

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 395

Plan van aanpak voor ontwikkeling van fijnstofreductiemethoden in varkensstallen

Maart 2011



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Dit plan van aanpak is opgesteld in opdracht van de Provincie Noord-Brabant en de Stuurgroep Landbouw Innovatie Noord-Brabant (LIB).

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2011

Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal Veterinair Instituut en het Departement Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit de Animal Sciences Group van Wageningen UR. Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In deze studie is een beoordeling verricht van opties voor stofreductie in varkensstallen. Voor opties met voldoende perspectief wordt ontwikkeling en onderzoek voorgesteld om te komen tot effectieve, gevalideerde, inpasbare en marktrijpe oplossingen voor ondernemers in de varkenshouderij

Keywords

Fine dust, pigs, working conditions, occupational health, emission, exposure, mitigation

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

A. Winkel
M.M.A.H.H. Smolders
A.J.A. Aarnink
N.W.M. Ogink

Titel

Plan van aanpak voor ontwikkeling van fijnstofreductiemethoden in varkensstallen

Rapport 395

Samenvatting

In this study, options for dust mitigation inside pig houses are evaluated. For the most promising options further development and testing is proposed in order to achieve effective, validated, applicable and market available solutions for pig farmers

Trefwoorden

Fijnstof, varkens, arbeidsomstandigheden, arbeidsgezondheid, emissie, blootstelling, reductie

Rapport 395

Plan van aanpak voor ontwikkeling van fijnstofreductiemethoden in varkensstallen

Plan of action for development of dust reduction principles inside pig houses

A. Winkel
M.M.A.H.H. Smolders
A.J.A. Aarnink
N.W.M. Ogink

Maart 2011

Samenvatting

Fijnstof of 'Particulate Matter' (PM) is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 µm (aangeduid als PM10). Stofdeeltjes in de lucht van varkensstallen bevatten doorgaans endotoxinen, bacteriën, schimmels, virussen, allergenen en dierlijke eiwitten, geur, ammoniak en antibioticaresiduen. Varkenshouders staan tijdens het werk in de stallen bloot aan concentraties van fijnstof die aanzienlijk hoger zijn dan gezondheidkundige grenswaarden. Deze kleine stofdeeltjes dringen tot diep in de luchtwegen door waardoor bij varkenshouders relatief veel longproblemen voorkomen. Hoge stofconcentraties dragen ook bij aan gezondheidsproblemen bij varkens. Wanneer stof met de ventilatielucht uit stallen naar de omgeving emitteert kan het een risico vormen voor de volksgezondheid. Er is veel onderzoek en ontwikkeling gaande om emissies te verminderen d.m.v. luchtwastechnieken, echter de stofproblematiek in de stallen is de afgelopen tien jaar niet wezenlijk verbeterd. In het internationale veehouderijonderzoek zijn de afgelopen dertig jaar diverse oplossingsrichtingen voor fijnstofreductie aan de bron uitgewerkt. Dit heeft echter niet geleid tot een brede introductie en toepassing van marktrijpe bronreductiesystemen in de varkenshouderij.

Deze deskstudie beoogt nu een basisdocument aan te dragen voor het verder ontwikkelen, testen, valideren en beschikbaar maken van bronmaatregelen voor ondernemers in de varkenshouderij.

In hoofdstuk twee van dit rapport wordt allereerst een overzicht gegeven van onderzoek naar de daadwerkelijke bronnen van fijnstof in varkensstallen. De belangrijkste bronnen van fijnstof in varkensstallen zijn mest en de huidschilfers van de dieren, terwijl voer en strooisel met name een bron zijn van overwegend de grotere stofdeeltjes. Mestdeeltjes vormen een gevaar omdat ze klein en talrijk zijn, diep in de luchtwegen doordringen en veel micro-organismen en endotoxinen bevatten.

In hoofdstuk drie wordt een beschrijving gegeven van de principes en oplossingsrichtingen voor het reduceren van fijnstof aan de bron aan de hand van de literatuur uit het internationale veehouderijonderzoek. Twee soorten opties worden onderscheiden: 1. oplossingen die 'inplugbaar' zijn als toevoeging aan bestaande stalsystemen, en 2. oplossingen op het niveau van het stalsysteem zelf.

In hoofdstuk vier worden de oplossingsrichtingen beoordeeld voor wat betreft:

- *effectiviteit*: de optie moet een verwachte reductie van de fijnere stoffractie opleveren van minimaal 40%; opties die stofproductie uit de meest relevante bronnen (mest en huid) reduceren verdienen de voorkeur;
- *praktische toepasbaarheid*: de optie moet inpasbaar zijn in bestaande of nieuw te bouwen varkensstallen en in de bedrijfsvoering; de optie mag geen of weinig arbeid kosten;
- *afwenteling/bijeffecten*: de reductie van fijnstofblootstelling mag geen afwenteling teweegbrengen in de vorm van een hoog energieverbruik, verminderd dierenwelzijn of hogere concentraties en emissies van ammoniak;
- *kostenniveau*: de kosten van de optie dienen in verhouding te staan tot de verwachte reductie van fijnstof en de benodigde investering dient laag te zijn in vergelijking met andere sectoren.

De als meest perspectiefvol beoordeelde, inplugbare oplossingsrichtingen zijn:

- a. aanbrengen oliefilm op varkens met olieroller/-borstel
- b. aanbrengen oliefilm met drukleidingen en nozzles
- c. negatieve ionisatie van stallucht
- d. positieve ionisatie van stallucht
- e. interne recirculatie van stallucht met een elektrostatisch filter
- f. interne recirculatie van stallucht met een positieve/negatieve ionisatietechniek

De als meest perspectiefvol beoordeelde oplossingsrichtingen op houderijsysteemniveau zijn:

- g. huisvesting van dragende zeugen op een dikke strooisellaag
- h. hygiënisch hokontwerp / varkenstoilet

In hoofdstuk vijf wordt een vervolgprogramma voorgesteld waarin de oplossingsrichtingen met de meeste potentie worden doorontwikkeld, getest en gevalideerd tot praktijkrijpe oplossingen voor ondernemers in de varkenshouderij. In dit programma worden de volgende deelprojecten voorgesteld:

- Deelproject 1: ontwikkeling en vergelijkend onderzoek inplugbare oplossingen (a t/m f)
- Deelproject 2: ontwikkeling hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet (h)
- Deelproject 3: vaststellen stofreducerend effect dikke strooisellaag bij dragende zeugen (g)

Summary

Fine dust or 'Particulate Matter' (PM) consists for the largest part of particles with an aerodynamic diameter smaller than 10 µm (abbreviated as PM10). Particles in the air of pig houses contain endotoxins, bacteria, fungi, viruses, allergens, animal proteins, odour, ammonia and antibiotic residues. During work, pig farmers are exposed to high concentrations of fine dust that substantially exceed recommended occupational limit values. The small dust particles are inhaled deeply into the respiratory system, causing a high prevalence of respiratory problems among pig farmers. High dust concentrations also affect health and performance of the pigs. Dust released into the environment through the exhaust air of pig buildings may pose a health risk to neighbouring residents. Lots of research and developments have taken place aimed at the reduction of emissions to the environment through end of pipe techniques. The air quality for workers and animals inside the houses however, has hardly improved over the last decade. In international livestock research, a broad array of reduction measures and techniques for use inside pig houses have been developed. However, this has not resulted in a broad introduction and application of these solutions into the livestock sector.

This study aims to provide a basic plan of action as a starting point for the further development, testing, validation and introduction of at source reduction techniques available for pig farmers.

In chapter two an overview is given of research performed into the actual sources of dust inside pig houses. Main sources of fine dust particles are manure and skin, whereas feed and litter mainly contribute to the coarse particles. Manure particles pose a risk because they are present in large amounts, are small, penetrate deeply into the respiratory system and are rich in micro-organisms and endotoxins.

In chapter three the principles and possible measures and techniques for the reduction of dust inside pig houses are described, based on the literature from international livestock research.

In chapter four, options are assessed by means of the following parameters:

- *potential reduction efficiency*: the option should have an expected PM10 reduction of at least 40%; preferably options that reduce particles from most relevant sources (manure and skin);
- *practical applicability*: the option should be well implementable in existing or new build pig houses; the option should require a minimal need of labour;
- *problem swapping*: the application of the option should not result in problem swapping, like high energy use, reduced animal welfare or an enhanced production of ammonia;
- *costs*: costs of the option should be proportional to the reduction achieved and the necessary investment should be low as compared to similar options in other sectors.

Most promising options being stand-alone options as an addition to pig housing systems, are:

- a. an applicator to spread vegetable oil on the skin of pigs
- b. the application of an oil film on pen surfaces through an oil spraying system
- c. negative air ionization of the air inside the pig house
- d. positive ionization of the air inside the pig house
- e. recirculation of air with a removal step in the form of an electrostatic filter
- f. recirculation of air with a removal step in the form of an ionization technique

Most promising options at the level of housing system designs are:

- g. group-housing of sows on a deep straw layer
- h. a clean pen design, e.g. the development of a 'pig toilet'

In chapter five a follow up programme is proposed for the further development, testing and validation of most promising options for dust reduction inside pig houses. The following projects are proposed:

- Project 1: development, testing and validation (comparative semi-practical experiment) of a number of stand-alone solutions (a to f)
- Project 2: development of a clean pen design, e.g. the development of a 'pig toilet' (h)
- Project 3: determination of the low dust characteristics of group housing systems for sows with a deep straw layer (g)

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding en achtergrond	1
1.1	Fijnstof; wat is het?	1
1.2	Effecten van fijnstof op varkenshouders en dierenartsen	1
1.3	Effecten van fijnstof op het varken	1
1.4	Fijnstof als transportmiddel	2
1.5	Blootstelling in stallen: veilige grenswaarden en werkelijke concentraties	2
1.6	Effecten van fijnstof op de omgeving	2
1.7	Probleemstelling	2
1.8	Doelstelling van dit rapport	3
1.9	Dit rapport	3
2	Bronnen van fijnstof in varkensstallen	4
3	Opties voor stofreductie in varkensstallen	6
3.1	Principes voor stofreductie	6
3.2	Concrete oplossingsrichtingen	6
3.2.1	Aanpassingen in strooiselmanagement	6
3.2.2	Aanpassingen van het voer	7
3.2.3	Aanpassingen aan het voersysteem	7
3.2.4	Hygiënisch hokontwerp	7
3.2.5	Vegen, stofzuigen en schoonspuiten	8
3.2.6	Bevorderen rustig diergedrag	8
3.2.7	Aanbrengen oliefilm	8
3.2.8	Vernevelen van water of verhogen relatieve luchtvochtigheid	9
3.2.9	Toepassen ionisatietechniek	9
3.2.10	Toepassen interne recirculatie met een luchtbehandelingstap	10
3.2.11	Aanpassingen in ventilatie en klimaat	10
4	Beoordeling opties voor stofreductie in varkensstallen	11
5	Voorstellen voor ontwikkeling, realisatie en onderzoek	14
5.1	Deelproject 1: ontwikkeling en vergelijkend onderzoek inplugbare oplossingen	14
5.2	Deelproject 2: ontwikkeling hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet	15
5.3	Deelproject 3: vaststellen stofreducerend effect dikke strooisellaag bij dragende zeugen	16
	Literatuur	17

1 Inleiding en achtergrond

1.1 Fijnstof; wat is het?

Fijnstof of 'Particulate Matter' (PM) is stof dat voor het merendeel¹⁾ bestaat uit deeltjes met een aerodynamische diameter²⁾ kleiner dan 10 µm (aangeduid als PM10). Deze stofdeeltjes zijn met het blote oog niet zichtbaar. Ze zijn zo klein dat ze bij inhaleren in de luchtwegen kunnen doordringen. In de arbeidsgeneeskunde worden vaak de termen 'inhaleerbaar stof' en 'respirabel stof' gebruikt. De definities van deze stoffracties zijn beschreven in de Europese standaard NEN-EN 481. Inhaleerbaar stof of 'totaalstof' zijn alle stofdeeltjes in de lucht; met een diameter kleiner dan ca. 100 µm. Respirabel stof bevat die deeltjes die zo klein zijn dat ze de lagere luchtwegen bereiken, overeenkomend met een diameter kleiner dan 4 µm (PM4).

