

# Blootstelling aan fijnstof in de biologische varkenshouderij



bioKennis →



WAGENINGENUR

For quality of life

## Colofon

### Uitgever

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

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, 2009  
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.

In Nederland vindt het meeste onderzoek voor biologische landbouw en voeding plaats in voornamelijk door het ministerie van LNV gefinancierde onderzoekprogramma's. Aansturing hiervan gebeurt door Bioconnect, het kennisnetwerk voor de Biologische Landbouw en Voeding in Nederland ([www.bioconnect.nl](http://www.bioconnect.nl)). Hoofduitvoerders van het onderzoek zijn de instituten van Wageningen UR en het Louis Bolk Instituut. Zij werken in de cluster Biologische Landbouw (LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's) nauw samen. Dit rapport is binnen deze context tot stand gekomen. De resultaten van de onderzoeksprogramma's vindt u op de website [www.biokennis.nl](http://www.biokennis.nl). Vragen en/of opmerkingen over het onderzoek aan biologische landbouw en voeding kunt u mailen naar: [info@biokennis.nl](mailto:info@biokennis.nl)



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 gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

In this study, personal fine dust exposure during work was measured on three organic pig farms. Results show that personal dust exposure of organic pig farmers is considerably higher than recommended maximum exposure limits. Recommendations are given to reduce fine dust exposure of organic farmers during work.

### Keywords

Organic pig farming, pig, working conditions, fine dust, particulate matter, PM10

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteurs

A. Winkel  
A.J.A. Aarnink

### Titel

Blootstelling aan fijnstof in de biologische varkenshouderij

Rapport 284

### Samenvatting

In deze studie zijn metingen verricht van de persoonlijke blootstelling aan fijnstof tijdens het werk op drie biologische varkensbedrijven. Uit de resultaten blijkt dat biologische varkenshouders bloot staan aan fijnstofconcentraties die aanzienlijk hoger zijn dan geadviseerde streefwaarden. Dit rapport geeft praktische aanbevelingen aan biologische varkenshouders om de blootstelling aan fijnstof tijdens het werk te verlagen.

### Trefwoorden

Biologische varkenshouderij, varken, arbeidsomstandigheden, arbo, fijnstof, PM10

Rapport 284

# Blootstelling aan fijnstof in de biologische varkenshouderij

## Exposure to fine dust in organic pig farming

A. Winkel

A.J.A. Aarnink

November 2009



## Samenvatting

Uit epidemiologisch onderzoek onder varkenshouders blijkt dat zij een verhoogd risico lopen op het ontwikkelen van chronische longaandoeningen. De hoge blootstelling aan stof in de stallen draagt daar belangrijk aan bij. In de biologische varkenshouderij is weinig bekend over de blootstelling aan stalstof. Het doel van dit project was om meer inzicht te krijgen in de fijnstofniveaus waaraan biologische varkenshouders worden blootgesteld in de stallen in relatie tot in de wetenschappelijke literatuur voorgestelde streefwaarden. Daartoe zijn metingen verricht van de persoonlijke blootstelling aan fijnstof (PM10; stofdeeltjes kleiner dan 10 micrometer) tijdens het werk op drie biologische varkensbedrijven. In de tweede plaats worden maatregelen en technieken besproken die kunnen worden toegepast om blootstelling aan fijnstof in de biologische varkenshouderij te verlagen. Deze studie geeft hiervoor praktische aanbevelingen.

Uit deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- er bestaat een grote variatie in de gemeten blootstelling aan fijnstof, zowel tussen de bedrijven, tussen stallen binnen bedrijven als tussen werkzaamheden binnen dezelfde stal van een bedrijf;
- de blootstelling aan fijnstof op de drie biologische varkensbedrijven is aanzienlijk hoger dan de in de wetenschappelijke literatuur voorgestelde streefwaarden. Op grond van epidemiologisch onderzoek mag verwacht worden dat de gemeten concentraties een gezondheidsrisico vormen;
- biologische varkenshouders kunnen diverse maatregelen nemen om de blootstelling te verlagen.

Uit deze studie kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. schaf een adembeschermingsmiddel aan die comfortabel zit, licht in gewicht is, een hoge beschermingsfactor heeft (minimaal P2) en waarbij er geen leklucht optreedt. Deskundige voorlichting en een weloverwogen keuze is daarbij belangrijk;
2. probeer het masker zo veel mogelijk en consequent te gebruiken. Dit vergt bewustwording van de risico's en zelfdiscipline. Gebruik een adembeschermingsmiddel in ieder geval bij: intensief contact met en/of hoge activiteit van de dieren (verplaatsen, vangen, wegen), uitmesten, instrooien en bezemen. Een adembeschermingsmiddel blijft echter een hulpmiddel; beter is om ook de stofconcentratie in de stal structureel te verlagen;
3. voer een scan uit op het bedrijf naar de hoeveelheid aanwezig stof, de mogelijke bronnen daarvan, oorzaken die stofvorming in de hand werken en oorzaken die stofopname in de lucht bevorderen. Voer de scan bij voorkeur uit met een externe adviseur. Bespreek de maatregelen die kunnen worden genomen om de blootstelling te verlagen. Sommige maatregelen zijn in de ene stal of afdeling goed toe te passen, maar in een andere niet;
4. bij nieuwbouw, verbouw of renovatie kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:
  - toepassen van een ventilatiesysteem waarbij verse lucht op de werkgang wordt gebracht;
  - het plaatsen van de voerbakken, een belangrijke bron van stof, in de uitloop;
  - kiezen voor brijvoerrestrekking in plaats van droogvoer;
  - kiezen voor sleepkettingen in plaats van vijzels; sleepkettingen geven minder stof;
  - optimaal hokontwerp voor minimale hokbevuiling en stofvorming uit mest.
5. in bestaande stallen kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:
  - verwijder wekelijks het aanwezige stof in centrale gang en werkgangen voor een prettige werkomgeving en lagere stofconcentraties. Reinig bij voorkeur nat d.m.v. schoonspuiten of met een stofzuiger (nat of met fijnfilter). Gebruik beter geen bezem bij droog stof, dit brengt juist stof in de lucht. Een stofzuiger die ook grof vuil (strostengels, etc.) opzuigt, kan bezemen onnodig maken;
  - gebruik ontstoff strooisel of van nature stofarm strooisel, zoals houtkrullen, vlasstro en tarwestro;
  - gebruik alleen strooisel van een goede kwaliteit, geen (resten) oud en verstoff strooisel;
  - het toepassen van een dik strooiselpakket (guste/dragende zeugen) houdt het aanwezige stof vast in de vochtige onderlaag en heeft een gunstig effect op de stofconcentratie;
  - probeer stofvorming uit mest te voorkomen door te sturen op mestgedrag, roosters toe te passen met een goede mestdoorlaat en mestophoping te verwijderen;
  - tweemaal daags voeren in plaats van onbeperkte voerverstrekking;
  - probeer rustig diergedrag te bevorderen en onrustig diergedrag te voorkomen;
  - voer werkzaamheden uit in de uitloop, probeer tijdens stofpieken zo min mogelijk in afdelingen te zijn.

6. daarnaast kunnen de volgende stofreductietechnieken in de stal worden geïnstalleerd: a) een oliefilmsysteem, b) olierollers/olieborstels, c) watervernevelsysteem, d) ionisatiesysteem en e) interne luchtfiltratie units. Deze systemen worden in de varkenshouderij echter nog niet of nauwelijks toegepast. De systemen a en d worden op dit moment door Wageningen UR Livestock Research beproefd op hun effectiviteit en toepasbaarheid bij vleeskuikens en leghennen. Het is wenselijk dat deze systemen ook voor de (biologische) varkenshouderij verder ontwikkeld worden;
7. tot slot zou de mengvoerindustrie een bijdrage aan het stofprobleem in varkensstallen kunnen leveren door stofarme brokken te ontwikkelen.

## Summary

Epidemiological studies show that workers in pig houses are at risk of developing lung diseases. A major cause of lung diseases is the exposure to dust. Little is known about the exposure of organic pig farmers to pig house dust. The aim of this study was to gain more insight in the exposure levels of organic pig farmers to dust. Therefore, personal fine dust exposure (PM10: dust particles smaller than 10 micrometer) during work was measured on three organic pig farms and compared with maximum exposure limits proposed in literature. Secondly, measures and techniques for reduction of dust exposure are discussed and practical recommendations are given.

From this study, the following conclusions can be drawn:

- there is a large variation in fine dust exposure between farms, between pig houses within a farm and between tasks within a pig house of a farm;
- the exposure levels determined on the three organic pig farms are considerably higher than maximum exposure limits proposed in literature. Based on dose-response studies it is expected that the measured exposures represent a human health risk;
- organic pig farmers can take a number of measures to reduce fine dust exposure during work.

