.4 mg inhalable dust/m^3. However, the Health Council of the Netherlands recommends a health-based occupational exposure limit for endotoxins of 50 EU/m^3 (approximately 5 ng/m^3). Based on this limit and the concentration of endotoxins in dust, the derived limit for dust in pig houses is much lower.

In the room with traditional ventilation the 2.4 mg/m^3 -'limit' was amply exceeded during the whole working day. In the room with the adapted ventilation system this 'limit' was exceeded from 7.30 a.m. until 10.00 a.m.. During the afternoon the concentration of total dust was about equal to this 'limit'.

The performance of the piglets was not affected by the ventilation system. The average growth rate was 371 g/day, and feed conversion rate was 1.73 kg food/kg growth. In the room with the adapted ventilation system, mortality rate was lower than in the room with the traditional system (0.6% post-weaning versus 1.8% post-weaning; $p < 0.05$), but only the number of piglets that died because of unidentified reasons was significantly decreased.

Since the extra annual costs of the adapted system are lower than the costs of other dust decreasing systems (about € 50.- up to € 115.- for each room yearly, that is € 0.12 up to € 0.27 per piglet), the adapted ventilation system is recommended to improve the labour conditions for farmers and their employees.

1 INLEIDING

Uit inventarisaties blijkt dat varkenshouders relatief veel gezondheidsklachten hebben. Met name klachten aan de luchtwegen (respiratoire klachten) en algemene klachten zoals vermoeidheid komen relatief veel voor (Willems et al., 1984; Preller en Vogelzang, 1993). Hoewel de precieze oorzaak van de klachten niet bekend is wordt de stallucht verantwoordelijk geacht voor een belangrijk deel van de problemen. Mogelijke risicofactoren zijn onder andere de hoeveelheid inhaleerbaar stof, de hoeveelheid respirabel stof (deeltjes kleiner dan 5 μm), micro-organismen, β-(1→3)-glucanen, allergenen, diverse gassen en combinaties van de genoemde stoffen. Endotoxinen zijn gifstoffen, afkomstig uit het buitenste celmembraan van gramnegatieve bacteriën, die ontstekingsreacties kunnen veroorzaken en de ademhalingsfrequentie van varkens béïnvloeden (Milanowski,1997). Ook β-(1→3)-glucanen, afkomstig van celwanden van schimmels, worden geassocieerd met negatieve gezondheidseffecten op de luchtwegen (Milanowski, 1997), maar een causaal verband is volgens Douwes (1998) niet aangetoond. Zowel de respiratoire klachten als de meer algemene klachten kunnen veroorzaakt worden door stoffen die, al dan niet gebonden aan de grotere stofdeeltjes, ingeademd worden.
De gemiddelde stofconcentratie in stallucht is vaak hoger dan de in literatuur genoemde advieswaarden. Bovendien zijn de concentraties gedurende de perioden dat de varkenshouder in de afdeling werkt nog hoger dan de 24-uursgemiddelden. Dit komt doordat veel varkens in beweging komen als de varkenshouder de afdeling binnenkomt, waardoor veel stof opdwarrelt. Stofdeeltjes kunnen fungeren als drager van gassen, endotoxinen, micro-organismen en andere organismen. Zo bevat een gram neergeslagen stof 20.000 levensvatbare micro-organismen en bevat stof in stallucht ongeveer 0,4% ammoniak (Donham et al., 1986). Hierdoor leidt verlaging van de stofbelasting ook tot verlaging van de blootstelling aan de overige agentia.
Verlaging van de blootstelling kan op verschillende manieren worden gerealiseerd. Zo kan mechanisatie of automatisering van het werk leiden tot verkorting van de blootstellingsduur, maar dat effect wordt doorgaans teniet gedaan door uitbreiding van het aantal te verzorgen dieren. Een goedkope manier om de blootstelling te verlagen is het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's), in dit geval stofkapjes of stofmaskers. Vanuit arbeidshygiënisch oogpunt is dit echter hooguit een tijdelijke noodoplossing. Het draagcomfort van dergelijke PBM's is zo slecht dat ze doorgaans beperkt worden gebruikt. Bovendien passen ze vaak slecht, waardoor er veel lekkucht ongezuiverd wordt ingeademd. Tenslotte laten de filters in deze maskers nog een deel van het stof door: volgens onderzoek van Pickrell et al. (1996) beschermen maskers met P1-filters helemaal niet tegen respirabel stof en laten de betere P2-maskers nog maximaal 25% van het inhaleerbare en 45% van het respirabel stof door. Hierdoor is verlaging van de stofconcentratie op de werkplek - de stal - de beste manier om de stofbelasting van varkenshouders en andere personen die in de stal werken te verlagen.

Uit eerder onderzoek op het Varkensproefbedrijf in Rosmalen is gebleken dat de stofgehalten op verschillende plaatsen in de afdeling niet hetzelfde zijn (Leijten, 1990). De verschillen worden onder andere veroorzaakt door de luchtbeweging in relatie tot de plaats waar het stof wordt geproduceerd. De varkenshouder in de stal moet lucht inademen die zo schoon mogelijk is. Daarom is onderzocht hoe de luchtbeweging kan worden gebruikt om voor de varkenshouder een zo schoon mogelijke werkplek te creëren.

De doelstelling van dit onderzoek is na te gaan of de stofconcentratie in stallucht kan worden verlaagd op een relatief goedkope manier die bovendien op veel bedrijven toepasbaar is. Hiertoe is de invloed bepaald van een aangepast ventilatiesysteem, de "schone-neuzenstal", op:

a. het stofgehalte van de lucht en het verloop hiervan tijdens het etmaal;

b. de hoeveelheid endotoxinen in de lucht;
c. de technische resultaten van de biggen;
d. de kosten.

De rapportage van het onderzoek naar de effectiviteit van het genoemde ventilatiesysteem (hoofdstuk 3 tot en met 6) wordt voorafgegaan door een literatuuroverzicht (hoofdstuk 2). Dit overzicht handelt onder andere over effecten van stof op de varkenshouder en de varkens, grenswaarden, factoren die de stofconcentratie beïnvloeden en maatregelen om de stofconcentratie te verlagen. Met dit hoofdstuk wordt getracht een brug te slaan tussen enerzijds het internationale wetenschappelijke onderzoek en anderzijds de praktiserende varkenshouderij en de bedrijven die daar rechtstreeks mee te maken hebben. De bedoeling hiervan is dat er bij de ontwikkeling van nieuwe huisvestings-, voedings- en ventilatiesystemen rekening wordt gehouden met de beschikbare kennis omtrent stof.

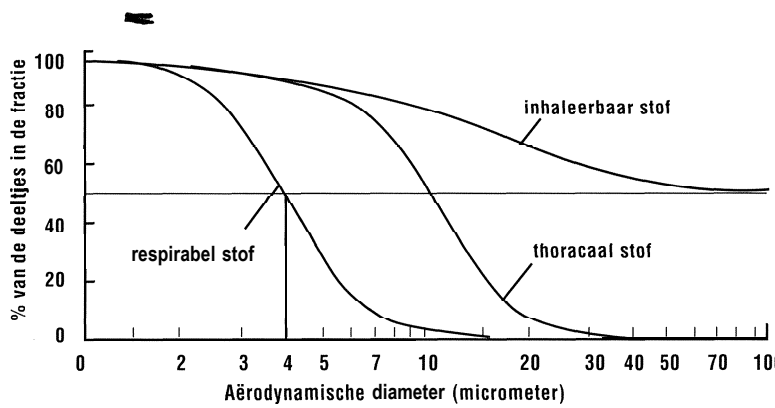
2 LITERATUUROVERZICHT

In dit hoofdstuk is, na een weergave van de gebruikte terminologie, een beknopt literatuuroverzicht te vinden over de mogelijke effecten van stof in stallucht op mensen (paragraaf 2.1) en varkens (2.2). In Nederland zijn nog geen normwaarden vastgesteld voor stof in stallucht, maar op basis van de genoemde effecten zijn hiertoe wel voorstellen gedaan (2.3). Tenslotte gaat dit hoofdstuk kort in op een aantal factoren die de stofconcentratie in stallucht beïnvloeden (2.4) en op maatregelen om deze te verlagen (2.5).

Terminologie bij stofmetingen

De uitwerking van ingeademde stofdeeltjes op het lichaam van de mens is afhankelijk van de grootte en de biochemische samenstelling van de deeltjes. Zo zijn de grootste stofdeeltjes zo zwaar dat ze door hun traagheid niet ingeademd worden. De allerkleinste deeltjes (< 1 µm) dringen door tot in de longblaasjes, maar komen slechts voor een klein deel terecht op de wand van de luchtwegen (Doekes, 1997). Juist de iets grotere deeltjes (tot 5 µm) lijken de meeste schade aan te richten. Vanwege de verschillende eigenschappen wordt de totale hoeveelheid stof ('totaal stof') onderverdeeld in een aantal fracties.
De belangrijkste fracties die binnen dit verband worden onderscheiden zijn de fracties 'inhaleerbaar stof' (stofdeeltjes die via de neus of de mond ingeademd kunnen worden), 'thoracaal stof' (inhaleerbare deeltjes die bovendien het strottehoofd kunnen passeren) en 'respirabel stof' (thoracale stofdeeltjes die bovendien zo ver in de luchtwegen neerslaan dat er geen trilhaartjes meer aanwezig zijn om ze weer naar buiten af te voeren). Hoe ver de stofdeeltjes werkelijk in de longen doordringen is afhankelijk van veel factoren, waaronder de luchtsnelheid op de werkplek, de persoon die ademt en de inspanning die deze persoon levert. Om toch de luchtkwaliteit uniform te kunnen beoordelen zijn binnen Europees verband afspraken gemaakt over de deeltjesgrootteverdeling (uitgedrukt in aërodynamische diameter[1]) in de verschillende fracties (CEN, 1993). In figuur 1 is het resultaat van deze afspraken weergegeven.

Volgens de definities in figuur 1 bedraagt het 50% afscheidingspercentage van respirabel stof 4,25 µm, van thoracaal stof 10 µm en van inhaleerbaar stof 100 µm. Dit bete-



Figuur 1: Definities van de fracties inhaleerbaar, thoracaal en respirabel stof volgens EN 481
Bron: CEN, 1993

[1] De aërodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met dichtheid 1 kg/m^3, dat dezelfde valsnelheid heeft als dat deeltje.

kent dat bij het meten van de hoeveelheid respirabel stof 50% van de stofdeeltjes met een diameter van 4,25 µm die per m^3 lucht aanwezig zijn ook daadwerkelijk gemeten moeten worden. Van de grotere deeltjes wordt minder dan de helft tot de fractie 'respirabel stof' gerekend, van de kleinere deeltjes meer. De deeltjes die kleiner zijn dan een µm worden vrijwel allemaal tot de fractie 'respirabel stof' gerekend. Van deeltjes die groter zijn dan 100 µm zijn geen experimentele data beschikbaar, waardoor de definitie van inhaleerbaar stof daar plotseling is afgebroken (Boleij et al., 1995).

Bij gravimetrische metingen van stofconcentraties wordt lucht door een filter gezogen, waarbij de stofdeeltjes op het filter achterblijven en na de monstername worden gewogen. Bij deze meetmethode bepalen het debiet en de vorm van de filterhouder voor een belangrijk deel welke stofdeeltjes worden verzameld. Door de keuze van een filterhouder met de juiste karakteristiek kan een fractie worden gemeten die zo goed mogelijk overeen komt met één van de in figuur 1 weergegeven karakteristieken.
Bij on-line metingen, bijvoorbeeld met een lichtverstrooiingsmeter, wordt het verloop van het aantal deeltjes en hun omvang in de tijd vastgelegd. Afhankelijk van de aanzuigsnelheid van de lucht en de vorm van de meetsonde, eventueel voorzien van voorfilters, kunnen ook hierbij bepaalde fracties worden gemeten. De aantallen deeltjes moeten op basis van ijkreeksen worden omgerekend naar massaconcentraties.

Beschermingsmechanismen tegen stof

Het menselijk lichaam bevat een aantal mechanismen waarmee het zich beschermt tegen schadelijke deeltjes in de lucht. In de neusholte wordt de lucht in een aantal scherpe bochten gedwongen en worden veel deeltjes weggevangen in het neusslijmvlies (mucosa) en vervolgens doorgeslikt of uitgeniest. In de neusholte, de luchtpijp (trachea) en de bronchiën bevindt zich trilhaarepitheel, dat door gecoördineerde bewegingen van de trilharen deeltjes naar de keel transporteert waar ze worden doorgeslikt. In de diepste luchtwegen is geen trilhaarepitheel aanwezig en kunnen deeltjes alleen door afbraak of ophoesten van de daar aanwezige slijmlaag, waarin depositie plaatsvindt, worden verwijderd (Doekes, 1997).

2.1 Gezondheidsklachten bij varkenshouders

Volgens een enquête onder 1895 Nederlandse agrariërs (respons 72%) uit acht sectoren (varkenshouders, pluimveehouders, melkveehouders, akkerbouwers, champignonkwekers en drie typen tuinbouwers) hebben varkenshouders de meeste gezondheidsklachten. Wat betreft het aantal behandelingen door een arts staan ze op de vijfde plaats (Willems et al., 1984).
Varkenshouders klagen vooral over hun algemene gezondheid (38%), slijm ophoesten (12%), vermoeidheid bij lichte inspanning (23%), astma-aanvallen (7%) of een verstopte neus (8%). 13% van de varkenshouders wordt medisch behandeld voor de genoemde klachten aan de luchtwegen. De varkenshouders legden vooral een verband tussen hun klachten en hun beroepsmatige blootstelling aan stof, gassen, dampen en nevels (Willems et al., 1984).

2.1 .1 Prevalentie van respiratoire klachten

Klachten die betrekking hebben op de ademhaling, respiratoire klachten, komen binnen de landbouw vooral voor bij varkenshouders en pluimveehouders (Willems et al., 1984). In tabel 1 staan resultaten van drie onderzoeken naar de prevalentie van dergelijke klachten bij varkenshouders.

De resultaten van de drie onderzoeken mogen niet rechtstreeks met elkaar vergeleken worden. Mogelijke verschillen in houderijsystemen en arbeidsomstandigheden op de bedrijven, sociaal-economische omgeving van de respondenten en manieren waarop de vragen zijn gesteld kunnen de prevalenties beïnvloed hebben. De studies tonen wel aan dat veel varkenshouders last hebben van luchtwegaandoeningen. In het onderzoek van Donham et al. (1989) hebben varkenshouders significant meer last dan andere Zweedse bevolkingsgroepen. Volgens Nowak (1998) neemt bij zeugenhouders, vleesvarkenshouders en biggenopfokkers het percentage met klachten significant toe naarmate het aantal te verzorgen

Tabel 1: Prevalentie (%) van respiratoire klachten bij varkenshouders

	Iowa (V.S.)[1]	Zweden2		Nederland3
aantal respondenten	486	v: 57	c: 55	1.504
chronisch hoesten	67	39	13	18,4
chronisch slijm ophoesten	56	16	7	13,8
kortademigheid	36	33	29	80
piepen op de borst	27			17,4
meer dan één week piepen				6,8
aanvallen van benauwdheid				58,
werk verzuimd wegens longklachten		30	18	

[1] bron: Donham en Gustafson, 1982

[2] bron: Donham et al., 1989. V = varkenshouders, C = controlepersonen: qua leeftijd, geslacht, sociaal-economische omstandigheden en rookgedrag vergelijkbare personen buiten de varkenshouderij.

[3] bron: Preller en Vogelzang, 1993

- deze vraag is niet in de enquête opgenomen

dieren toeneemt. Vaak is het klimaat in nieuwe stallen nog ongezonder dan in oudere stallen (Jacobson et al., 1996), mogelijk als gevolg van een hogere dierdichtheid. Volgens Jolie et al. (1998a) hebben varkenshouders met veel luchtwegaandoeningen bij de varkens zelf ook meer luchtwegaandoeningen dan varkenshouders met gezondere varkens. Hun vergelijkende onderzoek op tweemaal zeven bedrijven geeft hiervoor echter geen harde bewijzen,

Bij Nederlandse dierenartsen met varkensbedrijven in hun praktijk is de prevalentie van respiratoire klachten nog hoger dan bij de varkenshouders (Preller en Vogelzang, 1993, geciteerd door Tielen et al., 1995). Jolie et al. (1998b) vonden iets soortgelijks: 91% van de 142 studenten die gedurende drie uur pasgeboren biggen verzorgden had naderhand respiratoire klachten. De hogere prevalentie kan meerdere oorzaken hebben. Het is mogelijk dat de dierenartsen en de studenten zijn blootgesteld aan hogere concentraties dat een minder regelmatige blootstelling aan stallucht heftigere reacties veroorzaakt of dat dierenartsen en studenten als gevolg van hun sociaal-economische status de vragen anders beantwoorden dan varkenshouders. Het is verder waarschijnlijk dat mensen met aanleg voor longklachten minder vaak kiezen voor het beroep varkenshouder. Zock et al. (1998) en Vogelzang et al. (1999b) menen bij varkenshouders aanwijzingen te hebben voor dit zogenaamde Healthy worker effect, Melenka et al. (1999) hebben aanwijzingen voor een Healthy worker effect bij landbouwers in het algemeen, en Post et al. (1998) hebben aangetoond dat in de graanindustrie mensen met longklachten eerder hun baan opgeven dan mensen zonder klachten.
Preller (1995) en Doekes (1997) geven ook nog andere verklaringen voor het genoemde verschil tussen dierenartsen en varkenshouders. Volgens Preller (1995) zijn er aanwijzingen dat antilichamen tegen varkensurine, door het lichaam aangemaakt na blootstelling aan eiwitten in de urine, een beschermende werking hebben tegen chronische ademhalingsaandoeningen. Doekes (1997) heeft aanwijzingen voor een soortgelijke beschermende werking van intensieve en chronische blootstelling aan organisch stof.

2.1.2 Onderscheiden ziektebeelden

Deeltjes en gassen in stallucht kunnen verschillende aandoeningen veroorzaken. Enkele daarvan zijn acuut, maar de meeste aandoeningen zijn het gevolg van chronische blootstelling. Latente perioden van zes jaar (Donham, 1995), maar ook van 15 tot 20

jaar worden genoemd (Donham en Leininger, 1984, geciteerd door Jackson, 1995). De meeste aandoeningen betreffen ontstekingen of toxische processen, terwijl incidenteel allergische reacties voorkomen (Donham, 1995). Doekes (1997) ziet de aandoeningen als een reactie van het lichaam tegen pathogene schimmels en bacteriën, in het pre-industriële tijdperk de meest voorkomende inhaleerbare schadelijke deeltjes. Tegenwoordig is de weefselschade als gevolg van de ontstekingsreacties echter vaak ernstiger dan de directe schade van de ingeademde stofdeeltjes.

Von Essen en Donham (1999) maken in een literatuuroverzicht onderscheid tussen de volgende respiratoire aandoeningen: acute longontsteking, astma-like syndrome, astma, bronchitis, ODTS en hypersensitiviteitspneumonie (hypersensitivity pneumonitis).