1.2 Effecten van fijnstof op varkenshouders en dierenartsen

Tijdens het werk in de stallen staan varkenshouders bloot aan hoge concentraties van de hierboven beschreven stoffracties (Takai et al., 1998). Een groot aantal epidemiologisch studies heeft aangetoond dat werkenden in varkensstallen een verhoogd risico lopen op het ontwikkelen van chronische longaandoeningen, zoals astma, chronische bronchitis, longemfyseem en een verminderde longfunctie (Bongers et al., 1987; Preller, 1995; Vogelzang, 1999a; Van der Gulden et al., 2002). Ook acute klachten, die optreden enkele uren na het werk in de stallen en die na een tijdje weer verdwijnen, zoals het griepachtige beeld van OOTS³⁾, komen veel voor onder varkenshouders (Vogelzang et al., 1999b; Seifert et al., 2003; Von Essen et al., 2005). Het bacterieel endotoxine⁴⁾ in de stofdeeltjes is waarschijnlijk in belangrijke mate verantwoordelijk voor het ontstaan van deze gezondheidsproblemen (Vogelzang et al., 1998).

Een epidemiologische studie onder Nederlandse dierenartsen laat zien dat ook zij een verhoogd risico lopen op het ontwikkelen van chronische luchtwegklachten wanneer zij meer dan 20 uur per week in varkensstallen werken (Tielen et al., 1996). Een schadelijk effect van het werken in varkensstallen op de longgezondheid van varkensdierenartsen werd eveneens aangetoond in de Verenigde Staten (Jolie et al., 1998; Andersen 2004).

1.3 Effecten van fijnstof op het varken

Uit onderzoek blijkt dat het aantal vleesvarkens waarbij aan de slachtlijn longontsteking en borstvliesontsteking wordt geconstateerd en het optreden van biggensterfte in het kraamhok gecorreleerd zijn aan het stofniveau op het varkensbedrijf (Donham et al., 1991). Stofdeeltjes in de lucht in varkensstallen faciliteren het optreden van Atrofische Rinitis (een ontsteking en aantasting van de neus) (Hamilton et al., 1999). Bij gespeende biggen kan blootstelling aan stalstof leiden tot een lagere voeropname en een verminderde groei (Wathes et al., 2002). Echter; in andere studies bleken klinische symptomen of verslechterde technische resultaten niet of moeilijk te kwantificeren (Aarnink en Stockhofe-Zurwieden, 2003; Roelofs et al., 1993). Vermoedelijk is de blootstellingsduur voor varkens in veel gevallen te kort om chronische of klinische gezondheidsproblemen te veroorzaken of hebben de varkens voldoende weerbaarheid tegen de stressor zodat verminderde diervoorwaarden niet gevonden worden.

¹⁾ Er bestaan geen meetmethoden die alleen alle deeltjes kleiner dan bijvoorbeeld 10 µm kunnen bemonsteren. Elke meetmethode heeft een zogenaamde cut-off curve of afsnijdingscurve. Deze curve geeft aan welke deeltjesgroottes met welke efficiëntie worden ingevangen. Bij een PM10 meettechniek worden veel kleinere deeltjes vrijwel allemaal bemonsterd en veel grotere deeltjes vrijwel niet meer. Er tussen in ligt een 50% cut-off diameter; dit is de diameter van de deeltjes waarbij 50% wordt ingevangen. Bij een PM10 meettechniek bedraagt deze 50% cut-off diameter 10 µm.

²⁾ De aerodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van 1 kg/m³ dat dezelfde valsnelheid heeft als het betreffende deeltje.

³⁾ OOTS: organic dust toxic syndrome (toxisch organisch stof syndroom) is een griepachtig ziektebeeld dat zich enkele uren na blootstelling aan organisch stof openbaart in symptomen als koorts, spierpijn, rillingen, hoofdpijn, etc. (Seifert et al., 2003).

⁴⁾ Endotoxinen: ontstekingsbevorderende stoffen uit de buitenste membraan van Gramnegatieve bacteriën.

1.4 Fijnstof als transportmiddel

Stofdeeltjes in stallen bevatten doorgaans een breed scala aan bioactieve, vaste of gasvormige verontreinigingen, waaronder endotoxinen, bacteriën, schimmels en virussen (Clark et al., 1983; Martin et al., 1996; Seedorf et al., 1998), allergenen en dierlijke eiwitten, geur (Hartung, 1986), ammoniak (Reynolds et al., 1996; Takai et al., 2002) en antibioticaresiduen (Hamscher et al., 2003). Door inhalatie en depositie in de luchtwegen vormen stofdeeltjes een effectief transportmiddel tussen het stalmilieu en mens en dier.

1.5 Blootstelling in stallen: veilige grenswaarden en werkelijke concentraties

Er bestaat geen wettelijke grenswaarde (vroeger: MAC-waarde) voor de blootstelling aan stalstof of van respirabel en inhaleerbaar stof in specifieke zin. Er bestond een grenswaarde van 5 mg/m³ (tijd gewogen gemiddelde over 8 uur) voor respirabel stof en 10 mg/m³ voor inhaleerbaar stof. Deze grenswaarden zijn met de komst van het nieuwe stelsel van private en aanvullende, wettelijke grenswaarden ingetrokken per 1 januari 2007.

Voor organisch en biologisch actief stof, zoals stalstof, zouden deze waarden lager moeten zijn (Zoons en Ellen, 1998). Donham en Cumro (1999) adviseren op grond van dose-response studies te streven naar maximale stofconcentraties in pluimvee- en varkensstallen van 2,4 mg/m³ totaalstof (~PM100) en 0,16 mg/m³ respirabel stof (~PM4). Deze veilige grenswaarden worden voorgesteld voor zowel mens als dier. De stofconcentraties die in varkensstallen worden aangetroffen liggen doorgaans aanzienlijk hoger dan deze advieswaarden (Takai et al., 1998; Radon et al., 2002).

Ook voor blootstelling aan de in het stalstof aanwezige endotoxinen bestaat geen wettelijke grenswaarde. De commissie Gezondheid en beroepsmatige blootstelling aan stoffen (GBBS) van de Gezondheidsraad heeft recent een nieuw advies uitgebracht aan de minister voor Sociale Zaken en Werkgelegenheid voor een gezondheidkundige advieswaarde voor beroepsmatige blootstelling aan endotoxinen (Gezondheidsraad, 2010). Deze commissie beveelt een gezondheidkundige advieswaarde aan van 90 Endotoxine Units (EU)⁵⁾ per m³, gemiddeld over een achturige werkdag. In het EU-project Aerial Pollutants werden aanzienlijk hogere endotoxineconcentraties in Nederlandse varkensstallen gemeten van gemiddeld 1087 EU/m³ (zeugen, roostervloer), 3651 EU/m³ (biggen) en 1022 EU/m³ (vleesvarkens) (Seedorf et al., 1998).

1.6 Effecten van fijnstof op de omgeving

Wanneer stof met de ventilatielucht uit stallen naar de omgeving emitteert kan het een risico vormen voor de volksgezondheid (Buringh en Opperhuizen, 2002). Enkele studies suggereren dat omwonenden van varkensbedrijven vaker last hebben van luchtwegklachten (Thu et al., 1997; Radon et al., 2007). Met het oog op de volksgezondheid heeft de Europese Unie grenswaarden opgesteld voor de EU-lidstaten (Richtlijn 2008/50/EG) met maximale concentraties fijnstof in de buitenlucht, zowel voor PM10 als voor PM2,5. Aangezien Nederland nog niet aan deze normen kan voldoen, is het noodzakelijk om de emissie uit belangrijke bronnen terug te dringen. De landbouw draagt voor ongeveer éénviijfde deel bij aan de totale, jaarlijkse primaire emissie van fijnstof in Nederland (Chardon en Van der Hoek, 2002; CBS, PBL en Wageningen UR, 2009; RIVM, 2009). Het merendeel van het fijne stof uit de landbouw komt uit varkens- en pluimveestallen; binnen de landbouw zijn varkens- en pluimveestallen verantwoordelijk voor respectievelijk ongeveer eenderde en de helft van de primaire fijnstofemissie (Chardon en Van der Hoek, 2002; Takai e.a., 1998).

1.7 Probleemstelling

Er is veel onderzoek en ontwikkeling gaande om de emissies vanuit stallen naar de omgeving te verminderen via 'end of pipe' oplossingen, bijvoorbeeld door de uitgaande stallucht te behandelen met een was-, ionisatie- of filtratietechniek. Deze technieken hebben echter als belangrijke beperking ten

⁵⁾ 1 Endotoxine Unit / m³ ≈ 0,1 ng endotoxine / m³

opzichte van bronreductiemaatregelen dat de stofconcentratie in de stal niet wordt verlaagd. Maatregelen en technieken die stof in de stal reduceren hebben niet alleen een gunstig effect op fijnstofconcentraties in de buitenlucht en op eventuele gezondheidsrisico's voor omwonenden, maar ook op de gezondheid en het werkplezier van de ondernemer en mogelijk ook op de gezondheid, het welzijn en de technische resultaten van de dieren.

In de afgelopen decennia zijn internationaal diverse oplossingsrichtingen voor bronreductie ontwikkeld (Gustafsson, 1999; Takai et al., 2000). Echter, de beperkte aandacht voor de eigen gezondheid, de lage marges in de varkenshouderij en de onduidelijke terugverdiencapaciteit hebben er toe geleid dat deze oplossingsrichtingen nauwelijks zijn uitontwikkeld tot marktrijpe, effectieve en inpasbare oplossingen. Het ontbreken van marktrijpe oplossingen leidt weer tot weinig aandacht voor de noodzaak van bescherming tegen fijnstof. Deze vicieuze cirkel kan worden doorbroken door bewustwording van de gezondheidsrisico's enerzijds en het uitontwikkelen van goede oplossingen anderzijds.

1.8 Doelstelling van dit rapport

Deze rapport beoogt een gefundeerd basisdocument aan te dragen op grond waarvan kan worden gestart met het ontwikkelen, valideren en beschikbaar maken van bronmaatregelen voor ondernemers in de varkenshouderij.

1.9 Dit rapport

In hoofdstuk twee van dit rapport worden de belangrijkste bronnen van fijnstof in varkensstallen vastgesteld. In hoofdstuk drie wordt een inventarisatie gegeven van potentiële maatregelen en technieken voor stofreductie in varkensstallen, gevolgd door een beoordeling van deze maatregelen en technieken in hoofdstuk vier voor wat betreft effectiviteit, praktische toepasbaarheid, afwenteling/bijeffecten, kostenniveau en ontwikkelingsfase. In hoofdstuk vijf wordt een aantal onderzoeksprojecten voorgesteld waarin de maatregelen en technieken met de meeste potentie worden doorontwikkeld en gevalideerd tot praktijkrijpe, effectieve oplossingen voor ondernemers in de varkenshouderij.