From this study, the following practical recommendations are given:

1. acquire a respiratory protection device that is comfortable and light to wear, that has a high protection factor (minimum: P2) and no air leakage. Expert advice is necessary to make a well considered choice;
2. try to use the respirator consequently and as much as possible. This requires realization of the risks of non-use and self-discipline. Use the respirator at least during: intensive contact with and/or high activity of the pigs (moving, catching, weighing), clearing out bedding and dung, spreading fresh bedding material and sweeping. However, a respirator should be regarded as an inferior solution. It is best to take measures that structurally reduce concentrations of airborne dust in the pig house;
3. execute a scan on the farm to determine: the level of dust present, possible sources of dust, possible causes of dust generation from it's sources and possible causes of dust to become airborne. The scan is preferably performed together with an external advisor. Discuss measures to reduce dust levels and exposures. Different rooms or houses may require different measures;
4. in the design and construction of a new pig house, the following measures may be taken into account:
  - applying a ventilation system that brings fresh air to the worker first (e.g. feeding passage);
  - placing the feeding troughs, an important source of dust, in the outdoor run;
  - applying liquid in stead of dry (granular or meal) feeding;
  - applying feed transport pipes with cable or chain conveyors in stead of augers;
  - optimal pen design for minimal pen fouling and dust generation from manure.
5. in case of an existing pig houses, the following measures can be taken:
  - remove dust from the central corridor and feeding passages weekly for a pleasant work environment and low dust levels. Preferably apply wet cleaning or vacuum cleaning (wet of with fine filter). It is best not to use a broom in case of dry dust; sweeping brings a lot of dust into the air. Sweeping may not be necessary if a vacuum cleaner is used that can also pick up rough dirt, like straw pieces;
  - use bedding material that contains little dust, like wooden shavings, flax straw and wheat straw;
  - only use bedding material of good quality. Do not use bedding that is old, dry and full of dust;
  - applying a thick layer of bedding can decrease dust levels because dust particles are captured in the wet deep layer of the bedding;
  - try to avoid dust generation from manure by influencing excretory behavior, applying slatted floors with good manure passage and frequently removing manure accumulations;
  - feeding twice a day results in lower dust levels than ad libitum feeding;
  - try to stimulate calm animal behavior and avoid tumultuous animal behavior;
  - execute tasks in the outdoor run if possible en try not to enter the rooms during periods of elevated dust levels.

6. furthermore, the following dust reduction techniques can be applied: a) oil spraying system, b) applicators that spread oil directly onto pigs, c) water spraying system, d) ionization system and e) internal air filtration units. However, at this moment, these techniques are not commonly used in and available for pig houses. Systems a) and d) are currently developed and tested for application in poultry houses by Wageningen UR Livestock Research. It is desirable that the systems are also developed and tested for the use in pig houses in future;
7. the feed industry may contribute to lower concentrations of dust in pig houses by taking dustiness into account in their feed development, production and transport.



# Inhoudsopgave

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding en achtergrond .....	1
1.2	Doel .....	2
1.3	Inhoud van het rapport .....	2
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden .....</b>	<b>3</b>
2.1	Meetmethode .....	3
2.2	Meetstrategie .....	3
2.3	Dataverwerking .....	3
2.4	Bedrijfsbeschrijvingen biologische varkensbedrijven.....	4
<b>3</b>	<b>Resultaten en discussie .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Maatregelen en technieken voor stofreductie in biologische varkensstallen.....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>13</b>
	<b>Literatuur .....</b>	<b>14</b>
	<b>Bijlagen.....</b>	<b>16</b>
	Bijlage 1 Foto-impressie bedrijf A .....	16
	Bijlage 2 Foto-impressie bedrijf B .....	18
	Bijlage 3 Foto-impressie bedrijf C.....	20
	Bijlage 4 Metingen uitgevoerd op bedrijf A .....	24
	Bijlage 5 Metingen uitgevoerd op bedrijf B .....	25
	Bijlage 6 Metingen uitgevoerd op bedrijf C.....	26



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

Uit epidemiologisch onderzoek blijkt dat varkenshouders een verhoogd risico lopen op het ontwikkelen van chronische longaandoeningen, zoals astma, COPD <sup>1</sup> en een verminderde longfunctie (Bongers et al., 1987; Preller, 1995; Vogelzang, 1999; 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 ODTS <sup>2</sup>, komen relatief veel voor onder varkenshouders (Vogelzang et al., 1999; Seifert et al., 2003; Von Essen et al., 2005).

Varkenshouders staan tijdens het werk in de stallen bloot aan een mix van inhaleerbare, gasvormige en deeltjesvormige componenten, zoals stof, micro-organismen, endotoxinen <sup>3</sup>, ammoniak (NH<sub>3</sub>), waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S) en desinfecteermiddelen. Het stof in varkensstallen is afkomstig van o.a. ingedroogde mest en urine, haren, huidschilfers, voer en strooisel (Aarnink et al., 1999; Aarnink en Stockhofe-Zurwieden, 2003; Pedersen et al., 2000). De relatieve bijdrage van een stofbron aan de totale hoeveelheid stof in de stal kan sterk variëren tussen verschillende stallen. Waarschijnlijk spelen met name de aan stalstof gehechte endotoxinen een belangrijke rol bij het ontstaan van longproblemen (Vogelzang et al., 1998; Preller et al., 1995). De schadelijkheid van stalstof is afhankelijk van o.a. de stofconcentratie, de zwaarte van de arbeid (ademhaling), persoonlijke gevoeligheid, de tijdsduur van blootstelling, de aard van het stof en de diameter van de stofdeeltjes.

De diameter van de stofdeeltjes bepaalt in belangrijke mate hoe diep het deeltje in de luchtwegen doordringt. In het algemeen geldt dat een deeltje dieper doordringt naarmate het kleiner is. Naar diameter van het stof kunnen de volgende stoffracties worden onderscheiden (tabel 1).

**Tabel 1** Verschillende stoffracties in de lucht, hun benaming en betekenis

Benaming	Stof-fractie <sup>a)</sup>	Omschrijving
Totaalstof	~PM50	Al het aanwezige stof; kleiner dan ca. 50 micrometer
Fijnstof	PM10	Deeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer
Inhaleerbaar stof	~PM10	Deeltjes die neus en mond kunnen passeren, overeenkomend met PM10
Respirabel stof	~PM4	Deeltjes die het diepere longweefsel bereiken, overeenkomend met PM4
Zeer fijn stof	PM2,5	Deeltjes met een diameter kleiner dan 2,5 micrometer
Nanodeeltjes	PM0,1	Deeltjes met een diameter kleiner dan 0,1 micrometer (100 nanometer)

<sup>a)</sup> PM: 'Particulate Matter'. Achter PM wordt de maximale diameter van de stoffractie (in micrometer) weergegeven

In varkens- en pluimveestallen worden in het algemeen hoge stofconcentraties gevonden; tot ca. driehonderd maal hoger dan in de buitenlucht (doorgaans beneden 0,050 mg/m<sup>3</sup>). In het EU-project Aerial Pollutants bijvoorbeeld, werd een gemiddelde concentratie van inhaleerbaar en respirabel stof in Nederlandse varkensstallen vastgesteld van respectievelijk 2,43 en 0,25 mg/m<sup>3</sup> (Takai et al., 1998). Dit betroffen echter gemiddelde concentraties van stationaire 24-uurs metingen. Overdag liggen de stofniveaus in stallen doorgaans hoger dan 's nachts. Bovendien is er tijdens het werk intensief contact met dieren, strooisel en andere stofbronnen. Metingen van de persoonlijke stofbelasting (met meetapparatuur aan het lichaam, overdag en tijdens het werk) zullen daardoor hogere stofniveaus laten zien dan stationaire 24-uurs metingen, uitgevoerd met het oog op emissies.

Preller et al. (1995) verrichten metingen van de persoonlijke stofbelasting (inhaleerbaar stof) gedurende één of twee werkdagen op 198 Nederlandse varkensbedrijven. Bij 164 van de 198 bedrijven werd de stofbelasting tijdens zowel een zomerdag als een winterdag gemeten. De gemeten blootstellingen aan inhaleerbaar stof varieerden tussen 0,3 en 27 mg/m<sup>3</sup> (gemiddeld: 3,0 mg/m<sup>3</sup>). Tijdens kortdurende metingen op vijf biologische varkensbedrijven varieerden totaalstofconcentraties bij gespeende biggen van ca. 0,2 tot 5 mg/m<sup>3</sup>, met uitschieters tot ca. 39 mg/m<sup>3</sup> (Aarnink en Wagemans, 2004).

<sup>1</sup> COPD: chronic obstructive pulmonary disease (chronische obstructieve longaandoeningen) is een verzamelnaam voor chronische bronchitis en longemfyseem.

<sup>2</sup> ODTs: 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).

<sup>3</sup> Endotoxinen: ontstekingsbevorderende stoffen uit de celwand van Gram-negatieve bacteriën.

Er bestaat geen wettelijk vastgestelde grenswaarde voor de blootstelling aan stalstof. In de arbeidsgeneeskunde wordt gesteld dat voor een arbeider gedurende 8 uur de concentratie aan inhaleerbaar, anorganisch stof maximaal 10 mg/m<sup>3</sup> en respirabel stof maximaal 5 mg/m<sup>3</sup> mag zijn. Voor organisch 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/m<sup>3</sup> totaalstof (PM50) en 0,16 mg/m<sup>3</sup> respirabel stof (PM4).