Acute longontsteking
Verschijnselen van acute longontsteking zijn: hoesten/kuchen, kortademigheid, verstopte neus, hoofdpijn, koorts en rillerigheid, malaise, misselijkheid en irritaties aan de ogen. Wat betreft de longfunctie neemt het FEV, af? Preller en Vogelzang (1993) vonden bij Nederlandse varkenshouders de volgende klachten die optraden tijdens of direct na werk in de stallen: 56% van hen had hoofdpijn, 14,6% had last van sterk zweten, 3,3% van duizeligheid, 13,7% van vermoeidheid, 14% van gewrichts- of spierpijn en 7,9% van prikkelende of tranende ogen.
Diverse biologische effecten in het lichaam duiden op een ontstekingsreactie (Muller-Suur et al., 1997; Von Essen en Donham, 1999). Volgens Larsson et al. (1999) dragen bacteriën (onder andere de veel voorkomende *E. coli*), bacteriële componenten of producten ervan in belangrijke mate bij aan het ontstaan van de ontstekingsreacties na blootstelling aan varkensstof. Uit hun onderzoek blijkt dat het onwaarschijnlijk is dat de waargenomen ontstekingsreacties alleen door endotoxinen worden veroorzaakt.
Ook personen die voor het eerst in aanraking komen met varkens hebben de genoemde klachten, waardoor een allergische reactie onwaarschijnlijk is. Zo had 58% van een groep studenten na drie uur werken in een kraamstal last van vermoeidheid, hoofdpijn of pijnlijke ogen (Jolie et al., 1998b). Vrijwel alle niet eerder aan varkens blootgestelde proefpersonen in het onderzoek van Muller-Suur et al. (1997) toonden, naast de andere verschijnselen, een verhoging van de lichaamstemperatuur met gemiddeld 0,9˚C.
Preller en Vogelzang (1993) hebben geen verband gevonden tussen de hier genoemde klachten met chronische blootstelling aan toxinen, micro-organismen of organische stoffen, maar wel met bedrijfskenmerken als het aantal stallen, het voersysteem en strooiselgebruik.

Asthma-like-syndrome
Symptomen van het asthma-like-syndrome zijn: hoesten/kuchen, pijn op de borst, kortademigheid en piepen bij het ademhalen, met geringe obstructie van de luchtwegen De gevonden afname van het FEV, is volgens Post et al. (1998) gecorreleerd met de blootstelling aan endotoxinen. Ook zijn associaties aangetoond met het dagelijkse aantal gewerkte uren in de varkenshouderij (Von Essen en Donham, 1999). Aanvankelijk zijn de genoemde symptomen reversibel, het is onbekend of ze op termijn irreversibel kunnen worden.
Van de 1.504 door Preller en Vogelzang (1993) geënquêteerde varkenshouders had 40,6% last van klachten die kunnen wijzen op het asthma-like-syndrome.

Astma
De verschijnselen van astma, een chronische ontsteking in de luchtwegen, zijn hetzelfde als die van het asthma-like-syndrome,

---

[2] Er zijn meerdere parameters waarmee de longfunctie kan worden gemeten. Enkele veelgebruikte zijn de FVC en het FEV_1. De FVC (forced vital capicity) is de maximale hoeveelheid lucht (in liters) die in één geforceerde uitademing kan worden uitgeblazen na maximaal inademen. Het FEV_1 (forced expiratory volume in one second; het aantal liters uitgeblazen lucht in de eerste seconde) is een maat die sterk samenhangt met het voorkomen van bronchitis.

maar met een variabele obstructie van de luchtwegen. De aanwezigheid van antilichamen tegen antigenen uit de werkomgeving (immunoglobuline G (IgG) en IgE) bij varkenshouders duidt op een relatie met het werk, maar doorgaans is er geen duidelijke relatie met de ziekteverschijnselen. Hierdoor is het niet duidelijk of de astma daadwerkelijk het gevolg is van blootstelling tijdens het werk.
Preller (1995) heeft bij varkenshouders een relatie aangetoond tussen astmatische verschijnselen en het werk, met name met het desinfecteren met quaternaire ammoniumverbindingen. Daarnaast heeft ze aanwijzingen voor een relatie met de blootstelling aan endotoxinen en ammoniak.

Bronchitis
Bronchitis is herkenbaar aan het hoesten en kuchten en het opgeven van sputum.
Volgens Von Essen en Donham (1999) heeft 25% van degenen die in varkensstallen werken hier periodiek last van, maar is het niet bekend in welke mate dit zal resulteren in chronische bronchitis. Uit de relatie met de mate van blootstelling aan endotoxinen, stof en ammonia blijkt dat het ziektebeeld samenhangt met het houden van varkens. Roken heeft overigens een zeer slechte invloed op het ziektebeeld.
Volgens Vogelzang et al. (1997) komen bronchiale verschijnselen vooral voor bij varkenshouders die hun stallen desinfecteren met quaternaire ammoniumverbindingen, houtkrullen gebruiken als strooisel, automatische droogvoersystemen toepassen, gepelleteerd voer verstrekken en lucht afzuigen van onder de roosters of met ventilatoren in het plafond.

ODTS
Het Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS, ook wel Toxic alveolitis genoemd) uit zich vier tot acht uur na de blootstelling door klachten als malaise, spierpijn, koorts, pijn op de borst, hoofdpijn en misselijkheid. De klachten kunnen gedurende meerdere dagen aanhouden en zijn waarschijnlijk een gevolg van blootstelling aan endotoxinen (Donham, 1995).
De prevalentie kan hoog zijn: in het Amerikaanse onderzoek van Donham en Gustafson (1982) had *37%* van de varkenshouders last van hoofdpijn en 25% van stijve spieren of spierpijn. Volgens Nederlands onderzoek neemt de prevalentie van ODTS toe met het aantal jaren dat mensen in varkensstallen werken (Vogelzang et al., 1999a).

Hypersensitiviteitspneumonie
Hypersensitivity pneumonitis (ook wel Boerenlong of extrinsic allergic alveolitis genoemd) komt vooral voor bij veehouders en slechts incidenteel bij varkenshouders. De verschijnselen zijn koorts, hoesten en kuchen, kortademigheid en malaise, vanaf vier tot acht uur na blootstelling. Boerenlong is een voorbeeld van een 'type III allergie', doorgaans het gevolg van blootstelling aan sporen van schimmels en actinomyceten (Doekes, 1997).

2.1.3 Afname van de longfunctie
Er zijn meerdere parameters waarmee de longfunctie kan worden gemeten. Enkele veelgebruikte zijn de FVC en het FEV,. Daarnaast zijn er parameters die de maximale uitademsnel heid (liters/seconde) weergeven, zoals de MMEF (maximal mid-expiratory flow; de gemiddelde flow tussen 25% en 75% van de FVC), MEF_{25}, MEF_{50} en MEF_{75} (maximum expiratory flow; de flows terwijl 25%, 50% respectievelijk 75% van de FVC is uitgeblazen).

Acute effecten
Blootstelling aan stallucht heeft een acute negatieve invloed op de longfunctie. In een Amerikaans onderzoek was de FVC na vier uur werk in varkensstallen 3,3% lager en het FEV, 5,8% lager dan direct voor het werk. Naarmate de personen meer jaren in de varkenshouderij werkzaam waren geweest was de afname van FVC en FEV, groter (Donham et al., 1984). Bij andere proefpersonen nam na een vijf uur durende fietsoefening in een varkensstal het FEV, af met 9,9% (Zhang et al., 1998).

Chronische effecten
Naast de acute effecten zijn er ook effecten van chronische blootstelling aan stallucht op de longfunctie. Bongers et al. (1986, 1987) hebben de longfunctie van 132 Nederlandse

varkenshouders gemeten. Op de parameters FEV_1, MMEF, MEF_{50} en MEF_{25} scoorden ze significant slechter dan de door de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal vastgestelde referentiewaarden (Quanjer, 1983, geciteerd door Bongers et al., 1986), op de parameter FVC beter. De longfunctie van de varkenshouders was slechter naarmate er bij de geslachte vleesvarkens meer longafwijkingen werden vastgesteld. Donham et al. (1989) vonden bij Zweedse varkenshouders een negatieve relatie tussen de longfunctie en de hoeveelheden totaal stof, respirabel stof, endotoxinen en micro-organismen in de stallucht. Ze hebben een dosis-responsrelatie kunnen vaststellen tussen de hoeveelheid endotoxinen in stallucht en het FEV,. Het FEV, nam af naarmate er meer endotoxinen in de lucht zaten. Zejda et al. (1994) vonden in Canadese stallen een dosis-responsrelatie tussen FVC en de hoeveelheid endotoxinen, en tussen FVC en "endotoxinen maal dagelijkse verblijfsduur in de stal". Deze laatste interactie had ook invloed op het FEV,. Zejda et al. (1994) vonden echter geen relatie tussen FVC of FEV, en de concentratie totaal stof of respirabel stof. Bij Nederlandse varkenshouders nemen het FEV, (Vogelzang et al., 1996) en de FVC (Vogelzang et al., 1998) sterker af dan bij andere bevolkingsgroepen. Melenka et al. (1999) vonden een afname van de FEV, van veehouders van 43 ml na een tienjarige blootstelling aan 'gemiddelde' stofconcentraties. De afname van het FEV, bij varkenshouders is groter naarmate ze meer jaren in stallen hebben gewerkt. Waarschijnlijk hebben endotoxinen een slechte invloed op het FEV,. Vogelzang et al. (1998) vonden een dosis-responsrelatie tussen blootstelling aan endotoxinen en de extra afname van het FEV_1.

2.2 Effect op productiviteit van de varkens

De resultaten van onderzoeken naar de invloed van stof in stallucht op varkens zijn niet eenduidig. Op zich lijken de stofdeeltjes de productiviteit niet te beïnvloeden. Verlaging van het aantal micro-organismen, die vaak zijn gebonden aan stofdeeltjes, leidt waarschijnlijk wel tot gezondere varkens. In stallen met hoge stofconcentraties in de lucht hebben de varkens meer last van respiratoire aandoeningen dan in stallen met weinig stof (De Boer en Morrison, 1988). Ook endotoxinen en gassen lijken invloed te hebben op de gezondheid van de varkens.

Volgens Curtis (1986) heeft stof bij gezonde varkens vrijwel nooit invloed op de technische resultaten, omdat zelfs stofconcentraties van 200 mg/m^3 de groeisnelheid niet beïnvloeden. Jansen en Feddes (1995) hebben in twee experimenten de hoeveelheid respirabel stof in stallucht verdubbeld respectievelijk verzesvoudigd door fijngemalen faeces respectievelijk fijngemalen voer in de lucht te brengen. Ze vonden geen effect op technische resultaten en op de longen, die na slacht werden beoordeeld.
Currie et al. (1997) vonden daarentegen een significante verbetering van de groei van gespeende biggen in een afdeling die dagelijks werd schoongemaakt, waardoor onder andere de stofconcentratie was verlaagd. Het is echter mogelijk dat dit schoonmaken ook andere effecten heeft gehad die de verbetering van de groei hebben veroorzaakt. Volgens Cargill et al. (1998) heeft toepassing van all in-all out met reinigen en desinfecteren meestal een gunstige invloed op de stofconcentratie in de stallucht, en alleen onder die voorwaarde tevens een gunstige invloed op de groei van vleesvarkens. Skirrow et al. (1995) vonden op bedrijven met lage stofconcentraties minder borstvliesontsteking dan op bedrijven met hogere concentraties. Hoewel hierbij andere bedrijfsfactoren een rol kunnen spelen adviseren ze onder andere om de hoeveelheid respirabel stof te verminderen om borstvliesontsteking tegen te gaan.
Carpenter et al. (1986) hebben op een bedrijf met een Streptococcenprobleem onderzoek gedaan naar interne luchtfiltratie. Hierbij werd stallucht in de afdeling gefilterd en teruggeblazen in dezelfde afdeling. Ze vonden geen directe invloed op de technische resultaten van de biggen, maar tijdens het mesttraject (zonder luchtfiltratie) groeiden de biggen uit de proefafdelingen zoveel beter dat ze een week eerder slachtrijp waren dan de andere varkens. Carpenter et al. (1986) verklaren het uitblijven van een proefeffect tijdens de opfokperiode doordat de biggen met antibiotica gemedicineerd

voer kregen. In een vergelijkbaar onderzoek onder Nederlandse omstandigheden vonden Roelofs et al. (1993) geen effect op de technische resultaten van biggen of vleesvarkens. Ze vonden alleen een kleine, niet significante, afname van het aantal veterinaire behandelingen van de vleesvarkens die als big waren opgefokt in de afdelingen met interne luchtfiltratie.
Zweedse biggen groeiden tijdens de zoog- en de opfokperiode slechter en hadden een slechtere voederconversie naarmate er meer micro-organismen in de lucht zaten (Donham, 1991). In de vleesvarkensafdelingen, waar minder stro werd gebruikt en waar het stof minder micro-organismen en endotoxinen bevatte, vond hij dit effect niet. Donham (1991) vergeleek verschillende stallen op praktijkbedrijven en het is mogelijk dat het verschil in technisch resultaat is veroorzaakt door andere factoren, zoals de concentratie van gassen. Dat gassen belangrijk kunnen zijn blijkt uit een Duits onderzoek waarnaar De Jong (1987) verwijst. Varkens in afdelingen waarin regelmatig door de mest werd geroerd groeiden 17,4% langzamer en hadden een 11,3% hogere voederconversie dan varkens in een referentie-afdeling.
Volgens Urbain et al. (1996) veroorzaakt juist de combinatie van gassen en endotoxinen schade. Het vernevelen van endotoxinen had namelijk geen directe invloed op de nasale slijmvliezen van biggen (gemiddeld gewicht 14 kg). Bij biggen die gedurende zes dagen voor het vernevelen van de endotoxinen waren blootgesteld aan 50 ppm ammoniak ontstond echter wel schade aan de slijmvliezen.

2.3 Normwaarden

In Nederland zijn grenswaarden vastgesteld voor hinderlijk3 stof, namelijk 5 mg/m^3 voor de respirabele fractie en 10 mg/m^3 voor de inhaleerbare fractie (Ministerie SZW, 1999). Deze zogenaamde MAC-waarden (maximal accepted concentrations) zijn opgesteld voor beroepsmatige blootstelling gedurende 40 uur per week, met herstelperioden in de weekeinden. Daarnaast is 50 Endotoxin Units per m^3 (EU/m^3) geadviseerd als grenswaarde voor endotoxinen, (Dutch Expert Committee on Occupational Standards, 1998).
Volgens Sigsgaard et al. (1999) is de dosis, dit is het product van de duur van de blootstelling en de concentratie, meer bepalend voor de kans op astma dan de gemiddelde concentratie. In dat geval moeten de concentraties bij werkweken van meer dan 40 uur in de stallen evenredig lager zijn dan de MAC-waarden en zou de concentratie bij kortere blootstellingsduur wat hoger mogen zijn. Het is echter niet bekend of dit ook geldt voor andere aandoeningen dan astma, voor welke aerogene agentia dit geldt en binnen welk traject het verband lineair is.

Stof

In Nederlandse varkensstallen worden zelden stofconcentraties gemeten die hoger zijn dan de genoemde normwaarden. Het is daarom niet aannemelijk dat de hoeveelheid stof het grote aantal klachten veroorzaakt. Het stof in stallucht is echter niet inert, maar veroorzaakt biologische reacties in het lichaam. Hierdoor is het stof al bij lagere concentraties schadelijk voor de gezondheid dan de hiervoor genoemde grenswaarden voor hinderlijk stof. Donham (1991) en Donham en Cumro (1999) adviseren op basis van epidemiologisch onderzoek de in tabel 2 weergegeven grenswaarden voor stof in stallucht.

De grenswaarden zijn gebaseerd op onderzoek aan personen die gemiddeld zes jaar en gedurende minimaal twee uur per dag in stallen hebben gewerkt (Donham, persoonlijke mededeling). Bij personen die waren blootgesteld aan hogere stofconcentraties was de FEV, meetbaar afgenomen.
De grenswaarden volgens Donham (1991, 1999) zijn waarschijnlijk te hoog, doordat een meetbare afname van de FEV, binnen zes jaar een erg grof criterium is, er geen

3 "Hinderlijk stof" of "inert stof" bestaat uit stofdeeltjes die geen reacties aangaan met stoffen in het lichaam en daardoor minder schadelijk zijn dan een aantal andere soorten stof

Tabel 2: Op basis van epidemiologisch onderzoek geadviseerde grenswaarden voor stof in stallucht

	humane gezondheid	diergezondheid
Totaal stof (mg/m^3)[4]		
persoonlijk gemeten[1]	3,8	
stationair gemeten[2]	24	3,7
Respirabel stof (mg/m^3)		
persoonlijk gemeten[1]	0,28	
stationair gemeten*	0,16	0,23

[1] bron: Donham (1991). Bij persoonlijke metingen worden metingen gedaan op de persoon waarin men is ge'interesseerd.

[2] bron: Donham en Cumro (1999). Bij stationaire metingen wordt een meetopstelling vast opgesteld en wordt steeds op dezelfde plaats gemeten.

veiligheidsfactor voor risicogroepen is toegepast en doordat veel Nederlandse varkenshouders veel langer dan twee uur per dag in de stallen werken.

Endotoxinen

In de buitenlucht is de gemiddelde concentratie endotoxinen 1,9 tot 4,9 EU/m^3 in respectievelijk de winter en de zomer, en er is geen duidelijk verschil tussen landelijke en stedelijke gebieden (Hartung en Seedorf, 1999).

De in Nederland geadviseerde grenswaarde voor endotoxinen (50 EU/m^3, Dutch Expert Committee on Occupational Standards, 1998) is afgeleid van het NEL (no effect level: het niveau waarbij juist geen biologisch effect is vastgesteld) en is aanzienlijk lager dan de 614 EU/m^3 die Donham en Cumro (1999) voorstellen. Zij hebben ook deze grenswaarden echter gebaseerd op onderzoek aan personen die gemiddeld zes jaar en gedurende minimaal twee uur per dag in stallen hebben gewerkt (Donham, persoonlijke mededeling). Daarom zijn voor Nederlandse varkenshouders ook deze grenswaarden van Donham en Cumro (1999) waarschijnlijk te hoog.

Combinaties van agentia

Op basis van het NEL voor endotoxinen en van de concentratie endotoxinen in het stof zou ook een NEL voor stof in stallucht afgeleid kunnen worden. Een probleem hierbij is dat er in literatuur zeer uiteenlopende concentraties worden gevonden. Crook et al. (1991, geciteerd door Seedorf et al., 1998) vonden waarden van 0,41 tot 7,8 ng/mg stof, Thedell et al. (1980, geciteerd door Li, 1997) waarden van 4,5 tot 48 ng/mg, Donham et al. (1986) ongeveer 5 ng/mg en Preller en Vogelzang (1993) vonden gemiddeld ongeveer 40 ng/mg stof. Bij een NEL voor endotoxinen van 4,5 ng/m^3 en bij 0,41 tot 40 ng endotoxinen per mg stof zou de grenswaarde voor stof 0,1 tot 11 mg/m^3 bedragen.