2 Bronnen van fijnstof in varkensstallen

Om fijnstof bij de bron aan te pakken is het belangrijk te weten welke stofbronnen het meeste bijdragen aan fijnstofvorming. De laatste decennia is enig onderzoek verricht waarbij door middel van microscopische en chemische analyses van stofmonsters de relatieve bijdrage van stofbronnen is geschat. In Tabel 1 is het onderzoek m.b.t. dit onderwerp op een rij gezet.

Tabel 1 Resultaten studies naar bronnen van stof in varkensstallen, in chronologische volgorde

Bron	Land	Diercategorie	Belangrijkste stofbronnen	
Curtis et al., 1975	Illinois, VS	Vleesvarkens (1 bedrijf)	Conclusie uit onderzoek: stalstof bevat hoger N-gehalte dan voer; stof vermoedelijk afkomstig van voer, mest en huid/haar	
Donham et al., 1986	Iowa, VS	Kraamzeugen, biggen en vleesvarkens (21 bedrijven)	Mest (bacteriën, darmepitheelcellen, onverteerd voer; belangrijkste stofbron), voer (zetmeel, graandeeltjes), huidschilfers, haardeeltjes, schimmels, zaad- en graandeeltjes, insecten, minerale asdeeltjes	
Heber et al., 1988	Kansas, VS	Vleesvarkens (11 bedrijven)	Voer (zetmeeldeeltjes, graandeeltjes; belangrijkste stofbron), huidschilfers	
Aarnink et al., 1999	Nederland	Biggen	Voer (>10%), huidschilfers (>10%), mest (1–3%), urinezuurkristallen (1–3%), geen micro-organismen	
Aarnink et al., 2003	Nederland	Vleesvarkens, 40% rooster	Vergelijkbare bijdragen van: mest, voer en huid	
		Vleesvarkens, 40% rooster + enig strooisel	Vergelijkbare bijdragen van: mest, huid en stro, kleine bijdrage van voer	
		Vleesvarkens, dichte vloer met stro en uitloop	Vergelijkbare bijdragen van: mest, huid en stro, kleine bijdrage van voer	
Cambra-López et al., 2010; Aarnink et al., 2011	Nederland	Biggen, volledig roostervloer (2 bedrijven)	PM _{2,5} 95% mest 5% huid <1% voer 0% buitenstof	PM _{2,5-10} 92% mest 8% huid 0% voer 0% buitenstof
		Vleesvarkens, gedeeltelijk roostervloer (2 bedrijven)	PM _{2,5} 93% mest 6% huid <1% voer <1% buitenstof	PM _{2,5-10} 69% huid 30% mest 1% voer 0% buitenstof
		Zeugen, Groepshuisvesting (2 bedrijven)	PM _{2,5} 79% huid 17% mest 4% voer <1% buitenstof	PM _{2,5-10} 71% huid 29% mest 0% voer 0% buitenstof

Uit de in Tabel 1 beschreven studies komt naar voren dat bronnen van stof in varkensstallen kunnen zijn: mest, huid en haar, voer, urinezuurkristallen en strooisel. Het stof bestaat voor ca. 90% uit drogestof, ca. 90% hiervan is organische stof, met een ruw eiwitgehalte van 20 tot 30%.

De eerste vijf studies geven een vrij grofmazig ('orde van grootte') beeld van de relatieve bijdrage van de bronnen. Recent is een kwantitatieve studie verricht naar de bronnen van fijnstof in diverse stalsystemen (Cambra-López et al., 2010; Aarnink et al., 2011). Deze in de tabel vermelde procentuele bronbijdragen zijn met een vrij grote spreiding omgeven en kunnen variëren tussen seizoenen en individuele stallen. Het algemene beeld uit deze studie is dat stofdeeltjes in varkensstallen voor het belangrijkste deel afkomstig zijn uit de mest en de huidschilfers van de varkens. Het voer draagt slechts in geringe mate bij aan de stofdeeltjes kleiner dan 10 µm.

Kijken we naar de vorming van PM10, PM2,5 en respirabel stof in varkensstallen, dan kan geconcludeerd worden dat de belangrijkste bronnen daarvan zijn:

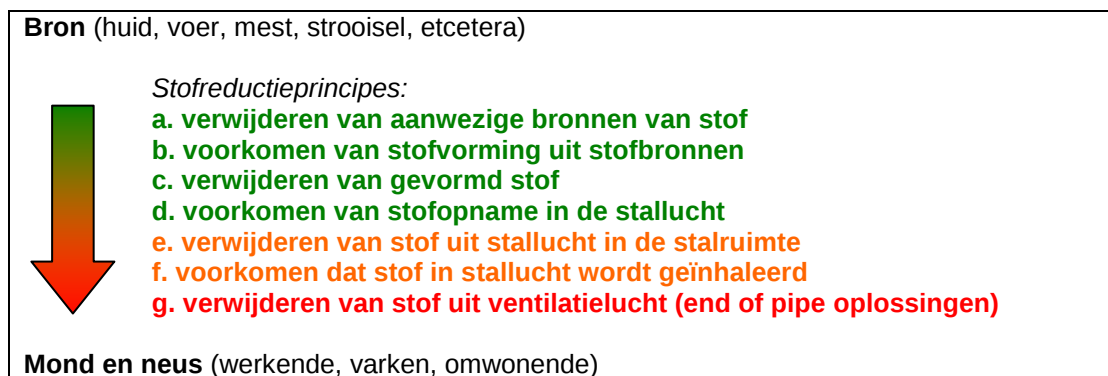
1. *mest (kleinere en endotoxinerijke deeltjes)*
2. *huidschilfers*
3. *voer (grotere stoffracties)*
4. *strooisel (indien aanwezig, vermoedelijk vooral grotere stoffracties)*

3 Opties voor stofreductie in varkensstallen

In dit hoofdstuk worden de principes van fijnstofreductie en de concrete oplossingsrichtingen die voorhanden zijn samengevat. Bij het opstellen van dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van de rapporten van Aarnink en Ellen (2006) en Winkel en Aarnink (2009), de informatie uit deze rapporten is geactualiseerd met de meest recente kennis.

3.1 Principes voor stofreductie

Van stofbron naar dosis die in het lichaam terecht komt ('van bron tot neus') zijn de volgende stofreductieprincipes te onderscheiden:



Figuur 1 Stofreductieprincipes aan te wenden in het proces van stofvorming en blootstelling

In Figuur 1 worden reductieprincipes a t/m d in de kleur groen weergegeven omdat oplossingen volgens deze principes vooraan in het proces van stofvorming en blootstelling zitten; daarmee hebben ze een beschermend effect op zowel werkende, varkens als omwonende. Bij oplossingen volgens reductieprincipe e wordt de vorming van stof en de opname van stof in de stallucht geaccepteerd, maar wordt daar een verwijderingsprincipe tegenover gesteld waarbij de mate van stofverwijdering hoger is dan de mate van opname in de stallucht. Een dergelijke oplossing kan bestaan uit interne recirculatiesystemen met een verwijderingsstap in de vorm van ionisatie of filtratie. Een oplossing volgens reductieprincipe f kan bijvoorbeeld bestaan uit het langs de werkplek leiden van frisse lucht of het gebruik van een adembeschermingsmiddel. Deze laatste oplossing geeft weliswaar een directe en hoge bescherming van de werknemer, maar biedt geen voordelen t.a.v. dierwelzijn en fijnstofemissies. Oplossingen volgens reductieprincipe g bieden alleen een beperking van fijnstofemissies. Binnen de context van deze deskstudie zijn oplossingen volgens reductieprincipe f ongeschikt, tenzij ze worden toegepast in combinatie met specifieke bronafzuiging in de stal op stofrijke plekken.

De concrete (groepen van) oplossingen behorende bij deze reductieprincipes worden hierna toegelicht.

3.2 Concrete oplossingsrichtingen

3.2.1 Aanpassingen in strooiselmanagement

Indien strooisel wordt verstrekt, zoals in welzijnsvriendelijke houderijsystemen, kan dit een bron zijn van stof. Door strooiselmateriaal te kiezen dat van nature minder stof bevat of van nature minder snel verstoft, kan de stofconcentratie worden verlaagd. In een proef van het Louis Bolk Instituut konden strooiselsoorten, van minst naar meest stoffig, als volgt worden gerangschikt: houtkrullen – zaagsel – vlas – tarwe – koolzaad – hennep (Wagenaar, 2002). In een proef van Aarnink en Stockhofe-Zurwieden (2003) bleken vooral vlas en houtkrullen lagere stofconcentraties te geven in vergelijking met tarwe, gerst, rogge en hennep. In een proef van de Universiteit Bonn werd de fijnstofproductie (deeltjesgrootte tussen 0,65 en 10 µm) van zes strooiselsoorten onderling vergeleken. Van minst naar meest stoffig konden de strooiselsoorten als volgt worden gerangschikt: pellets van gehakseld stro –

miscanthus (olifantsgras) – (tarwe)stro – houtkrullen – vlas – hennep. Deze proeven geven in grote lijnen een vergelijkbaar beeld: tarwestro, houtkrullen en zaagsel zijn relatief stofarm, hennep scoort relatief stofrijk. Voor vlas is het beeld wisselend. Minder stoffig strooisel heeft in sommige gevallen echter een lager vochtopnemend vermogen of is relatief duur. Er is ook ontstof strooisel verkrijgbaar, maar dit is voor grootschalig gebruik in de varkenshouderij relatief duur. Naast het soort strooisel is de kwaliteit belangrijk. Oud strooisel (bijv. het laatste deel van een partij) kan soms verdroogd en verstoff zijn. Door het strooisel (voor het instrooien) te bevochtigen kunnen stofdeeltjes worden gebonden. In varkensstallen zal het vocht echter snel verdampen, zodat het effect van korte duur is. Door een dikke laag strooisel te verstrekken zakken de stofdeeltjes weg naar de vochtige onderlaag waar het wordt gebonden. Het strooisel moet echter wel regelmatig ververs of aangevuld worden om een schoon ligbed te houden, verstoffen van de bovenlaag tegen te gaan en het aantrekken van vliegen te voorkomen. Het toepassen van een stromachine kost minder arbeid, maar geeft waarschijnlijk een hogere stofproductie omdat los stro vanaf een hoogte in het hok wordt gestort. Uit het oogpunt van stofreductie is het waarschijnlijk gunstiger om pakken strooisel in het hok te brengen en deze door de varkens over het vloeroppervlak te laten verspreiden.

3.2.2 *Aanpassingen van het voer*

Er is onderzoek gedaan naar het effect van het productieproces, de grondstoffenkeuze, het verhogen van het vetgehalte en het coaten van voer op de stofconcentraties in varkensstallen (samengevat in: Aarnink en Ellen, 2006). Hieruit blijkt o.a. dat met het toevoegen van één of enkele procenten vet of olie aan het voer de stofconcentratie in de stal kan worden verlaagd. Hetzelfde geldt voor het coaten van pellets met een vet- of ligninelaagje. De reductie die kan worden bereikt is afhankelijk van het aandeel voerstof in de totale stofproductie in een stal. Het toevoegen van vet aan varkensvoer verhoogt echter de kostprijs en is voerteknisch waarschijnlijk ongewenst. De grondstoffenkeuze, de manier van pletten en malen, de kwaliteit van de pelletering en het aantal malen overstorten van voeders nog voordat het voer het varkensbedrijf bereikt is waarschijnlijk ook van invloed op de stofconcentratie in de stal.