In vergelijking met bovenstaande streefwaarden zijn de stofniveaus die in het algemeen in varkensstallen worden gevonden hoog. In de biologische varkenshouderij is echter weinig bekend over het blootstellingniveau aan stalstof. Welzijnsvriendelijke huisvestingssystemen met strooisel hebben in het algemeen een hogere stofproductie dan systemen zonder strooisel (Aarnink en Stockhofe-Zurwieden, 2003). Door de grotere zorg voor de dieren werken biologische varkenshouders vaak langdurig in de stal. Deze zaken leiden er mogelijk toe dat biologische varkenshouders veel stof inademen, met mogelijke longproblemen als gevolg. Harde cijfers over de blootstelling tijdens de werkzaamheden ontbreken echter.

## 1.2 Doel

Het doel van dit project was om:

1. meer inzicht te krijgen in de fijnstofniveaus waaraan biologische varkenshouders worden blootgesteld in relatie tot in de wetenschappelijke literatuur voorgestelde streefwaarden. Daartoe zijn metingen van PM10 stof verricht tijdens de werkzaamheden gedurende verschillende werkdagen op drie biologische varkensbedrijven.
2. inzicht te geven in de maatregelen en technieken die kunnen worden toegepast om blootstelling aan (fijn)stof in de biologische varkenshouderij te voorkomen of te verlagen. Deze studie geeft hiervoor praktische aanbevelingen.

## 1.3 Inhoud van het rapport

In hoofdstuk twee wordt beschreven hoe de indicatieve PM10 metingen zijn verricht. Verder worden beschrijvingen gegeven van de drie biologische varkensbedrijven waar de metingen hebben plaatsgevonden. In bijlagen 1 t/m 3 is per bedrijf een fotoreportage toegevoegd aan de bedrijfsbeschrijvingen. In hoofdstuk drie worden de resultaten van de PM10 metingen weergegeven en bediscussieerd. Hoofdstuk vier geeft een samenvatting van technieken en maatregelen die kunnen worden toegepast om de blootstelling aan (fijn)stof in de biologische varkenshouderij te verlagen. Het rapport sluit af met conclusies en aanbevelingen en vermelding van de geraadpleegde bronnen.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Meetmethode

De blootstelling aan PM10 is gemeten met een DustTrak apparaat (DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS; figuur 1). De DustTrak bepaalt de PM10 concentratie van bemonsterde lucht optisch, d.w.z. op basis van de mate van verstrooiing van het licht van een laserstraal in een optische kamer waar de bemonsterde lucht doorheen stroomt. De lucht wordt daarvoor eerst door een voorafscheider in de inlaat gevoerd die deeltjes groter dan 10 µm afvangt door impactie. De DustTrak werd voor de metingen ingesteld op een aanzuigsnelheid van 1,7 liter per minuut en werd voorzien van schone filters en nieuwe batterijen. De DustTrak werd voor gebruik gereinigd en ontsmet en gekalibreerd volgens de aanwijzingen van de fabrikant. De PM10 concentratie (mg/m<sup>3</sup>) werd elke seconde gemeten. Minuutgemiddelde PM10 concentraties werden in het geheugen gelogd.



**Figuur 1** De DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520

### 2.2 Meetstrategie

De metingen werden verricht op drie biologische varkensbedrijven in Nederland. De metingen werden door de varkenshouders zelfstandig uitgevoerd tijdens de werkzaamheden gedurende verschillende werkdagen. Tijdens een eerste bedrijfsbezoek werd een DustTrak apparaat bezorgd en werd uitgelegd hoe zelfstandig metingen konden worden verricht. Daarbij ontvingen de deelnemers een map met een gebruiksinstructie en een logboek. In dit logboek werd door de varkenshouder begin- en eindtijd van bepaalde activiteiten vastgelegd en dit werd gekoppeld aan de gemeten stofconcentraties opgeslagen in de DustTrak. Tijdens de meting werd de DustTrak aan het lichaam gedragen m.b.v. een riem en holster. Bij een tweede bedrijfsbezoek zijn DustTrak en map weer opgehaald.

### 2.3 Dataverwerking

De gelogde meetbestanden zijn met de bijbehorende software uitgelezen en verder verwerkt met MS Excel. Uit onderzoek van Wageningen UR Livestock Research blijkt dat de optische techniek in het DustTrak apparaat een consequente onderschatting geeft van de PM10 concentraties in varkensstallen ten opzichte van de gravimetrische meetmethode. Daarom zijn alle waarnemingen gecorrigeerd met de volgende correctielijn:

$$[\text{PM10}]_{\text{Gravimetrisch}} = 1,3456 \times [\text{PM10}]_{\text{DustTrak}} \quad (R^2 = 0,75) \quad (1)$$

Per bedrijf, per stal binnen een bedrijf en per activiteit binnen een stal van een bedrijf is vervolgens de gemiddelde PM10 concentratie (mg/m<sup>3</sup>) berekend.

## 2.4 Bedrijfsbeschrijvingen biologische varkensbedrijven

### *Beschrijving bedrijf A (een foto-impressie is opgenomen in bijlage 1)*

Bedrijf A bestaat uit een biologische akkerbouw- en groenteteelttak en een gesloten varkenshouderijtak met in totaal ongeveer 110 zeugen en 700 vleesvarkens. De werkzaamheden worden uitgevoerd door vader, moeder, zoon en een vaste medewerker. Geen van de medewerkers bemerkt gezondheidsklachten die mogelijk verband houden met blootstelling aan fijnstof. Er wordt zo nu en dan gebruik gemaakt van stofkapjes, vooral in de zeugenstal (stal 7) omdat deze droger en stoffiger lijkt te zijn dan bijvoorbeeld de vleesvarkensstal (stal 8). Voor de varkenshouderijtak worden in totaal vier stallen gebruikt. Stal met nummer 5 bestaat uit 6 hokken voor gespeende biggen. Stal 6 bestaat uit een grote afdeling voor ongeveer 80 dragende zeugen, een afdeling voor de guste zeugen en een afdeling met nog eens vier hokken voor gespeende biggen. De afdeling voor de dragende zeugen is een strostal met twee voerstations en wordt geventileerd door de altijd openstaande uitloopdeuren, door een ventilator in het dak die op 30% van de maximale capaciteit draait en door het openen van de ramen in de zijmuren in de zomer. Stal 7 is een zeugenstal met 8 afdelingen met elk vier kraamhokken en één afdeling met 7 kraamhokken. In totaal zijn er 39 kraamhokken aanwezig op het bedrijf. Stal 8 is een in 2000 grotendeels van hout opgetrokken vleesvarkensstal met een brede centrale gang. Achter plastic flappen aan het plafond bevinden zich aan weerszijden van de gang elk 6 strohokken met in totaal plaats voor ongeveer 480 vleesvarkens. In sommige hokken wordt stro van tarwe en spelt gebruikt, terwijl in andere hokken heideplaggen met stro als bodembedekker worden uitgetoet. Ook wordt er regelmatig stro van gerst en rogge gebruikt. Bij alle dieren wordt brijvoeding toegepast en krijgen daarnaast ruwvoer verstrekt in een ruif in de uitloop.

### *Beschrijving bedrijf B (een foto-impressie is opgenomen in bijlage 2)*

Bedrijf B bestaat eveneens uit een biologische akkerbouw- en groenteteelttak en een gesloten varkenshouderijtak met in totaal ongeveer 170 zeugen en 1100 vleesvarkens. Er wordt gewerkt met een driewekensysteem. De werkzaamheden worden uitgevoerd door de eigenaar, diens vader en een vaste medewerker. Geen van de medewerkers bemerkt gezondheidsklachten die mogelijk verband houden met blootstelling aan fijnstof. Wel is bij de eigenaar enige jaren geleden vastgesteld dat de longfunctie wat slechter was dan gemiddeld. Er worden geen maatregelen of technieken toegepast om de blootstelling aan (fijn)stof te verlagen. Voor de varkenshouderijtak worden vier stallen gebruikt. De guste, dragende en zogende zeugen en de gespeende biggen zijn gehuisvest in één lange stal; twee stallen die in elkaars verlengde staan en tot één stal zijn samengetrokken. Deze stal bevat in totaal 36 kraamhokken. Op de kleppen van de biggennesten in de kraamhokken is reeds na één of twee weken een laag stof zichtbaar. Ventilatie vindt plaats door de deurtjes naar de uitloop die altijd op een kier van enkele centimeters blijven staan. De ventilatiekokers in het dak van deze stal zijn dichtgemaakt omdat er anders teveel trek boven de (kraam)hokken zou ontstaan. In de zogenaamde 'scharrelstal', een kleine stal in een bijgebouw, bevinden zich nog eens 22 kraamhokken. In totaal zijn er 58 kraamhokken aanwezig op het bedrijf. Voor de vleesvarkens zijn er twee identieke, naast elkaar gelegen stallen. De stallen bestaan elk uit één grote ruimte met een loopgang voorlangs 18 hokken met elk ongeveer 30 vleesvarkens. De hokken bestaan voor een deel uit roostervloer en voor een deel uit strohokken die aan de bovenzijde worden afgeschermd met houten platen om zo een microklimaat te creëren. Onder de platen is de temperatuur ca. 5–10 °C hoger dan in de rest van de stal. Voor controle van de dieren en het bijstrooien moeten de losliggende platen worden opgetild. Het stof dat op de platen ligt wordt daarmee voor een deel in de lucht gebracht. Alle vleesvarkenshokken hebben aan een zijde een uitloop die voor ongeveer driekwart onder het doorgetrokken dak gelegen is. De vleesvarkenstal wordt geventileerd door een deels open zijgevel (vanaf ca. 1,5 m, af te sluiten met zeil), terwijl de andere zijgevel, aan de uitloopzijde, vanaf ca. 1,5 meter hoogte uit windbreekgaas bestaat. Het windbreekgaas is dichtgeslibd met stof waardoor er weinig of geen lucht en licht doorheen komt. Aan alle dieren worden droge producten gevoerd, bestaande uit o.a. maïsmeel, tarwe, vismeel en aardappelvlokken. De producten worden 's middags in de mengbak geladen en gedurende ongeveer een uur gemengd in afwezigheid van medewerkers. De zeugen en biggen in de grote stal worden de volgende ochtend gevoerd van 7:30 tot 10:00 uur. Behalve in één kraamafdeling waar met de hand wordt gevoerd, vindt het uitdoseren van het voer automatisch plaats. De stortkokers eindigen enkele centimeters boven de voerbak en zijn niet afgesloten, waardoor voerstof zich kan verspreiden over de stallucht in de afdeling. De dragende zeugen worden gevoerd d.m.v. twee voerstations. De vleesvarkens worden automatisch gevoerd in de uitloop waarbij de stortkoker en de voerbak afgesloten zijn. Tijdens het voeren is men aanwezig in de stallen.

*Beschrijving bedrijf C (een foto-impressie is opgenomen in bijlage 3)*

Bedrijf C is het praktijkcentrum voor de biologische varkenshouderij van Wageningen UR Livestock Research in Raalte. Dit is een gesloten varkensbedrijf met ca. 100 zeugen en 700 vleesvarkens. Er wordt gewerkt met een driewekensysteem met groepen van 12 zeugen. De werkzaamheden worden uitgevoerd door de bedrijfsleider, twee vaste medewerkers en een medewerker die in de weekenden bijspringt. Geen van de medewerkers bemerkt gezondheidsklachten die mogelijk verband houden met blootstelling aan fijnstof. Om de blootstelling aan (fijn)stof te verlagen is men niet aanwezig in de stal tijdens het voeren, worden de varkens buiten in de uitloop gewogen en reinigt men eens per week de centrale gangen en de gangen voor de kraamhokken met een industriële stofzuiger (Hako Hamster 600). Er worden twee stallen gebruikt: een vermeerderingsstal en een vleesvarkensstal.

De vermeerderingsstal bestaat uit de volgende 16 afdelingen:

- 7 kraamafdelingen met elk 6 kraamhokken (BK1 t/m BK7, totaal: 42 kraamhokken van elk 2 x 3,75 m, uitloop: 2,5 m<sup>2</sup>). De kraamhokken zijn uitgerust met een afzonderlijk vloerverwarmingssysteem voor voergang, zeugligplaats en biggenligplaats;
- 2 afdelingen voor gespeende biggen met elk 8 hokken (BB1 en BB2, hokken van elk 3,8 x 2,4 m, uitloop: 6,25 m<sup>2</sup>). Afdeling BB1 wordt geventileerd door voergangventilatie via de deur in combinatie met het Natuflow systeem van Fancom (binnenklimaat). In Afdeling BB2 wordt een buitenklimaat gehanteerd door windbreekgaas/windgordijn in de zijwand;
- 3 voormestafdelingen (BV1 t/m BV3) met respectievelijk vier (7,5 x 3,25 m, uitloop: 17,5 m<sup>2</sup>, max. 30 dieren per hok) en twee (7,5 x 4,25 m, uitloop: 25 m<sup>2</sup>, max. 40 dieren per hok) hokken. Afdelingen BV1 en BV2 worden geventileerd door voergangventilatie via de deur in combinatie met het Natuflow systeem, afdeling BV3 wordt geventileerd door windbreekgaas/windgordijn in de zijwand in combinatie met het Natuflow systeem;
- 1 afdeling voor geltenopfok met 4 hokken met 5 dieren elk;
- 1 dekaafdeling met groepshuisvesting (BF1, 9 x 5,7 m, uitloop: 24 m<sup>2</sup>) met 16 ligboxen om dieren vast te kunnen zetten voor inseminatie;
- 1 berenhok van 2,3 x 3,25 m, met een uitloop van 8,5 m<sup>2</sup>;
- 1 afdeling voor dragende zeugen (BF3). De afdeling voor de dragende zeugen is door een voergang gesplitst in twee delen met aan elke kant ruimte voor 34 zeugen. De zeugen worden gevoerd in voerboxen van 50 cm breed zonder individuele dierherkenning. Onder de dichte vloer bevinden zich slangen voor een systeem voor warmteterugwinning uit het strobed. De ingestrooide ligruimte beslaat 60 m<sup>2</sup>, de voerboxen 34 m<sup>2</sup> en de uitloop 75 m<sup>2</sup>. Vanuit de uitloop is er toegang tot de weides. De afdeling wordt natuurlijk geventileerd.

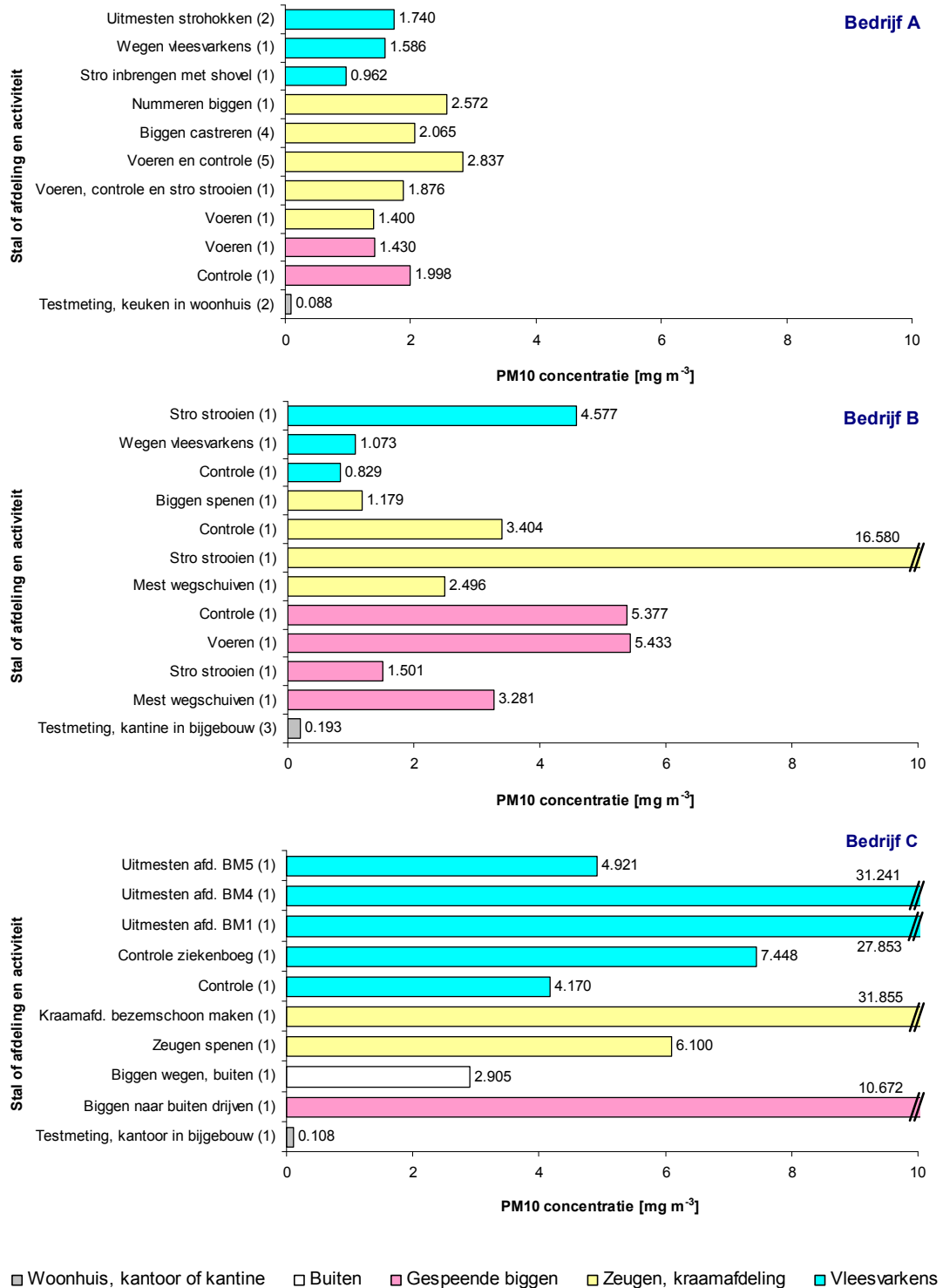
De vleesvarkenstal bestaat uit de volgende 6 afdelingen:

- afdelingen BM1 en BM2 bestaan elk uit 8 hokken voor 15 dieren (4,7 x 4,4 m, uitloop: 15 m<sup>2</sup>). De hokken zijn duidelijk gescheiden in een lig/rust- en activiteitengedeelte. De afdelingen worden geventileerd door voerpadventilatie en het Natuflow systeem;
- afdelingen BM3 en BM4 bestaan eveneens elk uit 8 hokken voor 15 dieren (4,7 x 4,35 m, uitloop: 15 m<sup>2</sup>), maar worden natuurlijk geventileerd d.m.v. windbreekgaas/windgordijn in de zijwanden en een open nok;
- afdeling BM5 bestaat uit vier hokken voor 30 dieren elk (10,75 x 3,9 m, uitloop: 31 m<sup>2</sup>) en wordt geventileerd met het Natuflow systeem;
- een ziekenboeg met 8 hokken voor 2 dieren, geventileerd met het Natuflow systeem.

Aan alle dieren worden gebroken korrels of brokken gevoerd in open voerbakken met een stortkoker tot aan de bovenrand van de voerbak. De voertijden zijn: 9:30 en 14:30 uur (kraamstal) en 05:00, 15:30 en 22:00 uur (vleesvarkens). In de vermeerderingsstal wordt stro automatisch getransporteerd en uitgedoseerd met een stro-installatie (om 9:30 en 12:30 uur), bij de vleesvarkens vindt dit handmatig plaats. Voor de stro-installatie worden grote balen stro gebruikt, voor de vleesvarkens kleine pakjes gehakseld stro. Daarnaast worden pakken zaagsel gebruikt.

### 3 Resultaten en discussie

In figuur 2 en in bijlagen 4 t/m 6 worden de resultaten weergegeven van de PM10 metingen op de drie biologische varkensbedrijven A, B en C.



**Figuur 2** Gemiddelde PM10 concentratie (horizontale as) per bedrijf (A, B of C), stal/afdeling (aangegeven in kleur) en activiteit (verticale as). Achter de activiteit binnen een stal/afdeling is tussen haakjes het aantal uitgevoerde metingen weergegeven.



Donham en Cumro (1999) adviseren op grond van dose-response studies te streven naar maximale stofconcentraties in pluimvee- en varkensstallen van  $2,4 \text{ mg/m}^3$  totaalstof (PM50) en  $0,16 \text{ mg/m}^3$  respirabel stof (PM4). In dit onderzoek is de concentratie van PM10 stof gemeten. Uit de resultaten (figuur 2) blijkt dat de gemeten PM10 concentraties aanzienlijk hoger zijn dan de door Donham en Cumro (1999) geadviseerde streefwaarden.

Uit de resultaten blijkt verder dat er veel variatie bestaat in de PM10 concentratie tussen de drie bedrijven, tussen stallen binnen bedrijven en tussen werkzaamheden binnen dezelfde stal van een bedrijf. De metingen op de drie biologische varkensbedrijven in dit onderzoek zijn uitgevoerd in de winter (december en januari). In de winter worden doorgaans hogere stofblootstellingen gevonden dan in de zomer (Guingand, 1999). De metingen op de drie biologische varkensbedrijven zijn, voor wat betreft stofconcentraties, uitgevoerd tijdens het meest ongunstige seizoen.

De PM10 concentraties zijn het laagst op bedrijf A en het hoogst op bedrijf C. Het verschil in stofbelasting tussen beide bedrijven is groot. Een deel van het verschil zou kunnen worden verklaard doordat de bedrijfsleider van bedrijf C de DustTrak vooral heeft ingezet tijdens werkzaamheden waarbij een hoge stofproductie werd verwacht: de 'worst case' situaties (mondellinge mededeling). De ondernemer van bedrijf A heeft de DustTrak meer algemeen ingezet. Een aantal metingen is echter uitgevoerd bij werkzaamheden die zowel op bedrijf A als bedrijf C werden verricht (uitmesten, controle van de dieren). Bij deze metingen scoort bedrijf C ook hoger dan bedrijf A. De blootstelling op bedrijf C lijkt daarmee structureel hoger te zijn dan op bedrijf A.

Dit komt overeen met de waarneming van stof in de stallen tijdens het bedrijfsbezoek. Op bedrijf C was veel zichtbaar stof aanwezig op de vloeren, aan wanden, stortkokers, etc. (zie foto's bijlage 3). Het brokvoer op bedrijf C lijkt een belangrijke bron van stof, vooral bij de biggen en vleesvarkens. Op bedrijf A was duidelijk minder stof zichtbaar in de stallen (zie foto's bijlage 1). Op dit bedrijf wordt brijvoeding toegepast. Op bedrijven met brijvoeding worden in het algemeen lagere stofconcentraties gevonden (Bundy en Hazen, 1975; Guingand, 1999; Takai, 2000). Het brijvoersysteem zou een van de redenen kunnen zijn voor de lagere stofconcentraties op bedrijf A ten opzichte van bedrijven B en C.

Uit de resultaten van bedrijf C blijkt dat het wegen van biggen in de uitloop nog steeds een vrij hoge blootstelling kan geven (gem.  $2,9 \text{ mg/m}^3$ ). In de buitenlucht is de PM10 concentratie doorgaans beneden  $0,050 \text{ mg/m}^3$ . De blootstelling is wel aanzienlijk lager dan de concentraties die in de stal werden gemeten. De maatregel heeft dus wel een beschermend effect.

Opvallend op bedrijf B is de hoge blootstelling tijdens een meting waarbij stro werd ingestrooid bij de kraamzeugen (gem.  $16,6 \text{ mg/m}^3$ ) terwijl dezelfde activiteit bij de vleesvarkens en biggen veel lagere stofconcentraties gaf. Tijdens de meting bij de kraamzeugen werd echter een laatste deel van een partij stro gebruikt dat droog en verstoff was. Een goede kwaliteit strooisel is dus belangrijk.

## 4 Maatregelen en technieken voor stofreductie in biologische varkensstallen

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

- a. reduceren van aanwezige bronnen van stof
- b. voorkomen van stofvorming uit stofbronnen
- c. verwijderen van gevormd stof
- d. voorkomen van stofopname in de stallucht
- e. verwijderen van stof uit stallucht
- f. voorkomen dat stof in stallucht wordt geïnhaleerd

Concreet gaat het om de volgende potentieel effectieve maatregelen en technieken (tabel 2).

**Tabel 2** Maatregelen en technieken voor het verlagen van de blootstelling aan fijnstof in varkensstallen

Maatregel of techniek	Reductieprincipe	Potentiële reductie
<b>1. Aanpassingen in strooiselmanagement</b>		
- keuze soort strooisel (van nature stofarm)	a	10 – 20%
- gebruiken van ontstoft strooisel	a	Ca. 10%
- goede kwaliteit van het strooisel (niet verstoft)	a	10 – 30%
- hoger vochtgehalte van het strooisel	d	10 – 20%
- vaker verversen	a, b	30 – 50%
- dikkere strooisellaag	d	30 – 70%
- schone methode van verstrekken	d	10 – 20%
<b>2. Aanpassingen van het voer</b>		
- vetgehalte verhogen	b	10 – 30%
- stofarme grondstoffenkeuze	a, b	10 – 20%
- coaten van pellets/brokken	b	10 – 20%
<b>3. Aanpassingen van het voersysteem</b>		
- brijvoeding i.p.v. droogvoer	a, b	10 – 20%
- bij droogvoer: brok/pellets i.p.v. meel	a, b	10 – 20%
- transport (sleepletting i.p.v. vijzel)	b	10 – 20%
- voerbakken afdekken / systeem afsluiten	d	10 – 20%
- verminderen valhoogte valpijp in voerbak	b, d	10 – 20%
- voorkomen vermorsing (voerbakontwerp)	a, b	10 – 20%
- voerbakken in de (overdekte) uitloop	a	10 – 20%
- tweemaal daags voeren i.p.v. onbeperkt	b, d	20 – 40%
<b>4. Hokontwerp/voorkomen van hokbevuiling</b>		
	b	20 – 40%
<b>5. Wekelijks stofzuigen of schoonspuiten</b>		
	a, c	0 – 10%
<b>6. Bevorderen rustig diergedrag</b>		
	b, d	10 – 30%
<b>7. Aanbrengen van oliefilm of waterlevel</b>		
- handmatig besproeien van dieren	d	60 – 80%
- olieborstel/-roller in hok	d	30 – 50%
- oliefilm op (vloer)oppervlakken/strooisel	d	50 – 90%
- water vernevelen / verhogen RV	d, e	30 – 50%
<b>8. Toepassen ionisatiesysteem</b>		
	e	20 – 50%
<b>9. Toepassen interne luchtfiltratie</b>		
- doeken-/slangen-/zakkenfilter	e	30 – 50%
- elektrostatisch filter	e	10 – 50%
<b>10. Aanpassingen in ventilatie/klimaat</b>		
- luchtsnelheid verlagen	d	10 – 20%
- ventilatievoud verhogen	e	20 – 40%
- verhogen van de RV	e	10 – 20%
- frisse lucht langs werkgang leiden	f	20 – 40%
<b>11. Uitvoeren werkzaamheden in de uitloop</b>		
	f	0 – 10%
<b>12. Consequent gebruik pers. beschermingsmiddelen</b>		
	f	tot >99%

De mogelijkheden voor toepassing in biologische varkensstallen worden hierna besproken.

### **1. Aanpassingen in strooiselmanagement**

Strooisel is een belangrijke bron van stof. Door strooiselmateriaal te kiezen dat van nature minder stof bevat of van nature minder snel verstoff, kan de stofconcentratie worden verlaagd. In een proef van het Louis Bolk Instituut konden biologische strooiselsoorten - van stoffig naar weinig stoffig - als volgt worden gerangschikt: hennep, koolzaad, tarwe, vlas, zaagsel, houtkrullen (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. Gesneden stro geeft minder stof dan gehakseld stro. 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 gebruik in de varkenshouderij waarschijnlijk (nog) te duur. Naast het soort strooisel is de kwaliteit belangrijk. Oud strooisel (bijv. het laatste deel van een partij) kan soms erg 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 en verstoffen van de bovenlaag tegen te gaan. 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.

### **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 onder andere dat met het toevoegen van één of enkele procenten vet of olie aan het voer de stofconcentratie 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. Aanpassingen aan het voersysteem**

Stof uit voer ontstaat waarschijnlijk vooral uit vermorst voer dat indroogt en door dieractiviteit tot kleine deeltjes wordt vermalen en uit voerdeeltjes die in de lucht terecht komen bij het uitstorten in de voerbak. In een studie van Roelofs en Binnendijk (2000) 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 (bronafzuiging). Dit vergt echter vrij veel technische aanpassingen of toevoegingen aan het voersysteem. Door de voerbakken in de uitloop te plaatsen wordt een potentiële bron van stof buiten de stal gebracht. Een aandachtspunt daarbij is de beschutting van de voerbak tegen neerslag en bescherming tegen bevriezing. 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). 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 onbeperkt voeren in een droogvoerbak. Waarschijnlijk zijn de dieren bij het tweemaal daags voeren minder actief, waardoor minder stof de lucht in wordt gebracht.

### **4. Hokontwerp/voorkomen van hokbevuiling**

Stofvorming uit mest treedt op doordat mest indroogt en door dieractiviteit tot kleine deeltjes wordt vermalen. Het aandeel roostervloer en de mate van hokbevuiling dragen waarschijnlijk belangrijk bij aan de stofproductie. Dit kan worden beperkt door zo veel mogelijk te sturen op mestgedrag, roosters toe te passen met een goede mestdoorlaat en mestophoping te verwijderen.

## 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 (zie ook figuur 2, bedrijf C, taak: 'kraamafdeling bezemschoon maken', PM10 blootstelling: 31 mg/m<sup>3</sup>). 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 (strostengels, etc.) kunnen opzuigen zouden het bezemen voor het zuigen onnodig kunnen maken. Dit scheelt arbeid (kortere tijdsduur blootstelling) en er wordt waarschijnlijk aanzienlijk minder stof 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.

## 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 vleeskuikenstallen laten bijvoorbeeld zien dat de fijnstofconcentratie bij het uitgaan van de verlichting direct scherp daalt en bij het aan gaan van de verlichting scherp stijgt (Cambra-López et al., 2009). Dieractiviteit is echter ook gewenst (bijv. vreten, drinken, natuurlijk gedrag) voor de gezondheid en het welzijn van het varken en voor goede technische resultaten. Op sommige gangbare varkensbedrijven wordt het dagnachtritme van vleesvarkens 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. In de biologische varkenshouderij is dit echter geen geschikte oplossing, o.a. praktisch gezien; omdat de dieren beschikken over een uitloop. Toch, het mengen van dieren, een te klein aantal vreetplaatsen of onvoldoende ligruimte kunnen onrust in de koppel bevorderen (Spoolder en Vermeer, 2002).

## 7. Aanbrengen oliefilm of waternevel

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 strooisel en andere oppervlakken waardoor stof op deze oppervlakten 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 en geoptimaliseerd voor vleeskuiken- en leghennenstallen waarbij zuivere koolzaadolie wordt gebruikt (Aarnink et al., 2008; Winkel et al., 2009). Met deze techniek werden hoge fijnstofreductie bereikt van ca. 70–90%. 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.

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 een beperkt effect op vooral de grotere stofdeeltjes.

### **8. Toepassen ionisatiesysteem**

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.

In een aantal studies is ionisatie toegepast als potentiële luchtreinigingstechniek voor varkensstallen. 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. 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 stofvangende oppervlakken. Rozenrater (2004) 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 PM2,5 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 toegepast in een vleeskuikenstal (Cambra-López et al., 2009), waarbij de PM10 concentratie over de ronde met gemiddeld 36% werd gereduceerd. 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.

### **9. Toepassen interne recirculatie met filtratie**

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, maar de effectiviteit hiervan in varkensstallen is nog onvoldoende aangetoond.

### **10. Aanpassingen in ventilatie/klimaat**

Door ventilatie wordt stofrijke stallucht uitgestoten en vervangen door stofarme buitenlucht. Het verhogen van het ventilatievoud geeft een verlaging 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 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 (2000) 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 inhaleerbaar stof met 19% t.o.v. het balansklepsysteem. De technische resultaten werden niet beïnvloed.

### **11. Uitvoeren werkzaamheden in de uitloop**

Op sommige bedrijven is het mogelijk om bepaalde werkzaamheden, zoals het wegen van dieren, uit te voeren in de uitloop. In de buitenlucht zijn de stofconcentraties vele malen lager dan in de stal. Door de activiteit van de varkens kan de stofconcentratie in de uitloop op dat moment echter ook sterk verhoogd zijn. Uit de metingen op bedrijf C blijkt dat de stofconcentratie tijdens het wegen van biggen in de uitloop toch gemiddeld  $2,9 \text{ mg/m}^3$  bedroeg (figuur 2). Buitenluchtconcentraties liggen doorgaans beneden  $0,050 \text{ mg/m}^3$ . Ten opzichte van de stalconcentraties op bedrijf C is de blootstelling in de uitloop echter wel vele malen lager.

### **12. Dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen**

Er zijn vele adembeschermingsmiddelen op de markt verkrijgbaar die de ingeademde lucht ontdoen van stofdeeltjes, variërend van eenvoudige wegwerpmaskertjes tot volgelaatsmaskers met aanblaasunits. De beschermingsfactor van het filter is een maat voor de bescherming tegen het stof en wordt uitgedrukt in P1, P2 of P3. Hoe hoger de beschermingsfactor, hoe hoger het stofafvangend vermogen. In stallen is minimaal een P2 filter vereist. Het aanschaffen van een adembeschermingsmiddel is een relatief goedkope investering die direct kan worden toegepast en een hoge bescherming tegen stof biedt. Een belangrijk nadeel is echter het beperkte gebruiksgemak. Het zicht wordt bijvoorbeeld beperkt, het masker is zwaar, warm, geeft een opgesloten gevoel of door zweten en kriebelen is het dragen van het masker oncomfortabel. Op veel varkensbedrijven zijn adembeschermingsmiddelen aanwezig die daarom niet (meer) of zo nu en dan worden gebruikt. Er zijn tegenwoordig echter zeer lichte maskers verkrijgbaar. Bij het aanschaffen is goede voorlichting belangrijk om een masker te kiezen die comfortabel zit, licht in gewicht is, een hoge beschermingsfactor heeft en waarbij er geen leklucht optreedt. Belangrijk is ook om de filters op tijd te vervangen en het masker op een schone plaats op te bergen. Het toepassen van een adembeschermingsmiddel vergt enige mate van zelfdiscipline en juist/consequent gebruik. Het is daarom beter om ook maatregelen door te voeren die de stofconcentraties in de stal verlagen.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies

Uit deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- er bestaat een grote variatie in de gemeten blootstelling aan fijnstof, zowel tussen de bedrijven, tussen stallen binnen bedrijven als tussen werkzaamheden binnen dezelfde stal van een bedrijf;
- de blootstelling aan fijnstof op de drie biologische varkensbedrijven is aanzienlijk hoger dan in de literatuur voorgestelde streefwaarden. Op grond van epidemiologisch onderzoek mag verwacht worden dat de gemeten concentraties een gezondheidsrisico vormen;
- biologische varkenshouders kunnen diverse maatregelen nemen om de blootstelling te verminderen.

### Aanbevelingen

Uit deze studie kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. schaf een adembeschermingsmiddel aan die comfortabel zit, licht in gewicht is, een hoge beschermingsfactor heeft (minimaal P2) en waarbij er geen leklucht optreedt. Deskundige voorlichting en een weloverwogen keuze is daarbij belangrijk;
2. probeer het masker zo veel mogelijk en consequent te gebruiken. Dit vergt bewustwording van de risico's en zelfdiscipline. Gebruik een adembeschermingsmiddel in ieder geval bij: intensief contact met en/of hoge activiteit van de dieren (verplaatsen, vangen, wegen), uitmesten, instrooien en bezemen. Een adembeschermingsmiddel blijft echter een hulpmiddel; beter is om ook de stofconcentratie in de stal structureel te verlagen;
3. voer een scan uit op het bedrijf naar de hoeveelheid aanwezig stof, de mogelijke bronnen daarvan, oorzaken die stofvorming in de hand werken en oorzaken die stofopname in de lucht bevorderen. Voer de scan bij voorkeur uit met een externe adviseur. Bespreek de maatregelen die kunnen worden genomen om de blootstelling te verlagen. Sommige maatregelen zijn in de ene stal of afdeling goed toe te passen, maar in een andere niet;
4. bij nieuwbouw, verbouw of renovatie kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:
  - toepassen van een ventilatiesysteem waarbij verse lucht op de werkgang wordt gebracht;
  - het plaatsen van de voerbakken, een belangrijke bron van stof, in de uitloop;
  - kiezen voor brijvoerrestrekking in plaats van droogvoer;
  - kiezen voor sleepkettingen in plaats van vizels; sleepkettingen geven minder stof;
  - optimaal hokontwerp voor minimale hokbevuiling en stofvorming uit mest.
5. in bestaande stallen kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:
  - verwijder wekelijks het aanwezige stof in centrale gang en werkgangen voor een prettige werkomgeving en lagere stofconcentraties. Reinig bij voorkeur nat d.m.v. schoonspuiten of met een stofzuiger (nat of met fijnfilter). Gebruik beter geen bezem bij droog stof, dit brengt juist stof in de lucht. Een stofzuiger die ook grof vuil (strostengels, etc.) opzuigt, kan bezemen onnodig maken;
  - gebruik ontstoff strooisel of van nature stofarm strooisel, zoals houtkrullen, vlasstro en tarwestro;
  - gebruik alleen strooisel van een goede kwaliteit, geen (resten) oud en verstofft strooisel;
  - het toepassen van een dik strooiselpakket (guste/dragende zeugen) houdt het aanwezige stof vast in de vochtige onderlaag en heeft een gunstig effect op de stofconcentratie;
  - probeer stofvorming uit mest te voorkomen door te sturen op mestgedrag, roosters toe te passen met een goede mestdoorlaat en mestophoping te verwijderen;
  - tweemaal daags voeren in plaats van onbeperkte voerverstrekking;
  - probeer rustig diergedrag te bevorderen en onrustig diergedrag te voorkomen;
  - voer indien mogelijk werkzaamheden uit in de uitloop en probeer tijdens stofpieken zo min mogelijk in de afdelingen aanwezig te zijn.
6. daarnaast kunnen de volgende stofreductietechnieken in de stal worden geïnstalleerd: a) een oliedroefstelsel, b) olierollers/olieborstels, c) watervernevelsysteem, d) ionisatiesysteem en e) interne luchtfiltratie units. Deze systemen worden in de varkenshouderij echter nog niet of nauwelijks toegepast. De systemen a en d worden op dit moment door Wageningen UR Livestock Research beproefd op hun effectiviteit en toepasbaarheid bij vleeskuikens en leghennen. Het is wenselijk dat deze systemen ook voor de (biologische) varkenshouderij verder ontwikkeld worden;
7. tot slot zou de mengvoerindustrie een bijdrage aan het stofprobleem in varkensstallen kunnen leveren door stofarme brokken te ontwikkelen.

## 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.J.M. Wagemans, 2004. Stalklimaat en hokgebruik bij gespeende biggen in de biologische varkenshouderij. Rapport 202, *Agrotechnology & Food Innovations*, Wageningen UR.
- 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 het aanbrengen oliefilm. Rapport 154, *Animal Sciences Group*, Wageningen UR.
- Spoolder, H.A.M. en H.M. Vermeer, 2002. Internethandboek/themaboek 'Biologische Varkenshouderij'. Hoofdstuk 2, *Natuurlijk gedrag*.  
Website: <http://www.biologisचेveehouderij.nl/index.asp?biobieb/digitaalhandboek/index.asp>.  
Geraadpleegd op 14 oktober 2009.
- 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.
- 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.
- Bongers P., D. Houthuys, 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.
- Costa A., F. Borgonova, T. Leroy, D. Berckmans, M. Guarino, 2009. Dust concentration in relation to animal activity in a pig barn. *Biosystems Engineering* 104 (2009):118-124.
- 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.
- Gulden van der J., P. Vogelzang, C. van Schayck, H. Folgering, 2002. Longaandoeningen en werkgebonden risicofactoren bij varkenshouders. *Huisarts en Wetenschap* 45:10-14.
- 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.
- Hofer B.J., D.E. Nicolai, 2007. Electrostatic Space Discharge System for reducing dust in a swine finishing barn. *ASABE paper number RRV-07145*.
- 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.
- 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.



- Pedersen S., M. Nonnenmann, R. Rautiainen, T.G.M. Demmers, T. Banhazi, M. Lyngbye, 2000. Dust in pig buildings. *J Agric Saf Health* 6(4):261-274.
- 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.
- Preller L., D. Heederik, H. Kromhout, J.S.M. Boleij, M.J.M. Tielen, 1995. Determinants of dust and endotoxin exposure of pig farmers: development of a control strategy using empirical modeling. *Ann. occup. Hyg.*, Vol. 39, No. 5, pp. 545-557.
- Roelofs P.F.M.M., G.P. Binnendijk, 2000. 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, 2000. Gezondheidseffecten van stof in varkensstallen en de invloed van een aangepast ventilatiesysteem op de stofconcentratie. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Proefverslag nr. P1.242.
- 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.
- 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.
- 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., 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., 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.
- 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.
- Vogelzang P.F.J., 1999. 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, 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., J.W.J. van der Gulden, H. Folgering, C.P. van Schayck, 1999. 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.
- Winkel A., M. Cambra-López, J. van Harn, T.G. van Hattum, A.J.A. Aarnink, 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie van een oliefilmsysteem bij vleeskuikens. Rapport 204, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- 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.

## Bijlagen

### Bijlage 1 Foto-impressie bedrijf A



A. Eén van de kraamafdelingen met vier kraamhokken



B. Detailfoto kraamhok



C. Hok met gespeende biggen



D. Uitloop bij de gespeende biggen



E. Ruwvoerstrekkings aan de dragende zeugen



F. Potstal voor de dragende zeugen



G. Hokken voor de vleesvarkens



H. Brijvoeding bij de vleesvarkens

**Bijlage 2 Foto-impresie bedrijf B**



A. Uitloop met voerbak voor de vleesvarkens



B. Uitloop aan de zijkant van de vleesvarkenstal



C. Hok in de vleesvarkenstal met lignesten onder de houten platen



D. Eén van de twee voerkeukens, met mengbak voor droge producten



E. Groepshuisvesting van de dragende zeugen met voerstations



F. Groepshuisvesting van de dragende zeugen met een dikke laag stro op de ligplaatsen



G. Kraamhok



H. Kraamhok met neergeklapt deksel van het biggenest. Het deksel is bedekt met stof (na ca. 2 weken)

**Bijlage 3 Foto-impressie bedrijf C**



A. De vermeerderingsstal



B. De vleesvarkenstal



C. Afdeling met hokken voor de gespeende biggen



D. Hok voor gespeende biggen



E. Natuurlijk geventileerde afdeling met vleesvarkens



F. Mechanisch geventileerde afdeling met vleesvarkens



G. Afdeling met kraamhokken



H. Voersysteem in de kraamafdelingen



I. Natuurlijk geventileerde afdeling voor de dragende zeugen, met voerligboxen



J. Buitenaanzicht van de stromachine, met vulplaats (achter de groene deuren) en stroleidingen (zwart)



K. Stortklep in de stroleiding boven een kraamhok



L. Schone voerbak in een pas ingestrooide, nog lege afdeling voor vleesvarkens



M. Dezelfde voerbak in een afdeling met vleesvarkens; de voerbak en stortpijp zijn bedekt met stof



N. Detailfoto van stof aan een stortpijp en op de rand van een hokafscheiding; een deel van het stof is weggeveegd om de stoflaag te tonen



O. Detailfoto van stof aan een stortpijp





P. Hokafscheidingen en wanden kleuren geel door het stof



Q. Lignest voor de biggen in het kraamhok bedekt met een laag stof en stro, de rode klep is zichtbaar waar een klein stukje van de klep is schoongeveegd



R. Lignest voor de vleesvarkens; de klep is bedekt met stof en stro, de witte klep is zichtbaar waar een klein stukje van de klep is schoongeveegd



S. Stof op de vloer bij de gespeende biggen; een klein stukje van de vloer is schoongeveegd om de stoflaag te tonen



T. Stof op de vloer voor de kraamhokken



U. Stof en stro op de vloer van een afdeling vleesvarkens

**Bijlage 4 Metingen uitgevoerd op bedrijf A**

Stal/afdeling	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	Taak/werkzaamheden	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	Datum (dd-mm-yyyy)	Start (hh:mm)	Duur (hh:mm)	PM10 Min. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Mediaan [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Max. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 St.Dev. [mg m <sup>-3</sup> ]		
Keuken, woonhuis	<b>0,088</b>	Testmetingen tijdens pauze	<b>0,088</b>	8-12-2008	10:31	0:02	0,079	<b>0,086</b>	0,086	0,093	0,010		
				8-12-2008	10:34	0:02	0,084	<b>0,090</b>	0,090	0,095	0,008		
Gespeende biggen (Stal 5/6)	<b>1,750</b>	Controle	<b>1,998</b>	9-12-2008	8:05	0:31	0,191	<b>1,998</b>	1,605	6,399	1,548		
		Voeren	<b>1,430</b>	16-12-2008	8:07	0:24	0,207	<b>1,430</b>	1,377	2,694	0,826		
Kraamstal (Stal 7)	<b>2,277</b>	Voeren	<b>1,400</b>	8-12-2008	16:26	1:04	0,236	<b>1,400</b>	1,257	4,237	0,796		
		Voeren, controle, stro strooien	<b>1,876</b>	11-12-2008	8:40	1:25	0,141	<b>1,876</b>	1,184	7,957	1,650		
				10-12-2008	9:43	0:36	0,075	<b>2,565</b>	2,889	5,368	1,194		
						10-12-2008	16:38	1:02	0,182	<b>3,001</b>	1,821	14,572	3,264
						11-12-2008	7:04	0:21	0,467	<b>2,730</b>	1,585	11,940	2,934
		Voeren en controle	<b>2,837</b>	11-12-2008	16:17	0:50	0,226	<b>3,116</b>	2,275	13,943	3,142		
				12-12-2008	7:04	0:21	0,684	<b>2,861</b>	1,799	7,825	2,234		
						12-12-2008	9:23	0:24	1,068	<b>2,308</b>	2,140	5,618	1,047
						9-12-2008	8:38	0:34	0,235	<b>2,544</b>	2,624	4,340	1,133
		Biggen castreren	<b>2,065</b>	9-12-2008	9:13	1:07	0,319	<b>1,966</b>	2,267	3,273	0,775		
9-12-2008	11:43			0:21	0,720	<b>2,228</b>	1,688	4,720	1,267				
16-12-2008	8:32			0:45	0,805	<b>1,775</b>	1,652	3,157	0,579				
Nummeren biggen	<b>2,572</b>			15-12-2008	11:00	0:20	0,702	<b>2,572</b>	2,974	3,776	0,991		
Vleesvarkenstal (Stal 8)	<b>1,630</b>	Stro inbrengen met shovel	<b>0,962</b>	9-12-2008	15:46	0:15	0,198	<b>0,962</b>	0,776	3,275	0,703		
		Wegen vleesvarkens	<b>1,586</b>	9-12-2008	13:16	1:49	0,127	<b>1,586</b>	1,437	3,688	0,725		
		Uitmesten strohokken	<b>1,740</b>	13-12-2008	8:21	1:40	0,182	<b>1,938</b>	1,206	12,139	2,078		
				13-12-2008	10:51	0:34	0,217	<b>1,157</b>	0,797	3,819	0,973		

Gewogen gemiddelde PM10 concentratie over alle metingen (14 uur en 27 minuten): 2,050 mg m<sup>-3</sup>

**Bijlage 5 Metingen uitgevoerd op bedrijf B**

Stal/afdeling	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	Taak/werkzaamheden	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	Datum (dd-mm-yyyy)	Start (hh:mm)	Duur (hh:mm)	PM10 Min. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Mediaan [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Max. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 St.Dev. [mg m <sup>-3</sup> ]
Kantine	<b>0,193</b>	Testmetingen tijdens pauze	<b>0,193</b>	15-12-2008	11:18	0:04	0,226	<b>0,226</b>	0,220	0,264	0,027
				18-12-2008	15:14	0:01	0,118	<b>0,118</b>	0,118	0,118	*
				22-01-2009	12:57	0:01	0,137	<b>0,137</b>	0,137	0,137	*
Gespeende biggen	<b>3,337</b>	Mest wegschuiven	<b>3,281</b>	15-12-2008	11:31	0:13	3,281	<b>3,281</b>	2,812	4,991	1,246
		Stro strooien	<b>1,501</b>	16-12-2008	7:52	0:56	1,501	<b>1,501</b>	0,911	13,187	1,860
		Voeren	<b>5,433</b>	17-12-2008	11:05	0:28	5,433	<b>5,433</b>	5,339	12,970	2,525
		Controle	<b>5,377</b>	22-01-2009	10:36	0:22	5,377	<b>5,377</b>	5,921	14,771	3,191
Kraamafdeling in 'scharrelstal'	<b>2,496</b>	Mest wegschuiven	<b>2,496</b>	15-12-2008	11:59	0:16	2,496	<b>2,496</b>	1,708	7,102	1,688
Kraamafdeling	<b>3,023</b>	Stro strooien	<b>16,580</b>	15-12-2008	12:17	0:03	16,580	<b>16,580</b>	17,879	28,338	12,459
		Controle	<b>3,404</b>	18-12-2008	11:32	0:24	3,404	<b>3,404</b>	2,835	9,150	2,402
		Biggen spenen	<b>1,179</b>	18-12-2008	11:58	0:27	1,179	<b>1,179</b>	1,054	3,887	0,785
Vleesvarkenstal	<b>1,860</b>	Controle	<b>0,829</b>	23-12-2008	10:05	0:21	0,829	<b>0,829</b>	0,756	1,523	0,405
		Wegen vleesvarkens	<b>1,073</b>	23-12-2008	14:05	0:45	1,073	<b>1,073</b>	0,697	2,912	0,776
		Stro strooien	<b>4,577</b>	5-01-2009	13:27	0:21	4,577	<b>4,577</b>	4,396	8,541	2,168

Gewogen gemiddelde PM10 concentratie over alle metingen (4 uur en 42 minuten): 2,761 mg m<sup>-3</sup>

\* Er kan geen standaarddeviatie worden berekend omdat er slechts één waarneming is

**Bijlage 6 Metingen uitgevoerd op bedrijf C**

Stal/afdeling	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	Taak/werkzaamheden	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	Datum (dd-mm-yyyy)	Start (hh:mm)	Duur (hh:mm)	PM10 Min. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Gem. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Mediaan [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 Max. [mg m <sup>-3</sup> ]	PM10 St.Dev. [mg m <sup>-3</sup> ]
Kantoor	<b>0,108</b>	Testmeting	<b>0,108</b>	16-12-2008	10:56	0:02	0,090	<b>0,108</b>	0,108	0,125	0,025
Vermeerderingstal		Zeugen spenen	<b>6,100</b>	29-1-2009	7:46	0:07	5,093	<b>6,100</b>	5,934	8,320	1,128
Verm. stal, kraamafdeling	<b>19,048</b>	Bezemschoon maken	<b>31,855</b>	29-1-2009	9:03	0:11	10,558	<b>31,855</b>	30,432	61,454	16,816
Verm. stal, gespeende biggen		Biggen naar buiten drijven	<b>10,672</b>	29-1-2009	7:54	0:06	3,446	<b>10,672</b>	9,034	19,549	6,642
Buiten in uitloop	<b>2,905</b>	Biggen wegen	<b>2,905</b>	29-1-2009	8:01	0:48	0,179	<b>2,905</b>	1,502	10,515	2,986
Vleesvarkenstal		Controle	<b>6,187</b>	29-1-2009	8:55	0:05	2,047	<b>4,170</b>	4,591	5,156	1,236
Vleesvarkenstal, ziekenboeg				30-1-2009	8:54	0:08	0,663	<b>7,448</b>	7,155	19,453	6,345
Vleesvarkenstal, afdeling BM1	<b>15,763</b>			30-1-2009	8:00	0:08	6,093	<b>27,853</b>	23,006	54,599	16,184
Vleesvarkenstal, afdeling BM4		Uitmesten	<b>19,127</b>	30-1-2009	8:21	0:13	11,643	<b>31,241</b>	25,008	65,162	16,920
Vleesvarkenstal, afdeling BM5				30-1-2009	8:34	0:16	0,807	<b>4,921</b>	2,534	14,430	4,526

Gewogen gemiddelde PM10 concentratie over alle metingen (2 uur en 4 minuten): 11,169 mg m<sup>-3</sup>