Behalve aan stof en endotoxinen worden varkenshouders aan diverse andere agentia, zoals micro-organismen en gassen, blootgesteld, Als deze stoffen onafhankelijk van elkaar dezelfde toxische werking op eenzelfde orgaansysteem uitoefenen, moet de zogenaamde additieregel worden toegepast. Deze houdt in dat de som van alle afzonderlijke blootstellingsconcentraties, uitgedrukt als fractie van de afzonderlijke wet-

[4] De term 'totaal stof' wordt op verschillende manieren gebruikt. Soms wordt er inhaleerbaar stof mee bedoeld, soms worden er werkelijk alle stofdeeltjes mee bedoeld. Donham (1991) heeft niet gedefinieerd welke fractie hij bedoelt.

telijke grens- of MAC-waarden, kleiner zijn moet dan één. Er zijn echter aanwijzingen dat bijvoorbeeld ammoniak en stof in stallen niet alleen allebei de longen aantasten, maar elkaars werking zelfs versterken (Von Essen en Donham, 1999). Zo vonden Donham et al. (1995) bij mensen die minimaal twee uur per dag in stallen werkten een toename van het aantal respiratoire klachten bij meer dan 7 ppm ammoniak in stallen, terwijl de MAC-waarde bij achturige blootstelling 20 ppm is (Ministerie SZW, 1999). Dit kan meerdere oorzaken hebben Een mogelijkheid is dat ammoniak niets met de klachten te maken had, maar dat de klachten zijn veroorzaakt door één of meer andere - niet gemeten - stoffen, die ook in de stal voorkwamen. Een tweede mogelijkheid is dat meerdere stoffen een rol spelen en dat de hoeveelheid ammoniak, ongeveer eenderde van de MAC-waarde, conform de additieregel, één van de stoffen was die de klachten veroorzaakten. Tenslotte is het mogelijk dat ammoniak één van de stoffen is die klachten veroorzaken, maar dat er sprake is van zogenaamde multiplicatieve effecten. Bij multiplicatieve effecten geeft ook de additieregel een onderschatting van de schadelijkheid van de blootstelling en moet de schadelijke werking van het specifieke mengsel van stof en gassen worden bepaald om vast te stellen wat de gezond heidsrisico's zijn,

2.4 Relatie met bedrijfsuitrusting en bedrijfsvoering

De belangrijkste bronnen van stof in stallucht zijn het voer en de mest (Donham et al., 1986). Daarnaast komen er stofdeeltjes van de huid (Volgens Aarnink et al. (1999) na voer de belangrijkste bron) en van de haren van de varkens, komen er deeltjes van insecten en zijn er minerale bestanddelen (Von Essen en Donham, 1999). Afhankelijk van het bedrijfssysteem kan stof ook van het strooisel komen.
De hoeveelheid stofdeeltjes in de lucht hangt sterk af van de bedrijfsvoering en de bedrijfsuitrusting. Voorbeelden van factoren die de stofconcentraties in varkensstallen beïnvloeden zijn: voer en voerverstrekking, strooisel, ventilatie, vloeruitvoering, hokafscheiding, hokbezetting en hokbevuiling.

De stofconcentratie in de stallucht zegt echter niet alles over de stofbelasting van de varkenshouder. Die wordt voor een groter deel verklaard door de werkzaamheden die worden uitgevoerd dan door de bedrijfsuitrusting (Preller et al., 1995). In tabel 3 zijn stofconcentraties tijdens enkele werkzaamheden weergegeven.

Voer en voerverstrekking
Uit persoonlijke metingen bij 164 Nederlandse varkenshouders blijkt dat het voeren veel invloed heeft op de stofconcentratie. Tijdens het voeren is de stofconcentratie 27% hoger dan buiten de voertijden (Preller et al., 1995). De hoogte van de stofconcentratie tijdens het voeren is onder andere afhankelijk van de manier van voerverstrekking. In stallen waar brijvoer wordt verstrekt is de stationair gemeten concentratie totaal stof 22% tot 54% lager dan in stallen waar droogvoer wordt verstrekt (Bækbo en Wolstrup, 1989;

Tabel 3: Blootstelling aan stof tijdens werkzaamheden in varkensstallen

werkzaamheid	concentratie totaal stof (mg/m^3)
handmatig droogvoer verstrekken	20 - 25
vegen van werkgang	20 - 25
stofzuigen van werkgang	3 - 7
stof van muren vegen	25 - 30
stro verspreiden	6 - 14
stro hakselen	5 -67
vleesvarkens wegen	5 - 8

Bron: Lyngbye, 1997, geciteerd door Bækbo, 1998

Pedersen en Mortensen, 1989; Robertson, 1992). De hoeveelheid respirabel stof was in deze onderzoeken bij brijvoer 0% tot 36% lager dan bij droogvoer. Als droogvoer wordt verstrekt geeft meel doorgaans 19% tot 46% meer stof dan gepelleteerd voer (Attwood et al., 1987; Zeitler et al., 1987), maar Cargill et al. (1995) vonden juist hogere stofconcentraties bij gepelleteerd voer. Mogelijk heeft dit te maken met de mate waarin grondstoffen worden gemalen of met gebruikte additieven. Bij gepelleteerd voer kan de hoeveelheid stof verder worden gereduceerd door de korrels met een vetlaagje te coaten (Li et al., 1992, geciteerd door Robertson, 1994). Bij ongepelleteerd voer heeft toevoeging van sojaolie een soortgelijk effect (Mankell et al., 1995).

In stallen waar droogvoer wordt verstrekt is de stofconcentratie overdag hoger dan 's nachts (Zeitler et al., 1987; Van 't Klooster et al., 1991). Zeitler et al. (1987) vonden dit effect niet in stallen met brijvoer.
Robertson (1992) vond bij varkens die beperkt en op de grond droogvoer kregen overdag een hoger stofgehalte dan bij varkens die onbeperkt uit voerbakken werden gevoerd. Dit verschil zal niet alleen zijn veroorzaakt door beperkt of onbeperkt voeren, maar door meerdere factoren. Zo wordt er bij vloervoedering meer vermorst dan bij trogvoedering, wat de hoeveelheid stof zal vergroten. Ook het beperken van de voergift speelt zeker een rol, omdat beperkt gevoerde varkens rond het voeren onrustiger zijn dan onbeperkt gevoerde varkens. Op tijden dat er in de stal wordt gewerkt en de varkens onrustig zijn is de stofconcentratie het hoogst (Zeitler-Feicht et al., 1991; Van 't Klooster et al., 1991; Roelofs en Adams, 1997). Pedersen (1993) heeft een sterke correlatie aangetoond tussen de objectief gemeten activiteit van varkens en de hoeveelheid stof in de lucht. Bij drachtige zeugen is, ongeacht het huisvestingssysteem, de stofconcentratie het hoogst rond de voertijden (Roelofs en Adams, 1997).

Vloeruitvoering en strooiselgebruik
In hokken met roostervloeren verdwijnt een deel van het gesedimenteerde stof in de put, terwijl bij dichte vloeren de kans dat het stof opnieuw in de lucht komt veel groter is. Waarschijnlijk komt het hierdoor dat Vogelzang et al. (1996) in stallen met volledig of gedeeltelijk roostervloeren minder respiratoire aandoeningen bij de varkenshouders aantroffen dan in stallen met alleen dichte vloeren. Preller et al. (1995) vonden echter juist in stallen met een volledige roostervloer en voorzien van vloerverwarming en ruimteverwarming met deltabuizen een 15 tot 30% hogere stofconcentratie dan in stallen met dichte betonvloeren. Wellicht zijn de hogere stofconcentraties bij volledig roostervloeren veroorzaakt door een andere factor, die verstrengeld is met de vloeruitvoering. Het effect is dan ten onrechte toegeschreven aan de vloeruitvoering.

In ingestrooide stallen is 31% (Pedersen en Mortensen, 1989) tot 63% (Bækbo en Wolstrup, 1989) meer stof gevonden dan in niet ingestrooide stallen. De ongunstige invloed van stro kan echter worden beperkt door het stro te behandelen. Zo kan toevoeging van lignine sulfonaat, een afvalproduct uit de papierindustrie, de emissie van stof, micro-organismen en endotoxinen aanzienlijk beperken (Lyngbye et al., 1999).
Daarnaast kan de stofemissie uit het stro worden gecompenseerd door andere factoren. Gustafsson (1999) vond in een geklimatiseerde stal zonder strooisel significant hogere stofconcentraties dan in een natuurlijk geventileerde en onverwarmde stal met een dikke strolaag.
Vogelzang et al. (1996) vonden bij varkenshouders in stallen die zijn ingestrooid met houtkrullen of met zaagsel meer respiratoire aandoeningen dan in niet ingestrooide stallen.

Ventilatie
Stofdeeltjes kunnen op twee manieren uit de lucht verdwijnen, namelijk door ventilatie of door sedementatie. Als gevolg van veranderende luchtstromingen of van mechanische activiteit kan gesedimenteerd stof opnieuw in de lucht terecht komen.

De mate waarin de ventilatie het stofgehalte van de lucht verlaagt is afhankelijk van het ventilatieniveau en de effectiviteit van de ventilatie.
Het ventilatieniveau hangt onder andere af van de buitentemperatuur. Naarmate deze

hoger is wordt er meer geventileerd en is het stofgehalte in stallucht doorgaans lager (Takai, 1987, Heber et al., 1988). Hierbij is echter sprake van afnemende meeropbrengsten: bij lage ventilatieniveaus heeft extra ventilatie veel invloed, maar bij hogere ventilatieniveaus is het marginale effect van extra ventileren kleiner (Gustafsson, 1995a). Verder wordt slechts een beperkt deel van het stof afgevoerd via ventilatie, doorgaans 20 tot 40% (Gustafsson, 1999). Er verdwijnt meer stof uit de lucht door sedimentatie.
De effectiviteit van de ventilatie hangt met name af van de plaatsen waar de verse lucht binnenkomt en waar de "vuile" lucht de afdeling verlaat. De effectiviteit wordt echter ook be'invloed door het ventilatieniveau. Doorgaans neemt de stofconcentratie in een afdeling af naarmate het ventilatieniveau toeneemt, maar op bepaalde plaatsen, meestal niet ver van de luchtinlaat, kan deze juist toenemen (Wang et al., 1999). Er ontstaan dan plaatselijk snelle luchtstromingen, terwijl op andere plaatsen de lucht juist minder vaak wordt ververst.

Op Nederlandse bedrijven vonden Preller en Vogelzang (1993) de hoogste stofconcentratie in natuurlijk geventileerde varkensstallen, een lagere concentratie in stallen met mechanische ventilatie met directe luchtinlaat en de laagste in mechanisch geventileerde stallen met indirecte luchtinlaat. Toch kan niet worden gesteld dat de stofconcentratie bij natuurlijke ventilatie per definitie hoog is Phillips en Thompson (1989) vonden in de winter en in het najaar ook hogere stofconcentraties in natuurlijk geventileerde stallen dan in mechanisch geventileerde stallen, maar in de zomer niet. Gustafsson (1999) vond zelfs in een ingestrooide natuurlijk geventileerde stal minder stof dan in een mechanisch geventileerde stal zonder stro. Plafondventilatie gaat gepaard met een relatief hoge stofconcentratie (Preller en Vogelzang, 1993). In stallen met onderafzuiging, waarbij de ventilatiekoker eindigt onder de roosters, is de stofconcentratie lager dan in stallen met bovenafzuiging (Voermans en Hendriks, 1995). Ook een ventilatiesysteem waarbij de lucht binnenkomt via de ruimte onder de voergang en juist boven de roostervloer wordt afgezogen, gecombineerd met een olielaag op de mest, geeft een lagere stofconcentratie dan plafondventilatie (Aarnink en Wagemans, 1997).

Andere factoren
Naarmate de varkens actiever zijn is de stofconcentratie hoger. Pedersen en Takai (1999) verklaren 50% van de dagelijkse variatie in stofconcentratie door de variatie in activiteit van de varkens. De activiteit van de varkens is weer afhankelijk van factoren als de varkensdichtheid, de ruimte aan de trog, het mengen van varkens en de omgang met de varkens (Pedersen, 1993).
De stofconcentratie neemt lineair toe met het aantal varkens en het gewicht (Gustafsson, 1995a, 1999).
Toepassing van all in-all out met reinigen tussen de rondes heeft een gunstig effect op de stofconcentratie. Ten opzichte van continu opleggen daalt de concentratie totaal stof met 39% (niet significant) en de concentratie respirabel stof met 44% ($P < 0,05$) (Cargill en Banhazi, 1998).

2.5 Methoden om het stofgehalte te verlagen

Diverse methoden om de stofconcentratie in de afdelingen te verlagen zijn onderzocht. In deze paragraaf worden vernoemd: interne luchtfiltratie, ionisatie, wekelijks gesedimenteerd stof verwijderen, dagelijks natmaken met olie, vernevelen van water of een olie-emulsie en toevoegen van vet aan het voer.
Bij interpretatie van stofconcentraties en van effecten van maatregelen om de concentratie te verlagen moet rekening gehouden worden met de manier waarop concentraties zijn gemeten. In de meeste gevallen zijn stofconcentraties stationair en gravimetrisch gemeten. Er is dan een opstelling gemaakt waarmee gedurende een bepaalde tijd (vaak een werkdag, een etmaal of meerdere etmalen) stof is verzameld, en de gemeten stofconcentratie is dan het gemiddelde over die periode. Binnen die periode varieert de stofconcentratie echter sterk. Deze is meestal maximaal als de varkenshouder in de afdeling aanwezig is (Roelofs en Adams, 1997). Dit komt doordat de varkens dan actiever zijn, bijvoorbeeld omdat ze dan gevoerd worden, en er meer stof in de lucht

wordt gebracht. Preller et al. (1995) hebben onderscheid gevonden tussen activiteiten van varkenshouders waarbij relatief veel of juist relatief weinig stof werd gemeten.

Interne luchtfiltratie

Bij interne luchtfiltratie wordt stallucht door middel van filters ontdaan van vaste deeltjes en daarna teruggeblazen in de afdeling. Van 't Klooster et al. (1991) hebben bij gespeende biggen een afname van de gemiddelde hoeveelheid inhaleerbaar stof over het etmaal gemeten van 40%, maar de kosten waren hoog, namelijk ƒ 3,00 per afgeleverde big. Ook Pedersen (1989) noemt interne luchtfiltratie effectief maar duur.
Met elektrostatische filters is volgens Pedersen (1989), afhankelijk van vermogen en passagesnelheid, een afname van 33% tot 81% mogelijk, maar hiervoor zijn zeer grote en kostbare filters nodig. Gustafsson (1999) vond reducties van 8 tot 28% en concludeert op basis van modelmatig onderzoek dat reducties van meer dan 60% bijzonder veel energie kosten. George en Feddes (1995) realiseerden bij een hoge spanning op een elektrostatisch filter (-12,1 kV gelijkstroom) een reductie van 96,4%, maar daarbij ontstond een ozonconcentratie van 0,21 ppm, terwijl de Canadese MAC-waarde voor ozon 0,1 ppm bedraagt. In Nederland is de MAC-waarde voor blootstelling gedurende één uur 0,06 ppm (Ministerie SZW, 1999).
Guarino en Navarotto (1999) hebben met een ventilator stallucht door een container met water gezogen. Een voordeel ten opzichte van het gebruik van filters is dat er geen dure filters nodig zijn en dat het energieverbruik waarschijnlijk lager is. Ze vonden een significante afname van de grotere deeltjes, maar het aantal kleine stofdeeltjes was nauwelijks be'invloed.

Ionisatie

Volgens een Nederlands (Van 't Klooster et al., 1991) en een Zweeds onderzoek (Gustafsson, 1995b) geeft ionisatie geen significante verlaging van de stofconcentratie in varkensstallen.
Ook in Denemarken werd aanvankelijk geen gunstig effect vastgesteld, maar na vergroting van het aantal ionisators werd daar 14% minder totaal stof en 30% minder respirabel stof gemeten (Møller, 1991). In een onderzoek door Hartung (1982) nam bij een hoge ionisatiecapaciteit het kiemgetal met 47% af, maar werd tevens het schadelijke gas ozon gevormd in een concentratie die hoger was dan de Duitse MAC-waarde (0,1 ppm) en de nog lagere Nederlandse MAC-waarde.
Mitchell (1996) wist in broedmachines de stofconcentratie met zeer intensieve ionisatie met 85% (respirabel stof) of meer (inhaleerbaar stof en totaal stof) terug te brengen. Hij geeft niet weer of hierbij ozon werd gevormd, maar dat is bij toepassing in broedmachines van minder belang dan in varkensstallen.

Wekelijks gesedimenteerd stof verwijderen

Van 't Klooster et al. (1991) hebben bij gespeende biggen wekelijks de hele afdeling, inclusief biggen, zoveel mogelijk stofvrij gemaakt door deze met warm water schoon te spoelen. Bij vleesvarkens zijn wekelijks de voergangen en een deel van de stalinrichting schoongemaakt met een stofzuiger. Beide methoden kosten ƒ 1,25 per afgeleverd dier. De afname van de hoeveelheid inhaleerbaar stof was beperkt, namelijk 10% respectievelijk 6%.
Gustafsson (1999) rapporteert vergelijkbare (13% respectievelijk 6%), maar niet significante afnamen door periodiek stofzuigen of schoonspoelen van de werkgangen.

Dagelijks nat maken met olie

Door dagelijks met een gieter de gangen en eventueel de varkens met koolzaadolie nat te maken zijn goede resultaten behaald (Zhang et al., 1996; Jacobson et al., 1998; Strobel en Heber, 1998), maar deze methode kost zoveel tijd dat hij onder Nederlandse omstandigheden niet toepasbaar lijkt.
Zhang et al. (1998) lieten proefpersonen fietsoefeningen uitvoeren in een vleesvarkensstal met en een stal zonder oliebesprenkeling. Deze oliebesprenkeling bestond uit het eenmaal per dag met een rugspuit besprenkelen van de vloeren en de varkens met pure koolzaadolie. De stofconcentratie nam af van 2,4 mg/m^3 naar 0,15 mg/m^3. Het besprenkelen had direct invloed op de longfunctie van de proefpersonen. De afname van het FEV, zonder en met oliebesprenkeling was iëspectievelijk 9,93% en 1,94% en de afname van de FVC was respectievelijk 4,35% en 2,25%.

In een recent Brits onderzoek wordt echter gebruik gemaakt van een roterend vat dat voor de voerbak is opgesteld. Als de varkens onder dit vat door lopen wordt hun rug nat gemaakt met olie. Osman et al. (1999) melden bij een olieverbruik van 10 ml per varken per dag een afname van de hoeveelheden inhaleerbaar en respirabel stof van respectievelijk 81% en 59%.