3.2.3 *Aanpassingen aan het voersysteem*

Stof uit voer ontstaat waarschijnlijk vooral uit vermorst voer dat indroogt en door dieractiviteit tot kleine deeltjes wordt vormalen en uit voerdeeltjes die in de lucht terecht komen bij het uitstorten in de voerbak. In een studie van Roelofs en Binnendijk (2000a) werd echter geen effect gevonden van het afdekken van voerbakken op de inhaleerbare en respirabele stofconcentraties bij gespeende biggen. Wellicht is er een goede kwaliteit korrel gebruikt of was het voer niet een belangrijke bron van stof in de gebruikte proefstal. Het verlagen van de valhoogte van de stortpijp kan opname van stof in de lucht voorkomen. Tijdens het uitstorten van voer zou er kortstondig en lokaal lucht rond de valpijp kunnen worden afgezogen (bronaafzuiging). Dit vergt vrij veel technische aanpassingen of toevoegingen aan het voersysteem. In het algemeen lijken stallen met brijvoeding lagere stofconcentraties te hebben dan stallen met droogvoer en geven pellets minder stof dan meel (Zeitler et al., 1987; Li et al., 1992; Guingand, 1999; Takai, 2000; Nannen et al., 2004). Transport met vijzels geeft waarschijnlijk meer stof dan sleepkettingen door de snijdende beweging van de vijzel. Bij nieuwbouw of verbouw kunnen bovenstaande overwegingen worden meegenomen in de afweging voor het stalontwerp. In een experiment van Bundy en Hazen (1975) gaf het tweemaal daags voeren in een trog een 40% lagere stofconcentratie ten opzichte van onbepaald voeren in een droogvoerbak. Waarschijnlijk zijn de dieren bij het tweemaal daags voeren minder actief, waardoor minder stof de lucht in wordt gebracht.

3.2.4 *Hygiënisch hokontwerp*

Stofvorming uit mest treedt op doordat mest indroogt en door dieractiviteit tot kleine deeltjes wordt vormalen. Uit recent onderzoek blijkt dat met name de bron mest belangrijk bijdraagt aan de kleinere deeltjes. Deze overwegend kleinere mestdeeltjes dringen diep door in de luchtwegen en zijn een belangrijke bron van micro-organismen en endotoxinen (Cambra-López et al., 2011). Het aandeel roostervloer en de mate van hokbevuiling dragen waarschijnlijk belangrijk bij aan de stofproductie. Verwacht wordt dat het verbeteren van de hokhygiëne – zoals het sturen op mestgedrag, roosters

toepassen met een goede mestdoorlaat, mestophopingen verwijderen, etcetera – een belangrijke reductie van fijnstof en ammoniak kunnen geven.

3.2.5 *Vegen, stofzuigen en schoonspuiten*

Het regelmatig verwijderen van stof in centrale gang en werkgangen kan bijdragen aan een prettige werkomgeving en een lagere stofconcentratie in de lucht. Het gebruiken van een bezem werkt echter averechts: de stalvloer wordt gereinigd van de grove stoffractie, maar er worden veel kleine stofdeeltjes de lucht in gebracht (Winkel en Aarnink, 2009c). Van't Klooster et al. (1991) onderzochten of de stofconcentratie in een vleesvarkensafdeling kon worden verlaagd door wekelijks te stofzuigen in vergelijking met een identieke referentieafdeling die niet werd gereinigd. De reductie in stofconcentratie over de ronde bedroeg 6% maar was statistisch niet significant. Opmerkelijk is dat de stofreducties pas optraden op dag 4, 5 en 6 na stofzuigen (reducties: 10-16%). Dit zou erop kunnen duiden dat er met het stofzuigen stofbronnen werden verwijderd die, als zij niet verwijderd zouden zijn, enkele dagen later tot fijnstofproductie zouden hebben geleid. De technische resultaten werden niet beïnvloed door het stofzuigen. Gustafsson (1999) merkt ook op dat uit Zweeds onderzoek blijkt dat door te stofzuigen de stal weliswaar schoner oogt, maar fijnstofconcentraties in de lucht niet relevant worden verlaagd. Wellicht zijn stofzuigers met speciale filters voor fijnere stofdeeltjes (bijv. HEPA filters) effectiever. Stofzuigers die ook grovere deeltjes kunnen opzuigen zouden bezemen voor het zuigen onnodig kunnen maken. Dit scheelt arbeid (kortere tijdsduur blootstelling) en er wordt waarschijnlijk minder fijnstof geproduceerd omdat er niet gebezemd hoeft te worden. In de proeven van Van't Klooster et al. (1991) werd naast stofzuigen ook het effect onderzocht van het wekelijks onder lage druk en met zeugenshampoo schoon wassen van een afdeling biggen (inclusief werkgang en bolle vloer). Op de dag van schoonspuiten werd de stofconcentratie gereduceerd met ca. 25%, de dagen daarop geleidelijk dalend tot ca. 12% op dag 6. De reductie over de hele opfokperiode bedroeg 10,5% en was significant. Er werd geen effect gevonden van het schoonspuiten op de technische resultaten van de biggen in de daaropvolgende mestfase. Het nadeel van regelmatig stofzuigen of schoonspuiten is dat het extra arbeid kost, waarmee de stofbelasting toeneemt als geen gebruik wordt gemaakt van een adembeschermingsmiddel. Om effectief te zijn moet het minimaal wekelijks uitgevoerd worden.

3.2.6 *Bevorderen rustig diergedrag*

Stof wordt in belangrijke mate in de lucht gebracht door de activiteit van de varkens. Een recent experiment van Costa et al. (2009) laat bijvoorbeeld zien dat de stofconcentratie in de stal sterk gecorreleerd is met de activiteit van de varkens. De stofconcentraties tijdens de nacht zijn slechts een fractie van de concentraties die overdag gevonden worden. Continue fijnstofmetingen in stallen laten zien dat de fijnstofconcentratie bij het uitgaan van de verlichting direct scherp daalt en bij het aan gaan van de verlichting weer scherp stijgt. Dieractiviteit is echter ook gewenst (bijv. vreten, drinken, exploreren) voor de gezondheid en het welzijn van het varken en voor goede technische resultaten. Op sommige vleesvarkensbedrijven wordt het dagnachtritme omgedraaid om de werkzaamheden bij lage stofniveaus te kunnen uitvoeren. Controle van de dieren vindt dan plaats bij een beperkte verlichting tijdens de donkerperiode van de dieren. Tocht, het mengen van dieren, een te klein aantal vreetplaatsen of onvoldoende ligruimte kunnen onrust in de koppel bevorderen (Spoolder en Vermeer, 2002). Op dit moment is onduidelijk of het bevorderen van rustig diergedrag een acceptabele maatregel is en op welke manier dit concreet kan worden bereikt.

3.2.7 *Aanbrengen oliefilm*

Internationaal is de laatste 15 jaar onderzoek verricht naar het verlagen van stofconcentraties in varkensstallen door het aanbrengen van een oliefilm. De oliefilm werkt als een plaklaagje op oppervlakken waardoor stof op deze oppervlakken niet (weer) in de lucht wordt gebracht. In diverse landen (Denemarken, Duitsland, Nederland) zijn vaste oliefilmsystemen ontwikkeld en getest die m.b.v. nozzles een fijne nevel aanbrengen (Takai, 2007). Hierbij werd meestal een olie-emulsie in water gebruikt. De oliefilm wordt over het algemeen eenmaal per dag gedurende enkele tientallen seconden aangebracht. In Nederland is recent een oliefilmsysteem ontwikkeld voor vleeskuiken- en leghennenstallen waarbij zuivere koolzaadolie wordt gebruikt (Aarnink et al., 2008; Winkel et al.,

2009a; Winkel et al., 2009b; Winkel et al., 2011a). Met deze techniek werden hoge fijnstofreductie bereikt van ca. 50–90%. Dit systeem is niet beproefd in varkensstallen. In een proef met een Deens oliefilmsysteem in Nederland nam de concentratie respirabel stof boven de werkgang bij gespeende biggen af met gemiddeld 55% (Roelofs en Binnendijk, 2001). Osman et al. (1999) onderzochten twee andere uitvoeringen: een roller die olie smeerde tijdens het vreten van de varkens en een schuurborstel die olie aanbracht tijdens het schuren van de varkens. De roller reduceerde inhaleerbaar en respirabel stof met respectievelijk 83 en 63%, de schuurborstel met respectievelijk 37 en 41%. Voor zover bekend zijn deze laatste twee systemen niet op de markt verkrijgbaar.

3.2.8 Vernevelen van water of verhogen relatieve luchtvochtigheid

Het sproeien of vernevelen van water of het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid heeft ook een gunstig effect op de stofconcentratie. Takai en Pedersen (2000) vernevelden 464 g water per vleesvarken per dag en behaalden daarmee reducties van totaalstof en respirabel stof van respectievelijk ca. 30 en 12%. Roelofs et al. (2001) testten een Deens vernevelsysteem (KWE dust binding system) in Nederland bij gespeende biggen. Elke drie tot vier uur (acht keer per etmaal) werd gedurende drie seconden water verneveld. Het vernevelen van water reduceerde alleen de concentratie inhaleerbaar stof boven de hokken met 7%. Er werden geen reducties gevonden boven de werkgang of van de respirabele stoffractie. Ellen et al. (1999) onderzochten of de concentraties van inhaleerbaar en respirabel stof in vleeskuikenstallen kon worden verlaagd door de relatieve luchtvochtigheid m.b.v. een vernevelsysteem op een constante 75% te houden. Ook hier werd alleen een effect gevonden op inhaleerbare stofconcentratie (reductie: 13–23%). Het sproeien of vernevelen van water of het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid in de stal heeft dus slechts een beperkt effect op vooral de grotere stofdeeltjes. Het gevaar bestaat dat deze beperkte stofreductie gepaard gaat met een hogere concentratie en emissie van ammoniak.

3.2.9 Toepassen ionisatietechniek

Bij het toepassen van het principe van negatieve ionisatie wordt een hoge elektrische spanning in de stal aangebracht. Rond de spanningsbron ontstaat een elektrisch veld waarlangs elektronen worden uitgestoten. Het elektrisch veld transporteert en accelereert de elektronen waardoor deze voldoende kinetische energie krijgen om de neutrale gasmoleculen waarmee ze botsen te ioniseren. De negatieve ionen staan hun elektrische lading vervolgens af aan de in de lucht aanwezige stofdeeltjes. De negatief geladen stofdeeltjes zullen gaan plakken aan tegengesteld (positief) geladen of geaarde oppervlakken en objecten en worden zo uit de lucht verwijderd.

Bij het toepassen van positieve ionisatie gebeurt het tegenovergestelde. Hierbij wordt een hoge positieve spanning in de stal aangebracht. Door de hoge positieve spanning worden elektronen vrijgemaakt uit de gasvormige moleculen rond de elektrode. Hierdoor ontstaan rond de elektrode positief geladen ionen. Door de positieve spanning van de elektrode bewegen de ionen van de elektrode af in de richting van geaarde opvangoppervlakken. Hierbij komen de positieve ionen in botsing met stofdeeltjes waaraan de lading wordt overgedragen. De stofdeeltjes hechten aan oppervlakken die geaard of tegengesteld geladen zijn en worden zo uit de lucht verwijderd.

In een aantal studies is ionisatie toegepast als potentiële luchtreinigingstechniek voor varkensstallen. Tanaka et al. (1996) onderzochten het effect van een ionisatiesysteem op de stofconcentratie bij vleesvarkens in vergelijking met een referentieafdeling. De concentraties van inhaleerbaar en respirabel stof werden gereduceerd met ca. 30% in de eerste week, maar reducties liepen geleidelijk terug tot ca. 10% in de vijfde week door stofaccumulatie (elektrische isolatie) op stofafvangende oppervlakken. Rozenrater (2003) paste ionisatie toe met een andere technische uitvoering en behaalde reducties in het aantal respirabele stofdeeltjes bij kraamzeugen en gespeende biggen van respectievelijk 50% en 36%. Een soortgelijke techniek - in de VS ontwikkeld voor pluimveestallen - werd toegepast in een afdeling voor vleesvarkens (Hofer et al., 2007). De reducties in PM₁₀ en PM_{2,5} concentraties lagen in de range van respectievelijk 32–58% en 40–56%. Ionisatie lijkt hiermee een effectief stofreductieprincipe voor varkensstallen.

In Nederland is het systeem zoals toegepast door Hofer et al. (2007) door Wageningen UR Livestock Research uitgetest op semi-praktijkschaal, in vleeskuikenstal P1 van pluimveeproefbedrijf Het

Spelderholt (Cambrá-López et al., 2009), waarbij de PM10 concentratie over de ronde met gemiddeld 36% werd gereduceerd. Inmiddels is dit systeem op twee vleeskuikenbedrijven in de praktijk gevalideerd, waarbij een emissiereductie voor PM10 van 49% werd behaald (Winkel et al., 2011b). In Nederlandse varkensstallen wordt het systeem echter nog niet toegepast. De energiekosten van het systeem zijn laag; het systeem heeft een wattage van slechts enkele tientallen Watts. Van't Klooster et al. (1991) verrichtten een oriënterende praktijkproef met gespeende biggen waarbij een afdeling werd voorzien van vier kleine ionisatoren in lampfittingen aan het plafond. De stofconcentraties werden met deze kleinschalige techniek echter niet beïnvloed ten opzichte van een referentieafdeling. Onduidelijk is of de huidige generatie ionisatielampen meer perspectief bieden.

3.2.10 Toepassen interne recirculatie met een luchtbehandelingstap

Bij interne recirculatie wordt stallucht aangezogen, ontdaan van stofdeeltjes en weer teruggeblazen in de stal. Carpenter et al. (1990) ontwikkelden drie modellen luchtreinigingsunits voor toepassing in stallen. De units verlaagden concentraties van totaalstof en bacteriën in afdelingen voor gespeende biggen met 50–60%. Het filter zelf had een verwijderingsrendement van meer dan 97% voor totaalstof en tussen 69 en 88% voor bacteriën. Het voorfilter en fijnfilter moesten gemiddeld elke 5 dagen vervangen worden waarbij per keer gemiddeld 1 kg stof werd verzameld. Van't Klooster et al. (1991) onderzochten tevens het effect van een luchtreinigingsunit op de stofconcentratie bij gespeende biggen. Met deze unit werd de stofconcentratie verlaagd met gemiddeld 40% over de hele stalperiode. Er werd geen effect gevonden op de technische resultaten van de biggen tijdens de proefperiode of de daaropvolgende mestfase. Een nadeel van de techniek is het hoge energieverbruik door de drukval over het filter en de noodzaak om regelmatig de filters te reinigen of te vervangen. Elektrostatische filters hebben een lagere drukval. Op dit moment zijn enkele nieuwe recirculatietechnieken beschikbaar die gebruik maken van een reinigungsstap met ionisatie (Genano Benelux te Hasselt, België) of een elektrostatisch filter (Zehnder Clean Air Solutions te Zwolle). De effectiviteit en toepasbaarheid van deze technieken in varkensstallen zijn voor zover bekend nog niet beproefd.

3.2.11 Aanpassingen in ventilatie en klimaat

Door ventilatie wordt stofrijke stallucht uitgestoten en vervangen door stofarme buitenlucht. Het verhogen van het ventilatievoud geeft een 'verdunding' van de stofconcentratie, maar bij te hoge luchtsnelheden, tocht en wervelingen kan er ook stof de lucht in worden gebracht. Een effectieve maatregel is ervoor te zorgen dat frisse lucht de afdeling wordt binnengebracht waar gewerkt wordt (werkgang). Aarnink en Wagemans (1997) onderzochten het effect van twee ventilatiemethoden op de stofconcentratie bij vleesvarkens. Bij het ene ventilatiesysteem werd frisse lucht door de roostervloer van de werkgang de afdeling in gebracht en vlak boven de roosters afgezogen ('vloersysteem'). Bij het andere systeem werd frisse lucht via het geperforeerde plafond de afdeling ingebracht en via een verticale ventilatorkoker (opening: 75 cm onder plafond) afgezogen ('plafondsysteem'). Het vloersysteem verlaagde de concentratie van totaalstof in de werkgang met ca. 78% t.o.v. het plafondsysteem. Roelofs en Binnendijk (2000b) onderzochten een ventilatiesysteem bij gespeende biggen waarbij frisse lucht door een koker (met aan de onderzijde ventilatiedoek) boven de volle lengte van de werkgang de afdeling in werd gebracht en onder de roosters werd afgevoerd ('frisse-neuzensysteem'). In een andere afdeling kwam frisse lucht vanaf de centrale gang de afdeling binnen via balanskleppen 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 ('balansklepsysteem'). Het frisse-neuzensysteem verlaagde de concentratie van inhaalbaar stof met 19% t.o.v. het balansklepsysteem. De technische resultaten werden niet beïnvloed. Een moeilijkheid bij deze oplossingsrichting is het vinden van een ventilatiemethode die niet alleen de stofblootstelling verlaagt, maar ook een optimaal stalklimaat in de hokken realiseert, zowel in de zomer- als winterperiode.

4 Beoordeling opties voor stofreductie in varkensstallen

In dit hoofdstuk worden de hiervoor beschreven oplossingsrichtingen voor stofreductie beoordeeld in termen van effectiviteit, praktische toepasbaarheid, afwenteling/bijeffecten, kostenniveau en ontwikkelingsfase. De beoordeling is samengevat in Tabellen 2 en 3.

Oplossingsrichtingen zijn beoordeeld als perspectiefvol als:

- een relevante en stabiele reductie van de kleine stoffracties te verwachten is (PM₁₀; ≥40%);
- de oplossingsrichting naar verwachting praktisch inpasbaar is op varkensbedrijven, dit betekent o.a. dat de oplossingsrichting geen of weinig arbeid vergt;
- geen afwenteling of ongewenste bijeffecten plaats vinden (verminderd dierenwelzijn, hoog energieverbruik, verhoogde ammoniakconcentratie, etc.);
- het verwachte kostenniveau in verhouding staat tot de verwachte stofreductie.

Het perspectief van de volgende oplossingsrichtingen is beoordeeld als relatief laag:

- *Strooiselmanagement*. De verwachte fijnstofreductie van deze maatregelen is beperkt. In de varkenshouderij wordt slechts beperkt gebruik gemaakt van strooisel; voornamelijk op biologische bedrijven en gangbare bedrijven met groepshuisvesting op stro. Stofarm strooisel is relatief duur voor grootverbruik of neemt relatief weinig vocht op. Het toepassen van een dik strobed bij bijvoorbeeld dragende zeugen zou een relevante verlaging van de stofconcentraties kunnen geven t.o.v. andere houderijsystemen. In vervolgonderzoek kan dit effect vastgesteld worden.
- *Voer en voersystemen*. Voerdeeltjes kunnen rondom voerbakken voor in het oog springende vervuiling zorgen en het voorkomen van deze vervuiling (bijvoorbeeld door bronafzuiging rond de stortbak) geeft een op het oog aanzienlijk schonere omgeving. Toch dragen voerdeeltjes slechts zeer beperkt bij aan de kleinere (niet met het blote oog zichtbare) stoffractie. Om tot stofarme voeders te komen is onderzoek en ontwikkeling nodig die zich afspeelt buiten het varkensbedrijf. Stofarm voer (bijvoorbeeld met een hoog vetgehalte) kan voertecnisch of prijstechnisch ongewenst zijn. In de ontwikkeling van voersystemen wordt al in toenemende mate aandacht geschonken aan gesloten systemen en het voorkomen van vermorsing.
- *Stofzuigen/schoonspuiten*. Wekelijks stofzuigen/schoonspuiten leidt tot een schone stal en een prettige werkomgeving, maar draagt nauwelijks bij aan het verlagen van de concentratie van fijne stofdeeltjes. Het kost veel arbeid, tenzij uitgevoerd in een zelfrijdende toepassing.
- *Handmatig besproeien van varkens met plantaardige olie*. Deze optie is arbeidsintensief en in de praktijk niet haalbaar.
- *Bevorderen rustig diergedrag*. Onduidelijk is op welke concrete manier dit vormgegeven kan worden. In het algemeen is met verlichting de activiteit van de dieren te sturen, echter de kennis over effecten van lichtduur, dag/nachtritme, lichtintensiteit en lichtkleur op varkens is zeer beperkt. Er is relatief veel onderzoek nodig om te komen tot een breed uitgewerkte toepassing. Een 'stofarm lichtregime' zou kunnen conflicteren met de lichtbehoefte en het welzijn van het varken.
- *Vernevelen van water*. Uit het voorhanden zijnde onderzoek blijkt dit een weinig effectieve oplossing is voor de kleinere stofdeeltjes. Het vernevelen van water kan conflicteren met de klimaatbehoeften van het varken, kan onhygiënisch zijn en een hogere ammoniakconcentratie geven.
- *Ionisatielampen/ionisatoren*. Ionisatielampen en ionisatoren voor lampfittingen zijn in ouder onderzoek onvoldoende effectief gebleken, onduidelijk is of de effectiviteit van de huidige generatie ionisatielampen bij toepassing varkensstallen relevant is toegenomen.
- *Recirculatie van stallucht en afvang door een filterstap*. Deze oplossing is effectief, maar minder kostenefficiënt dan systemen die gebruik maken van elektrostatische filters of een ionisatietechniek.
- *Aanpassingen klimaatbeheer*. Een goed functionerend ventilatiesysteem in zowel de warme zomerperiode als koude winterperiode is belangrijk voor een goede diergezondheid en technische resultaten. Deze eerste eis laat zich niet eenvoudig combineren met stofreductie ter hoogte van de werkgang.