Vernevelen van water of een olie-emulsie
In Zweedse stallen werden door het vernevelen van 1,5 liter water per m^2 vloeroppervlak per dag de concentraties inhaleerbaar en respirabel stof bijna gehalveerd (Gustafsson, 1995a, 1995b). De apparatuur waarmee wordt verneveld mag niet teveel lawaai maken om te voorkomen dat de varkens opschrikken. Door deze extra activiteit zou de stofconcentratie weer toenemen (Gustafsson, 1999). In Denemarken werd in plaats van water een olie-emulsie verneveld. Het vernevelen van 8 gram olie per varken per dag verlaagde de concentratie respirabel stof met 88% (SjF, 1993). Gustafsson (1999) beschrijft vergelijkbare resultaten.

Vet in het voer
Door het toevoegen van 2,5 of 5% vet aan het voer nam de stofconcentratie af met respectievelijk 21 en 50% (Chiba et al., 1985, geciteerd door Pedersen, 1998). Verhoging van het vetgehalte tot 7,5% leidde tot een afname van de hoeveelheid stof met 53% (Chiba et al., 1987, geciteerd door Pedersen, 1998). Takai et al. (1996b) voegden 4% dierlijk vet toe aan varkensvoer, waardoor de stofconcentratie in de afdeling afnam met 35 tot 60% en de blootstelling van de varkenshouder afnam met 50 tot 70%.

3 MATERIAAL EN METHODE

Het onderzoek naar de invloed van een aangepast ventilatiesysteem op de stofconcentratie is, met onderbrekingen, uitgevoerd tussen oktober 1991 en mei 1997 in twee biggenopfokafdelingen van het Varkensproefbedrijf te Rosmalen.

3.1 Huisvesting en bedrijfsvoering

De afdelingen bestonden uit een voergang met een enkele rij van zes hokken van 1,25 bij 2,60 m, waarin tien biggen werden gehuisvest.

Vanaf de voergang bestond de vloer van de hokken uit 1,10 m stalen driekantrooster, 1,15 m betonnen dichte, bolle vloer met vloerverwarming en 0,35 m stalen driekantrooster. Boven het voorste rooster hing een drinknippel en stond een droogvoerbak. De hokafscheidingen bestonden boven de dichte vloer en het achterste rooster uit 0,70 m hoog trespa en boven de brede roostervloer voor in het hok uit verticale metalen spijlen.

Voeding
De biggen kregen onbeperkt water uit drinknippels en werden tweemaal daags gevoerd. De biggen kregen zoveel voer dat de voerbakken bij een volgende voerbeurt bijna leeg waren. Het voer werd de eerste drie weken na opleg als meel verstrekt, daarna werd overgeschakeld op voer in korrelvorm. Bij het begin van het onderzoek werden de biggen handmatig gevoerd met voer dat werd afgetapt uit voorraadbunkers in de afdeling. Vanaf het najaar van 1992 werd er automatisch gevoerd met een mechanisch voersysteem dat de voerbakken via een vulpijp vulde.

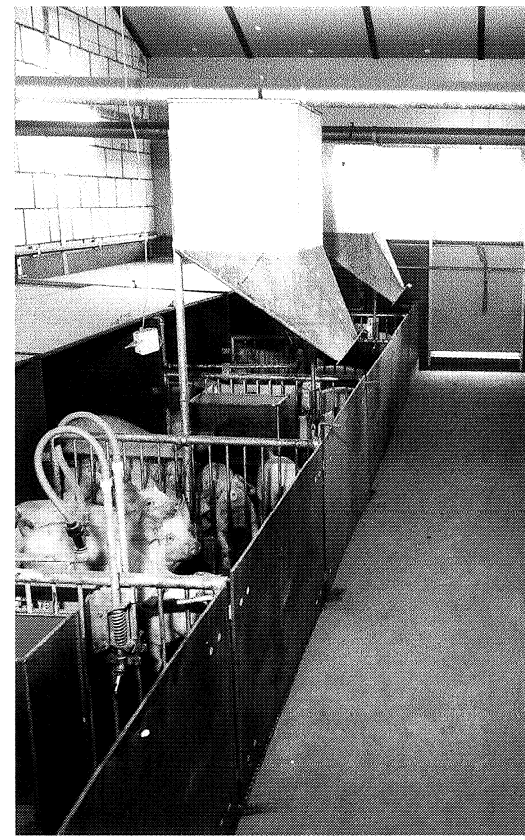


Foto: LNV/VEB
Voeren via voorraadbunkers in de afdeling



Overzicht van een biggenopfokhok

Klimaatregeling
Bij opleg werden de vloerverwarming en ruimteverwarming ingeschakeld bij 32 respectievelijk 27°C. Via een curve namen de inschakeltemperaturen af tot 20 respectievelijk 19°C aan het einde van de opfokperiode. De afdelingen werden mechanisch geventi-

leerd op basis van een temperatuurregeling. De P-band (de temperatuurwaarden waarbinnen het ventilatieniveau toeneemt van minimumventilatie tot het ingestelde maximum) liep bij opleg van 31 °C tot 35°C en aan het einde van de ronde van 26°C tot 30°C.

Verzorging van de biggen

De biggen werden op een leeftijd van gemiddeld 28 dagen opgelegd, en afgeleverd als ze ongeveer 25 kg wogen. Wanneer de eerste biggen uit de proef waren afgeleverd werd de ronde afgesloten.

De biggen in beide proefafdelingen werden gelijktijdig en met een vergelijkbaar gewicht opgelegd in een gereinigde en gedesinfecteerde afdeling. Wanneer er in een hok compost werd verstrekt ter behandeling van beginnende diarree werd in hetzelfde hok in de andere afdeling eveneens compost verstrekt. Het mest aflaten vanuit de mestputten gebeurde in beide proefafdelingen op dezelfde dag. De werkgangen werden gedurende de proef niet geveegd of schoongespoten.

3.2 Proefbehandelingen

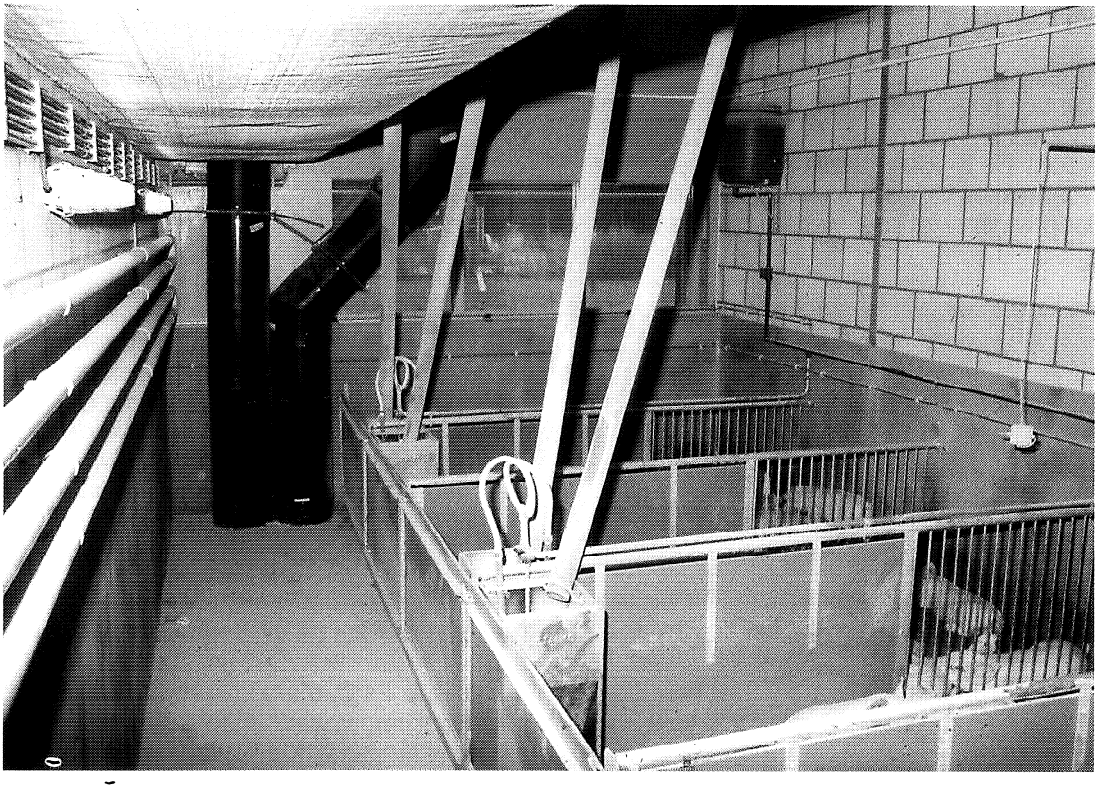
De twee onderzochte proefbehandelingen verschilden alleen ten aanzien van het ventilatiesysteem en zijn niet gewisseld tussen de afdelingen. De volgende proefbehandelingen zijn met elkaar vergeleken.

Balansklepventilatie:

De lucht kwam vanaf de centrale gang de afdeling binnen via balansklepen over de gehele breedte van de afdeling. Aan het andere einde van de afdeling werd de lucht op 1,60 m hoogte boven de werkgang afgezogen.

Schone-neuzenventilatie:

De lucht kwam vanaf de centrale gang de afdeling binnen via een koker boven de volle lengte van de werkgang (7,50 m). De koker was 0,36 m hoog en 1,20 m breed. De onderkant van de koker bestond uit 'ACC'-ventilatiedoek met 3,3% doorlatend oppervlak, waardoor de verse lucht naar beneden kwam. De lucht werd door middel van onderafzuiging onder het brede rooster in het achterste hok afgevoerd (zie figuur 2).



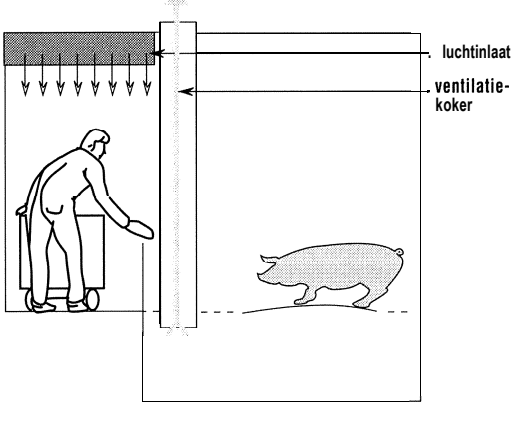
Afdeling met schone-neuzenventilatie

Tabel 4: Valsnelheid van stofdeeltjes met verschillende aërodynamische diameters

Aërodyn. diam. (µm)	Valsnelheid (m/s)
1	0,00003
2	0,00012
3	0,00026
4	0,00047
5	0,0008
10	0,0033
20	0,012

Bron: CIGR, 1994

Bij schone-neuzenventilatie wordt de lucht zodanig gestuurd dat de varkenshouder zich doorgaans in de schone binnenkomende lucht bevindt. De vervuilde lucht, dat is de lucht die afkomstig is van de varkens, de vloeren en de putten, wordt onder de roosters afgezogen. Hierdoor ontstaat een omlaag gerichte luchtbeweging, waarbij de valbeweging van stofdeeltjes wordt ondersteund door de luchtstroming. Bij de meeste gangbare ventilatiesystemen wordt de val beweging van stofdeeltjes juist tegengewerkt door omhoog gerichte luchtbewegingen. Vanwege de geringe valsnelheid van de meeste deeltjes (zie tabel 4) en de relatief hoge luchtsnelheden in de lucht (volgens CIGR (1994) minimaal 0,005 m/s binnen de afdelingen) volgen veel stofdeeltjes globaal de luchtbewegingen.



Figuur 2: Schematische weergave van "schone-neuzenventilatie"

3.3 Waarnemingen

Om stofconcentraties te meten zijn er gravimetrische metingen en on-line metingen verricht De gravimetrische metingen zijn redelijk betrouwbaar en geven de gemiddelde stofconcentratie over een wat langere periode (bijvoorbeeld een etmaal) weer. Met online metingen kan de variatie van de stofconcentratie gedurende een periode (bijvoorbeeld een etmaal) worden bepaald. Verder zijn er metingen verricht om de hoeveelheid endotoxinen te bepalen.
Ook om de technische resultaten van de biggen te kunnen bepalen zijn waarnemingen verricht,

Stofconcentratie in de stallucht
Het meetprotocol voor de gravimetrische metingen is weergegeven in bijlage 1. In het midden van de voergang is op 1,70 m hoogte gedurende elf ronden de dagelijkse hoeveelheid inhaleerbaar en gedurende tien ronden de hoeveelheid respirabel stof gemeten. Op 1,0 m hoogte boven het derde hok is gedurende tien ronden de dagelijkse hoeveelheid inhaleerbaar stof gemeten.

De on-line metingen zijn uitgevoerd met behulp van een lichtverstrooiingsmeter (Casella 950). Deze geeft niet rechtstreeks stofconcentraties weer maar verhoudingsgetallen, die later aan de hand van de gravimetrische metingen omgerekend moeten worden naar stofconcentraties. De stofmeter gaf elke seconde een verhoudingsgetal. Een datalogger (Datataker DT50) registreerde elke vijf minuten het gemiddelde verhoudingsgetal over die periode.
De meetsonde voor de on-line metingen hing naast de filterhouder voor inhaleerbaar stof boven de werkgang en afwisselend in de afdeling met schone-neuzenventilatie en in de afdeling met balansklepventilatie.

Concentratie endotoxinen
De monsters zijn op dezelfde manier genomen als de monsters waarmee de stofconcentratie in de stallucht is bepaald. In plaats van Casella filterhouders zijn echter PAS-6 filterhouders gebruikt. Ook met deze filterhouders wordt de fractie inhaleerbaar stof gemeten, maar van de deeltjes die groter zijn dan 50 µm nemen ze iets minder mee dan

volgens de definitie zou moeten (Kromhout, 1996; Lenny et al., 1997). In beide proefafdelingen zijn aan het einde van de laatste opfokperiode zes monsters genomen, met daarnaast een nulmeting. Bij de nulmetingen zijn de filters wel meegenomen naar de afdeling en uitgepakt, maar daarna weer direct ingepakt en verder behandeld als gebruikte filters. De gebruikte filters zijn direct na de monstername in petrischalen in een diepvries gelegd en bewaard bij min 23°C. Een maand na het nemen van de monsters zijn ze op de Landbouwuniversiteit in Wageningen geanalyseerd volgens de Limulus amebocyte lysate test (LAL-test), die is beschreven door Douwes et al. (1995).

Overige variabelen

De buitentemperatuur is bepaald door het gemiddelde te nemen van de gemiddelde dagtemperaturen in De Bilt en Beek (KNMI 1991, 1992, 1993, 1996en 1997).

Van de biggen zijn de begin- en eindgewichten vastgelegd bij respectievelijk de opleg van de biggen en het verplaatsen van de zwaarste biggen uit de afdeling. Over dezelfde periode zijn het voerverbruik, de veterinaire behandelingen en de uitval geregistreerd.

Gedurende een deel van de onderzoeksperiode is er in dezelfde afdelingen een andere proef uitgevoerd, die geen invloed had op de stofconcentratie maar mogelijk wel op de technische resultaten. De tijdens die periode verzamelde technische resultaten zijn in dit onderzoek niet meegenomen. De groeicijfers van de biggen zijn berekend over twaalf ronden, de voeropname en voederconversie over zeven ronden.

3.4 Verwerking gegevens

De uitgevoerde analyses hebben betrekking op de hoeveelheden inhaleerbaar stof, respirabel stof en endotoxinen in de stallucht en op de technische resultaten van de biggen In de proefopzet zijn ventilatiesysteem en afdeling gestrengeld. Er is echter van uitgegaan, dat er geen systematisch verschil bestaat tussen de beide afdelingen, zodat 'afdeling binnen ronde' opgevat kan worden als experimentele eenheid. Tevens is een economische evaluatie uitgevoerd.

Stofconcentratie in de stallucht

De gemiddelde stofconcentraties zijn berekend op basis van de gravimetrische stofmetingen. De gebruikte filters zijn voor gebruik, na gebruik en na drogen gewogen. De gewichtstoename van de filters is gecorrigeerd met het gewichtsverlies van de filters in de nulmetingen. Vervolgens zijn uit de gemeten hoeveelheden stof op de filters, de standtijd van de filters en het debiet stofconcentraties berekend.

Met behulp van de Wilk-Shapiro toets (SAS Institute Inc., 1989) is getoetst of de gemeten concentraties stof normaal verdeeld waren. Bij onvoldoende normaliteit ($p < 0,9$) is gecontroleerd of de normaliteit van de logwaarden van de concentraties beter was. Vervolgens zijn de data op twee manieren getoetst. Met behulp van variantie-analyse is op basis van de rondegemiddelden getoetst of het ventilatiesysteem invloed had op de gemiddelde stofconcentratie per ronde. Met behulp van REML-analyse (REsidual Maximum Likelyhood; Genstat 5 committee, 1993), waarbij gebruik wordt gemaakt van een longitudinaal model, is getoetst of de stofconcentraties aan het einde van de ronde verschilden.

Variantie-analyse

Per ronde zijn het gemiddelde aantal dagen na opleg, het gemiddelde aantal biggen, de gemiddelde buitentemperatuur, het gemiddeld aantal bemonsterde liters lucht en de gemiddelde stofconcentraties stof berekend. De stofconcentraties zijn geanalyseerd (PROC GLM, SAS Institute Inc., 1989), met de ronde binnen een afdeling als experimentele eenheid.

Uit de resultaten van de analyse van de logwaarden (respirabel stof) zijn geometrische gemiddelden berekend. Daarnaast zijn ook de rekenkundig gemiddelde concentraties stof bepaald. Aangezien bij minder dan vijftig waarnemingen het rekenkundig gemiddelde een betere schatter is van de concentratie dan het gemiddelde dat is berekend op basis van logwaarden (Boleij et al., 1995) zijn zowel de rekenkundig gemiddelden als de logwaarden weergegeven.

De gemiddelde stofconcentraties zijn getoetst met behulp van model A. Het aantal dagen na opleg, de duur van de individuele waarnemingen en het exacte debiet van de monstername droegen niet bij aan het model ($p > 0{,}1$) en zijn er daarom niet in opgenomen.

Model A:

$$Y_{ij} = \mu + \text{Ronde}_i + \text{Vent}_j + \text{Temp} + \text{Big} + \text{Ventj x Big} + e_{ij}$$

waarbij:

Y_{ij}	=	stofconcentratie (of natuurlijke logaritme hiervan)
μ	=	constante
Ronde_i	=	ronde, met $i = 1, 2, ..., n$
Vent_j	=	ventilatiesysteem, met j = schone-neuzenventilatie of balansklepventilatie
Temp	=	buitentemperatuur (°C, etmaalgemiddelde)
Big	=	aantal biggen in de afdeling
Vent_j x Big	=	interactie tussen ventilatiesysteem en aantal biggen in de afdeling
e_{ij}	=	restterm

Residual Maximum Likelyhood analyse
Deze analyse is uitgevoerd op basis van de hoeveelheid gedroogd stof op de filters, en niet van de stofconcentraties. Daarom zijn de gewichten getransformeerd naar een standaardduur en -debiet (1.440 minuten met 1,9 l/min voor inhaleerbaar stof en 3.600 minuten met 2,1 l/min voor de meting van de hoeveelheid respirabel stof).
De bezetting (het aantal biggen in de afdeling) is niet als verklarende variabele in het model opgenomen. Eventuele verschillen in respons als gevolg van bezetting zijn verdisconteerd in het stochastische deel van het model.