Tabel 2 Schematisch overzicht van de beoordeling van opties voor stofreductie in varkensstallen

Maatregel of techniek	Red.- principe	Diercat. 1)	Gericht op bron	Pot. Effect 2)	Toepasbaarheid bestaande situatie	Kosten 2)	Bijeffecten of andere aandachtspunten	Nodig in vervolgfase	Vold. persp. vervolg
1. Aanpassingen in strooiselmanagement									
1.1 van nature stofarme strooiselsoort	a	D (gang- baar) + biol. varkens- stallen in algemeen	Strooisel	10 – 20%	- Op de meeste varkensbedrijven wordt geen of zeer beperkt strooisel gebruikt	-/+ Soms duurder	Lagere vochtopname?	Effectmeting	Ja
1.2 gebruiken van ontsaft strooisel	a		Strooisel	Ca. 10%		- Relatief duur bij grootverbruik		Effectmeting	
1.3 goede kwaliteit van het strooisel	a		Strooisel	10 – 20%		+ Hogere prijs relatief beperkt		Effectmeting	
1.4 vaker verversen	a, b		Strooisel	20 – 40%		- Hoger verbruik strooisel		Effectmeting	
1.5 dikkere strooisellaag	d		Strooisel	20 – 40%		- Hoger verbruik strooisel		Effectmeting	
1.6 schone methode van verstrekken	d		Strooisel	10 – 20%		-/+ Geen stromachine, meer arbeid		Effectmeting	
2. Aanpassingen van het voer									
2.1 vetgehalte verhogen	b	A	Voer	10 – 20%	-	-/+ hogere prijs voer	Voerkeuze wordt wellicht beperkt door stofaspect	Ontw. & onderzoek	
2.2 stofarme grondstoffenkeuze	a, b		Voer	10 – 20%	Voertechnisch ongewenst			Ontw. & onderzoek	
2.3 coaten van pellets/brokken	b		Voer	10 – 20%				Ontw. & onderzoek	
3. Aanpassingen van het voersysteem									
3.1 brijvoeding i.p.v. droogvoer	a, b	A	Voer	10 – 20%	-/+	-/+	Stofproductie beperkte grond voor keuze voersysteem. Dicht systeem of lage valpijp kan bijdragen aan lager stofniveau en algemene hygiëne	Effectmeting	
3.2 droogvoer: brok/pellets i.p.v. meel	a, b		Voer	10 – 20%	In alle gevallen zijn	-/+		Effectmeting	
3.3 transport (sleepketting i.p.v. vijzel)	b		Voer	10 – 20%	aanpassingen van	-/+		Effectmeting	
3.4 voerbakken/-systeem afsluiten	d		Voer	10 – 20%	of keuze voor een	-/+		Effectmeting	
3.5 lagere valhoogte valpijp in bak	b, d		Voer	10 – 20%	bepaald	-/+		Effectmeting	
3.6 minder vermorsing (voerbakontw.)	a, b		Voer	10 – 20%	voersysteem nodig	-/+		Ontw. & onderzoek	
3.7 bronafzuiging rond droogvoerbak	d		Voer	10 – 20%		- Investering afzuiginstallatie, energie		Ontw. & onderzoek	
4. Voorkomen van hokbevuiling									
4.1 schoon hokontwerp/varkenstoilet	b	A beh. K	Mest	20 – 50%	-/+ Aanpassing hok	-/+ investering in stalinrichting	Tevens gunstig m.b.t. ammoniak en geur		Ja
4.2 sturen mestgedrag, mest verwijd.	b		Mest	10 – 30%	+	Managementmaatregel geen invester.			
5. Stofzuigen of schoonspuiten (wekelijks)	a, c	A	Alle	0 – 10%	+	-/+ Kosten arbeid, energie en water		Effectmeting	
6. Bevorderen rustig diergedrag									
6.1 droogvoer: niet onbeperkt voeren	b, d	A	Alle	20 – 40%	-/+	Managementmaatregel, geen invest.		Ontw. & onderzoek	
6.2 aanpassingen lichtregime	b, d	A	Alle	10 – 20%	-/+	Managementmaatregel, geen invest.		Effectmeting	
7. Aanbrengen van oliefilm of waternevel									
7.1 handmatig besproeien van dieren	d	A behalve K	Alle	30 – 50%	+	-- Arbeidsintensief	Extra schoonmaaktijd? Oliedeeltjes in lucht? Effect op ammoniak?	Effectmeting	Ja
7.2 olieborstel/-roller in hok	d		Alle	30 – 60%	Additionele techniek	+ Investering rollers en kosten olie		Ontw. & onderzoek	
7.3 oliefilm aanbrengen (vernevelen)	d		Alle	30 – 70%	in bestaande stallen	- Investering unit en kosten olie		Ontw. & onderzoek	
7.4 water vernevelen	d, e		Alle	10 – 30%		-/+ Investering unit en kosten water		Effectmeting	
8. Toepassen ionisatietechniek in de stal									
8.1 negatieve ionisatie met corona's	e	A	Alle	10 – 40%	+	+ Investering unit, laag energieverbr.	Ozonvorming? Stofaccumulatie? Extra schoonmaaktijd?	Ontw. & onderzoek	Ja
8.2 positieve ionisatie	e		Alle	10 – 40%	Additionele techniek	+ Investering unit, laag energieverbr.		Ontw. & onderzoek	
8.3 ionisatielampen (of ionisatoren)	e		Alle	0 – 10%	in bestaande stallen	+ Investering lampen en energie		Ontw. & onderzoek	
9. Toepassen interne luchtrecirculatie (of bronafzuiging + deelbehand.) met:									
9.1 doeken-/slangen-/zakkenfilter	e	A	Alle	30 – 50%	+	- Investering unit, energie en filters	Verhouding tussen recirculatie- en staldebiet belangrijk	Ontw. & onderzoek	Ja
9.2 elektrostatisch filter	e		Alle	10 – 50%	Additionele techniek	-/+ Investering unit, energie		Ontw. & onderzoek	
9.3 ionisatietechniek	e		Alle	30 – 50%	in bestaande stallen	-/+ Investering unit, energie		Ontw. & onderzoek	
10. Aanpassingen in klimaatbeheersing									
10.1 luchtsnelheid verlagen	d	A	Alle	10 – 20%	-/+	-/+ Investering in ventilatiesysteem	Mogelijk conflicterend met klimaatbehoefte varken, stof beperkte grond voor keuze ventilatiesysteem	Effectmeting	
10.2 ventilatievoud verhogen	e	A	Alle	20 – 40%	Vergt aanpassing	-/+ Investering in ventilatiesysteem		Effectmeting	
10.3 verhogen van de RV	e	A beh. K	Alle	10 – 20%	ventilatiesysteem, evt. energiekosten	-/+ Investering in ventilatiesysteem		Effectmeting	
10.4 frisse lucht langs werkgang leiden	f	A	Alle	20 – 40%		-/+ Investering in ventilatiesysteem		Effectmeting	

1) Betekenis: G = Geste zeugen | D = Dragende zeugen | K = Kraamzeugen | B = Biggen | V = Vleesvarkens | A = Alle

2) Scores: -- = slecht (of zeer ongunstig, zeer negatief) | - = matig | -/+ = voldoende | + = goed | ++ = zeer goed (of zeer gunstig, zeer positief)

In Tabel 3 worden de oplossingsrichtingen weergegeven die als per perspectiefvol zijn beoordeeld.

Tabel 3 Als perspectiefvol beoordeelde oplossingsrichtingen voor stofreductie in varkensstallen

Oplossingsrichting	Niveau van oplossing	Huidige situatie
1.5 Dikke strooisellaag	Houderijsysteem	Geen verdere ontwikkeling nodig, effectmeting gewenst in bijvoorbeeld strostallen voor dragende zeugen
4.1 Hygiënisch hokontwerp / varkenstoilet	Houderijsysteem	Onderzoek en ontwikkeling nodig
7.2 Aanbrengen oliefilm op varkens met olieroller/-borstel	Inplugbare techniek, grotendeels onafhankelijk van houderijsysteem	Prototype succesvol in onderzoek UK, ontwikkeling nodig door technische partner
7.3 Aanbrengen oliefilm met drukleidingen en nozzles	Inplugbare techniek, grotendeels onafhankelijk van houderijsysteem	Werkende systemen in varkenshouderij in buitenland, met name Denemarken
8.1 Negatieve ionisatie van stallucht	Inplugbare techniek, grotendeels onafhankelijk van houderijsysteem	Werkende systemen in varkenshouderij in buitenland, met name VS; werkende installaties bij vleeskuikens in NL
8.2 Positieve ionisatie van stallucht	Inplugbare techniek, grotendeels onafhankelijk van houderijsysteem	Prototype ontwikkeld door Nederlands bedrijf, effectiviteit nog onduidelijk
9.2 Recirculatie met elektrostatisch filter	Inplugbare techniek, grotendeels onafhankelijk van houderijsysteem	Unit ontwikkeld door Nederlands bedrijf, werkzaam in andere sectoren
9.3 Recirculatie met ionisatietechniek	Inplugbare techniek, grotendeels onafhankelijk van houderijsysteem	Unit ontwikkeld door Belgisch bedrijf, werkzaam in andere sectoren

De oplossingsrichtingen kunnen in twee categorieën worden ingedeeld:

- opties 7.2 (olieborstel/-roller) 7.3 (oliefilmsysteem), 8.1 (negatieve ionisatie), 8.2 (positieve ionisatie), 9.2 (recirculatie met elektrostatisch filter) en 9.3 (recirculatie met ionisatietechniek) kunnen grotendeels onafhankelijk van het houderijsysteem worden ingezet. Ze kunnen doorgaans in elke bestaande stal worden gemonteerd, waarbij hooguit kleine aanpassingen aan de stal nodig zijn. Dit kunnen gezien worden als additionele, inplugbare oplossingen.
- opties 1.5 (dikke strooisellaag) en 4.1 (hygiënisch hokontwerp / varkenstoilet) zijn oplossingsrichtingen op het niveau van het houderijsysteem. Deze zijn niet zomaar inplugbaar. Deze opties kunnen worden toegepast bij renovatie en nieuwbouw.

Voor oplossingsrichtingen 7.2 (olieborstel/-roller), 7.3 (oliefilmsysteem), 8.1 (negatieve ionisatie), 8.2 (positieve ionisatie), 9.2 (recirculatie met elektrostatisch filter) en 9.3 (recirculatie met ionisatietechniek) geldt dat reeds prototypen voor de varkenshouderij, werkende systemen in de varkenshouderij in het buitenland of werkende systemen in andere sectoren voor handen zijn. Om deze oplossingen toepasbaar te maken in varkensstallen is een laatste ontwikkelstap nodig.

5 Voorstellen voor ontwikkeling, realisatie en onderzoek

5.1 Deelproject 1: ontwikkeling en vergelijkend onderzoek inplugbare oplossingen

Doel

In dit deelproject wordt een set inplugbare oplossingen voor bestaande varkensstallen uitontwikkeld en inpasbaar gemaakt voor varkensbedrijven en in een vergelijkend praktijkexperiment gevalideerd op Varkensproefbedrijf Sterksel. Met dit deelproject wordt beoogd nog niet marktrijpe prototypen en oplossingen uit andere sectoren beschikbaar te maken voor ondernemers in de varkenshouderij. Daartoe wordt een laatste ontwikkelstap uitgevoerd waarna de effectiviteit en toepasbaarheid van systemen wordt gevalideerd in een vergelijkend praktijkonderzoek.

Organisatie

Bij het deelproject zijn de volgende actoren betrokken:

- Opdrachtgever(s) en financier(s) van het onderzoek;
- Technische partners: investeren in de technische ontwikkeling en praktische realisatie van de oplossing. Toekomstige leverancier van de oplossing op de markt;
- Wageningen UR Livestock Research: onafhankelijke kennisleverancier voor technische partners, uitvoeren metingen, dataverwerking, rapportage en projectmanagement;
- Varkensproefbedrijf Sterksel: onderzoeksfaciliteiten en uitvoering praktijkonderzoek

Tijdspad

Er wordt een fasering in vier delen voorgesteld, zoals weergegeven onder Tijdspad. Na het zoeken en vaststellen van technische partners met hun oplossingen (fase 1) en het optimaliseren van de oplossingen voor toepassing in varkensstallen (fase 2), volgt een vergelijkend praktijkonderzoek (fasen 3 en 4).

Fase	Activiteiten	Tijdsduur	Eindresultaat fase
1	Zoeken technische partners en oplossingen	3 maand	Opleveren voorstel voor technische partners en hun oplossingen aan opdrachtgevers
Go/no go moment			
2	Ontwikkelingstijd voor technische partners. Wageningen UR Livestock Research fungeert als onafhankelijke kennisleverancier, verricht oriënterende metingen aan prototypes, etc.	6 maand	Geoptimaliseerde prototypes van de oplossingen
Go/no go moment			
3a	Installatie van de ontwikkelde prototypes op Varkensproefbedrijf Sterksel. Proefdraaien met laatste aanpassingen. Aanbrengen meetvoorzieningen door Livestock Research	4 maand	Materiële voorzieningen getroffen, prototypes functioneren naar behoren
3b	Vergelijkend praktijkonderzoek op Varkensproefbedrijf Sterksel: vleesvarkenronde 1	5 maand	Ruwe data vleesvarkenronde 1
3c	Vergelijkend praktijkonderzoek op Varkensproefbedrijf Sterksel: vleesvarkenronde 2	5 maand	Ruwe data vleesvarkenronde 2
4	Dataverwerking en eindrapportage	6 maand	Eindrapportage

Aanpak

Voorgesteld wordt om dit praktijkonderzoek uit te voeren in afdelingen met vleesvarkens. De afdelingen dienen identiek te zijn voor wat betreft afmetingen, hokinrichting, voersysteem en verlichting en de dieren dienen van gelijke leeftijd/oplegdatum en vergelijkbare samenstelling (ras, geslacht) te zijn. Er zijn voldoende identieke afdelingen nodig om alle gewenste behandelingen te kunnen testen. Dit is realiseerbaar bij afdelingen met vleesvarkens. De vleesvarkensbedrijven vormen de grootste categorie binnen het totaal van varkenshouderijen, daardoor zijn de resultaten goed vertaalbaar naar een groot deel van de varkensstallen in de praktijk.

Behandelingen, metingen en waarnemingen

In dit onderzoek kunnen twee afdelingen worden toegewezen aan een controlebehandeling (geen fijnstofreductiemethode; het gemiddelde van deze afdelingen dient als controle), terwijl in een aantal andere afdelingen met vleesvarkens een fijnstofreductiemethode wordt toegepast, gedurende twee rondes vleesvarkens. Tussen de rondes worden, indien mogelijk, de behandelingen opnieuw over de afdelingen verdeeld om afdelingseffecten uit te middelen. In alle afdelingen worden de volgende parameters gemeten of geregistreerd:

- de persoonlijke blootstelling aan PM10 stof d.m.v. een DustTrak apparaat gedragen aan het lichaam van een medewerker;
- de emissie van fijnstof uit de stal, gemeten met:
 - o een 24-uurs en stationaire (optische en/of gravimetrische) stofmeettechniek nabij het emissiepunt van de afdeling;
 - o een meting van het ventilatiedebiet per afdeling;
- de technische resultaten van de varkens (groei, voederconversie, etc.);
- de gezondheid van de varkens;
- parameters die relevant zijn voor de techniek (bijv. elektriciteitsverbruik of hoeveelheid verzameld stof).

Producten

Publicatie Wageningen UR Livestock Research.

5.2 Deelproject 2: ontwikkeling hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet

Uit een recent onderzoek naar de bronnen van fijnstof in varkensstallen blijkt dat mest belangrijk bijdraagt aan de PM2,5 en PM10 deeltjes in de stallucht van biggen en vleesvarkens. De deeltjes die uit mest worden gevormd zijn klein, kunnen diep in de luchtwegen doordringen en bevatten bovendien veel micro-organismen en endotoxinen. Stofdeeltjes uit mest ontstaan doordat een deel van de mest niet in de put terecht komt, maar ophoopt op roosters of dichte vloeren, of hokafscheidingen bevuult. De mest droogt in wordt door de activiteit van de dieren tot kleine deeltjes vormalen en in de lucht gebracht. Naar verwachting kan een belangrijke reductie van de agressievere, kleinere meststofdeeltjes worden bereikt door een innovatief hokontwerp dat d.m.v. het natuurlijk gedrag en de zindelijkheid van varkens leidt tot minder hokbevuiling. Andere potentiële voordelen van deze bronreductiemethode zijn: lagere concentraties/emissies van ammoniak en geur, een verbeterde algemene hygiëne, een lagere infectiedruk en een verbetering van het dierwelzijn.

De basis voor een hygiënisch hokontwerp is een scheiding tussen het hokdeel waar gemest wordt (varkenstoilet) en één of meerdere schone leefgebieden waar ander gedrag vertoond kan worden (vreten, drinken, rusten, exploreren, bewegen, etcetera). Leefgebieden moeten uitnodigen om óf te mesten of ander gedrag te vertonen. De uitstoot van stofdeeltjes, ammoniak en geur uit het hokdeel waar gemest wordt kan met verschillende innovaties worden verminderd, zoals scheiding van mest en urine, verkleining van het emitterend oppervlak, lokale bronafzuiging, frequente reiniging, enzovoort. De hygiëne in het resterende, schone leefgebied kan worden verhoogd door: een optimale hokvorm, vloerkoeling of -verwarming (aanbieden thermocomfort), het aanbieden van speelmateriaal, etcetera.

Het idee van een hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet bestaat reeds lang, is enige jaren geleden al eens gepubliceerd (Van Wagenberg, Van der Mheen en Verdoes, 2004) en gebruikt in de ontwerpen van het ontwerpproject Varkansen⁶⁾. Het idee is tot nog toe niet uitgewerkt in een of meerdere prototypen.

Recent is in opdracht van het Ministerie van EL&I het project 'De toiletstal; aanpak bij de bron' gestart waarin beoogt wordt om verschillende concepten voor een varkenstoilet om te zetten in prototypen, deze te testen en door te ontwikkelen, waarna eindtypen op pilotbedrijven in de praktijk kunnen worden toegepast. In het kader van dit Plan van Aanpak wordt nu voorgesteld om aan te sluiten bij dit project door financiering voor expertise m.b.t. fijnstof in varkensstallen bij te dragen en in de fase van het testen van de prototypen metingen van de fijnstofblootstelling en -emissie op te nemen.

⁶⁾ Eijk O.N.M. van, Lauwere C.C. de, Weeghel H.J.E. van, Kaal-Lansbergen, L.M.T.E., Miedema A.M., Ursinus W.W., Janssen A.P.H.M., Cornelissen J.M.R., Zonderland J.J. (2010). Varkansen - Springplank naar een duurzame veehouderij. Wageningen - Lelystad, Wageningen UR. Meer informatie over het project Varkansen: <http://www.varkansen.wur.nl/>

5.3 Deelproject 3: vaststellen stofreducerend effect dikke strooisellaag bij dragende zeugen

Algemeen

Verwacht wordt dat het toepassen van een dikke strooisellaag bij de huisvesting van varkens een stofreducerend effect heeft. Stofdeeltjes zakken weg naar de vochtige onderlaag van het strooisel en worden daar gebonden. Voor biologische varkensbedrijven en gangbare bedrijven met huisvesting van dragende zeugen op strosystemen kan dit een aantrekkelijke en eenvoudige oplossing zijn. Dit effect is voor zover bekend nog nooit door fijnstofmetingen bevestigd.

Doel

In dit deelproject wordt vastgesteld of het huisvesten van varkens op een dik strobed niet alleen welzijnsvriendelijk, maar wellicht ook een stofarm houderijsysteem is.

Aanpak

De inhoudelijke opzet van dit project kan op twee manieren worden ingevuld:

1. Op varkensproefbedrijf Sterksel worden twee identieke afdelingen met groepshuisvesting voor dragende zeugen gebruikt. Een controleafdeling wordt in de originele situatie gehouden, terwijl de tweede afdeling wordt aangepast naar een systeem met een dikke strooisellaag op de vloer. Aspecten als verlichting, voeding en voertijden, ventilatie, etcetera, worden verder identiek gehouden tussen beide afdelingen. De volgende metingen kunnen worden verricht:
 - o de persoonlijke blootstelling aan PM10 stof d.m.v. een DustTrak apparaat gedragen aan het lichaam van een medewerker;
 - o de emissie van fijnstof uit de stal, gemeten met:
 - een 24-uurs en stationaire (optische en/of gravimetrische) stofmeettechniek nabij het emissiepunt van de afdeling;
 - een meting van het ventilatiedebiet per afdeling;
2. Op een aantal praktijkbedrijven met groepshuisvesting van dragende zeugen op een dikke strooisellaag en op een aantal praktijkbedrijven met reguliere groepshuisvesting van dragende zeugen worden metingen uitgevoerd van de persoonlijke blootstelling aan PM10 stof d.m.v. een DustTrak apparaat gedragen aan het lichaam van een medewerker, verspreid over een aantal werkdagen. De blootstellingen tussen beide houderijsystemen worden vergeleken om een indruk te krijgen van de verschillen in blootstellingsniveau.

Product

Openbare rapportage van Wageningen UR Livestock Research.

Literatuur

- Aarnink A.J.A., M.J.M. Wagemans, 1997. Ammonia volatilization and dust concentration as affected by ventilation systems in houses for fattening pigs. *Transactions of the ASAE* Vol. 40(4):1161-1170.
- Aarnink A.J.A., P.F.M.M. Roelofs, H. Ellen, H. Gunnink, 1999. Dust sources in animal houses. In: *Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities"*, Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, pp. 34-40. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.
- Aarnink A.J.A., N. Stockhofe-Zurwieden, 2003. Pig house dust damage. *Pig Progress*, Vol. 19, No. 6, pp. 17-19.
- Aarnink A.J.A., M. Wagemans, 2003. Dust in different housing systems for growing-finishing pigs. Conference paper, 54th Annual meeting of European Association for Animal Production, Rome, Italy, 31 august – 3 september 2003.
- Aarnink A.J.A., H. Ellen, 2006. Processen en factoren bij fijn stof emissie in de veehouderij. Rapport 11, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Aarnink A.J.A., J. van Harn, T.G. van Hattum, Y. Zhao, J.W. Snoek, I. Vermeij, J. Mosquera, 2008. Reductie stofemissie bij vleeskuikens door aanbrengen oliefilm. Rapport 154, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Aarnink A.J.A., M. Cambra-López, H.T. Lai, N.W.M. Ogink, 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 452. In druk.
- Anderson C.I., S.G. von Essen, L.M. Smith, J. Spencer, R. Jolie, K.J. Donham, 2004. Respiratory symptoms and airway obstruction in swine veterinarians: a persistent problem. *American Journal of Industrial Medicine* 46:386-392.
- Bongers P., D. Houthuijs, B. Remijn, R. Brouwer, K. Biersteker, 1987. Lung function and respiratory symptoms in pig farmers. *British Journal of Industrial Medicine* 44:819-823.
- Bundy D.S., T.E. Hazen, 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. *Transactions of the ASAE* 1975:137-139.
- Buringh, E., A. Opperhuizen (editors), 2002. On health risks of ambient PM in the Netherlands. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Report 650010032.
- Cambra-López M., A. Winkel, J. van Harn, N. Hannink, A.J.A. Aarnink, 2009. Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: reduction from broiler houses by ionization. Animal Sciences Group, Wageningen UR, report 215.
- Cambra-López M., T. Hermosilla, H.T. Lai, A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink, 2010. Particulate matter emitted from livestock houses: On-farm source identification and quantification. Paper accepted for publication in *Transactions of the ASABE*.
- Carpenter G.A., J.T. Fryer, 1990. Air filtration in a piggery: filter design and dust mass balance. *J. agric. Engng Res.* (1990)46:171-186.
- CBS, PBL, Wageningen UR. 2009. Emissies van fijn stof en VOS (NEC) en koolmonoxide 1990-2009. <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl>. CBS, Den Haag, PBL, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen. Website bezocht op 23 maart 2011.
- Chardon W. J. en K.W. van der Hoek, 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. Rapport 682, Alterra / RIVM, Wageningen.
- Clark S., R. Rylander, L. Larsson, 1983. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 44(7):537-541.
- Costa A., F. Borgonovo, T. Leroy, D. Berckmans, M. Guarino, 2009. Dust concentration in relation to animal activity in a pig barn. *Biosystems Engineering* 104 (2009):118-124.
- Curtis S.E., J.G. Drummond, D.J. Grunloh, P.P. Lynch, A.H. Jensen, 1975. Relative and qualitative aspects of aerial bacteria and dust in swine houses. *Journal of Animal Science* 41(5):1512-1520.
- Donham K.J., L.J. Scallon, W. Popendorf, M.W. Treuhaft, R.C. Roberts, 1986. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc* 47(7):404-410.
- Donham K.J., 1991. Association of environmental air contaminants with disease and productivity in swine. *Am J Vet Res* 52(10):1723-1730.
- Donham K.J., D. Cumro, 1999. Setting maximum dust exposure levels for people and animals in livestock facilities. In: *Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities"*, Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, pp. 93-110. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.