De data met betrekking tot inhaleerbaar stof zijn getoetst met behulp van model B. Voor de analyse van de data met betrekking tot respirabel stof is het model enigszins aangepast omdat de waarnemingen niet steeds met een interval van een dag zijn uitgevoerd, maar afwisselend om de twee en drie dagen.

Model B:

$$\underline{Y}_{rat} = (\beta + \delta_i) X_t + \underline{\varepsilon}_r + \underline{\varepsilon}_{ra} + \underline{\varepsilon}_t + \underline{\varepsilon}_{rt} + \underline{\varepsilon}_{rat}$$

waarbij:

$\underline{Y}_{rat}$	=	gemeten stofconcentratie in ronde r, afdeling a op tijdstip t
X_t	=	$\frac{t}{1+t}$, met t = aantal dagen na opleggen van de biggen $\left(X_0 = 0; \lim_{t\to\infty} X_t = 1\right)$
β	=	maximale niveau bij balansklepventilatie
δ_i	=	afwijking in maximale niveau bij schone-neuzenventilatiesysteem ($i = 1$) ten opzichte van balansklepventilatie ($i = 0$, $\delta_0 = 0$)
$\underline{\varepsilon}_r, \underline{\varepsilon}_{ra}, \underline{\varepsilon}_t, \underline{\varepsilon}_{rt}$	=	random effecten van respectievelijk ronde, afdeling binnen ronde, tijdstip en tijdstip binnen ronde, $\underline{\varepsilon}_{...} \sim N(0, \sigma^2)$
$\underline{\varepsilon}_{rat}$	=	restterm, $\underline{\varepsilon}_{rat} = \phi^k \underline{\varepsilon}_{rat,t-1,\gamma} + \underline{\gamma}_{rat}$; $\gamma_{rat} \sim N(0, \sigma^2_\gamma)$; k is verschil in dagen tussen twee opeenvolgende metingen

De eerste term, het fixed deel van het model, beschrijft het verloop van de stofconcentratie in de tijd. Verondersteld is dat het niveau bij het opleggen van de biggen verwaarloosbaar is en asymptotisch toeneemt tot een niveau dat verschillend is voor beide ventilatiesystemen.
Het random deel van het model bevat de verschillen in niveau tussen ronden en afdelingen binnen ronden en ook de stochastische effecten in de tijd, zowel over ronden heen als binnen ronden. De restterm bestaat uit afhankelijke residuen, waarbij de mate van afhankelijkheid wordt bepaald door de parameter ϕ^k.
Om de resultaten te kunnen interpreteren zijn de hoeveelheden stof tenslotte omgerekend naar concentraties stof per m^3 stallucht.

On-line metingen
De resultaten van de on-line metingen zijn verwerkt door over alle volledige etmalen dat er is gemeten per proefbehandeling en per interval van vijf minuten (het interval waar-

mee gemiddelde data zijn opgeslagen in de datalogger) de gemiddelde uitleeswaarde van het meetinstrument te berekenen. Op deze manier is de gemiddelde variatie van de uitleeswaarden (verhoudingsgetallen) over het etmaal bepaald. Het gemiddelde van alle 288 intervallen in een etmaal is gelijk gesteld aan het met behulp van variantie-analyse berekende gemiddelde van de gravimetrische metingen. Tenslotte zijn de verhoudingsgetallen lineair omgerekend naar stofconcentraties en tegen de tijd uitgezet in een grafiek.

Op basis van de on-line metingen is bepaald gedurende hoeveel intervallen van vijf minuten de stofconcentratie hoger was dan de grenswaarde volgens Donham (1991). Of het aantal intervallen waarin de grenswaarde werd overschreden, als fractie van de 288 intervallen in een etmaal, tussen de ventilatiesystemen verschilde, is getoetst met behulp van de chi-kwadraattoets.

Concentratie endotoxinen
De gemeten hoeveelheden endotoxinen op de filters zijn omgerekend naar concentraties in de lucht (EU/m^3) en naar concentraties in het stof (EU/mg stof). De concentraties zijn visueel gecontroleerd op uitbijters. Eén meting gaf een waarde die ongeveer 250 keer lager was dan de rest, terwijl de variatiecoëfficiënt van de overige waarnemingen 0,23 bedroeg. Deze waarneming is als uitbijter beschouwd en buiten de analyses gelaten. Met behulp van de t-toets is nagegaan of waargenomen verschillen in concentraties significant waren,
Daarnaast zijn de concentraties in de lucht vergeleken met op arbeidsepidemiologisch onderzoek gebaseerde grenswaarden.

Technische resultaten en uitval van de biggen
Op basis van de opleg- en einddata en de gewichten van de biggen is de groeisnelheid gedurende de opfokperiode berekend. Op basis van de verstrekte hoeveelheden voer zijn op afdelingsniveau de voeropname per dier per dag en de voederconversie berekend. Deze technische resultaten zijn geanalyseerd met de ronde binnen een afdeling als experimentele eenheid. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van variantie-analyse, aan de hand van model C.

Model C:

$$Y_{ij} = \mu + G_opleg + Ronde_i + Vent_j + e_{ij}$$

waarbij:

Y_{ij}	=	groei, voeropname of voederconversie
μ	=	constante
G_opleg	=	gemiddeld opleggewicht
$Ronde_i$	=	ronde, met i = 1, 2, ..., n
$Vent_j$	=	ventilatiesysteem, met j = schone-neuzenventilatie of balansklepventilatie
e_{ij}	=	restterm

Het totale aantal uitgevallen biggen en het aantal uitgevallen biggen per uitvalsreden zijn als fractie van het totale aantal opgelegde biggen getoetst met de chi-kwadraattoets.

Economische evaluatie
Bij de economische evaluatie zijn de meerkosten van het schone-neuzenventilatiesysteem berekend ten opzichte van het traditionele ventilatiesysteem met bovenafzuiging en luchtinlaat via balanskleppen of plafondventilatie. Prijzen en kosten zijn gebaseerd op KWIN-V (Projectgroep KWIN-V 98-99, 1998). De actuele kostprijs van het aangepaste ventilatiesysteem is door een aannemer begroot.

4 RESULTATEN

De resultaten van de stof- en endotoxinemetingen zijn weergegeven in paragraaf 4.1 en de technische resultaten van de biggen in paragraaf 4.2.

4.1 Kwaliteit van de stallucht

Bij het bepalen van de invloed van het ventilatiesysteem op het stofgehalte van de stallucht is onderscheid gemaakt tussen de gemiddelde stofconcentratie over het etmaal (paragraaf 4.1.1) en het verloop van de stofconcentratie gedurende het etmaal (paragraaf 4.1.2). In paragraaf 4.1.3 zijn de resultaten van de endotoxinemetingen weergegeven.

4.1.1 Etmaalgemiddelden van de stofconcentraties

In tabel 5 zijn per meetplaats het aantal waarnemingen, het aantal meetronden, het rekenkundig gemiddelde van alle waarnemingen, de standaarddeviatie en de range weergegeven van de gravimetrische stofmetingen.

Volgens de Wilk-Shapiro toets (SAS Institute Inc., 1989) waren de gemiddelde concentraties inhaleerbaar stof normaal verdeeld ($p > 0,95$). De verdeling van de gemiddelde concentraties respirabel stof leek veel minder op een normale verdeling ($p = 0,5$), maar de normaliteit van de verdeling verbe-

Tabel 5: Stationair gemeten stofconcentraties (mg/m^3) bij beide ventilatiesystemen

	aantal waarnemingen	aantal meetronden	rekenkundig gemiddelde	rekenkundige sd	range
inhaleerbaar stof boven de werkgang					
'schone neuzen'	281	11	2,20	0,60	1,22 - 3,39
balansklep	322	11	2,69	0,66	1,61 - 3,74
respirabel stof boven de werkgang					
'schone neuzen'	95	10	0,43	0,34	- 0,34 - 0,81
balansklep	95	10	0,57	0,35	0,11 - 1,09
inhaleerbaar stof boven de hokken					
'schone neuzen'	341	9	2,66	0,93	1,24 - 4,30
balansklep	340	10	3,39	0,62	2,20 - 4,29

Tabel 6: Gemiddelde stofconcentraties (mg/m^3) bij beide ventilatiesystemen

	'schone-neuzen'-ventilatie	balansklep-ventilatie	SEM[1]	significantie*
inhaleerbaar stof boven de werkgang	2 2	2 7	0,1	**
respirabel stof boven de werkgang[3]	0,44	0'56 ,	01	n.s.
inhaleerbaar stof boven de hokken	2,6	35 ,	0'2 ,	**

[1] SEM: gepoolde standard error van het gemiddelde

[2] significantie: n.s.= niet significant $p > 0,1$; ** = $0,001 < p < 0,01$

[3] rekenkundig gemiddelden en SEM. Er is getoetst op basis van logwaarden. De berekende logwaarden van de concentraties respirabel stof bij schone-neuzenventilatie en balansklepventilatie waren respectievelijk -8,025 en -7,748 (SEM 0,257).

terde sterk door logtransformatie toe te passen ($p > 0,8$). Daarom zijn de concentraties respirabel stof getoetst op basis van de logwaarden.

Variantie-analyse
In tabel 6 staan de resultaten van de statistische analyses van de gravimetrisch bepaalde stofdata.

De concentratie inhaleerbaar stof was bij schone-neuzenventilatie zowel boven de werkgang als boven de hokken lager dan bij balansklepventilatie. De berekende afname was 19% respectievelijk 26%. De afname van de hoeveelheid respirabel stof boven de werkgang (21%) was vergelijkbaar met die van inhaleerbaar stof, maar niet significant. De hoeveelheid respirabel stof als fractie van de hoeveelheid inhaleerbaar stof was bij beide ventilatiesystemen 20%.

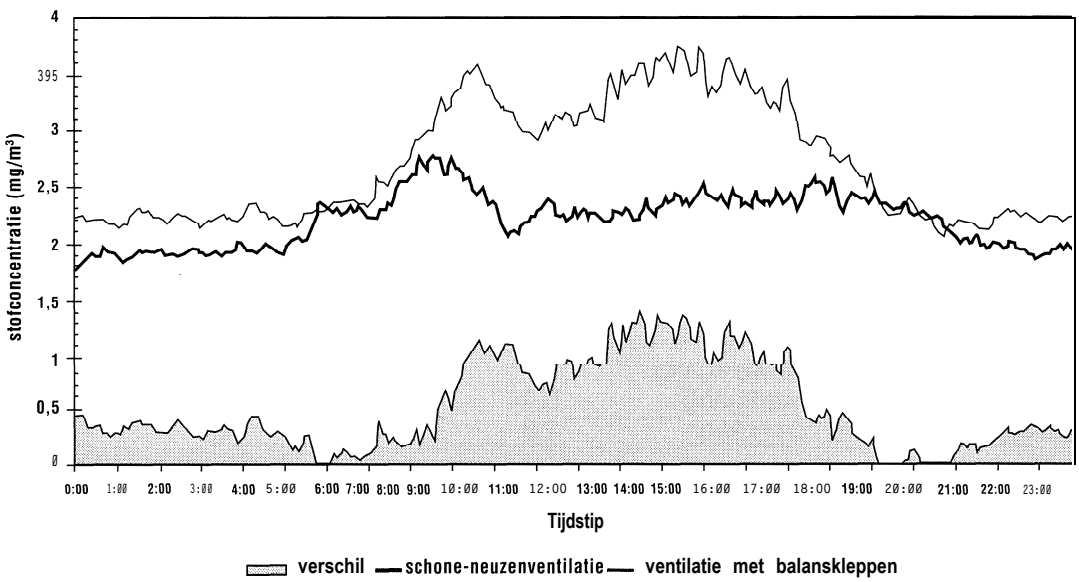
REML-analyse
De resultaten van de REML-analyse zijn grafisch weergegeven in bijlage 2. De schattingen van de parameters in model B staan in tabel 7.

De concentratie inhaleerbaar stof is op beide meetplaatsen ongeveer 20% lager in de afdeling met schone-neuzenventilatie dan in de afdeling met plafondventilatie.

Tabel 7: Schattingen van maximale stofconcentraties (mg/m^3) bij balansklepventilatie (β) en bijbehorende verschillen bij schone-neuzenventilatie (δ_i)

	β	δ_i	significantie*
inhaleerbaar stof boven de werkgang[1]	2,54 (0,19)	-0,50 (0,13)	*
respirabel stof boven de werkgang	0,46 (0,09)	-0,16 (0,09)	n.s.
inhaleerbaar stof boven de hokken	3,26 (0,28)	-0,61 (0,24)	*

[1] tussen haakjes de standaardafwijking
[2] significantie: n.s.= niet significant; $* = 0,01 < p < 0,05$



Figuur 3: Verloop van de concentratie inhaleerbaar stof in stallucht boven de werkgang gedurende het etmaal

4.1.2 Verloop stofconcentraties tijdens het etmaal

De on-line metingen zijn uitgevoerd van juni tot oktober. Het gemiddelde verloop van de concentraties inhaleerbaar stof gedurende het etmaal bij de twee ventilatiesystemen is weergegeven in figuur 3. Het verloop van de stofconcentratie in de afdeling met schone-neuzenventilatie is het gemiddelde van 23 dagen, dat in de afdeling met plafondventilatie is het gemiddelde van 13 dagen.

De stofconcentratie in de schone-neuzenafdeling was vrijwel het gehele etmaal lager dan in de afdeling met balansklepventilatie. Het verschil was overdag groter dan 's nachts.
In de afdeling met balansklepventilatie was de stofconcentratie gedurende 50% van de tijd hoger dan de in tabel 2 vermelde grenswaarde van 2,4 mg/m^3, volgens Donham (1991). In de afdeling met schone-neuzenventilatie was de concentratie gedurende 18% van de tijd hoger. De afname van 50% naar 18% is significant ($p < 0{,}001$).

4.1.3 Hoeveelheden endotoxinen

Het ventilatiesysteem had geen invloed op de hoeveelheid endotoxinen per mg stof. Het stof in de afdelingen met schone-neuzenventilatie en balansklepventilatie bevatte evenveel endotoxinen, namelijk 1.824 respectievelijk 1.822 endotoxin units (EU) per gram stof.

Als gevolg van verschillen in stofconcentraties zijn er wel verschillende concentraties endotoxinen in de lucht gemeten. In de afdeling met schone-neuzenventilatie werd 6.106 EU/m^3 stallucht gemeten en in de afdeling met balansklepventilatie 10.113 EU/m^3. Deze afname was echter niet significant ($p > 0{,}1$).

4.2 Technische resultaten

Groei en voederconversie

De groeicijfers van de biggen zijn berekend over twaalf ronden, de voeropname en voederconversie over zeven ronden. De technische resultaten van de biggen zijn weergegeven in tabel 8.

Er zijn geen significante verschillen gevonden in groeisnelheid, voeropname en voederconversie.

Uitval

De cijfers met betrekking tot de uitval van biggen zijn weergegeven in tabel 9.

Uit tabel 9 blijkt dat de uitval in de afdeling met schone-neuzenventilatie lager was dan in de afdeling met balansklepventilatie ($p < 0{,}05$), maar dat deze afname is veroorzaakt door minder maagdarmaandoeningen (n.s.) en uitval door diverse oorzaken ($p < 0{,}05$). Er is geen invloed aangetoond op uitval door luchtwegaandoeningen.

Tabel 8: Technische resultaten van de biggen

	schone-neuzen-ventilatie	balansklep-ventilatie	SEM'	significantie2
gemiddeld opleggewicht (kg)	7,7	7,3		
gemiddelde oplegleeftijd (dagen)	27	27		
lengte opfokperiode (dagen)	37	37		
groei (gram per dag)	378	365	8	n.s.
voeropname (kg per dag)	0,65	0,62	0,038	n.s.
voederconversie (kg voer/kg groei)	1,70	1,65	0,07	n.s.

1 SEM: Gepoolde standard error van het gemiddelde
2 significantie: n.s. = niet significant ($p > 0{,}1$)

Tabel 9: Uitval en uitvalsredenen van de biggen[1]

	schone-neuzen-ventilatie	balansklep-ventilatie	significantie*
aantal opgelegde dieren	759	766	
percentage uitgevallen dieren	0,6	18	*
aantal uitgevallen dieren	5	14	
uitvalsredenen:			
- maagdarmaandoeningen	4	7	n.s.
- luchtwegaandoeningen	0	1	
- achterblijven	1	1	
- diversen	0	5	*

[1] gebaseerd op acht ronden
[2] significantie: n.s.= niet significant ($p > 0,1$); * = $0,01 < p < 0,05$; - = incidentie is te laag om te toetsen

4.3 Meerkosten van het schone-neuzen-ventilatiesysteem

Bij ventilatie via balanskleppen kost het luchtverdeelsysteem ongeveer *f* 450,- voor een biggenopfokafdeling. In een afdeling met een oppervlakte van 31,5 m^2 kost plafondventilatie, afhankelijk van de uitvoering, *f* 475,- (plastic folie) tot *f* 1.950,- (mineraalwol) per afdeling.
Het luchtafvoersysteem kost bij bovenafzuiging ongeveer *f* 550,- (ventilator) plus *f* 375,- (ventilatiekoker) is f 925,- per afdeling. De totale investering bedraagt dan *f* 1.375,- tot *f* 2.875,- per afdeling.

Bij nieuwbouw bedraagt de investering voor schone-neuzenventilatie:

- luchtverdeelsysteem (houten koker van 7.50 x 1.20 x 0.36 m, aan de onderzijde voorzien van ventilatiedoek)	*f* 2.900,-
- luchtafvoersysteem (ventilator + ventilatiekoker die 2 m (á f 60,-/m) langer is dan bij bovenafzuiging)	*f* 1.045,-
Totale investering per afdeling	*f* 3.945,-

De meerkosten van het schone-neuzenventilatiesysteem zijn *f* 1.070,- tot *f* 2.570,- per afdeling. Ze hebben betrekking op onderdelen van stallen die volgens Adams et al. (1998) in 20 jaar worden afgeschreven.
Als wordt aangenomen dat de elektriciteitskosten niet veranderen bestaat het verschil in jaarkosten uit kosten voor rente, afschrijving en onderhoud & verzekering. Bij 6% rente, 5% afschrijving en 2% onderhoud & verzekering bedragen de extra jaarkosten 10% van de extra investering, dat is f 107,- tot f 257,- per afdeling met 70 biggenplaatsen, dat is f 1,55 tot *f* 3,65 per biggenplaats. De jaarkosten voor een biggenopfokplaats in een 'standaardstal anno 1996' bedragen f 64,60 (Adams et al., 1998). De jaarlijkse meerkosten zijn derhalve 2,5 tot 5,5% van de huisvestingskosten.

De kosten voor aanpassing van bestaande afdelingen naar afdelingen met schone-neuzenventilatie zijn begroot op f 3.000,- per afdeling. Ook hierbij bedragen de jaarkosten 10% van het investeringsbedrag, dat is f 300,- per afdeling.

5 DISCUSSIE

Het doel van het onderzoek was het verlagen van de stofconcentratie van stallucht met relatief weinig kosten. Andere methoden om de stofconcentratie te verlagen, zoals interne luchtfiltratie, wekelijks spoelen met water, wekelijks stofzuigen of ionisatie zijn duur of kosten veel arbeid (Van 't Klooster et al., 1991). Het in dit onderzoek beschreven ventilatiesysteem is niet veel duurder dan een gangbaar ventilatiesysteem, maar resulteert wel in een aanzienlijk lagere stofconcentratie.

5.1 Proefopzet

Het onderzoek is uitgevoerd in twee afdelingen, met elk een eigen ventilatiesysteem. Voor deze proefopzet is gekozen doordat het te duur was om de ventilatiesystemen tussen de ronden om te bouwen van balanskleppen naar schone-neuzenventilatie en omgekeerd. Het nadeel van deze proefopzet is dat de afdeling en de behandeling waren verstrengeld. De invloed van de afdeling is zoveel mogelijk beperkt door het onderzoek uit te voeren in twee afdelingen die, met uitzondering van het onderzochte ventilatiesysteem, identiek waren en gelijktijdig werden volgelegd. Door twee afdelingen in het midden van de stal te nemen zullen ook de weersinvloeden, zoals stralingswarmte en wind, in beide afdelingen vergelijkbaar zijn. Het is daarom onwaarschijnlijk dat afdelingsinvloeden het onderzoek hebben beïnvloed.

5.2 Meetmethoden

In het onderzoek zijn drie typen filterhouders gebruikt, die zo goed mogelijk moeten voldoen aan de in hoofdstuk 2 weergegeven afspraken (CEN, 1993). De concentraties inhaleerbaar stof zijn bepaald met een Casella 7-hole sampler. Volgens Kenny et al (1997) meet deze filterhouder wat minder stof dan volgens CEN (1993) zou moeten, maar is dit verschil met name bij lage windsnelheden klein. Met de PAS-6 filterhouder, die is gebruikt voor de bepaling van de concentraties endotoxinen, wordt iets te weinig van de grotere stofdeeltjes verzameld. De gebruikte filterhouder voor respirabel stof heeft een D-50 van 7 µm, terwijl deze 4 µm zou moeten zijn. Tijdens dit onderzoek is daarom de hoeveelheid respirabel stof overschat. De mate van overschatting is afhankelijk van de deeltjesgrootteverdeling, en die is niet bekend.
De afwijkingen ten opzichte van de definities van de stoffracties die ermee zijn gemeten zijn niet groot en de verschillende typen filterhouders zijn steeds in beide proefafdelingen gelijktijdig gebruikt. Daarom zullen de afwijkingen van de filterhouders geen invloed hebben gehad op de conclusies van dit onderzoek.

Een ander aandachtspunt is dat er alleen stationaire metingen zijn uitgevoerd, en geen persoonlijke. Op basis van de stationaire gravimetrische metingen kan er geen verband gelegd worden tussen de werkzaamheden van de varkenshouder en de stofconcentratie, terwijl de werkzaamheden veel invloed hebben op de concentratie stof. Volgens Preller et al. (1995) verklaren de activiteiten van de varkenshouders 21% van de variatie in op 198 Nederlandse varkensbedrijven gemeten stofconcentraties, en de bedrijfsuitrusting slecht 9%.
Dit probleem is voor een deel ondervangen met de on-line metingen. Hiermee is gemeten hoeveel stof er was gedurende perioden waarin er in de afdeling werd gewerkt. Bovendien bleek uit een onderzoek naar ingeademde stofdeeltjes door inwoners van grote steden (Janssen et al., 1998) dat er weliswaar een aanzienlijk niveauverschil is tussen stationair de persoonlijk gemeten stofconcentraties en de gemeten stofconcentraties in de binnenlucht, maar dat er wel een redelijke correlatie is (Pearson's R= 0,69 - 0,78). Voor het onderzoek naar verlaging van de stofconcentratie in varkensstallen betekent dit dat de stationair gemeten stofconcentraties een aanzienlijke onderschatting zullen geven van de stofbelasting van de varkenshouders - vandaar dat Donham en Cumro (1999) hiervoor twee verschillende normen voorstellen - maar dat een behandelingseffect op de stationair

gemeten stofconcentratie zeer waarschijnlijk ook invloed zal hebben op de stofbelasting van de personen in die ruimte.

5.3 Invloed op concentraties agentia

Gemiddelde concentraties inhaleerbaar en respirabel stof

De resultaten van de variantie-analyse en de REML-analyse zijn verschillend wat betreft het niveau, maar vrijwel identiek wat betreft het effect van het schone-neuzenventilatiesysteem. Het niveauverschil kan zijn veroorzaakt door de manier waarop is omgegaan met extreme waarden of met de invloed van verklarende variabelen als bezettingspercentage of dagen na opleg. Dit onderzoek is echter meer gericht op het effect van het aangepaste ventilatiesysteem dan op het niveau van de stofconcentraties in de stallen waar het onderzoek is uitgevoerd.

Bij schone-neuzenventilatie was de concentratie inhaleerbaar stof boven de werkgang gemiddeld over het etmaal 19% lager dan bij balansklepventilatie met bovenafzuiging. Bij beide systemen bestond het stof voor 20% uit respirabel stof, dus er is geen aanwijzing dat de deeltjesgrootteverdeling van het stof door het ventilatiesysteem is beïnvloed. Daarom is een evenredige afname van de hoeveelheid respirabel stof aannemelijk, hoewel deze niet significant is aangetoond.
Omdat de hoeveelheid stof boven de hokken nog meer afnam dan boven de werkgang is het aannemelijk dat de invloed van de onderafzuiging zeker zo groot was als die van de aangepaste luchtinlaat.

Endotoxinen

De gemeten concentraties endotoxinen, zowel in het stof als in de lucht, zijn hoog. Het stof in de stallucht bevatte gemiddeld 1.823 EU endotoxinen per mg stof, dat is ongeveer 165 µg endotoxinen per gram stof. Dit niveau is vier keer de mediaan uit de 381 waarnemingen door Preller en Vogelzang (1993), namelijk ruim 40 µg endotoxinen per gram stof, maar ligt wel binnen hun range van 3,5 tot 228 µg/gram. In sommige onderzoeken zijn veel lagere waarden gevonden, maar hier kunnen verschillen in procedures voor monstername en extractie van endotoxinen en in bewaarmethoden een rol spelen. Volgens Douwes (1998) kunnen die tot verschillen in meetresultaten leiden.

De lucht in de afdeling met balansklepventilatie bevatte volgens stationaire metingen 10.113 EU endotoxinen per m^3 (paragraaf 4.1.3), dat is ongeveer 1.011 ng/m^3. Preller en Vogelzang (1993) vonden in literatuur uit stationaire metingen gemiddeld 63 tot 180 ng/m^3, met maxima van 252 tot 445 ng/m^3. De gemeten hoge concentraties endotoxinen hangen waarschijnlijk samen met de meetperiode. Er is gemeten aan het einde van de opfokperiode van gespeende biggen en bovendien in de winter. Aan het einde van de opfokperiode zijn de stofconcentraties maximaal (zie bijlage 2). Bovendien is vooral in de winter het ventilatieniveau in deze afdelingen laag, en daardoor de stofconcentratie relatief hoog (Takai, 1987; Heber et al., 1988).
Het gemeten verschil tussen de concentraties endotoxinen per mg stof bij beide ventilatiesystemen was nihil (0,1%) en niet significant. Per m^3 stallucht daarentegen waren de concentraties inhaleerbaar stof en endotoxinen gedurende de meetperiode van endotoxinen - tegen het einde van een biggenopfokperiode in december - in de afdeling met schone-neuzenventilatie meer dan 35% lager dan in de afdeling met traditionele ventilatie. Deze afname was dus veel groter dan de 19% gedurende de totale meetperiode. Met zes waarnemingen in elke proefafdeling kon over deze meetperiode echter geen significante afname van de hoeveelheid inhaleerbaar stof dan wel endotoxinen worden aangetoond. Het sterke verband tussen de hoeveelheid stof en de hoeveelheid endotoxinen maakt desondanks aannemelijk dat de hoeveelheid endotoxinen evenredig is afgenomen met de hoeveelheid stof.

Arbeidsomstandigheden

Hoewel volgens Preller et al. (1995) variatie in blootstelling van de varkenshouders aan stalstof voor een groot deel wordt bepaald door hun activiteiten zal de afname van de hoeveelheden inhaleerbaar en respirabel stof en endotoxinen toch een verbetering van de arbeidsomstandigheden inhouden.

Onafhankelijk van de werkzaamheden en werkmethoden zal een varkenshouder immers minder stof inademen naarmate de lucht schoner is.
De grenswaarde van 2,4 mg stof/m^3 die Donham (1991) heeft gesteld, maar die waarschijnlijk veel te hoog is (paragraaf 2.3), is bij balansklepventilatie met bovenafzuiging tussen 7.00 uur en 19.30 uur continu en ruimschoots overschreden. In de afdeling met schone-neuzenventilatie is deze grenswaarde 's morgens tussen 7.30 uur en 10.00 uur continu overschreden en was 's middags de stofconcentratie ongeveer gelijk aan deze grenswaarde. Praktisch wil dit zeggen dat varkenshouders in afdelingen voor gespeende biggen met balansklepventilatie en bovenafzuiging de gehele werkdag aan veel te veel stof worden blootgesteld en dat in afdelingen met schone-neuzenventilatie tijdens de eerste helft van de ochtend de grenswaarde van Donham (1991) wordt overschreden.
De variatie over de dag heeft te maken met de activiteit van de varkens: naarmate de varkens actiever zijn komt er meer stof in de lucht (Gustafsson, 1999). De activiteit is maximaal tijdens het voeren en controleren van de varkens, wat vooral 's ochtends gebeurt.
De concentratie endotoxinen in de stallucht was bij beide ventilatiesystemen veel te hoog. Bij blootstelling gedurende 40 uur per week was in de afdeling met schone-neuzenventilatie en in de afdeling met balansklepventilatie de concentratie 122 respectievelijk 202 keer hoger dan de door het Dutch Expert Committee on Occupational Standards (1998) geadviseerde grenswaarde.

5.4 Invloed op de varkens

In het onderzoek is geen invloed vastgesteld van het ventilatiesysteem en de aangetoonde verbetering van de luchtkwaliteit op de varkens. Hierbij moet worden bedacht dat de invloed op de varkens is beoordeeld op basis van de productiviteit en het aantal veterinaire behandelingen. Deze manier om behandelingseffecten aan te tonen is veel grover dan de methoden die worden gehanteerd bij het aantonen van gevolgen van blootstelling van varkenshouders aan agentia in de lucht. In de humane epidemiologie wordt gezocht naar gezondheidseffecten of invloeden op de longfunctie die na jarenlange blootstelling kunnen optreden. Het is goed mogelijk dat varkens op een vergelijkbare manier op verontreinigingen in de lucht reageren als mensen, maar het is onwaarschijnlijk dat de in dit onderzoek vastgestelde behandelingseffecten veel invloed hebben op de productiviteit. Bij de gehanteerde proefopzet was de LSD (least significant difference, het kleinste verschil dat statistisch aangetoond had kunnen worden) voor groeisnelheid 24 gram per dag. Dat is een groeiverbetering van ongeveer 6%. Een dergelijk effect ten gevolge van een betere luchtkwaliteit is tamelijk onwaarschijnlijk. De gemeten groeiverbetering bedraagt 13 gram per dag. Mogelijkerwijs is de groei positief beïnvloed door het schone-neuzenventilatiesysteem, maar was het effect te klein om in dit onderzoek aan te tonen. Als het waargenomen verschil van 13 gram werkelijk bestaat zijn er ongeveer 55 ronden nodig om dat aan te tonen (Oude Voshaar, 1994). Voor de andere kengetallen is de situatie vergelijkbaar. De gemeten voeropname in de afdelingen met schone-neuzenventilatie was 30 gram/dag hoger dan in de afdelingen met balansklepventilatie (LSD 100 gram/dag). De voederconversie was 50 gram voer/kg groei ongunstiger (LSD 190 gram voer/kg groei).

In het onderzoek was er bij schone-neuzenventilatie iets minder uitval dan bij balansklepventilatie, maar vooral als gevolg van minder maagdarmaandoeningen en 'diverse' uitvalsredenen. Het is daarom twijfelachtig of dit werkelijk een behandelingseffect was. Luchtwegaandoeningen kwamen te weinig voor om een effect te kunnen meten.

5.5 Betekenis voor de praktijk

Varkenshouders hebben veel meer kans op respiratoire klachten dan mensen in andere beroepsgroepen. Ook zijn er aanwijzingen dat het werk in stallen meer algemene klachten veroorzaakt. Omdat deze klachten waarschijnlijk worden veroorzaakt door de luchtkwaliteit in stallen is het belangrijk de blootstelling aan agentia, voor een groot deel verbonden aan het stof, te verlagen.

Aangezien er geen aanwijzingen zijn dat verlaging van het stofgehalte resulteert in een sterke verbetering van de technische resultaten zullen maatregelen met hoge jaarkosten ten koste gaan van de concurrentiekracht van de bedrijven en daarom niet veel toegepast worden. Weinig toegepaste maatregelen zullen niet veel bijdragen aan verbetering van de arbeidsomstandigheden in de sector. Het onderzochte schone-neuzenventilatiesysteem is een relatief goedkope maatregel (ƒ 0,25 tot ƒ 0,60 per afgeleverde big) en kost geen extra arbeid, maar leidt wel tot verlaging van de stofconcentratie. Het systeem is daarom gunstig voor de arbeidsomstandigheden in de sector.

De meeste varkenshouders zullen ook in stallen met schone-neuzenventilatie persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's, bijvoorbeeld stofmaskers) moeten dragen. De noodzaak hangt onder andere af van de tijd die in de stallen wordt doorgebracht, maar gezien de zeer grote overschrijding van de gezondheidskundige advieswaarde voor endotoxinen zal het gebruik van PBM's voor velen wenselijk blijven.
Op basis van de onderzoeksresultaten dient eigenlijk andersom te worden geredeneerd. Stoffilters houden niet alle stof tegen, maar laten een deel door (Pickrell et al., 1996). De verhouding tussen de stofconcentratie buiten en binnen het masker, beschermingsfactor genoemd, geeft aan hoe goed het filter werkt. Zo filteren P2-filters, afhankelijk van de deeltjesgrootte van het stof, ongeveer 94% van de verontreiniging uit de lucht (Putman, 2000).
De gemeten concentraties endotoxinen zijn zo hoog dat de stofmaskers, die bovendien beperkt worden gedragen en in de praktijk meestal minder goed passen dan in een laboratoriumopstelling wordt gemeten, geen optimale bescherming bieden. Verlaging van de stofconcentratie op de werkplek - de stal - resulteert ook bij gebruik van stofmaskers in een lagere blootstelling en draagt daarom bij aan verbetering van de arbeidsomstandigheden in varkensstallen.



Stof hoopt zich op in het filter van een stofmasker

6 CONCLUSIES

Bij het schone-neuzenventilatiesysteem (een ventilatiesysteem met luchtinlaat via een koker boven de gehele werkgang, gecombineerd met onderafzuiging) is de ventilatie effectiever dan bij een ventilatiesysteem met luchtinlaat via balanskleppen en bovenafzuiging. Dit resulteert in een lagere stofconcentratie in de stallucht op het niveau van de dierverzorger (boven de werkgang) en van de varkens (boven de hokken).

Op 1,70 m boven het midden van de werkgang is een significante afname ($p < 0,01$) van 19% van het etmaalgemiddelde van de hoeveelheid inhaleerbaar stof gemeten. De 21% afname van de hoeveelheid respirabel stof was niet significant. De resterende hoeveelheden inhaleerbaar en respirabel stof boven de werkgang waren respectievelijk 2,2 en 0,44 mg/m^3.

Hoewel de afname van de stofconcentratie overdag groter is dan 's nachts, is de resterende hoeveelheid stof overdag toch nog hoger dan 's nachts. Bij schone-neuzenventilatie was de stofconcentratie overdag met 2,37 mg/m^3 ongeveer gelijk aan de gezondheidskundige grenswaarde volgens Donham (1999), bij balansklepventilatie was deze met 3,24 mg/m^3 35% hoger.

Op 1 m boven de hokken was de afname van de hoeveelheid inhaleerbaar stof 25% ($p < 0,01$). Hier resteerde 2,6 mg stof per m^3 stallucht.

Er is geen aanwijzing dat de deeltjesgrootteverdeling van het stof is be'invloed.

Het stof in de stallucht bevatte ongeveer 1.820 EU (ongeveer 165 ng) endotoxinen per mg stof. Er is geen invloed vastgesteld van het ventilatiesysteem op de concentratie endotoxinen in het inhaleerbare stof boven de werkgang. Dit betekent dat de hoeveelheid endotoxinen in dezelfde mate afnam als de hoeveelheid inhaleerbaar stof.

Onder de meest ongunstige omstandigheden, aan het einde van de opfokperiode en midden in de winter, waren de gemeten concentraties endotoxinen in afdelingen met het schone-neuzenventilatiesysteem en met het balansklepventilatiesysteem respectievelijk 6.106 EU/m^3 en 10.113 EU/m^3. Dit is respectievelijk 122 en 202 keer zo hoog als de gezondheidskundige advieswaarden.

Er is geen invloed van het ventilatiesysteem op de technische resultaten aangetoond.

De meerkosten van het ventilatiesysteem ten opzichte van andere systemen zijn relatief laag. Hierdoor kan het ventilatiesysteem, ondanks het ontbreken van aantoonbare meeropbrengsten, toch aanbevolen worden ter verbetering van de arbeidsomstandigheden.

LITERATUUR

Aarnink, A.J.A. en M.J.M. Wagemans 1997. *Ammonia volatilization and dust concentration as affected by ventilation systems in houses for fattening pigs.* In: American society of agricultural engineers (40), pp. 1161-1170.

Aarnink, A.J.A., P.F.M.M. Roelofs, H. Ellen en H. Gunnink 1999. *Dust sources in animal houses.* In: Congress proceedings 'International symposium on Dust control in animal production facilities'. May 30th - June 2nd, Aarhus, Denmark, pp. 34-41.

Adams, J.H.A.N., C.E.P. van Brakel, G.B.C. Backus en P.A.M. Bens 1998. *Investeringskosten van standaardstallen voor varkens anno 1996.* Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 1.214.

Attwood, P., R. Brouwer, P. Ruigewaard, P. Versloot, R. de Wit, D. Heederik en J.S.M. Boleij *1987. A study of the relationship between airborne contaminants and environmental factors in Dutch swine confinement buildings.* In: Am. ind. Hyg. Assoc. J. (48), pp. 745-751.

Bækbo, P. en J. Wolstrup *1989. Aerosol sampling in pig fattening units.* In: Agricultu re, aerosol sampling in animal houses, proceedings of a workshop held at the University of Bristol, July 26-28, 1988, pp. 27-37.

Bækbo, P. 1998. *Effects of noxious gases, dust and microorganisms on the incidence and severity of respiratory diseases in pigs* In: Proceedings of the 15th IPVS congress, Birmingham, England, 5-9 July 1998, volume 1, p. 135-142.

Boer, S. de en W.D. Morisson 1988. *The effects of quality of the environment in livestock buildings on the productivity of swine and safety in humans;* a literature review. University of Guelph.

Boleij, J., E. Buringh, D. Heederik en H. Kromhout *1995. Occupational hygiene of chemical and biological agents.* Elsevier, Amsterdam.

Bongers, P., D. Houthuijs, B. Remijn en K. Biersteker 1986. *Longfunctie en luchtwegaandoeningen bij varkenshouders.* In: Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg (64), nr. 3, pp. 81-86.

Bongers, P., D. Houthuijs, B. Remijn en K. Biersteker 1987. *Lung function and respiratory symptoms in pig farmers.* In: British journal of industrial medicine (44), pp. 819-823.

Cargill, C., S. Skirrow, N. Masterman en T. Banhazi 1995. *Effects of pelleting feed on aerosols in pig sheds.* In: Manipulating pig production V; proceedings of the fifth biennial meeting of the australasian pig science association, December 7-10, Canberra, Australia, p.224.

Cargill, C. en T. Banhazi 1998. *The importance of cleaning in all in all out management systems.* In: Proceedings of the 15th IPVS congress, Birmingham, England, 5-9 July 1998.

Cargill, C., T. Banhazi en I. Connaughton 1998. *The influence of air quality on production increases associated with all in all out management.* In: Proceedings of the 15th IPVS congress, Birmingham, England, 5-9 July 1998, p. 248.

Carpenter, G.A., A.W. Cooper en G.E. Wheeler 1986. *The effect of air filtration on air hygiene and pig performance in early-weaner accommodation.* In: Animal Production (43), pp. 505-515.

CEN 1993. EN 481: *Workplace atmospheres; size fraction definitions for measurement of airborne particles.* Comité Européen de Normalisation, Brussel.

CIGR *1994. Aerial environment in animal housing; concentrations in and emissions from farm buildings.* Commission Internationale du Genie Rural; Working group no. 13. CIGR-working group report series No. 94.1, Paris.

Currie, E., C. Lee, S.E. Golden, D.T. Harrison, L.R. Giles en I.D. Connaughton *1997. Measurement of air quality and weaner pig performance in two different environments.* In: P.C. Cranwell (ed.), Manipulating pig production V; proceedings of the fifth biennial meeting of the australasian pig science association, December 7-10, Canberra, Australia, p. 297.

Curtis, S.E. 1986. *What's up in the air?* In: Pigs (2), nr. 3, pp. 22-23.

Doekes, G. *1997. Stof en gezondheid.* In: proceedings Studiedag 'Techniek, energie en milieu', georganiseerd door de Nederlandse Vereniging Techniek in de Landbouw op 11 maart 1997 te Ede, NVTL, Wageningen.

Donham, K.J. en K.E. Gustafson 1982. *Human occupational hazards from swine confinement.* In: Annals of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2), pp. 137-142.

Donham, K.J., D.C. Zavala en J. Merchant 1984. *Acute effects of the work environment on pulmonary functions of swine confinement workers.* In: American journal of industrial medicine (5), pp. 367-375.

Donham, K.J., L. J. Scallon, W. Popendorf, M.W. Treuhaft en R.C. Roberts 1986. *Characterization of dusts collected from swine confinement buildings.* In: American Industrial Hygiene Association Journal (47), nr. 7, pp. 404-410.

Donham, K.J., P. Haglind, Y. Peterson, R. Rylander en L. Belin 1989. *Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings.* In: British Journal of Industrial Medicine (46), pp. 31-37.

Donham, K.J. 1991. *Association of environmental air contaminan ts with disease and productivity in swine.* In: American Journal of Veterinarian Research (52), nr. 10, pp. 1723-1730.

Donham, K.J. 1995. *A Review - The effects of environmental conditions inside swine housing on worker and pig health.* In: E.P. Hennessy en P.D. Cranwell (eds.), Manipulating pig production V; proceedings of the fifth biennial meeting of the australasian pig science association, November 26-29, Canberra, Australia, pp. *203-221.*

Donham, K.J. en D. Cumro 1999. *Setting maximum dust exposure levels for people and animals in livestock facilities.* In: Congress proceedings of the international symposium on dust control in animal production facilities; May 30th - June 2nd, pp. 93-110. Aårhus, Denmark.

Douwes, J., P. Versloot, A. Hollander, D. Heederik en G. Doekes 1995. *Influence of various dust sampling and extraction methods on the measurement of airborne endotoxin.* In: Applied and environmental microbiology (61), nr. 5, pp. 1763-1769.

Douwes, J. *1998. Respiratory health effects of indoor microbial exposure; a contribution to the development of exposure assessment methods.* Thesis, Landbouwuniversiteit Wageningen.

Dutch Expert Committee on Occupational Standards 1998. *Endotoxins; health-based recommended occupational exposure limit for endotoxins.* Gezondheidsraad, publicatie nr. 1998/03WGD, Rijswijk.

Essen S. von en K. Donham 1999. *Illness and injury in animal confinemen t workers.* In: Occupational medicine (14), nr. 2, pp. 337-350.

Genstat 5 Committee 1993. *Genstat 5 reference manual.* Clarendon Press, Oxford.

George, S.D. en J.J.R. Feddes 1995. *Removal of airborne swine dust by electrostatic precipitation.* In: Canadian agricultural engineering (37), nr. 2, pp. 103407.

Guarino, M. en P. Navarotto 1999. *Dustiness in a piggery: a new system to reduce airborne particles.* In: Congress proceedings 'International symposium on dust control in animal production facilities'. May 30th – June 2nd, Aarhus, Denmark, pp. 343-349.

Gustafsson, G. 1995a. *Damm i svinstallar (Dust in pig houses).* Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi (JBT), rapport 104, Lund, Sweden.

Gustafsson, P.J.G.1995b. *Abatement and control of air pollutants in and from buildings.* In: Proceedings of 46th annual EAAP meeting, Prague, paper M3.6.

Gustafsson, G. 1999. *Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses.* In: Journal of agricultural engineering research (74), pp. 379-390.

Hartung, J. *1982. Luftuntersuchungen in einem Sch weinestall beim Einsa tz eines Gerätes zur Luftionisation.* In: Der praktische Dierarzt (12), pp. 1059-1066.

Hartung, J. en J. Seedorf 1999. *Orientierende Endotoxinmissungen in der Aubenluft.* In: Deutsche tieraerztliche Wochenschrift (106), nr. 12, pp. 522-525.

Heber, A.J., M. Stroik, J.L. Nelssen en D.A. Nichols 1988. *Influence of environmental factors on concentrations and inorganic content of aerial dust in swine finishing buildings.* In: American society of agricultural engineers (31), nr. 3, pp. 875-881.

Jackson, A.G. *1995. The Australian pig industry takes the lead in occupational health and safety development.* In: E.P. Hennessy en P.D. Cranwell (eds.), Manipulating pig production V; proceedings of the fifth biennial meeting of the australasian pig science association, November 26-29, Canberra, Australia, p. 222.

Jacobson, L.D., K.A. Janni en V.J. Johnson 1996. *Toxic gas and dust concentrations inside Minnesota pig facilities.* In: Conference proceedings of the international conference on air pollution from agricultural operations, February 7-9, Westin Crown Center, Kansas City, Missouri, pp. 331-337.

Jacobson, L.D., B. Hetchler, K.A. Janni en L.J. Johnston 1998. *Odor and gas reduction from sprinkling soybean oil in a pig nursery* In: Proceedings of ASAE-meeting 1998, paper no. 984125, St. Joseph, USA.

Jansen, A. en J.J.R. Feddes 1995. *Effect of airborne dust on health and performance of growing pigs.* In: Canadian agricultural engineering (37), nr. 3, pp. 211-216.

Janssen, N.A.H., G. Hoek, B. Brunekreef en H. Harssema 1998. *Personal sampling of particles in adults: relation among personal, indoor and outdoor air concentrations.* In: American Journal of Epidemiology (146), nr. 6, pp. 537 - 547.

Jolie, R., L. Bäckström en C. Thomas 1998a. *Airborne contaminants and farmers health in swine farms with high and low prevalence of respiratory diseases in pigs.* In: Annals of Agricultural Environmental Medicine (5), pp. 87-92.

Jolie, R., L. Bäckström en C. Thomas 1998b. *Health problems in veterinary students after visiting a commercial swine farm.* In: Canadian Journal of Veterinairy Research (62), pp. 44-48.

Jong, S. de 1987. *Stof en gassen in de stal schadelijk voor mens en dier* In: Varkens, nr. 6, p. 36.

Kenny, L.C., R. Aitken, C. Chalmers, J.F. Fabriès, E. Gonzales-Fernandez, H. Kromhout, G. Lidén, D. Mark, G. Riediger en V. Prodi 1997. *A collaborative european study of personal inhalable aerosol sampler performance.* In: Ann. occup. hyg. (41), nr. 2, pp. 135-153.

Klooster, CE. van 't, P.F.M.M. Roelofs, G.P. Binnendijk en M.J.M. Duijf 1991. *Verlagen van het stofgehalte van de lucht in varkensstallen; resultaten anno 1991.* Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 1.70.

KNMI 1991, 1992, 1993, 1996en 1997. *Maandoverzicht van het weer in Nederland.* Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. MOW-Bulletin (88) nr. 5, 6, 7 en 8, (89) nr. 10, 11 en12, (90) nr. 3, 4, 5, 6 en 7, (93) nr. 10, 11 en 12 en (94) nr.1, 2, 3, 4 en 5, De Bilt.

Krom hout, H. 1996. *Inhaleerbaar-stofmonsternemers getest; Resultaten van CEN-studie beschikbaar:* In: Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap (9), nr. 3, pp. 42-45.

Larsson, B.M., K. Larsson, P. Malmberg en L. Palmberg 1999. *Gram positive bacteria induce IL-6 and IL-8 production in human alveolar macrophages and epithelial cells.* In: Inflammation (23), nr. 3, pp. 217-320.

Leijten, J.F.J.C. 1990. *Onderzoek naar stofmonstername door middel van filtratie in varkensstallen.* Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, intern rapport P 3.57.

Li, X.W. 1997. *Effects of dust and contaminants in animal buildings on human health and control strategies.* In: Journal environ. sci. health (A32), nr. 9 en 10, pp. 2449-2469.

Lyngbye, M., N.O. Breum en H. Steinmetz *1999. Lignin deriva tive used to reduce dust from straw.* Posterpresentatie tijdens 'The international symposium on dust control in animal production facilities'; May 30th - June 2nd. Aarhus, Denmark.

Mankell, K.O., K.A. Janni, R.D. Walker, M.E. Wilson, J.E. Pettigrew, L.D.Jacobson en W.F. Wil ke *1995. Dust suppression in swine feed using soybean oil.* In: Journal of animal science (73) pp. 981-985.

Melenka, L.S., P.A. Hessel, K. Yoshida en D.A. Enarson 1999. *Lung health in Alberta farmers.* In: The international journal of tuberculosis and lung disease (10), nr. 3, pp. 913-919.

Milanowski, J. 1997. *Experimental studies on the effects of organic dust-derived agents on respiratory system: Comparison between endotoxins and glucans.* In: Inhalation toxicology (9), nr. 4, pp. 369-288.

Ministerie SZW *1999. Nationale MAC-lijst 1999.* Sdu uitgevers, Den Haag.

Mitchell, B.W. 1996. *Effect of negative air ionization on inhalable particulates in a hatching cabinet.* In: Conference proceedings of the international conference on air pollution from agricultural operations, February 7-9, Westin Crown Center, Kansas City, Missouri, pp. 355-361.

Møller, F. *1991. Støvreduktion i stalde ved ionisering.* Statens Jordbrugstekniske Forsøg (National Institute of Agricultural Engineering), orientering nr. 74.

Muller-Suur, C., K. Larsson, P. Malmberg en P.H. Larsson 1997. *Increased number of activated lymphocytes in human lung following swine dust inhalation.* In: European respiratory journal (10), pp. 376-380.

Nowak, D. 1998. *Die Wirkung von Stallluftbestandteilen, insbesondere in Schweinestallen,* aus arbeitsmedizinischer Sicht. In: Dtsch. tierärztl. Waschr. (105), pp. *225-234.*

Osman, S.P.L., R.M. Kay en J.E. Owen 1999. *Dust reduction in pig buildings using an applicator to spread oil directly onto pigs.* In: Congress proceedings 'International symposium on dust control in animal production facilities'. May 30th - June 2nd, Aarhus, Denmark, pp. 253-260.

Oude Voshaar, J.H. 1994. *Statistiek voor onderzoekers.* Wageningen Pers, Wageningen.

Pedersen, O.G. en B. Mortensen 1989. *Status verdrørende undersøgelser og information om arbejdmiljø i svinestalde.* Danske Slagterier, København, Denemarken.

Pedersen, S. 1989. *Dust and gases in livestock buildings.* In: Dodd en Grace (eds.): Proceedings of the eleventh international congress on agricultural engineering, Dublin, 4 - 8 September, volume 1 (Land and water use), pp. 1489-1499.

Pedersen, S. 1993. *Time based variation in airborne dust in respect to animal activity* In: Livestock Environment IV; proceedings of the fourth international symposium, 6-9 July, Coventry, England, pp. *718-725.*

Pedersen, S. 1998. *Staubreduzierung in Schweinestallen.* In: Dtsch. tierärztl. Wschr. (105), nr. 6, pp. *247-250.*

Pedersen, S. en H. Takai 1999. *Dust response to animal activity* In: Congress proceedings 'International symposium on dust control in animal production facilities'. May *30th* - June 2nd, Aårhus, Denmark, pp. 306-309.

Phillips, P.A. en B.K. Thompson 1989. *Respirable dust in fan and naturally ventilated hog barns.* In: Transactions of ASAE (32), vol. 5, pp. 1807-1810.

Pickrell, J.A., A.J. Heber, J.P. Murphy, SC. Henry, F.W. Oehme, M.M. May, D. Nolan, S.K. Gearhart, B.L. Cederberg, R. Maghirang en D. Schoneweis 1996. *Characterization of dust, ammonia and endotoxin in grower-nursery swine confinement buildings-the effect of recirculated air and respiratory protective masks.* In: Conference proceedings of the international conference on air pollution from agricultural operations, February 7-9, Westin Crown Center, Kansas City, Missouri, pp. 345-350.

Post, W., D. Heederik en R. Houba 1998. *Decline in lung function related to exposure and selection processes among workers in the grain processing and animal feed industry* In: Occupational and environmental medicine (55), nr. *5,* pp. 249-355.

Preller, L. en P. Vogelzang 1993. *Gezondheid varkenshouder aan risico 's blootgesteld.* Stichting Gezondheidsdienst voor Dieren in Zuid-Nederland, rapportnr. 93.001, Boxtel.

Preller, L. 1995. *Respiratory health effects in pig farmers; assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors.* Thesis. Landbouwuniversiteit Wageningen.

Preller, L., D. Heederik, H. Kromhout, J.S.M. Boleij en M. J.M. Tielen *1995. Determinants of dust and endotoxin exposure of pig farmers: development of a control strategy using empirical modelling.* In: Annals of Occupational Hygiene (39), pp. 545-558.

Projectgroep KWIN-V 98-99 1998. *Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1998- 1999.* Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.

Putman, J. 2000. *Gebruiksduur en doorslagtijden van filters.* In: Arbo Veiligheids Nieuws (32), nr 1, pp. 3-4. Uitgave van Groeneveld Intersafe.

Robertson, J.F. 1992. *Dust and ammonia in pig buildings.* In: Farm building progress (110), pp. 19-24.

Robertson, J.F. 1994. *Ammonia, dust and air quality: quantifying the problem.* In: The pig journal (33), pp. 113-125.

Roelofs, P.F.M.M., J.H.M. van Cuyck, G.P. Binnendijk en C.E. van 't Klooster 1993. *Technische resultaten van biggen en vleesvarkens tijdens en na stofarme opfok.* Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 4.6.

Roelofs, P.F.M.M. en J.H.A.N. Adams 1997. *Arbeidsbehoefte en arbeidsomstandigheden.* In: Backus et al., *Vergelijking van vier bedrij'fssystemen in de vermeerdering.* Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 1.171.

SAS Institute Inc. 1989. *SAS/STAT Users Guide, Version 6, Fourth Edition.* Cary, NC, USA.

Seedorf, J., J. Hartung, M. Schröder, K.H. Linkert, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, S. Pedersen, H. Takai, J.O. Johnsen, J.H.M. Metz, P.W.G. Groot Koerkamp, G.H. Uenk en C.M. Wathes 1998. *Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe.* In: Journal of agricultural engineering research (70), pp. 97-109.

Sigsgaard, T., O. Omland, H. Takai en S. Pedersen 1999. *Dust, endotoxin and ammonia exposure and development of asthma, a pilot study* In: Congress proceedings 'International symposium on dust control in animal production facilities'. May 30th - June 2nd, Aarhus, Denmark, pp. 117-126.

SjF *1993. KEW-støvbindingsanlæg.* Statens Jord brugstekniske Forsøg (National Institute of Agricultural Engineering), prøverapport nr. 883.

Skirrow, S., C. Cargill, A. Mercy, R. Nicholls, T. Banhazi en N. Masterman 1995. *Risk factors for pleurisy in pigs.* Agriculture Western Australia and South Australian Research and Development Institute, report DAW28P.

Strobel, B.R. en A.J. Heber 1998. *Improving air quality in swine farrowing rooms.* In: Proceedings of ASAE-meeting 1998, paper no. 984125, St. Joseph, USA.

Takai, H. 1987. *Forekomst af støv i svinestalde, samt mulighederne for at reducere stofmængden.* In: proceedings seminar 'Den rullende afprøvnings staldtekniske opgaver, arbejdsmiljø i svinestalde, 16-17 september, Grenå, Denemarken

Takai, H., L.D. Jacobson en S. Morsing 1996a. *Airborne dust concentration variation in pig buildings.* In: Conference proceedings of the international conference on air pollution from agricultural operations, February 7-9, Westin Crown Center, Kansas City, Missouri, pp. 309-316.

Takai, H., L.D. Jacobson en S. Pedersen 1996b. *Reduction of dust concentration and exposure in pig buildings by adding animal fat in feed.* In: Journal of agricultural engineering research (63), pp. 113-120.

Tielen, M.J.M., L. Preller, P. van Gullick, P.J.J. Vogelzang en A.R.W. Elbers 1995. *Health status of Dutch pigfarmers and veterinarians in relation to the occupational exposure.* In: Proceedings from the 46th annual EAAP meeting, Prague, paper M3.3.

Urbain, B., P. Gustin, D. Beerens en M. Ansay 1996. *Acute effects of endotoxin inhalation on the nasal mucosa in pigs: interaction with ammonia.* In: Proceedings of the 14th IPVS Congress, Bologna, Italy.

Voermans, M.P. en J.G.L. Hendriks 1995. *Onder- of bovenafzuiging van ventilatielucht bij vleesvarkens.* Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 4.9.

Vogelzang, P.F.J., J.W.J. van der Gulden, L. Preller, D. Heederik, M.J.M. Tielen en C.P. van Sc hayck 1996. *Respira tory morbidity in relationship to farm characteristics in swine confinement work: possible preventive measures.* In: American Journal of Industrial Medicine (30), pp. 212-218.

Vogelzang, P.F.J., J.W.J. van der Gulden, L. Preller, M.J.M. Tielen, C.P. van Schayck en H. Folgering *1997. Bronchial hyperresponsiveness and exposure in pig farmers.* In: Int. arch. Occup. Environ. Health (70), pp. 327-333.

Vogelzang, P.F.J., J.W.J. van der Gulden, H. Folgering, J.G. Kolk, D. Heederik, L. Preller, M.J.M. Tielen en C.P. van Schayck 1998. *Endotoxin exposure as a major determinant of lung function decline in pig farmers.* In: American J. Respir. Crit. Care Med. (157), pp. 15-18.

Vogelzang, P.F.J., J.W.J. van der Gulden, H. Folgering en C.P. van Schayck 1999a. *Organic dust toxic syndrome in swine confinement farming.* In: American Journal of Industrial Medicine (35), pp. 332-334.

Vogelzang, P.F.J., J.W.J. van der Gulden, M.J.M. Tielen, H. Folgering en C.P. van Sc hayc k 1999 b. *Health-based selection for asthma, but not for chronic bronchitis, in pig farmers: an evidente-based hypothesis.* In: European Respiratory Journal (13), pp. 187-189.

Wang, X., Y. Zhang en G.L. Riskowski 1999. *Dust spatial distribution in a typical swine building.* In: Congress proceedings 'International symposium on dust control in animal production facilities'. May 30th - June 2nd, Aarhus, Denmark, pp. 48-55.

Wathes, C.M. en J.M. Randall (ed.) 1989. *Aerosol sampling in animal houses.* Proceedings of a workshop held at the University of Bristol, department of animal husbandry, 26 to 28 July 1988.

Willems, H., F. Verlinden en K. Biersteker *1984. Arbeid en gezondheid van de Nederlandse agrariër:* In: Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg (62), nr. 1, pp. 21-27.

Zeitler, M.H., M. Köning en W. Groth 1987. *Der Einfluß von Futterform (mehlförmig, pelletiert, flüssig) und Jahreszeit auf die Konzentration und Korngrößenverteilung luftgetragener Staubpartikel* in Mastschweineställen. In: Dtsch. Tierärztl. Wschr. (94), pp. 381-440.

Zeitler-Feicht, M.H., G.J. Praml en H. Riedel 1991. Die *zeitliche Variation der Feinstaubbelastung der Luft im Mastschweinestall;* Tierhygienische und arbeitsmedizinische Aspekte. In: Berl. Münch. Tierärztl. Wschr (104), pp. 84-89.

Zejda, J.E., E. Barber, J.A. Dosman, S.A. Olenchock, H.H. McDuffie, C. Rhodes en T. Hurst 1994. *Respiratory health status in swine producers relates to endotoxin exposure in the presence of low dust levels.* In: JOM (36), nr. 1, pp. 49-57.

Zhang, Y., A. Tanaka, E.M. Barber en J.J.R. Feddes 1996. *Effects of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings.* In: American society of agricultural engineers (39), nr. 3, pp. 1077-1081.

Zhang, Y., A. Tanaka, J.A. Dosman, A. Senthilselvan, E.M. Barber, S.P. Kirychuyk, L.E. Holfeld en T.S. Hust 1998. *Acute respiratory responses of human subjects to air quality in a swine building.* In: J. agric. Engng Res (70), pp. *367-373.*

Zock, J.P., D. Heederik en G. Doekes 1998. *Evaluation of chronic respiratory effects in the pota to processing industry: indications of a healthy worker effect?* In: Occup. Environ Med (55), pp. *823-827.*

BIJLAGEN

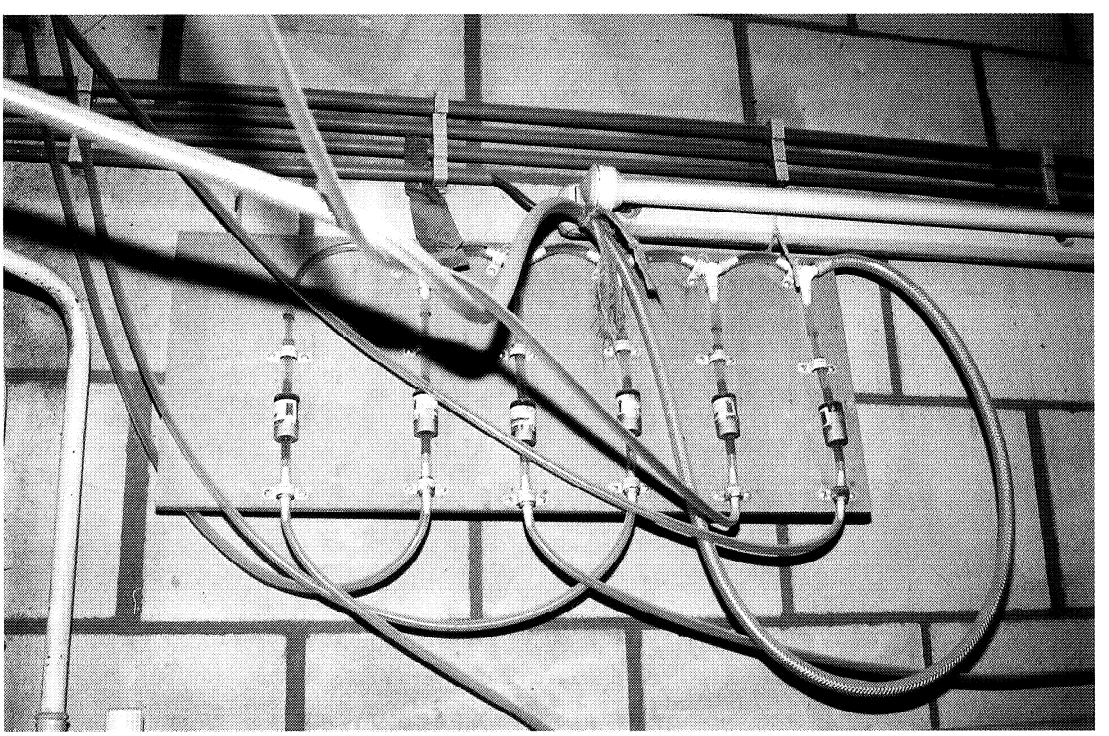
Bijlage 1: Protocol voor stofmetingen

Om stofconcentraties te meten voert het Praktijkonderzoek Varkenshouderij zowel gravimetrische als on-line metingen uit. Met behulp van gravimetrische metingen wordt de gemiddelde stofconcentratie over een meetperiode, bijvoorbeeld een of enkele etmalen, gemeten. On-line metingen geven inzicht in het verloop van de stofconcentratie gedurende de meetperiode. Effecten van proefbehandelingen of systemen worden vergeleken op afdelingsniveau.

Conform de internationale afspraken die in 1988 tijdens de EG workshop "Aerosol sampling in animal housing" in Bristol zijn gemaakt (Wathes en Randall, 1989) worden er voor het vergelijken van concentraties inhaleerbaar stof 24-uursmetingen verricht, Omdat er vrij veel variatie blijkt te bestaan tussen de stofconcentraties op verschillende dagen, wordt ernaar gestreefd om per meetplaats minimaal twaalf dagen achter elkaar te meten. Bij het bepalen van concentraties respirabel stof duurt elke waarneming twee tot vier dagen (afhankelijk van de stofconcentratie), en wordt er minimaal een maand achter elkaar gemeten.

Meetopstelling

Lucht wordt aangezogen met een pomp die ruim voldoende capaciteit heeft voor het gewenste aantal meetpunten. Het debiet per meetpunt wordt constant gehouden met kritische capillairen met een debiet van 1,9 l/min (respirabel stof) of 2,0 l/min (inhaleerbaar stof). Bij het plaatsen van de meetopstelling wordt met behulp van een gecalibreerde Sho-Rate flowmeter (model 1355/D1D2D1 EOOOOO) het debiet gecontroleerd en geregistreerd. Deze controle en

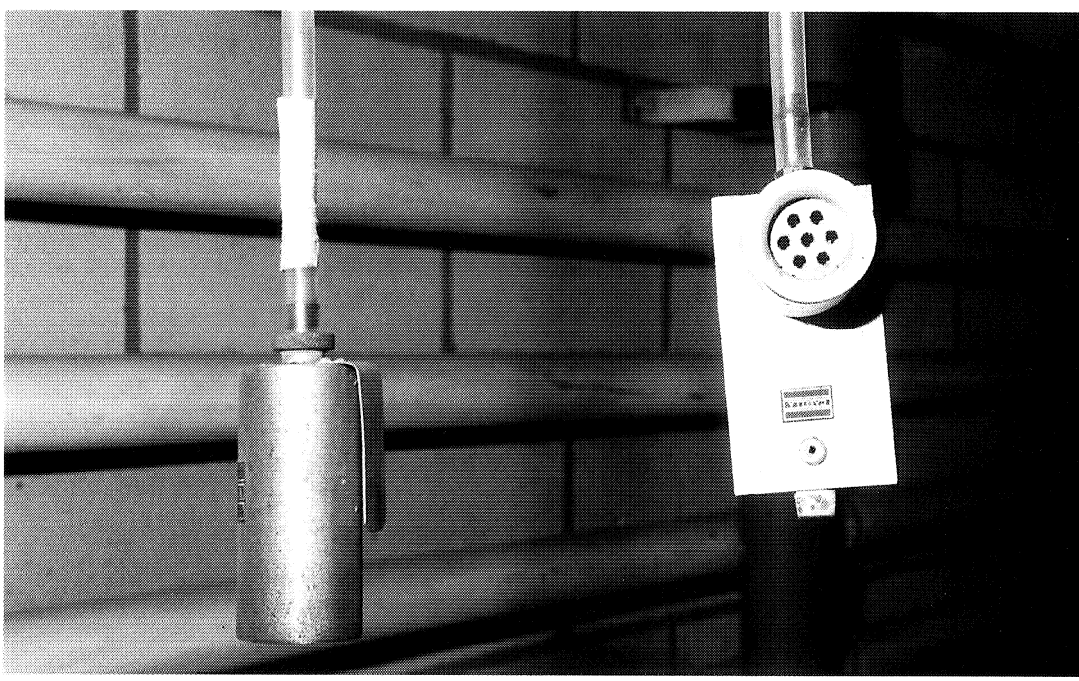


Paneel met zes kritische capillairen

registratie van gerealiseerde debieten wordt wekelijks en aan het einde van de meetperiode herhaald. Als het debiet meer dan 10% afwijkt wordt het kritische capillair gereinigd of vervangen.
Als er slechts enkele meetpunten nodig zijn kan er gebruik gemaakt worden van Casella AFC124 luchtpompjes met "automatic flow control", die via adapters op het lichtnet worden aangesloten om continumetingen te kunnen verrichten. Ook bij deze pompjes wordt het debiet bij aanvang van het onderzoek en vervolgens wekelijks en aan het einde van het onderzoek met de Sho-Rate flowmeter gecontroleerd en worden afwijkingen geregistreerd. Als het debiet afwijkt wordt de pomp bijgesteld. Voordat het debiet gecontroleerd kan worden, moeten de pompen minimaal 15 minuten gelopen hebben.

Het stof dat in de aangezogen lucht aanwezig is, wordt opgevangen met Whatman GF/A microfibre glassfilters (0 2,5 cm). De filters worden geplaatst in Casella filterhouders voor inhaleerbaar of respirabel stof. De D-50's van deze filterhouders bedragen bij de toegepaste debieten 100 mm respectievelijk 7 mm (Killen, persoonlijke mededeling[5]). De karakteristiek van de eerstgenoemde filterhouder komt vrij goed overeen met de definitie van inhaleerbaar stof (Lenny et al., 1997).

Kortdurende metingen
Kortdurende metingen worden verricht met een TCR Tecora medium volume sampler (type Bravo M). Met deze pomp wordt 20 l lucht per minuut aangezogen. Hierdoor worden binnen een korte meetperiode meetbare hoeveelheden stof verzameld. De meter is uitgerust met



Casella filterhouder Ti3087 (rechts) en A7650/1 (links) voor het meten van inhaleerbaar respectievelijk respirabel stof

[5] De heer J. Killen is werkzaam bij de firma Casella

een filterhouder voor het meten van inhaleerbaar stof of respirabel stof. Het stof wordt opgevangen met Whatman GF/A microfibre glassfilters (0 4,7 cm).

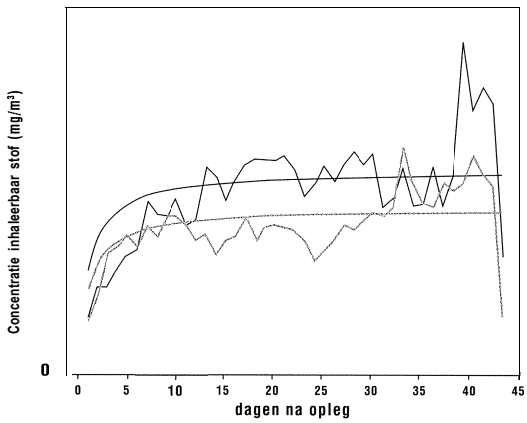
Werkmethode
De gebruikte Whatman GF/A filters hebben het voordeel boven andere filters dat ze nauwelijks hygroscopisch zijn (Roelofs en Binnendijk, niet gepubliceerd). Ze worden in genummerde glazen petrischaaltjes gelegd, en vervolgens wordt op een analytische balans (Sartorius H51) het zogenaamde "schoon gewicht' bepaald. Vervolgens worden ze in afsluitbare Minigrip-zakjes naar het bedrijf gebracht, waar ze afgesloten bewaard worden tot ze gebruikt worden.

In de stal worden in de proefafdeling en in de referentieafdeling (waar de varkens of biggen gelijktijdig zijn ingelegd) de filterhouders op een vergelijkbare plaats opgehangen. Er wordt opgeschreven wat de proefbehandeling is, waar de filterhouders zijn opgehangen, hoeveel varkens er zijn en wanneer ze zijn opgelegd.
De filters voor inhaleerbaar stof worden dagelijks vervangen, die voor respirabel stof elke twee tot vier dagen. Op invullijsten wordt ingevuld hoe laat de filters zijn vervangen, welke filters (nummers op petrischaaltjes) zijn gebruikt en, indien mogelijk, wat de minimum- en maximumtemperaturen gedurende de afgelopen 24 uur zijn geweest. Ook het wekelijks gemeten debiet wordt op de invullijsten geregistreerd.
Na gebruik worden de filters in dezelfde petrischaaltjes en in Minigrip zakjes gedaan en bewaard, totdat er een aantal tegelijk kan worden verwerkt, Aan elke te verwerken partij gebruikte filters worden wekelijks twee en in totaal minimaal zes filters toegevoegd, die de normale procedure hebben doorlopen maar niet zijn gebruikt. Deze dienen voor de nulmetingen.

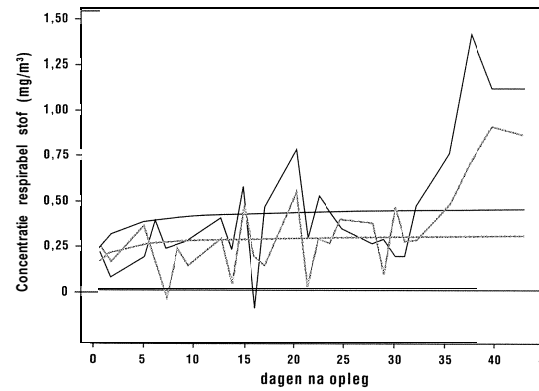
Bij de verwerking van de filters worden ze (met de petrischaaltjes) opnieuw gewogen op de analytische balans om het zogenaamde "nat gewicht" te bepalen. Vervolgens gaan ze gedurende 24 uur in een droogstoof (Memmert), waar ze bij 105°C worden gedroogd. Hierna moeten ze gedurende 60 tot 90 minuten afkoelen in een exsiccator. De exacte afkoeltijd is afhankelijk van het type exsiccator en van het aantal petrischaaltjes (Roelofs en Binnendijk, niet gepubliceerd). Tenslotte worden ze voor de derde keer gewogen, om het zogenaamde "droog gewicht" te bepalen.

Bijlage 2: REML-analyses van stofconcentraties

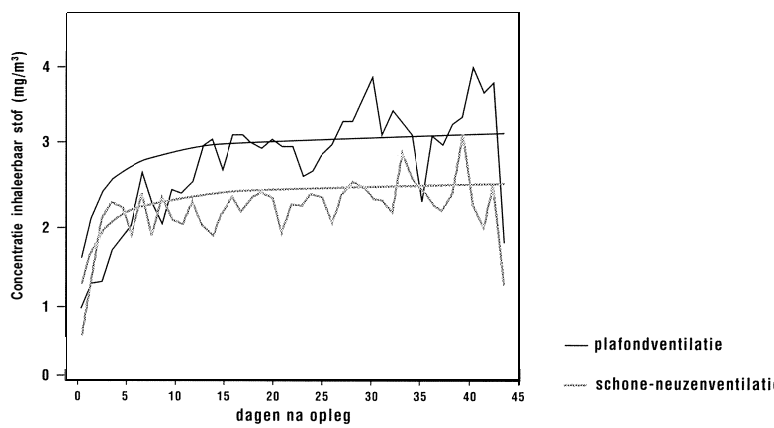
Het verloop van de stofconcentratie vanaf dag 1 tot het einde van de opfokronden is grafisch weergegeven in de figuren 2.1 tot en met 2.3. De vloeiende lijnen geven de verwachte waarden (fit) aan en de andere lijnen de gemiddelden van de waarnemingen.



Figuur 2.1: Concentratie inhaleerbaar stof boven de werkgang



Figuur 2.2: Concentratie respirabel stof boven de werkgang



Figuur 2.3: Concentratie inhaleerbaar stof boven de hokken