- Ellen H., B. Doleghs, J. Zoons, 1999. Influence of air humidity on dust concentrations in broiler houses. In: Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities", Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, pp. 41-45. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.
- Heber A.J., M. Stroik, J.M. Faubion, L.H. Willard, 1988. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing buildings. Transactions of the ASAE 31(3):882-887.
- Gezondheidsraad, 2010. Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit. Rapport Gezondheidsraad, Den Haag, publicatienummer 2010/04OSH. ISBN 978-90-5549-804-8. Gedownload op: <http://www.gezondheidsraad.nl/nl/adviezen/endotoxinen-health-based-recommended-occupational-exposure-limit>.
- Gustafsson G., 1999. Measures against dust in pig houses. In: Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities", Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, p. 244-252. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.
- Guingand, N., 1999. Dust concentrations in piggeries: Influence of season, age of pigs, type of floor and feed presentation in farrowing, post-weaning and finishing rooms. In: Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities", Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, pp. 34-40. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.
- Hamilton T.D.C., J.M. Roe, C.M. Hayes, P. Jones, G.R. Pearson, A.J.F. Webster, 1999. Contributory and exacerbating roles of gaseous ammonia and organic dust in the etiology of Atrophic Rhinitis. Clin Diagn Lab Immunol 6(2):199-203.
- Hamscher G., H.T. Pawelzick, S. Sczesny, H. Nau, J. Hartung, 2003. Antibiotics in dust originating from a pig-fattening farm: a new source of health hazard for farmers? Environmental Health Perspectives 111(13):1590-1594.
- Hartung, J. 1986. Dust in livestock buildings as a carrier of odours. In: Odour prevention and control of organic sludge and livestock farming. Eds. V.C. Nielsen, J.H. Voorburg and P. L'Hermite, p. 321-332. New York: Elsevier Applied Science Publishers.
- Hofer B.J., D.E. Nicolai, 2007. Electrostatic Space Discharge System for reducing dust in a swine finishing barn. ASABE paper number RRV-07145.
- Jolie R., L. Bäckström, C. Thomas, 1998. Health problems in veterinary students after visiting a commercial swine farm. Can J Vet Res 62:44-48.
- Li X., J.E. Owen, and C.C. Pearson, 1992. Dust from animal feeds. In: Proceedings of the Seminar on the 2nd. Technical section of the CIGR: Energy and Environmental Aspects of Livestock Housing, Wroclaw, Poland.
- Martin W.Th., Y. Zhang, P. Willson, T.P. Archer, C. Kinahan, E.M. Barber, 1996. Bacterial and fungal flora of dust deposits in a pig building. Occupational and Environmental Medicine 53:484-487.
- Osman S.P.L., R.M. Kay, J.E. Owen, 1999. Dust reduction in pig buildings using an applicator to spread oil directly onto pigs. In: Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities", Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, pp. 253-260. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.
- Preller L., 1995. Respiratory health effects of pig farmers. Assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors. PhD thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 173 pp.
- Radon K., A. Schulze, V. Ehrenstein, R.T. van Strien, G. Praml, D. Nowak, 2007. Environmental exposure to confined animal feeding operations and respiratory health of neighboring residents. Epidemiology Vol. 18, Number 3, pp. 300-308.
- Reynolds S.J., D.Y. Chao, P.S. Thorne, P. Subramanian, P.F. Waldron, M. Selim, P.S. Whitten, W.J. Poppendorf, 1998. Field comparison of methods for evaluation of vapour/particle phase distribution of ammonia in livestock buildings. Journal of Agricultural Safety and Health 4(2):81-93.
- RIVM. 2009. Jaarlijkse emissie van PM10, totaal en per bron, voor 2009. Data samengesteld op website: <http://www.emissieregistratie.nl> van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIV) te Bilthoven. Website bezocht op 23 maart 2011.
- Roelofs P.F.M.M., J.H.M. van Cuyck, G.P. Binnendijk, C.E. van't Klooster, 1993. Technische resultaten van biggen en vleesvarkens na stofarme opfok. Varkensproefbedrijf "Zuid- en West-Nederland", Proefverslag nummer P 4.6. 8 pp.

- Roelofs P.F.M.M., G.P. Binnendijk, 2000a. De invloed van het afdekken van voerbakken op de stofconcentratie in afdelingen voor gespeende biggen. Proefverslag nr. P 1.253, Praktijkonderzoek Varkenshouderij.
- Roelofs P.F.M.M., G.P. Binnendijk, 2000b. Gezondheidseffecten van stof in varkensstallen en de invloed van een aangepast ventilatiesysteem op de stofconcentratie. Proefverslag nr. P1.242. Praktijkonderzoek Varkenshouderij.
- Roelofs P.F.M.M., G.P. Binnendijk, 2001. Verlagen van het stofgehalte in varkensstallen door periodiek vernevelen van een olie-emulsie. Rapport 208, Praktijkonderzoek Veehouderij.
- Rosentrater K., 2003. Performance of an electrostatic dust collection system in swine facilities. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript BC 03 003, May 2003.
- 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, T. Takai, J.O. Johnsen, J.H.M. Metz, P.W.G. Groot Koerkamp, G.H. Uenk, C.M. Wathes, 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. J. agric. Engng Res., 70, 97-109.
- Seifert S.A., S.G. von Essen, K. Jacobitz, R. Crouch, C.P. Lintner, 2003. Organic Dust Toxic Syndrome: A review. Clinical Toxicology 41, No. 2, pp. 185-193.
- Spoolder, H.A.M. en H.M. Vermeer, 2002. Internethandboek/themaboek 'Biologische Varkenshouderij'. Hoofdstuk 2, Natuurlijk gedrag.
Website: <http://www.biologischesveehouderij.nl/index.asp?biobie/digitaalhandboek/index.asp>.
- Szabo E., I. Schäfer, W. Buscher, 2004. Staubfreizetsung von Einstreumaterialien in der Pferdehaltung. Landtechnik 6/2004, p. 336-337.
- Tanaka A., Y. Zhang, 1996. Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. Journal of Agricultural Safety and Health 2(1): 39-47.
- Takai H., S. Pedersen, J.O. Johnsen, J.H.M. Metz, P.W.G. Groot Koerkamp, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M. R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K.H. Linkert, C.M. Wathes, 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in northern Europe. J. agric. Engng Res. 70:59-77.
- Takai H., S. Pedersen, 2000. A comparison study of different dust control methods in pig buildings. Applied Engineering in Agriculture Vol. 16(3):269-277.
- Takai H., K. Nekomoto, P.J. Dahl, E. Okamoto, S. Morita, S. Hoshiba, 2002. Ammonia contents and desorption from dusts collected in livestock buildings. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript BC 01 005. Vol. IV. June, 2002.
- Takai H., 2007. Factors influencing dust reduction efficiency of spraying of oil water mixtures in pig buildings. In: DustConf 2007, How to improve air quality. International Conference, 23-24 April, Maastricht, The Netherlands.
- Thu K., K. Donham, R. Ziegenhorn, S. Reynolds, P.S. Thorne, P. Subramanian, P. Whitten, J. Stookesberry, 1997. A control study of physical and mental health of residents living near a large-scale swine operation. Journal of Agricultural Safety and Health 3(1):13-26.
- Tielen J.M., A.R.W. Elbers, M. Snijdelaar, P.J.M.M. van Gulick, L. Preller, P.J. Blaauw, 1996. Prevalence of self-reported respiratory disease symptoms among veterinarians in the Southern Netherlands. American Journal of Industrial Medicine 29: 201-207.
- Van der Gulden J., P. Vogelzang, C. van Schayck, H. Folgering, 2002. Longaandoeningen en werkgebonden risicofactoren bij varkenshouders. Huisarts en Wetenschap 45:10-14.
- Van't Klooster C.E., P.F.M.M. Roelofs, G.P. Binnendijk, M.J.M. Duijf, 1991. Verlagen van het stofgehalte van de lucht in varkensstallen; resultaten anno 1991. Proefverslag nr. P 1.70, Proefstation voor de Varkenshouderij.
- Van Wagenberg A.V., H.W. van der Mheen, N. Verdoes, 2004. Natuurlijk gedrag basis voor varkenstoilet. Agrabeton 16, Nr. 3, p. 3-4.
- Vogelzang P.F.J., J.W.J. van der Gulden, H. Folgering, J.J. Kolk, D. Heederik, L. Preller, M.J.M. Tielen, C.P. van Schayk, 1998. Endotoxin exposure as a major determinant of lung function decline in pig farmers. Am J Respir Crit Care Med 157:15-18.
- Vogelzang P.F.J., 1999a. Airway disease and risk factors in pig farmers. PhD-thesis Medical Science, Catholic University Nijmegen, The Netherlands.
- Vogelzang P.F.J., J.W.J. van der Gulden, H. Folgering, C.P. van Schayck, 1999b. Organic Dust Toxic Syndrome in swine confinement farming. Am J Ind Med 35:332-334.
- Von Essen S.G., C.I. Andersen, L.M. Smith, 2005. Organic dust toxic syndrome: A noninfectious febrile illness after exposure to the hog barn environment. J Swine Health Prod. 2005, 13(5):273-276.

- Wagenaar J.P., 2002. Strooiselkwaliteit. Vlugschrift Veehouderij nr. 72, juli 2002, p. 104.
- Wathes C.M., T.G.M. Demmers, N. Teer, R.P. White, L.L. Taylor, V. Bland, P. Jones, D. Armstrong, A. Gresham, D.J. Chennells, S. Done, 2002. Production responses of weaner pigs after chronic exposure to airborne dust and ammonia. ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, Chicago, Illinois, USA, July 28-July 31, 2002. ASABE paper number 024025.
- Winkel A., M. Cambra-López, J. van Harn, T.G. van Hattum, A.J.A. Aarnink, 2009a. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie van een oliefilmsysteem bij vleeskuikens. Rapport 204, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel A., T.G. van Hattum, A.J.A. Aarnink, 2009b. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ontwikkeling van een oliefilmsysteem voor leghennen in volièrehuisvesting. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Rapport 286.
- Winkel A., A.J.A. Aarnink, 2009c. Blootstelling aan fijnstof in de biologische varkenshouderij. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Rapport 284.
- Winkel A., J. Mosquera, J. van Harn, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2011a. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op vleeskuikenbedrijven. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Rapport 392.
- Winkel A., J. Mosquera, J.W.H. Huis in't Veld, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2011b. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op vleeskuikenbedrijven. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Rapport 391.
- Zeitler, M.H., M. König, and W. Groth, 1987. Der einfluss von futterform [melförmig, pelletiert, flüssig] und jahreszeit auf die konzentration und korngrossenverteilung luftgetragener staubpartikel in mastschweineställen. Deutsche Tierärztl. Wochenschrift 94:420-424.
- Zoons J., H.H. Ellen, 1998. Verneveling in kippenstallen – Minder stof door hogere RV? Provincie Antwerpen, Provinciale Dienst voor Land- en Tuinbouw, Mededeling nr. 105, Pluimvee nr. 22. 5 pp.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl