



Rapport 11

Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij



Oktober 2006



Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.



Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Veehouderij
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie

Communication Services

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Losse rapporten zijn te verkrijgen via de website.

Abstract

Different publications report effects of fine dust (PM10) in the ambient air on human health. Problems are related to heart and lung disorders, causing early death. For that reason the EU has set limits for PM10 concentrations from 1 January 2005 onwards. These limits are exceeded in parts of The Netherlands. Agriculture is responsible for approximately 20% of the primary fine dust emission in The Netherlands, mainly originating from poultry and pig farms. The objective of this desk study was to determine the processes and factors involved in dust emissions from livestock production. Furthermore, it was studied how these processes and factors can be influenced to reduce dust emissions.

Keywords: fine dust, PM10, emission, reduction options, livestock production

Referaat

ISSN 1570-8616

Aarnink, A.J.A. en H.H. Ellen (Veehouderij)
Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij (2006)

Rapport 11

25 pagina's, 2 figuren, 4 tabellen

Diverse publicaties rapporteren een effect van fijn stof (PM10) in de buitenlucht op de gezondheid van mensen. De gezondheidseffecten zijn ondermeer hart- en luchtwegaandoeningen met mogelijk vroegtijdige sterfte. De EU heeft daarom met ingang van 1 januari 2005 grenswaarden vastgesteld voor de concentratie fijn stof. In delen van Nederland worden deze grenswaarden overschreden. De agrarische sector draagt naar schatting ongeveer 20% bij aan de primaire emissie van fijn stof in Nederland, waarbij de intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) de belangrijkste bronnen zijn. De doelstelling van deze deskstudie was om vast te stellen welke processen en factoren van invloed zijn op stofvorming en emissies in de veehouderij. Tevens is aangegeven hoe deze processen en factoren kunnen worden beïnvloed om de emissie van fijn stof te reduceren.

Trefwoorden: fijn stof, PM10, emissie, reductie, veehouderij



Rapport 11

Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij

Processes and factors influencing fine dust emission from livestock production

A.J.A. Aarnink
H.H. Ellen

Oktober 2006

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Stofemissies bij de verschillende diercategorieën.....	3
3	Processen en factoren van invloed op fijn stofemissie.....	4
3.1	Stof uit voer	5
3.2	Stof van het dier	7
3.3	Stof van feces en urine.....	8
3.4	Stof van strooisel.....	8
3.5	Van stof op oppervlakken naar stof in de lucht.....	9
3.6	Van stof in de lucht naar stofemissie uit de stal.....	10
4	Mogelijkheden van stofreductie.....	11
4.1	Mogelijke opties.....	11
4.2	Toelichting opties.....	13
4.2.1	Aanpak bron.....	13
4.2.2	Voorkomen stofvorming	13
4.2.3	Voorkomen stofopname in lucht	14
4.2.4	Voorkomen stofemissie	15
5	Samenvattende tabel.....	17
6	Conclusies.....	21
7	Aanbevelingen.....	22
	Literatuur.....	23

1 Inleiding

Uit verschillende publicaties is bekend dat fijn stof (PM_{10}^1) in de buitenlucht gezondheidsproblemen en vroegtijdige sterfte kan veroorzaken bij de mens (Buringh en Opperhuizen, 2002). De problemen zijn gerelateerd aan hart- en luchtwegaandoeningen (Brunekreef en Holgate, 2002), met als gevolg dat in Nederland jaarlijks enige duizenden mensen vroegtijdig overlijden als gevolg van kortdurende blootstelling aan fijn stof (Fischer, 2001). Als gevolg van langdurige blootstelling aan fijn stof overlijden mogelijk tienduizenden mensen vroegtijdig (Buringh en Opperhuizen, 2002; Mechler et al., 2002).

Voor de gezondheidseffecten zijn in de EU grenswaarden voor fijn stof vastgelegd in een Europese richtlijn, de 'eerste dochterrichtlijn luchtkwaliteit' (EU, 1999). Per 1 januari 2005 gelden de volgende grenswaarden voor alle EU-lidstaten:

- Jaargemiddeld: max. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Daggemiddeld: max. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ met 35 overschrijdingen

Uit metingen en modelberekeningen blijkt dat de grenswaarde voor de jaargemiddelde concentratie in Nederland slechts op een beperkt aantal plaatsen wordt overschreden. Echter, de grenswaarde voor de daggemiddelde concentratie werd in grote delen van Nederland overschreden (Anonymous, 2005a). Een recent rapport van het Milieu en Natuur Planbureau heeft het voorgaande bijgesteld (Anonymous, 2006). Nieuwe metingen en modelschattingen geven aan dat in 2005 de grenswaarde vooral in delen van West en Zuid Nederland werd overschreden. Met aanvullende lokale, nationale en Europese maatregelen (Anonymus, 2005) kan nu waarschijnlijk al in 2015 aan de huidige EU-normen worden voldaan; bij de eerdere berekeningen was de verwachting dat dit niet voor 2020 bereikt kon worden. Desondanks heeft Nederland wel uitstel nodig van 5 tot 10 jaar om aan de norm te voldoen. Dit uitstel wordt alleen verleend indien Nederland in jaarlijkse rapportages aantoont dat het alles in het werk stelt om aan de norm te voldoen.

Uit modelberekeningen blijkt dat zeker 45% van de fijn stofbestanddelen in Nederland door menselijk handelen wordt veroorzaakt (antropogeen stof) (Anonymous, 2005a). De overige 55% bestaat vooral uit stof afkomstig van natuurlijke oorsprong. Van het antropogene stof in Nederland is circa tweederde deel afkomstig van buitenlandse bronnen en eenderde deel van Nederlandse oorsprong. Wel is Nederland netto exporteur van fijn stof.

De totale primaire antropogene emissie van fijn stof in Nederland bedroeg in het jaar 2004 ongeveer 42 Kton. Hiervan was circa 8,5 Kton ofwel 20% afkomstig uit de landbouw (Anonymous, 2005b). Het voorgaande getal is exclusief de bijdrage van winderosie. Van de fijn stofemissie uit de landbouw is het overgrote deel afkomstig van stallen. Pluimvee- en varkensstallen zijn veruit de grootste bron van stofemissies (Chardon en Van der Hoek, 2002).

Veehouders, vooral pluimvee- en varkenshouders, worden in stallen blootgesteld aan stofconcentraties die een factor 10 tot 200 x hoger liggen dan in de buitenlucht. De laatste decennia is veel onderzoek gedaan naar de effecten van deze hoge concentraties stof op de gezondheid van de veehouder. Hieruit blijkt dat longproblemen duidelijk meer voor komen bij veehouders dan bij andere beroepsgroepen (Bongers et al., 1987). Er werd aangetoond dat inademing van stalstof aandoeningen aan de luchtwegen en aan de longen veroorzaakt (Donham et al., 1984; Dosman et al., 1997; Preller en Vogelzang, 1993; Von Essen et al., 2005). Recent onderzoek wijst erop dat aan stof gehechte endotoxinen waarschijnlijk belangrijk bijdragen aan longproblemen bij veehouders (Preller, 1995; Vogelzang, 1999; Von Essen et al., 2005).

Stof wordt ingedeeld naar grootte. In het algemeen geldt hoe kleiner het stof, hoe dieper het doordringt in de longen, hoe schadelijker het is. De volgende categorieën worden vaak gehanteerd: inhaleerbaar stof (deeltjes kleiner dan $50 - 100 \mu\text{m}$), thoracaal stof of fijn stof (deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$) en respirabel stof (deeltjes kleiner dan $4 \mu\text{m}$; voorheen werd vaak de grens van $5 \mu\text{m}$ gehanteerd). Voor bepaling van de arbeidsomstandigheden wordt meestal naar respirabel stof gekeken. Voor bepaling van de kwaliteit van de buitenlucht wordt meestal de fijn stofconcentratie gehanteerd. Daarnaast is er voor de buitenlucht een tendens om de luchtkwaliteit te relateren aan deeltjes kleiner dan $2,5 \mu\text{m}$ ($PM_{2.5}$). Deze fractie bevat fijne en ultrafijne deeltjes. Dit zijn vooral de deeltjes die ontstaan door condensatie van verbrandingsproducten of door reactie van gasvormige luchtverontreiniging.

¹ Fijn stof is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan $10 \mu\text{m}$. Dit stof wordt aangeduid als PM_{10} . De aërodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ dat dezelfde valsnelheid heeft als het betreffende deeltje.

De stoffractie groter dan PM2.5 bestaat vooral uit mechanisch gevormde deeltjes, die vooral afkomstig zijn van opwaaiend verkeersgerelateerd stof en van stofemissie uit stallen (Anonymous, 2005a).

Om te komen tot stofreductiemaatregelen vanuit de veehouderij is het van belang om goed in beeld te hebben wat de bronnen zijn van stof en wat de processen zijn van stofvorming en emissie. In 2004 is een rapport geschreven over de opties voor reductie van fijn stofemissie uit de veehouderij (Aarnink en Van der Hoek, 2004). In dit rapport is echter slechts summier ingegaan op de processen en factoren die van invloed zijn op de stofemissie. De doelstelling van dit onderzoek was om de huidige stand van kennis t.a.v. stofvorming en emissies op een rij te zetten en aan te geven waar mogelijkheden liggen voor reductie. De voor- en nadelen van de verschillende reducerende systemen en de witte vlekken in de kennis zijn overzichtelijk in beeld gebracht in een tabel.

In dit rapport zijn in hoofdstuk 2 de huidig gehanteerde emissiefactoren voor de belangrijkste diercategorieën weergegeven. In hoofdstuk 3 worden de belangrijkste stofbronnen en de processen en factoren die van invloed zijn op de stofemissie uit de stal beschreven. In hoofdstuk 4 is aangegeven waar mogelijkheden liggen voor emissiereductie en waar de witte vlekken zitten qua kennis. In hoofdstuk 5 wordt een samenvattende tabel gegeven met de meest perspectiefvolle opties voor reductie van fijn stofemissie uit stallen. In hoofdstuk 6 worden de conclusies van dit onderzoek op een rij gezet, waarna in hoofdstuk 7 de belangrijkste aanbevelingen worden gedaan voor onderzoek en ontwikkeling.

2 Stofemissies bij de verschillende diercategorieën

In tabel 1 zijn de totale ingeschatte stofemissies voor de verschillende diercategorieën weergegeven. De tabel is gebaseerd op onderzoeksresultaten van Groot Koerkamp et al. (1996), die in een EU-project stofconcentraties (inhalable dust, overeenkomend met PM50 en respirable dust, overeenkomend met PM5) in een groot aantal stallen hebben gemeten. Chardon en Van der Hoek (2002) hebben deze cijfers omgewerkt naar emissiefactoren voor PM10. De omrekening is gedaan met een constante factor voor omrekening van inhaleerbaar stofconcentratie naar fijn stofconcentratie (0,45). Echter, deze omrekeningsfactor is waarschijnlijk afhankelijk van de diersoort en/of de diercategorie. Dit betekent dat voor een aantal diercategorieën het aandeel PM10-stof groter of kleiner zal zijn dan 45% van het totaal stof. De emissiefactoren in tabel 1 moeten dan ook als indicatief worden gezien.

Tabel 1 Concentraties en emissiefactoren voor PM10, zoals berekend door Chardon en Van der Hoek (2002)

Diercategorie	Concentratie (mg/m ³) ¹	Emissie mg/(uur/dier)	Emissiefactor g/(jaar/dierplaats)
Rundvee			
Melkkoeien			297
Grupstal	0,15	33,7	
Ligboxenstal	0,06	49,1	
Jongvee			98
Stalvleesvee	0,17	56,6	496
Zoogkoeien			224
Vleeskalveren	0,11	11,9	104
Varkens			
Vleesvarkens	1,26	34,8	305
Fokzeugen			619
Guste/dragende zeugen	0,50	26,4	
Biggen	1,53	16,8	
Pluimvee			
Legpluimvee			
Scharrelstal	3,78	7,0	61
Mestbandbatterij	0,31	0,6	5,4
Vleespluimvee	5,31	7,5	65

¹ Berekend vanuit totaal stof door te vermenigvuldigen met 0,45

Uit tabel 1 kunnen we concluderen dat

1. stofconcentraties in de stal beduidend hoger liggen bij varkens (range 0,50 – 1,53) dan bij rundvee (range 0,06 – 0,17). De emissiefactor per dier ligt echter in dezelfde range;
2. de hoogste stofconcentraties worden gevonden in strooiselstallen voor pluimvee. De concentratie in een scharrelstal voor leghennen is meer dan een factor 10 hoger dan in een stal met legbatterij. Hetzelfde verschil is terug te vinden in de emissiefactor. Opvallend is dat vleespluimvee een vergelijkbare emissiefactor heeft dan legpluimvee in een scharrelstal.

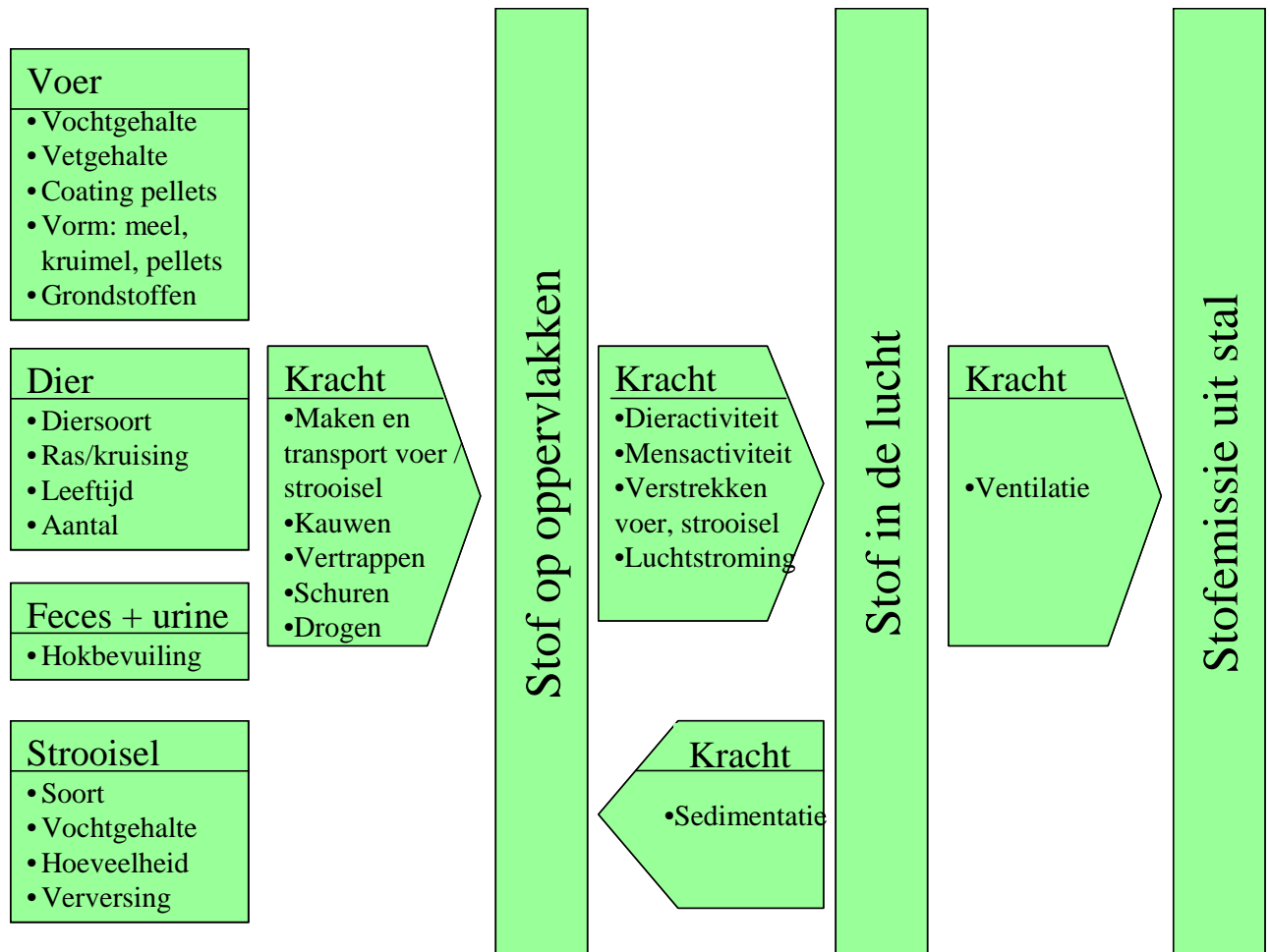
Uit de emissietabel van Chardon en Van der Hoek (2002) blijkt dat in Nederland de pluimveehouderij (kippen, kalkoenen, eenden) voor meer dan de helft bijdraagt aan de stofemissie uit de veehouderij, de varkenshouderij voor ongeveer eenderde en de rundveehouderij (inclusief geiten) voor ongeveer 10%. Van de fijn stofemissie uit de pluimveehouderij is circa 65% afkomstig uit de vleeskuikenhouderij (inclusief kalkoenen).

De emissiefactoren zoals vermeld in tabel 1 zijn schattingen, gebaseerd op metingen die gedaan zijn in de periode van september 1993 tot november 1995 (Groot Koerkamp et al., 1996). Sindsdien zijn er veel ontwikkelingen geweest in de veehouderij, met name naar milieu- en welzijnsvriendelijke huisvestingssystemen die zowel een toename als afname in de uitstoot van fijn stof tot gevolg kunnen hebben. Welzijnsvriendelijke systemen lijken een belangrijke toename te geven van de fijn stofemissie. Bij de omschakeling van het batterijsysteem naar strooiselsystemen in de pluimveehouderij wordt een toename verwacht van de stofemissie met een factor 10. Als gevolg van het batterijverbod per 2013 zijn de laatste jaren al vele pluimveehouders overgeschakeld naar strooiselsystemen. De komende jaren zal dit proces zich verder doorzetten. Sommige milieuvriendelijke huisvestingssystemen (o.a. bolle vloeren en metalen roosters in de varkenshouderij) hebben waarschijnlijk een stofreducerend effect. Emissiemetingen zijn nodig om het effect van deze ontwikkelingen te bepalen.

3 Processen en factoren van invloed op fijn stofemissie

Verschillende factoren en processen zijn van invloed op de vorming en emissie van stof in de veehouderij. In figuur 1 wordt schematisch aangegeven welke stofbronnen en hun attributen relevant zijn en welke processen en activiteiten, in de figuur aangeduid met krachten, van belang zijn bij de emissie van stof uit de stal.

Figuur 1 Stofbronnen met attributen en processen en activiteiten (krachten) die van invloed zijn op de stofvorming en -emissie uit de stal



Het belang van individuele stofbronnen kan sterk variëren tussen verschillende diersoorten en verschillende stalsystemen. Aarnink et al. (1999) vonden in een vleeskuikenstal dat het stof vooral afkomstig was van veertjes en van kristallen, waarschijnlijk afkomstig van mineralen in de urine. Voer, feces, strooisel en micro-organismen/schimmels dragen ook bij aan stof in de stal, maar in mindere mate. In een stal voor gespeende biggen bleek het stof vooral afkomstig te zijn van voer en huidschilfers en in mindere mate van feces en minerale kristallen. In een onderzoek aan verschillende huisvestingssystemen voor vleesvarkens vonden Aarnink et al. (2004b):

- In een reguliere gedeeltelijk roostervloerstal voor vleesvarkens was circa 1/3 deel van het stof afkomstig van voer, 1/3 deel van feces en 1/3 deel van huidschilfers.
- In een reguliere gedeeltelijk roostervloerstal voor vleesvarkens met een beetje stro kwam het meeste stof van huidschilfers (ongeveer 40%), terwijl de rest van het stof afkomstig was van voer, feces en strooisel, die ieder een vergelijkbare bijdrage hadden.
- In het scharrelstelsel kwam het meeste stof van stro en huidschilfers (voor beiden circa 35%), in iets mindere mate van feces (circa 25%) en in geringe mate van voer (circa 5%).

In de volgende paragrafen beschrijven we de verschillende stofbronnen één voor één en geven we aan wat de invloed is van hun attributen en welke processen en activiteiten (krachten) uiteindelijk leiden tot stofvorming en stofemissie vanaf deze bron.

3.1 Stof uit voer

In figuur 1 is aangegeven dat de volgende attributen van belang zijn bij stofvorming uit voer:

- Vochtgehalte
- Vetgehalte
- Vorm: meel, kruimel, pellets
- Grondstoffen
- Maken en transport van voer

Voor de invloed van voer op de stofproductie is het meeste onderzoek gedaan bij varkens en in mindere mate bij pluimvee. Bij rundvee is geen onderzoek bekend naar het effect van voeding op de stofemissie (Jongbloed et al., 2004). Voornoemde auteurs geven aan dat het toevoegen van vet of olie aan het voer het grootste effect sorteert, maar dat deze maatregel voor rundvee slechts beperkt perspectief heeft.

Invloed vochtgehalte voer

De invloed van het vochtgehalte is vooral relevant voor de varkenshouderij. Er zijn veel bedrijven, met name de grotere bedrijven, die brijvoer verstrekken. Deze bedrijven maken veelal een brijvoer gebaseerd op bijproducten. De resultaten met brijvoer zijn niet altijd eenduidig (Pearson en Sharples, 1995), maar in het algemeen wordt bij brijvoer op basis van mengvoer een lagere stofproductie gevonden dan bij droog gepelleteerd voer (Baekbo, 1989b; Zeitler et al., 1987). Praktijkervaringen lijken erop te wijzen dat brijvoer op basis van bijproducten, afkomstig uit de humane voedingsindustrie, meer stof geeft dan droogvoer of brijvoer op basis van mengvoer. Sinds de tachtiger jaren zijn er ook duidelijke ontwikkelingen geweest in de voerverstrekking. Er werden droogvoerbakken en brijbakken ontwikkeld die vermorsing van het voer sterk tegengaan. Nannen et al. (2005) geven aan dat door deze ontwikkelingen bij droogvoer een vrijwel even lage stofproductie kan worden bereikt als bij brijvoer. Ook Guingand (1999) vond bij vleesvarkens geen lagere stofproductie bij brijvoer dan bij pellets. Meer onderzoek is nodig om de huidige situatie in Nederland in kaart te brengen voor het effect van droogvoer / brijvoer op de stofproductie.

Invloed vetgehalte voer en coating pellets

Er is vrij veel onderzoek gedaan naar de invloed van toevoeging van extra vet (dierlijk of plantaardig) aan varkensvoer op de stofemissie. In tabel 2 worden de resultaten van deze onderzoeken in het kort samengevat. Het is moeilijk om een eenduidige lijn te vinden in de resultaten van tabel 2. Uit de resultaten van Gast en Bundy (1986) blijkt dat door toevoeging van olie de stofproductie uit het voer vrijwel tot nul kan worden gereduceerd. Uit de andere onderzoeken blijkt dat de hoeveelheid toegevoegd vet / olie ook een rol speelt. De verschillen die worden gevonden in reductie van stalstof hebben waarschijnlijk vooral te maken met het aandeel van het voerstof aan het totale stof in de stal. Dit aandeel is sterk afhankelijk van de karakteristieken van het voer zelf en van de bijdrage van andere stofbronnen in de stal. Aarnink en Van der Hoek (2004) concluderen dat bij toevoeging van 1 of 2% zachte plantaardige oliën de stofemissie in de stal bij varkens onder Nederlandse omstandigheden met respectievelijk 15 en 30% kan worden gereduceerd. Zoals aan het begin van dit hoofdstuk aangegeven was bij een onderzoek in een Nederlandse vleesvarkensstal ongeveer 1/3 deel van het stof afkomstig van het voer. Een reductie van 30% van het stalstof door toevoeging van vet of olie aan het voer betekent dus dat er vrijwel geen stof meer afkomt van het voer. Toevoeging van 1 of 2% dierlijk vet of harde plantaardige vetten geven een geschatte reductie van respectievelijk 10 en 20%.

Het aanbrengen van een coating op pellets is ook effectief om stof te reduceren. Li et al. (1993) vonden dat het coaten van 3 en 7 mm pellets met 1,4 tot 3,5% vet de respirabele stoffractie bepaald in een lab met meer dan 80% reduceerde. Coaten met 2% vet en 2% lignine gaf 33% lagere respirabele stofproductie dan het coaten met alleen 2% vet. Meel gaf 15 keer zoveel stof als gecoate pellets.

Tabel 2 Effect van olie of vet toevoeging aan het voer op de stofproductie

Referentie	Olie / vet	Diercategorie	Welk stof gemeten?	Reductie
Gast en Bundy (1986)	1% minerale olie	Varkens algemeen	Totaal voerstof	98,5%
	2% minerale olie			99,5%
	1% soja olie			91%
Gore et al. (1986)	5% soja olie	Gespeende biggen	Gesedimenteerd stalstof	47%
Chiba et al. (1985a)	2,5% dierlijk vet	Vleesvarkens	Totaal aantal stofdeeltjes in stal	34%
Chiba et al. (1987)	7,5% dierlijk vet	Vleesvarkens	Totaal aantal stofdeeltjes in stal	55%
Takai et al. (1996)	4% dierlijk vet	Gespeende biggen	Totaal stalstof	37%
			Respirabel stalstof	57%
Takai et al. (1996)	4% dierlijk vet	Vleesvarkens	Totaal stalstof	42%
			Respirabel stalstof	39%
			Totaal voerstof	10,3%
Heber en Martin (1988)	0,5% dierlijk vet	Vleesvarkens		17,7%
	0,5% plantaardige olie			17,7%
	1% dierlijk vet			29,6%
	1% plantaardige olie			
Chiba et al. (1985b)	2,5% dierlijk vet	Vleesvarkens	Totaal stalstof	20%
	5% dierlijk vet			50%
Thaler en Pohl (1999)	3% maïsolie	Vleesvarkens	Totaal stalstof	40%

Hoewel het onderzoek naar olie- of vettoevoeging aan het voer en het coaten van pellets vooral bij voeders voor groeiende varkens is gedaan, mogen we voor zeugenvoeders een vergelijkbaar effect verwachten. Er bestaat echter een tendens om het energiegehalte van voeders voor gaste en dragende zeugen te verlagen (welzijnsvoer). In die zin is het minder logisch om extra vet aan deze voeders toe te voegen. In mengvoer voor vleeskuikens is het vetgehalte al hoog (9 à 10%, waarvan 6 à 8% extra vet is toegevoegd). Uit onderzoek van Aarnink et al. (1999) blijkt dat het voer bij vleeskuikens ook slechts een geringe bijdrage levert aan het totaal stof. Bij leghennen is het aandeel voerstof waarschijnlijk beduidend groter, met name in de stroloze systemen. Leghennen krijgen vooral meel gevoerd. Aangezien meel veel meer stof geeft dan brok en het vetgehalte in leghennenvoer relatief laag is (2 à 3%), zou de toevoeging van vet of olie aan dit voer tot lagere stofemissies kunnen leiden. Volgens voerexperts echter, is het uit financieel en voertechnisch oogpunt niet te verwachten dat hogere gehalten aan vet of olie in het voer worden toegevoegd (Aarnink en Van der Hoek, 2004).

Invloed vorm van het voer

Vanuit de varkenshouderij is bekend dat meel meer stof geeft dan pellets. Zeitler et al. (1987) vonden een reductie van 31% in stofproductie bij het voeren van pellets in plaats van meel. Li et al. (1992) vonden dat meel 40% meer respirabel stof gaf dan pellets van 3 mm. 17 mm pellets gaf 17% minder respirabel stof dan 3 mm pellets. Ook Guingand (1999) vond bij gebruik van meel een duidelijk hogere stofproductie in kraam- en biggenafdelingen. In de pluimveehouderij wordt veel meel gevoerd. Uit onderzoek van Aarnink et al. (1999) bleek dat het aandeel voerstof bij vleeskuikens slechts gering was. In strooiselloze systemen zal dit aandeel groter zijn, maar de bijdrage van strooiselloze pluimveesystemen aan de totale stofemissie is relatief gering. De geringere bijdrage van het voer aan stof in een stal bij pluimvee ten opzichte van varkensstal heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat pluimveevoeders minder worden gemalen en geplet dan varkensvoeders (Ellen en Drost, 1997).

Invloed grondstoffen in het voer

Sommige grondstoffen in het mengvoer geven hogere stofproducties dan anderen. Uit onderzoek van Thaler et al. (2002) bleek dat gerst meer stof genereerde dan maïs. Heber en Martin (1988) vonden dat voer dat voor 75% bestond uit maïs respectievelijk 12,3 en 5,8% minder stof produceerde dan voer dat voor 75% bestond uit sorghum of tarwe.

Processen leidend tot stofvorming van het voer

Bij voer is het in de eerste plaats van belang wat het stofgehalte is van het voer dat afgeleverd wordt op het bedrijf. Thaler et al. (2002) vonden geen verschil in stofproductie van mengvoer waarvan de grondstoffen waren geplet met een hamermolen of met een walsenpers. Bij meel is het van belang hoe sterk de grondstoffen zijn gemalen en geplet. Grondstoffen in varkensvoeders worden in sterkere mate geplet dan pluimveevoeders. In de varkenshouderij wordt echter vrijwel geen meel meer verstrekt in Nederland. Bij pellets is de kwaliteit van pelletering van belang. Dit bepaalt hoe gemakkelijk de pellets weer uit elkaar vallen tijdens transport en in de stal. Het aantal malen overladen en overstorten van het voer dragen eveneens bij aan stofvorming, nog voordat het voer op het veebedrijf is gearriveerd. Het voersysteem kan ook belangrijk bijdragen aan stofvorming. Li et al. (1993) vonden bijvoorbeeld dat voergift met behulp van een vijzel 150% meer stof gaf dan voeren met de hand (kruiwagen). De uitstort van het voer in de voerbak, trog of droogvoerbak, kan veel stof in de lucht brengen. De

hoeveelheid hangt vooral samen met de uitstorthoogte en de reeds aanwezige hoeveelheid stof in het voer. Roelofs en Binnendijk (2000) vonden echter geen effect van het afdekken van voerbakken op de gemiddelde stofproductie en op het verloop van de stofconcentratie gedurende de dag. Bundy en Hazen (1975) vonden bij tweemaal per dag voeren in een trog 40% lagere stofconcentraties, en daarmee van de stofproductie, dan bij onbeperkt voeren via een droogvoerbak. Een geringere dieractiviteit bij tweemaal per dag voeren heeft hier waarschijnlijk belangrjik aan bijgedragen.

De hoeveelheid vermorst voer is waarschijnlijk een belangrijke parameter die bijdraagt aan stofproductie uit voer. Voyer dat op de vloer ligt wordt vertrapt tot kleinere deeltjes en kan vervolgens opgenomen worden in de lucht. Door aanpassingen van voersystemen is al veel gedaan om voervermorsing belangrijk te beperken. Bij brijvoer leidt vermorsing tot indroging van het voer op de vloer en vervolgens tot stofvorming. Stof dat direct bij het uitstorten van het voer in de lucht en op de vloer terechtkomt en vermorst voer zijn waarschijnlijk de belangrijkste bronnen van stof uit voer in de stal.

3.2 Stof van het dier

Diersoort

Het dier is een belangrijke bron van stof in stallen. Huidschilfers, (dons)veertjes en haren kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan stof. Met behulp van microscopische en chemische analyses van het stof toonden Aarnink et al. (1999) en Aarnink et al. (2004b) aan dat bij biggen en vleesvarkens een belangrijk deel van het stalstof bestond uit huidschilfers; bij vleeskuikens bestond een belangrijk deel van het stof uit donsveertjes. Hierbij tekenen wij aan dat deze analyses zijn gedaan in totaal stof. Donham et al. (1986) geven aan dat stof afkomstig van voer en huidschilfers in varkensstallen in het algemeen de grotere deeltjes vormen, terwijl stof afkomstig van feces veelal de kleinere deeltjes vormen. Heber en Willard (1988) vonden ook een bijdrage van huidschilfers aan stof in vleesvarkensstallen. De bijdrage hiervan was echter een stuk geringer dan de bijdrage van stof afkomstig van voer.

Ras / kruising

Op dit moment is nog weinig bekend over het effect van het ras of kruising van een landbouwhuisdier op de stofproductie in stallen. Ellen en Drost (1997) geven aan dat er verschillen zijn in activiteit van verschillende merken leghennen en vleeskuikens. Actievere dieren zullen meer stof in de lucht brengen. Daarnaast geven Ellen en Drost (1997) aan dat er een verschil kan zijn in de brosheid van de veren van verschillende merken leghennen. Dit kan tot een verschil in stofproductie in met name de ruiperodes leiden.

Leeftijd

Bij het zwaarder worden van de dieren binnen een diersoort, neemt in het algemeen de stofproductie toe. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de massa van de potentiële stofbronnen ook toeneemt, b.v. het huidoppervlak van het dier, de hoeveelheid voer, de hoeveelheid mest. Gustafsson (1989) vond een vrijwel lineaire relatie tussen het gewicht van vleesvarkens en de stofproductie. Gustafsson (1997) vond tevens een sterke toename van de stofproductie tijdens de groeiperiode van vleeskuikens.

Aantal

Het aantal dieren heeft een belangrijke invloed op de stofproductie en de -emissie. Stof komt namelijk van de dieren zelf, maar misschien nog belangrijker: stof wordt door de dieren ook gemaakt uit voer, feces en strooisel. Daarnaast komt het stof vooral door activiteit van de dieren in de lucht. Bij een beperkt aantal waarnemingen vond Gustafsson (1989) een vrijwel lineair verband tussen het aantal vleesvarkens en de stofproductie.

Processen leidend tot stofvorming vanaf het dier

Het ontstaan van huidschilfers, het verharen, of het verliezen van (dons)veertjes zijn natuurlijke processen. Deze deeltjes zijn echter nog geen stof. Hiervoor moeten deze deeltjes kleiner worden gemaakt. Dit kan rechtstreeks vanaf de huid door schuren, maar ook indirect doordat het eerst op de grond valt, waarna de dieren het vertrappen of tot kleinere deeltjes wordt geschuurd door liggende dieren.

3.3 Stof van feces en urine

Hokbevuiling

Opgedroogde feces en urine kunnen een belangrijke bron zijn van stof in stallen. Enige mate van bevuiling van roostervloeren en strooisel in varkens- en pluimveestallen is onvermijdelijk. Met name in varkensstallen kunnen grote verschillen optreden in bevuiling van de dichte vloer. Banhazi en Cargill (1999) vonden een duidelijke toename van de hoeveelheid totaal en respirabel stof wanneer de bevuiling in varkenshokken toenam. Tevens vonden ze dan ook een duidelijke toename van de concentratie bacteriën in de stallucht (Banhazi et al., 2004).

Aarnink et al. (2004b) vonden in verschillende vleesvarkensstallen een bijdrage van feces aan totaal stof van ongeveer 20-30%. In een onderzoek bij vleeskuikens vonden ze een belangrijke bijdrage van kristallijn stof aan het totaal stof. Dit stof was waarschijnlijk afkomstig van minerale kristallen gevormd uit urinecomponenten (urinezuur). Ook werd dit kristallijn stof aangetroffen in totaal stof in biggenstallen. Uit onderzoek van Donham et al. (1986) blijkt dat feces een belangrijke bijdrage leveren aan de kleinere deeltjes van het stalstof. Daarnaast zijn feces een belangrijke bron van bacteriën en endotoxinen (Zucker et al., 2005). Van endotoxinen is bekend dat die de longgezondheid van medewerkers in de stal kunnen schaden (Preller et al., 1995; Vogelzang, 1999).

Processen leidend tot stofvorming van feces en urine

Stof kan pas uit feces en urine ontstaan als het is ingedroogd. Feces en urine kunnen indrogen op een rooster- of dichte vloer of in het strooisel. Het indroogproces heeft tijd nodig en stofvorming is pas relevant als het indroogproces voldoende tijd krijgt. Vooral in hoeken van varkenshokken kan mest zich ophopen, aangezien het niet door de roostervloer wordt getrapt. Deze mest droogt in en vormt zo een potentiële bron van stof. Mest en urine dat op de dichte vloer terecht komt droogt snel in, aangezien het verspreid wordt over een groot oppervlak en tevens aan de huid blijft kleven van de dieren. In strooiselsystemen gaat het indroogproces ook snel, aangezien het strooisel zorgt voor absorptie van het water. Uit een labproef bleek dat uit pure urine (in dit geval van vleesvarkens) geen stof gevormd kon worden, vanwege de sterke hygroscopische eigenschappen van ingedroogde urine. Gemengd met feces of strooisel kunnen uit urine echter wel stofdeeltjes worden gevormd. Eenmaal ingedroogd worden de deeltjes kleiner gemaakt via vertrappen en schuren.

3.4 Stof van strooisel

Uit tabel 1 blijkt dat strooiselstallen in de pluimveehouderij veel hogere stofemissies geven dan stallen zonder strooisel. In de varkenshouderij werden ook hogere stofconcentraties, en daarmee hogere stofproducties, gevonden in scharrelstallen met een laag stro op de vloer in vergelijking met stallen zonder stro of met een klein beetje strooisel (Aarnink et al., 2004b). Ook Banhazi en Cargill (1999) en Baekbo (1989a) vonden hogere stofconcentraties in varkensstallen met strooisel dan zonder strooisel (factor 2 tot 3 hoger).

Verskillende factoren bepalen de stofvorming uit strooisel:

- soort strooisel en vochtgehalte
- hoeveelheid strooisel
- verversing en manier van verstrekken

Soort strooisel en vochtgehalte

Uit een onderzoek met verschillende soorten strooisel (Aarnink e.a., niet gepubliceerde resultaten) blijkt dat vlasstro en houtkrullen beduidend minder stof produceren dan tarwe-, gerste-, rogge- en hennepstro. Dit onderzoek is uitgevoerd onder labomstandigheden en resultaten moeten nog getest worden onder praktijkomstandigheden. Gustafsson en Von Wachenfelt (2004) vonden in een leghennenstal duidelijke lagere stofproducties bij gebruik van houtkrullen of kleikorrels dan bij gebruik van gehakseld stro, heide of gravel.

Hinz et al. (1999) vonden dat de meest effectieve manier om stofproductie in strossallen voor melkvee te beperken was door stro voor het uitstrooien te bevochtigen. In hun onderzoek mengden ze 285 kg stro in een voermenger met 54 liter water. Op deze manier werd stof tijdens het stro verstrekken met 92% en endotoxinen met 96% gereduceerd. Er werd geen negatief effect van het natmaken van het stro op de kwaliteit van het stro en op de gezondheid van de dieren geconstateerd. Voor de varkens- en pluimveehouderij is dit waarschijnlijk een minder goede optie om stofemissies te reduceren, omdat het water snel verdampt en het stof alsnog via dieractiviteit in de lucht komt.

Hoeveelheid strooisel

Strooisel hoeft niet in alle gevallen een hogere stofproductie te geven. Roelofs et al. (1993) vonden concentraties in diepstrooiselstallen van 1,1 mg/m³ voor totaal stof gedurende de dag en 0,8 mg/m³ gedurende de nacht. De 24-uurs gemiddelde respirabel stof concentratie was 0,2 mg/m³. Deze concentraties liggen circa 50% lager dan de typische concentraties in varkensstallen in Nederland (CIGR-working group No 13 "Climatization Environmental Control in Animal Housing", 1994). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door dat in een dik pakket strooisel / stro het gesedimenteerde stof naar onderen zakt in het strooiselpakket. In de onderste lagen is het strooiselpakket vaak vochtig en deze lagen binden vervolgens dit stof, waardoor het door activiteit van de dieren niet opnieuw in de lucht terechtkomt. Het effect van een dik pakket strooisel / stro in de pluimveehouderij op de stofconcentratie en -emissie is niet onderzocht, maar zou perspectief kunnen bieden.

Verversing en manier van verstrekken

De mate van verversing van stro(oisel) is een belangrijke factor die de stofproductie uit strooisel beïnvloedt. Uit onderzoek van Aarnink et al. (2004b) blijkt dat in scharrelstallen voor vleesvarkens de stofproductie in het begin van de mestperiode laag was, lager dan in een reguliere roostervloerstal; naar het einde van de mestperiode nam de stofproductie echter steeds meer toe. De belangrijkste oorzaak hiervan was dat het stro steeds meer verstofte en het strooisel daardoor een steeds grotere bijdrage leverde aan de stofproductie in de stal. Ook in de pluimveehouderij kan regelmatig verversen van strooisel een belangrijk effect hebben op de stofproductie.

Processen leidend tot stofvorming van strooisel

Stof uit strooisel kan al in belangrijke mate worden gevormd in het proces dat leidt tot het maken van strooisel (dorsen, drogen, hakselen, zagen, schaven). Er is tegenwoordig ontstofst stro(oisel) op de markt. Hiermee voorkomt men dat al bij aanvang grote hoeveelheden stof met het strooisel in de stal terechtkomt. In de stal wordt stof uit strooisel vooral gevormd door vertrappen, schuren en kauwen.

3.5 Van stof op oppervlakken naar stof in de lucht

Wanneer een stofdeeltje gevormd is, kan het direct in de lucht opgenomen worden, of het blijft liggen op een oppervlak, b.v. de vloer of het dieroppervlak. Stof dat in de lucht opgenomen wordt, kan ook weer sedimenteren en later opnieuw in de lucht komen. Stof in de lucht dat niet eerder in de lucht opgenomen is geweest, noemen we primair stof. Stof dat al in de lucht opgenomen was, maar is gesedimenteerd en later opnieuw in de lucht is gebracht, noemen we secundair stof. Het voorgaande moet niet verward worden met de definities van primair en secundair stof in de buitenlucht. Daar wordt primair stof namelijk gedefinieerd als stof dat als stof van een bepaalde bron, b.v. uit een stal, emitteert. Terwijl secundair stof wordt gedefinieerd als stof dat niet als stof vanaf de bron emitteert, maar waarbij het stof pas in de omgevingslucht wordt gevormd als gevolg van chemische reacties.

Primair en secundair stof dat aan oppervlakken kleeft in de stal wordt voornamelijk als gevolg van dieractiviteit in de lucht gebracht (Pedersen en Takai, 1999). De luchtstroom zorgt er vervolgens voor dat de deeltjes ook in de lucht blijven en niet direct weer sedimenteren. De luchtsnelheid in de stal is te laag om deeltjes die vastgekleefd zitten aan oppervlakken alleen als gevolg van deze kracht in de lucht te brengen (Hinds, 1999). Dit geldt met name voor de kleinere deeltjes (Lengweiler et al., 1999). Dieractiviteit, mensactiviteit en het verstrekken van voer en strooisel zijn processen die dit wel kunnen veroorzaken. De luchtstroming wordt van belang op het moment dat het deeltje is losgemaakt van het oppervlak. Het deeltje wordt met de luchtstroom meegevoerd. Afhankelijk van de luchtsnelheid en de aërodynamische diameter² van het deeltje zal het deeltje meer of minder snel weer sedimenteren. Deeltjes met aërodynamische diameters van 2,5, 10 en 100 µm hebben sedimentatiesnelheden in stilstaande lucht van respectievelijk 0,2, 3,0 en 250 mm/s (Hinds, 1999). Dit betekent dat kleine deeltjes gemakkelijk met de luchtstroom worden meegevoerd, maar dat de zwaardere deeltjes bij een geringe luchtstroom zullen sedimenteren. In varkensstallen vond (Gustafsson, 1999) een gemiddelde sedimentatiesnelheid van totaal stof van ca. 17 mm/s.

² De aërodynamische 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.

3.6 Van stof in de lucht naar stofemissie uit de stal

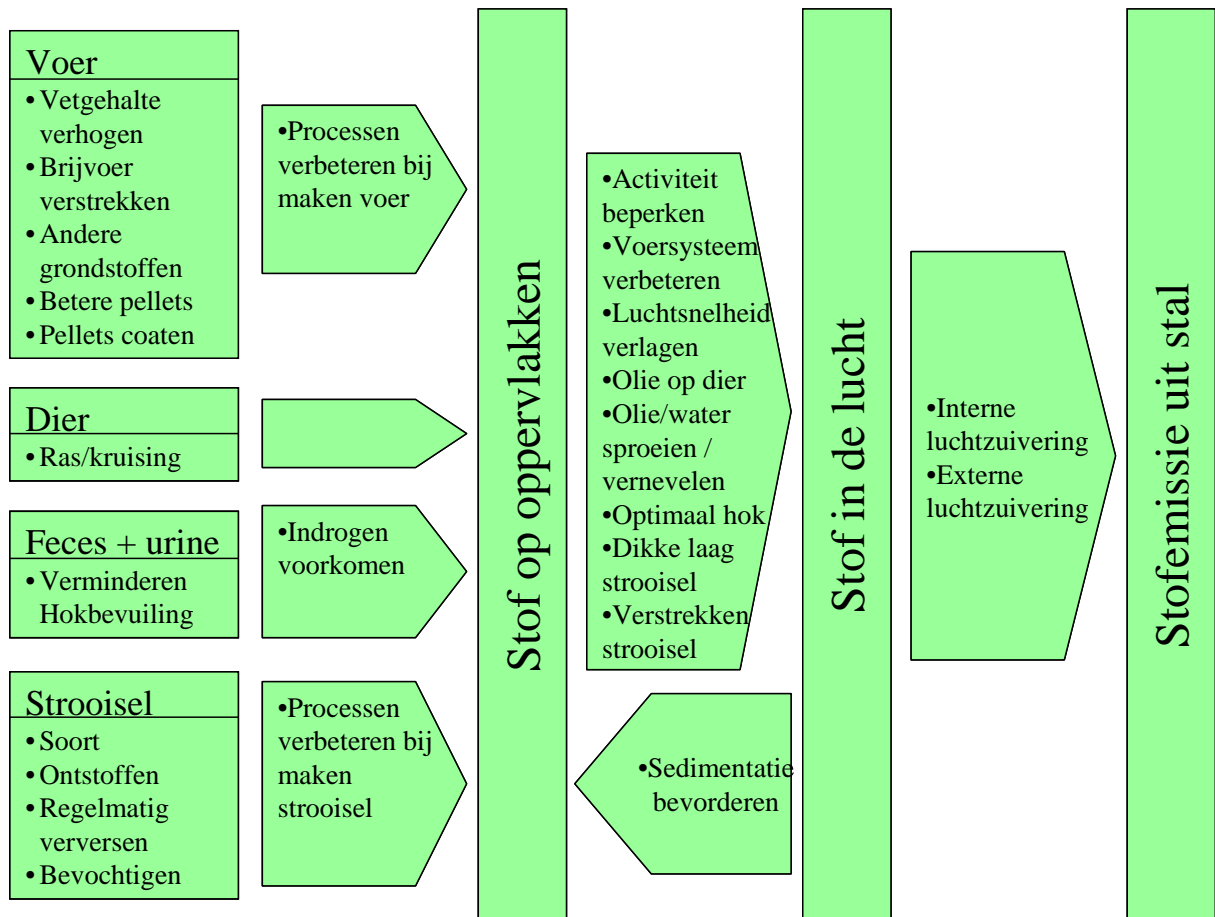
Volgens Smith en Lee (2003) kunnen kleine deeltjes (< PM₂₀) langdurig in de lucht blijven en worden al bij lage luchtsnelheden meegevoerd in de luchtstroom. Zware deeltjes (> PM₂₀) zullen voor een deel sedimenteren. Hoe groot dat deel is, hangt vooral samen met de luchtsnelheid; in de stal hangt deze vooral samen met het ventilatiedebiet. Gustafsson (1999) vond in een vleesvarkensstal dat bij een ventilatiedebiet onder de 100 m³/uur meer dan 60% van het geproduceerde totaal stof weer sedimenteerde. Hieruit blijkt dat sedimentatie een belangrijke factor is bij de verwijdering van stof, zelfs belangrijker dan ventilatie. Dit geldt vooral voor de zwaardere deeltjes. Lichte deeltjes zijn weliswaar moeilijk in de lucht te brengen wanneer ze aan oppervlakken 'geplakt' zitten, maar eenmaal in de lucht worden ze gemakkelijk met de luchtstroom meegevoerd. Gustafsson (Gustafsson, 1999; 1997) vond dat een toename van het ventilatiedebiet niet tot een proportionele reductie van de stofconcentratie leidde. Dit lijkt vooral veroorzaakt te worden door een lagere sedimentatiesnelheid als gevolg van hogere luchtsnelheden in de stal bij een hoger ventilatiedebiet.

4 Mogelijkheden van stofreductie

4.1 Mogelijke opties

In figuur 2 wordt schematisch weergegeven waar mogelijkheden liggen voor reductie van de stofemissie uit stallen. Onder interne luchtzuivering wordt verstaan het zuiveren van recirculatie lucht. Externe zuivering is het zuiveren van de uitgaande stallucht.

Figuur 2 Mogelijkheden voor reductie stofemissie uit stallen



In tabel 3 zijn de verschillende opties voor reductie van stofemissie uit stallen weergegeven. Aan de variabelen stofreductie, kosten, technisch onderhoud, neveneffecten en overall perspectief zijn scores toegekend van zeer negatief (-) (hoge kosten, veel technisch onderhoud, negatieve neveneffecten) tot zeer positief (+++) (lage kosten, weinig technisch onderhoud, positieve neveneffecten). Daarnaast is aangegeven of extra onderzoek nodig is voordat het als een erkend stofemissiearm systeem geïmplementeerd kan worden in de praktijk.

Tabel 3 Opties voor reductie van stofemissie uit stallen, met scores voor reductie, kosten, technisch onderhoud, neveneffecten en overall perspectief

Optie	Diercategor ^{a)}	Stofreductie ^{b)}	Kosten ^{b)}	Technisch onderhoud ^{b)}	Neveneffecten ^{b, c)}	Perspectief ^{b, d)}	Onderzoek nodig? ^{e)}
1. Aanpak bron							
• Voer							
○ Vetgehalte verhogen	V	+	-	+/-	+	+/-	+
○ Brijvoer verstrekken	V	+?	+/-	+/-	+	+	+/-
○ Andere grondstoffen	A	+	-	+/-	+	+/-	++
○ Betere pellets	V	+	-	+/-	+	+	+
○ Pellets coaten	V	+	-	+/-	+	+	+
• Dier							
○ Ras / kruising	P	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
• Feces + urine							
○ Hokbevuiling verminderen	V	+	+/-	+/-	+++	++	+/-
• Strooisel							
○ Soort	A	+	-	+/-	+/-	+	+
○ Ontstoffen	A	+	-	+/-	+	+	+/-
○ Verversen	A	+	-	+/-	+	+	+/-
○ Bevochtigen	R	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+
2. Voorkomen stofvorming							
• Processen verbeteren bij maken en transport voer	A	+	+/-	+/-	+	+	++
• Indrogen mest voorkomen	A	+	+/-	+/-	+	+	+
• Processen verbeteren bij maken en transport strooisel	A	+	+/-	+/-	+	+	+
3. Voorkomen stofopname in lucht							
• Activiteit beperken	P, V	+	+/-	+/-	+	+	+/-
• Voersysteem verbeteren	V	+	+/-	+/-	+	+	+/-
• Luchtsnelheid verlagen	P, V	+	+/-	+/-	-	-	-
• Olie op dier	V	+++?	-	+/-	+	++	++
• Olie/water sproeien / vernevelen	P, V	+++?	-	-	+	++	+
• Dikke laag strooisel	A	++	+/-	+	+++	++	+
• Optimaal hok	V	++	-	+	++	++	+/-
4. Voorkomen stofemissie							
• Interne luchtzuivering							
○ Wasser		++	-	-	-	-	+
○ Filter		++	-	-	+/-	+	+/-
○ Elektrostatisch filter		+?	-	-	+/-	+?	++
• Externe luchtzuivering							
○ Wasser	P, V	+++	-	-	++	++	+
○ Biofilter	P, V	++	-	-	++	+	+
○ Filter	P, V	+++	-	-	+/-	+	+
○ Elektrostatisch filter	P, V	+++?	-	-	+/-	+?	++
○ Watergordijn / nevelgordijn	P, V	+	-	+/-	+	+	+
○ Droogtunnel	P	+++?	-	+/-	+	++	+

a) Diercategorieën waarbij deze maatregel effectief is. V = varkens; P = pluimvee; R = rundvee; A = alle.

b) De schaal loopt van - (zeer negatief) tot +++ (zeer positief) zie opmerking op vorige blz. Een vraagteken geeft aan dat het effect nog moeilijk is aan te geven.

c) Neveneffecten hebben betrekking op arbeidsomstandigheden en diergezondheid (minder stof in de stal), energieverbruik, ammoniak- en geuremissie

d) De kolom Perspectief geeft een overall beoordeling van het systeem weer, waarin de effecten op stofreductie, kosten, technisch onderhoud en neveneffecten zijn verwerkt

e) Schaal: - (geen onderzoek); +/- (alleen effectmeting); + (enig ontwikkelingsonderzoek en effectmeting); ++ (ontwikkelingsonderzoek en effectmeting)

4.2 Toelichting opties

De opties onder de eerste drie categorieën: 1) aanpak bron; 2) voorkomen stofvorming; 3) voorkomen stofopname in de lucht, en de optie interne luchtzuivering onder optie categorie 4 geven naast een lagere stofemissie tevens een lagere stofconcentratie in de stal. Uit oogpunt van arbeidsomstandigheden en diergezondheid bieden deze maatregelen voordelen. Het voordeel van externe luchtzuiveringstechnieken genoemd onder optie categorie 4 is dat ze in het algemeen zeer effectief zijn in het reduceren van emissies. Naast stof geven ze vaak ook een reductie van de geur- en ammoniakemissie. In de volgende paragrafen wordt in het kort een toelichting gegeven op tabel 3.

4.2.1 Aanpak bron

De bronaanpak wordt gekenmerkt door 'alle kleine beetjes helpen'. Aan het voer is waarschijnlijk nog veel te verbeteren, vooral in de varkenshouderij, om de stofproductie te beperken. Het toevoegen van 1 of 2% vet aan het voer geeft een belangrijke reductie van de stofproductie uit het voer; de jaarkosten zijn echter bij de huidige grondstofprijzen hoog (Aarnink en Van der Hoek, 2004). Het effect van verstrekken van brijvoer in plaats van droogvoer in de varkenshouderij op de stofproductie is discutabel. In het verleden werd bij brijvoer in het algemeen een lagere stofproductie gevonden dan bij droogvoer. Systemen zijn echter veranderd in de loop der jaren en bij het verstrekken van brijvoer worden vaak andere grondstoffen gebruikt dan bij gebruik van droogvoer. Meer metingen zijn nodig om het effect van voersysteem op de stofproductie te kunnen beoordelen. Mengvoerfabrikanten kunnen waarschijnlijk ook een bijdrage leveren om de stofproductie uit het voer te beperken. Het maken van betere pellets of het coaten van pellets met b.v. vet of melasse zorgen dat deze minder snel uit elkaar vallen.

Zoals in paragraaf 3.2 al stond, is over het effect van ras / kruising op de stofemissie weinig bekend. Waarschijnlijk bestaan er bij de huidige rassen, met name in de pluimveehouderij, al verschillen in activiteit van de dieren. Deze verschillen moeten een keer worden vastgesteld. Het specifiek selecteren van dieren op minder activiteit of minder brosse veren of op een huid die minder schilfers geeft, lijkt voor de korte of middellange termijn geen oplossing.

Het verminderen van hokbevuiling is alleen in de varkenshouderij van belang. Varkens brengen namelijk, in tegenstelling tot pluimvee en rundvee, een scheiding aan tussen lig- en mestruimte. Het mestgedrag van varkens kan men belangrijk sturen door de inrichting van het hok (Aarnink, 1997). De laatste 10-15 jaar is veel onderzoek gedaan om hokbevuiling in de varkenshouderij te voorkomen. De stofemissiefactoren zoals ingeschat door Chardon en Van der Hoek (2002) zijn gebaseerd op metingen die in de periode van 1993 – 1995 hebben plaatsgevonden (Groot Koerkamp et al., 1996). Sindsdien zijn er veel ontwikkelingen geweest in hokontwerp, vooral gericht op het verminderen van hokbevuiling en het verkleinen van het emitterend mestoppervlak. Hokbevuiling is niet alleen van belang in relatie tot stofemissie, maar ook in relatie tot geur- en ammoniakemissie. Daarnaast werkt een geringe hokbevuiling positief op de gezondheid van de dieren en vergt het minder tijd voor het schoonmaken van de hokken. De neveneffecten van een verminderde hokbevuiling zijn daarom groot. Het effect van de ontwikkelingen in hokontwerp de laatste 10 – 15 jaar op de stofemissie moet nader worden bepaald.

Zoals in paragraaf 3.4 is aangegeven, kan het strooiselmateriaal een belangrijk effect hebben op de stofproductie. Houtkrullen en zand geven bijvoorbeeld minder stof dan stro. Gesneden stro geeft minder stof dan gehakseld stro. Daarnaast bestaat nog de mogelijkheid dat het stro vooraf ontstoft wordt. Men moet stro(oisel) regelmatig verversen of aanvullen, anders gaat het verstoffen. In Duitsland zijn goede ervaringen opgedaan met het bevochtigen van stro voor rundvee. Bij varkens en pluimvee is dit effect waarschijnlijk maar van korte duur, aangezien het water snel verdampt en het stof als gevolg van dieractiviteit alsnog in de lucht komt.

4.2.2 Voorkomen stofvorming

In de eerste plaats moet men voorkomen dat al grote hoeveelheden stof aanwezig zijn in het aangeleverde voer of in het aangeleverd stro(oisel). In de vorige paragraaf zijn de belangrijkste mogelijkheden al besproken. Bij het voer zijn dit: vetgehalte verhogen, juiste keuze van grondstoffen, betere pellets en pellets coaten. Bij het strooisel zijn dit: soort strooisel en het ontstoffen van strooisel. Daarnaast moet bij transport en overslag zoveel mogelijk

worden voorkomen dat extra stof wordt gevormd. Meer onderzoek is nodig met name ten aanzien van de processen in de mengvoerindustrie, gericht op het reduceren van stofproductie uit voer.

Het voorkomen van indrogen van de mest is voor alle diercategorieën van belang. In de varkenshouderij kan men het indrogen van mest voorkomen door een goede afvoer van de mest naar de mestkelder. Men moet voorkomen dat mest zich ophoopt in hoeken van het hok. Een goede mestdoorlaat van de roosters is hierbij van belang. Dit kan op gespannen voet staan met de eisen die gesteld worden vanuit welzijnsoverwegingen (b.v. spleetbreedte roosters en gebruik van een mestspleet). In de pluimveehouderij zijn en worden systemen ontwikkeld die de door de dieren geproduceerde mest zo snel mogelijk drogen om de ammoniakemissie te reduceren. Deze droging kan voor extra stofproductie zorgdragen. Dit is te voorkomen door de mest minder in de stal, maar meer buiten de stal te drogen. Hiermee kan een hoger drogestofgehalte van de mest worden gerealiseerd, met in totaal gezien (stal + nadroging) een gelijke ammoniakemissie (Ellen en Drost, 1997). Uit onderzoek van Uenk et al. (1994) bleek dat de emissie van totaal stof in een batterijstal met mestbanden bij gebruik van een droogtunnel ongeveer 70% lager was dan zonder gebruik van een tunnel. Het effect van een droogtunnel op de stofemissie zal waarschijnlijk sterk samenhangen met de precieze uitvoering van de droogtunnel. Verder onderzoek hiernaar is gewenst.

Bij gebruik van strooisel is het vochtgehalte van de mix van strooisel en mest erg belangrijk in relatie tot stofvorming. Uit oogpunt van gezondheid en ammoniakemissie mag het strooisel niet te vochtig zijn en uit oogpunt van stofvorming mag het strooisel niet te droog zijn. Onderzoek moet uitwijzen wat het optimale vochtgehalte van strooisel is om aan beide eisen tegemoet te komen.

4.2.3 Voorkomen stofopname in lucht

Zoals in paragraaf 3.5 is aangegeven, is de kracht als gevolg van luchtstroming in de stal in het algemeen, en vooral voor de kleine deeltjes, onvoldoende om het deeltje in de lucht te brengen. Dieractiviteit is de belangrijkste kracht die hier wel voor kan zorgen. Dieractiviteit kan worden beperkt door niet meer dan noodzakelijk in de stal te komen. In de pluimveehouderij kan dieractiviteit worden beïnvloed via het lichtschema. Van belang hierbij is de duur van licht en donkerperiodes en de lichtintensiteit. In de varkenshouderij kan de voermethode de dieractiviteit beïnvloeden. Bij onbeperkte voeding werd een hogere stofproductie gevonden dan bij beperkte voeding op twee vaste tijdstippen op een dag. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een verschil in activiteit van de dieren tussen beide voersystemen. Tussen rassen / kruisingen van dieren kunnen ook verschillen in activiteit zitten.

Men moet voorkomen dat tijdens het voeren grote hoeveelheden stof in de lucht komen. Dit ligt enerzijds aan de hoeveelheid stof die al in het voer zit, anderzijds aan het voersysteem. Vijzels genereren meer stof dan sleepkettingen. Daarnaast is de valhoogte van belang en het al dan niet afgesloten zijn van de voerbakken. Roelofs en Binnendijk (2000) vonden echter geen effect van het afsluiten van de voerbakken. Dit kan veroorzaakt zijn door het gebruik van een goede biggenkorrel die weinig stofproductie geeft. De luchtsnelheid is een belangrijke factor in de klimaatregeling in de varkens- en pluimveehouderij. In het algemeen wordt deze al laag gehouden om gezondheidsproblemen te voorkomen. Bij de dieren moet echter voldoende luchtverversing zijn om de schadelijke gassen en de warmte van de dieren af te voeren. Verdere verlaging van de luchtsnelheid alleen voor het verminderen van de stofemissie is daarom geen reële optie.

Een nieuw perspectiefvolle ontwikkeling is het aanbrengen van een olielaagje direct op de varkens (Osman et al., 1999). Deze onderzoekers testten twee systemen: 1) een roller die olie smeerde tijdens het vreten van de varkens; 2) 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%.

Er is internationaal de laatste 15 jaar vrij veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om stof in stallen te reduceren door gebruik te maken van een olie-emulsie in water. Olie en water kunnen op twee manieren in de stal worden gebracht om de stofconcentratie en -emissie te reduceren: sproeien en vernevelen. Olie/water sproeien wordt in het algemeen onder lage druk gedaan. Het belangrijkste doel hiervan is het voorkomen dat stof, dat aanwezig is op oppervlakken, in de lucht wordt gebracht vooral als gevolg van dieractiviteit. Bij het sproeien onder lage druk zijn de druppels in het algemeen groter dan 150 µm. Afhankelijk van het nozzie type kan ook bij sproeien onder hoge druk druppelgroottes verkregen worden groter dan 150 µm. Bij vernevelen is de druppelgrootte kleiner. Voor vernevelen is een hoge druksysteem nodig. Het voordeel hiervan is de betere verspreiding over het totale oppervlak van de stal. Door de fijne nevel wordt ook een deel van het stof dat in de lucht hangt meegenomen en neergeslagen. Er zijn geen effecten van de kleine druppels aangetoond op de gezondheid van de varkens en de varkenshouders. In Denemarken, waar dit systeem op een aantal

varkensbedrijven in de praktijk wordt toegepast, houdt men echter wel een wachttijd aan voordat de varkenshouder de afdeling mag betreden na verneveling van olie (afhankelijk van het ventilatiedebiet circa 20 – 40 minuten). Er zijn nog een aantal knelpunten en vragen die opgelost moeten worden via een praktijktest:

- Voor het functioneren van het systeem in de praktijk:
 - Hoe vaak moeten sproeinippels worden gereinigd om verstopping te voorkomen en hoeveel tijd kost dit?
 - Hoeveel extra tijd kost het schoonmaken van de hokken?
 - Wat is het effect van oliesproeien op de groei van bacteriën in leidingen?
- Voor de mogelijkheden om de kosten van de olie te reduceren. B.v. door vermindering van de hoeveelheid emulgator in de olie of door toepassing van andere emulgatoren of technieken om de olie met water te mengen.

Voor de pluimveehouderij is daarnaast van belang of het olie/water systeem toegepast kan worden in stallen met strooisel. Hierbij spelen o.a. de volgende vragen:

- Wat is het effect van olie of water op de strooiselkwaliteit?
- Hoeveel olie/water is nodig om een bepaalde stofreductie te verkrijgen?
- Wat is het effect op de emissie van ammoniak?
- Wat zijn de gevolgen voor de dieren (met name voetzoolaandoeningen bij vleeskuikens)?

Bij een goed ontwerp van het oliesproei- of vernevelsysteem en bij gebruik van voldoende olie kunnen reducties van 90% worden bereikt. Bij het sproeien/vernevelen met alleen water zijn de resultaten wisselend. Water verdampt zeer snel, daarom is regelmatig sproeien of vernevelen noodzakelijk. Met water zijn reducties haalbaar van circa 50%. Daarbij moet men echter voorkomen dat eventueel aanwezig strooisel te nat wordt. Bij het sproeien of vernevelen van water of olie in vleeskuikenstallen moet men ook kijken naar eventuele negatieve effecten op het optreden van voetzoolaandoeningen. Dit is namelijk één van de criteria in de welzijnsregelgeving voor deze diergroep.

Het voordeel van een dikke laag stro(oisel) is dat het stof naar beneden zakt en wordt gebonden aan de vochtige onderlaag. In het verleden is vrij veel onderzoek gedaan aan diepstrooiselsystemen in de varkenshouderij (Groenestein en Faassen, 1996; Roelofs et al., 1993). Van recentere datum is de ontwikkeling van een huisvestingssysteem voor guste en dragende zeugen met een dikke laag stro (Bos et al., 2003). Hoewel nog geen vergelijkende metingen zijn gedaan, bestaat de indruk dat deze systemen een lagere stofconcentratie en – emissie hebben dan de traditionele systemen zonder stro(oisel).

In de varkenshouderij is de afgelopen 10 jaar veel onderzoek gedaan naar de optimalisering van hokken om de ammoniakemissie te beperken. Aangezien ammoniakemissie sterk wordt beïnvloed door hokbevuiling is bij deze optimalisatie veel aandacht besteed aan de terugdringing van hokbevuiling. Het optimale hok geeft waarschijnlijk ook een lagere stofemissie, niet alleen door de geringere hokbevuiling, maar tevens door de afvoer van stof vanaf de bolle vloer naar de roosters en de mestkelder. Dit effect moet worden vastgesteld.

4.2.4 Voorkomen stofemissie

Het voordeel van interne luchtzuivering ten opzichte van externe luchtzuivering is dat de stofconcentratie in de stal afneemt. Het nadeel is echter dat hoge ventilatiedebieten nodig zijn om een redelijke reductie in stofemissie te bewerkstelligen. Voor homogeen gemengde stallucht kan berekend worden dat voor een reductie van de stofemissie met 50% een even grote interne dan externe ventilatie nodig is (ervan uitgaande dat het interne luchtreinigingssysteem (vrijwel) al het stof uit de lucht haalt). Bij alleen externe zuivering kan met de helft van de ventilatie (t.o.v. interne luchtzuivering) een reductie van de stofemissie worden verkregen van bijna 100%. Voor interne zuivering zijn waarschijnlijk alleen de 'droge' methoden geschikt, zoals het gebruik van medium filters of elektrostatische filters. Medium filters geven een reductie van het stof van 95% of meer. Voor elektrostatische filters worden wisselende resultaten gevonden. Afhankelijk van de uitvoering kunnen reducties van 50% of meer worden gehaald. Een elektrostatisch filter gebruikt elektrisch geladen polypropyleen en poly-urethaan filtermateriaal dat deeltjes aantrekt. De elektrische lading ontstaat door de geforceerde luchtstroom door het filter. Het voordeel van elektrostatische filters ten opzichte van gewone filters is dat de drukval over het filter veel kleiner kan zijn om een zelfde reinigende werking te hebben. Op dit moment zijn de investeringskosten nog te hoog, maar het systeem is nog sterk in ontwikkeling. Gebruik van een luchtwasser voor interne luchtzuivering is waarschijnlijk minder geschikt vanwege de (ongewenste) toename van de luchtvochtigheid in de stal.

Voor externe zuivering komen de wassers wel uitdrukkelijk aan bod. Er zijn verschillende typen wassers: de biologische wasser, de chemische wasser en de gecombineerde wasser. Volgens Duits onderzoek kunnen alle een reductie van de totaal stofemissie halen van 70-90% (Hahne, persoonlijke mededeling). In Duitsland wordt een minimale eis gesteld voor stofreductie van 70% om een erkenning te krijgen van het systeem (Hahne, 2005). Het voordeel van wassers is dat deze tevens geur en ammoniak reduceren. De biologische wasser is meer geschikt voor geur- dan voor ammoniakreductie, terwijl het omgekeerde geldt voor de chemische wasser (Melse en Ogink, 2005). De gecombineerde wasser, wat in feite een combinatie is van een chemische en een biologische wasser geeft een sterke reductie van zowel ammoniak als geur (Hahne, 2005; Hahne et al., 2003).

Men kan een watergordijn gebruiken wanneer ventilatielucht laag wordt uitgeblazen (zijgevel of kopse gevel). Dit systeem is in feite een simpele luchtwasser. De lucht uit de ventilatoren wordt tegen een gordijn geblazen. Dit gordijn wordt continue vochtig gehouden. De vochtige doek vangt het stof in de lucht weg. Er zijn geen nauwkeurige metingen verricht van de emissiereductie, maar met name deeltjes groter dan $1,0\ \mu\text{m}$ worden gereduceerd (Bottcher et al., 1999). De lucht kan ook worden afgevoerd via een nevelgordijn van water. Door dit nevelgordijn wordt de lucht vrijwel verzadigd met water. Stofdeeltjes in de lucht slaan hierdoor gemakkelijk neer. Over de precieze uitvoering en over de effectiviteit van een dergelijk nevelgordijn is echter weinig bekend. Het effect van droogtunnels op de fijn stofemissie zal in de praktijk moeten worden bepaald. Eerdere metingen van Uenk et al. (1994) lieten een duidelijke reductie zien van totaal stof (ongeveer 70%).

5 Samenvattende tabel

Tabel 4 is een samenvattende tabel met de meest perspectiefvolle opties voor reductie van fijn stofemissie uit stallen, zoals dat in de vorige hoofdstukken naar voren is gekomen. Van de verschillende opties is het volgende aangegeven: verwachte stofreductie, het overall perspectief, de voor- en nadelen en welk onderzoek nog vereist is. De verwachte stofreductie is zoveel mogelijk gebaseerd op onderzoeksgegevens. Voor zover deze niet of onvoldoende beschikbaar waren is een eigen inschatting gemaakt.

Uit tabel 4 blijkt dat de individuele maatregelen bij de aanpak van de bron slechts een geringe potentiële stofreductie geven. Deze maatregelen worden echter gekenmerkt door relatief lage kosten. Een combinatie van bronmaatregelen, b.v. het gebruik van stofarm voer en strooisel, en bij varkens een vermindering van de hokbevuiling, zou toch een flinke stofreductie kunnen opleveren. Bij gebruik van strooisel in de stal kan het regelmatig verversen van het strooisel of het gebruik van een dik pakket strooisel een sterke stofreductie geven.

De meeste maatregelen geven hogere kosten en worden om die reden veelal nog niet toegepast. Dit geldt echter niet voor alle maatregelen. Het verstrekken van brijvoer wordt al vaak toegepast in de praktijk, vooral op de grotere bedrijven. Een effectmeting is nodig om het effect van het voeren van brij op de stofemissie te bepalen. Daarbij zal zowel gemeten moeten worden op bedrijven die bijproducten verstrekken, als op bedrijven die brij voeren op basis van mengvoer. Uit oogpunt van diergezondheid, ammoniakemissie en arbeid (schoonmaken van hokken) is aan het verminderen van hokbevuiling bij varkens al veel aandacht besteed de afgelopen 10-15 jaar. Er zijn 'optimale hokken' ontwikkeld die zorgen voor een goede scheiding tussen het hokgedeelte waar de dieren liggen en waar de dieren mesten. In deze hokken wordt de mest in de mestruimte snel en volledig afgevoerd via goed doorlatende roosters, waardoor voorkomen wordt dat de mest indroogt en gaat verstoffen. Daarnaast treedt er weinig bevuilding op van de ligruimte door de bolle uitvoering van de dichte vloer. Een effectmeting is nodig om het effect van het 'optimale hok' met geringe hokbevuiling op de stofemissie vast te stellen.

Het drogen van pluimveemest buiten de stal heeft sterk de voorkeur om stofvorming in de stal te vermijden. Zoals in hoofdstuk 4 al is aangegeven, heeft onderzoek laten zien dat het drogen van de mest in een droogtunnel potenties heeft om de stofemissie te reduceren. Het uiteindelijke effect op de stofemissie uit de droogtunnel zal vooral samenhangen met de mate van droging van de mest en de luchtsnelheid over of door de mest. Eerder is reeds aangegeven dat bij niet al te hoge luchtsnelheden stof dat 'vastgeplakt' zit aan oppervlakken niet meegevoerd wordt in de luchtstroom.

Geïntariseerd moet worden welke processen verbeterd kunnen worden bij het maken en transport van strooisel en voer. Hoewel het potentieel effect niet hoog wordt ingeschat, kunnen simpele verbeteringen mogelijk al bijdragen aan stofvermindering.

Het beperken van de dieractiviteit en het verbeteren van het voersysteem zijn ook maatregelen die weinig extra kosten met zich mee hoeven te brengen. Het voersysteem en dieractiviteit hebben ook een interactie met elkaar, zoals aangegeven in paragraaf 3.1. Onderzoek is nodig om de mogelijkheden hiervan te verkennen.

Bij guste en dragende zeugen zijn inmiddels een aantal stallen gebouwd die gebruik maken van een dik stropakket. Dit systeem geeft een lagere ammoniakemissie en de verwachting is dat de emissies van fijn stof en geur tevens lager zullen zijn. De jaarkosten van dit systeem zijn vergelijkbaar met andere huisvestingssystemen voor zeugen. Een effectmeting is nodig om te bepalen of dit huisvestingssysteem de stofemissie kan beperken.

Naast maatregelen die weinig extra kosten met zich meebrengen, zijn er een aantal die, ondanks hogere kosten, ook perspectief bieden. Door het verbeteren van de pellets of het coaten van pellets kan waarschijnlijk nog vrij veel worden gedaan om de stofproductie uit het voer te reduceren. Door ander strooisel of ontstoft strooisel te gebruiken en het strooisel regelmatig te verversen kan de stofemissie uit strooiselstallen belangrijk worden gereduceerd. Dit brengt wel hogere kosten voor het strooisel met zich mee en hogere kosten voor arbeid of mechanisering voor het regelmatig verversen van het strooisel. Het effect van ontstoft strooisel moet door een effectmeting worden bepaald. Het kan zijn dat het effect slechts van beperkte duur is en vooral relevant bij het verstrekken van het strooisel. De strooiselsoort heeft waarschijnlijk een vrij sterke invloed op de stofproductie van het strooisel zelf. In strooiselstallen is echter slechts een deel van het stof in het strooisel ook daadwerkelijk afkomstig van het strooisel. Daarnaast zitten in het strooisel ook deeltjes afkomstig van andere bronnen, zoals voerstof, huidschilfers en mestdeeltjes. Daarom wordt het overall effect van het strooisel niet hoger geschat dan 10 – 20%. Niet elke strooiselsoort kan men bij elke diercategorie gebruiken. Hier komt men ook op het terrein

van diergedrag en dierwelzijn terecht. Het onderzoek naar strooiselsoorten vraagt daarom om een integrale benadering.

Het sproeien of vernevelen van water of van een plantaardige olie-emulsie in water is een perspectiefvolle optie om de stofemissies uit de stal te reduceren. In de varkenshouderij is hier, internationaal, al vrij veel onderzoek aan gedaan, destijds vooral gericht op het verbeteren van de luchtkwaliteit in de stal. Dit systeem biedt echter ook perspectief om de stofemissie belangrijk te reduceren. In beperkte mate worden deze systemen al in de praktijk toegepast (o.a. in Denemarken en Canada). Zoals in hoofdstuk 4 aangegeven moeten nog een aantal vragen en knelpunten worden opgelost voordat men dit systeem breed kan toepassen in de praktijk.

Interne luchtzuivering is minder effectief om de stofemissie te reduceren dan externe zuivering. Een motief om toch voor interne luchtzuivering te kiezen is dat deze techniek tevens een verlaging geeft van de stofconcentratie in de stal. Filterdoeken kunnen een belangrijk deel van het (fijn) stof afvangen. Een nadeel is het hogere energiegebruik door de drukval over het filter. Het elektrostatisch filter heeft een veel geringere drukval over het filter en biedt in die zin voordelen. De effectiviteit van betaalbare elektrostatische filters is echter nog onvoldoende aangetoond, maar het lijkt een perspectiefvolle optie die nader onderzoek rechtvaardigt. Elektrostatische filters zouden zowel ingezet kunnen worden voor interne als voor externe zuivering van de stallucht. Een nadeel van (elektrostatische) filtersystemen is dat ze weinig effect hebben op de emissies van ammoniak en geur. Voor een integrale oplossing van emissieproblematiek in de varkens- en pluimveehouderij, zullen ze in combinatie met andere emissiearme technieken moeten worden ingezet.

Het grote voordeel van wassers (biologische, chemische en gecombineerde wassers) is dat ze naast een hoge reductie van de stofemissie tevens een belangrijke reductie geven van de ammoniak- en geuremissie. Een nadeel van biofilters en biologische wassers kan zijn dat ze een bron vormen voor emissie van micro-organismen (Aarnink et al., 2004a). Uit hetzelfde onderzoek is naar voren gekomen dat chemische wassers de emissie van micro-organismen kunnen reduceren. Effectmetingen zijn nodig om het effect van de verschillende luchtzuiveringssystemen op de stofemissie vast te stellen.

Meer onderzoek is nodig naar relatief simpele systemen om de stofemissie te beperken, zoals het gebruik van water- of nevelgordijnen. Bij een watergordijn wordt de uitgaande lucht tegen een vochtig gordijn geblazen. Stofdeeltjes blijven op deze manier aan het gordijn plakken. Het gordijn wordt continue vochtig gehouden door water van bovenaf langs het gordijn te sproeien. Bij een nevelgordijn wordt de lucht door een tunnel geblazen waarin een nevel hangt van water. De stofdeeltjes worden op deze manier bevochtigd en slaan vervolgens neer. De verwachting is dat deze systemen vooral de grotere stofdeeltjes wegvangen, maar het ontbreekt nog aan voldoende meetgegevens.

Er is tevens meer onderzoek nodig naar systemen of een combinatie van systemen die de emissieproblematiek integraal aanpakken. Dus naar systemen die niet alleen de emissie van fijn stof reduceren, maar tevens de emissie van ammoniak en zo mogelijk van geur en broeikasgassen. Mogelijke integrale oplossingen zijn:

1. Gecombineerde luchtwassystemen, die zowel ammoniak, geur als fijn stof reduceren.
2. Ammoniakemissiearme stalsystemen combineren met een stofreducerend systeem, zoals olie of water vernevelen, stofarm voer en strooisel, optimaal hok bij varkens.
3. Dik pakket stro op de vloer. Bij zeugen wordt dit systeem reeds in de praktijk toegepast. Voor andere categorieën varkens en bij pluimvee biedt dit systeem misschien ook mogelijkheden.

In het onderzoek naar stofreducerende systemen moet ook aandacht geschonken worden aan het effect op de stofconcentraties in de stal. Stofconcentraties in de stal zijn uit oogpunt van arbo en diergezondheid zeer belangrijk. Bij end-of-pipe systemen zoals luchtwassystemen, die zeer efficiënt zijn om emissies te beperken, blijft het probleem van een slechte luchtkwaliteit als gevolg van hoge stofconcentraties bestaan. Onderzocht moet worden in hoeverre het functioneren van luchtwassystemen ook gebaat kunnen zijn bij stofreducerende maatregelen in de stal. De eerste wasstap in een combiwasser, die bedoeld is om het stof uit de lucht te wassen, kan men misschien achterwege laten indien de stofproductie in de stal kan worden gereduceerd.

Tabel 4 Samenvattende tabel met de meest perspectiefvolle opties voor reductie van fijn stofemissie uit stallen. Van de verschillende opties is het volgende aangegeven: verwachte stofreductie, het overall perspectief, de voor- en nadelen en welk onderzoek nog vereist is.

Optie	Diersoort	Stof-reductie	Perspec-tief ^{a)}	Voordelen ^{b)}	Nadelen ^{b)}	Onderzoek nodig ^{b, c)}
1. Aanpak bron:				• Verlaging stofconcentratie		• Effectmeting
• Voer						
○ Brijvoer verstrekken	Varkens	-10 – 20%	+			
○ Betere pellets	Varkens	10 – 20%	+		• Hogere kosten	• Ontwikkeling
○ Pellets coaten	Varkens	10 – 20%	+		• Hogere kosten	• Ontwikkeling
• Feces + urine						
○ Hokbevuiling verminderen	Varkens	10 – 20%	++	• reductie ammoniak en geur		
• Strooisel						
○ Soort	Alle	10 – 20%	+		• Hogere kosten	• Effectmeting op gebruik en dier
○ Ontstoffen	Alle	10%	+		• Hogere kosten	
○ Verversen	Alle	30 – 50%	+		• Hogere kosten	• Ontwikkeling
2. Voorkomen stofvorming				• Verlaging stofconcentratie		• Ontwikkeling + effectmeting
• Indrogen mest voorkomen	Pluimvee, varkens	10 – 30%	+			
• Processen verbeteren bij maken en transport strooisel en voer	Alle	10%	+			
3. Voorkomen stofopname in lucht				• Verlaging stofconcentratie		• Effectmeting
• Activiteit beperken	Pluimvee, varkens	10 – 30%	+			• Ontwikkeling
• Voersysteem verbeteren	Pluimvee, varkens	10 – 20%	+			• Ontwikkeling
• Olie op dier	Varkens	60 – 80%	++		• Hogere kosten	• Ontwikkeling
• Olie sproeien / vernevelen	Pluimvee, varkens	50 – 90%	++		• Hogere kosten, oliedeeltjes in de lucht	• Ontwikkeling
• Water sproeien / vernevelen	Pluimvee, varkens	30 – 50%	+		• Hogere kosten; hogere RV	• Ontwikkeling
• Dikke laag strooisel	Alle ^{d)}	30 – 70%	++	• reductie ammoniak		• Onderzoek bij andere diergroepen dan zeugen
• Optimaal hok	Varkens	20 – 40%	++	• reductie ammoniak en geur	• Hogere kosten	

Optie	Diersoort	Stof-reductie	Perspec-tief ^{a)}	Voordelen	Nadelen	Onderzoek nodig ^{b)}
4. Voorkomen stofemissie					• Hogere kosten	• Effectmeting
• Interne luchtzuivering						
o Filter	Pluimvee, varkens	30 – 50%	+	• Verlaging stofconcentratie		
o Elektrostatisch filter	Pluimvee, varkens	10 – 50%	+?	• Verlaging stofconcentratie		• Ontwikkeling
• Externe luchtzuivering						
o Wasser	Pluimvee, varkens	70 – 90%	++	• Geen stalaanpassingen ^{e)} ; reductie ammoniak en geur	• End of pipe	
o Biofilter	Pluimvee, varkens	70%	+	• Idem	• End of pipe	• Ontwikkeling
o Filter	Pluimvee, varkens	95%	+	• Geen stalaanpassingen ^{e)}	• End of pipe	
o Elektrostatisch filter	Pluimvee, varkens	20 – 70%	+?	• Geen stalaanpassingen ^{e)}	• End of pipe	• Ontwikkeling
o Watergordijn / nevelgordijn	Pluimvee, varkens	20 – 40%	+	• Geen stalaanpassingen ^{e)} ; reductie ammoniak en geur	• End of pipe; vooral voor zwaardere deeltjes	• Ontwikkeling
o Droogtunnel	Pluimvee	50%	++	• Geen stalaanpassingen ^{e)} ; reductie ammoniak en geur	• End of pipe	

^{a)} Score loopt van + (matig perspectiefvol) tot +++ (zeer perspectiefvol)

^{b)} De vetgedrukte punten gelden voor alle maatregelen / systemen in deze optie categorie

^{c)} Onder 'Effectmeting' wordt verstaan het meten van het effect van de maatregel / het systeem op de stofemissie

^{d)} Het is nog onzeker of deze maatregel ook voor pluimvee effectief is

^{e)} Hiermee wordt bedoeld dat in de ruimte waar de dieren zitten geen aanpassingen nodig zijn

6 Conclusies

Uit deze deskstudie kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken.

1. Stof in de veehouderij is voor een belangrijk deel (circa 90%) afkomstig van pluimvee- en varkensstallen.
2. Stof uit varkensstallen is vooral afkomstig van voer, huidschilfers en feces en, indien gebruikt in de stal, ook van strooisel.
3. Stof in pluimveestallen is vooral afkomstig van veren en mest en in mindere mate van voer, strooisel en micro-organismen/schimmels.
4. De laatste 10 à 15 jaar hebben zich belangrijke ontwikkelingen voorgedaan in de huisvesting van varkens en pluimvee. Veranderingen in deze jaren naar milieu- en welzijnsvriendelijke huisvestingssystemen kunnen zowel een toename (o.a. omschakeling van batterij- naar strooiselsystemen bij leghennen) als een afname (o.a. optimaal hok in de varkenshouderij) in de emissie van fijn stof tot gevolg hebben.
5. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen processen die leiden tot stofvorming en processen die leiden tot opname van stof in de lucht. Opname van stof in de lucht wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door dieractiviteit.
6. De meest perspectiefvolle maatregelen voor reductie van fijn stofemissie uit pluimveestallen zijn:
 - a. gebruik van stofarm strooisel
 - b. sproeien of vernevelen van water in de stal
 - c. sproeien of vernevelen van een emulsie van plantaardige olie in water in de stal
 - d. wassen van de uitgaande lucht met behulp van een luchtwasser
 - e. neerslaan van deeltjes met behulp van een water- of nevelgordijn
 - f. de uitgaande stallucht door een droogtunnel voor mest leiden
7. De meest perspectiefvolle maatregelen voor reductie van fijn stofemissie uit varkensstallen zijn:
 - a. gebruik van stofarm voer en strooisel
 - b. vermindering hokbevuiling en indrogen mest door een optimaal hokontwerp en -inrichting
 - c. sproeien of vernevelen van water in de stal
 - d. sproeien of vernevelen van een emulsie van plantaardige olie in water in de stal
 - e. sproeien plantaardige olie op het dier
 - f. toepassen van een dik pakket stro(oisel) op de vloer
 - g. wassen van de uitgaande lucht met behulp van een luchtwasser
8. End-of-pipe systemen, zoals de luchtwassystemen, hebben het voordeel dat ze naast de emissie van fijn stof, tevens de emissies van ammoniak en geur reduceren. Het nadeel van end-of-pipe systemen is dat ze niets doen aan de luchtkwaliteit in de stal.
9. Maatregelen die de fijn stofproductie in de stal beperken, zoals stofarm voer en strooisel, sproeien of vernevelen van olie/water, hebben het voordeel dat ze naast de stofemissie tevens de stofconcentratie in de stal verlagen. Ze hebben als nadeel dat ze weinig doen aan de emissies van ammoniak en geur.
10. Onderzoek moet plaatsvinden naar in hoeverre een combinatie van maatregelen zowel emissies van fijn stof, ammoniak en geur uit de stal kan beperken, als de luchtkwaliteit in de stal kan verbeteren.
11. Voor alle reducerende systemen geldt dat het effect op de stofreductie nog onder praktijkomstandigheden moet worden vastgesteld. Voor een aantal systemen (stofarm voer en strooisel, olie/water sproeien/vernevelen, olie op dier) is vooraf nog een ontwikkel- en testfase nodig.
12. Verder onderzoek is nodig naar het toepasbaar maken van elektrostatische filters in stallen en naar relatief simpele wassystemen in de uitgaande lucht, zoals een water- of nevelgordijn.

7 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit rapport doen wij de volgende aanbevelingen voor onderzoek naar en ontwikkeling van stofreducerende systemen in de praktijk:

1. Het stofprobleem in de veehouderij moet integraal worden aangepakt samen met andere emissies naar het milieu, zoals ammoniak, geur en broeikasgassen. Mogelijke integrale oplossingen zijn:
 - a. gecombineerde luchtwassystemen, die zowel ammoniak, geur als fijn stof reduceren;
 - b. huidige emissiearme stalsystemen combineren met een stofreducerend systeem, zoals olie of water vernevelen, stofarm voer en strooisel, optimaal hok bij varkens;
 - c. dik pakket stro op de vloer. Bij zeugen gaf dit een lage ammoniakemissie, de verwachting is dat de geur- en fijn stofemissies ook laag zullen zijn.
2. In het onderzoek naar stofreducerende systemen moet ook aandacht geschonken worden aan het effect op de stofconcentraties in de stal. Stofconcentraties in de stal zijn uit oogpunt van arbo en diergezondheid zeer belangrijk. Bij end-of-pipe systemen zoals luchtwassystemen, die zeer efficiënt zijn om emissies te beperken, blijft het probleem van een slechte luchtkwaliteit als gevolg van hoge stofconcentraties bestaan. Onderzocht moet worden in hoeverre het functioneren van luchtwassystemen ook gebaat zou kunnen zijn bij stofreducerende maatregelen in de stal. De eerste wasstap in een combiwasser, die bedoeld is om het stof uit de lucht te wassen, kan men misschien achterwege laten, indien de stofproductie in de stal kan worden gereduceerd.
3. De huidige emissiecijfers van fijn stof uit stallen moeten geactualiseerd worden door de ontwikkelingen die de laatste jaren hebben plaatsgevonden in de huisvesting en voeding van de dieren. Daarnaast zijn de huidige fijn stofemissiecijfers berekende waarden, waarbij een bepaalde conversiefactor is gebruikt voor omrekening van totaal stof naar fijn stof. Belangrijk is dat de huidige stand van zaken goed in beeld wordt gebracht, zodat de aandacht in onderzoek en ontwikkeling van stofreducerende systemen gericht ingezet kan worden bij die diercategorieën en stalsystemen die het meest bijdragen aan de stofemissie.
4. Een aantal stofreducerende systemen functioneren al in de praktijk. Van deze systemen moet het effect op de stofemissie worden bepaald. Dit zijn in volgorde van belang:
 - a. luchtzuiveringssystemen: luchtwassers op de uitgaande stallucht;
 - b. vermindering van hokbevuiling door een optimaal hok voor vleesvarkens en biggen;
 - c. droogtunnel bij leghennen;
 - d. brijvoeding van varkens;
 - e. dik pakket stro(oisel) op de vloer: strostallen voor guste en dragende zeugen;
 - f. gebruik van ontstoft strooisel.
5. Het olieverniveausysteem kan uitgetest worden in varkenstallen in de praktijk, aangezien men het systeem in o.a. Denemarken al (in beperkte mate) toepast. Het effect op de stofemissie moet worden bepaald. Parallel hieraan is een onderzoekstraject nodig om de vragen die er nog zijn op te lossen.
6. Olie / water vernevelen vergt nog nader onderzoek in strooiselstallen voor pluimvee. Er is nog onvoldoende bekend over de interactie tussen het strooisel en het vernevelen van olie of water. Het onderzoek moet worden uitgevoerd op een proefbedrijf voordat men het systeem in de praktijk kan testen. Bij het vernevelen van water is het zeer belangrijk om een optimaal vochtgehalte van het strooisel te realiseren.
7. De mengvoerindustrie moet gestimuleerd worden om mengvoer te leveren dat minder stof geeft. Er is meer kennis nodig over de overall effecten van stofarme voeders op de stofproductie in de stal.
8. Het effect van soort strooisel en de mate van verversing van het strooisel moet nader worden onderzocht. Dit onderzoek dient integraal benaderd te worden, waarbij o.a. ook gekeken moet worden naar diergedrag, dierenwelzijn en arbeidsaspecten.
9. Meer kennis is nodig van de interactie tussen voersysteem – lichtschema – dieractiviteit en stofproductie, zowel in de pluimvee- als in de varkenshouderij. Belangrijk is dat maatregelen op dit terrein het dierenwelzijn niet aantasten.
10. Het elektrostatisch filter wordt al buiten de veehouderij toegepast. De mogelijkheden moeten worden onderzocht om dit filter toepasbaar en betaalbaar te maken voor interne of externe zuivering van de stallucht. Dit systeem zal in combinatie met andere emissiearme technieken moeten worden toegepast om naast fijn stof tevens de emissies van ammoniak en eventueel geur te reduceren.
11. Bij het ontwerp van nieuwe stalsystemen, bijvoorbeeld gericht op het verbeteren van dierenwelzijn, moeten naast de eis van een geringe ammoniakemissie, tevens de eisen van een verbetering van de luchtkwaliteit in de stal en de reductie van de stofemissie uit de stal worden meegenomen.

Literatuur

- Aarnink, A. J. A. 1997. Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Ph.D. thesis Agricultural University Wageningen, 175 pp.
- Aarnink, A. J. A. et al. 2004a. Voorkomen van verspreiding van ziektekiemen en milieu-emissies via luchtreiniging. Rapport nr. 059, Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen.
- Aarnink, A. J. A., P. F. M. M. Roelofs, H. Ellen, and H. Gunnink. 1999. Dust sources in animal houses. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 34-40.
- Aarnink, A. J. A., N. Stockhofe-Zurwieden, and M. J. M. Wagemans. 2004b. Dust in different housing systems for growing-finishing pigs. In: Paper for the AgEng Conference, Leuven, Belgium, 12 Sept - 16 Sept 2004. p 1-8.
- Aarnink, A. J. A., and K. W. Van der Hoek. 2004. Opties voor reductie van fijn stof emissie uit de veehouderij. Rapport 289, Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen.
- Anonymous. 2005a. Fijn stof nader bekeken. De stand van zaken in het dossier fijn stof. MNP Rapport 500037008, Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.
- Anonymous. 2005b. Milieu in cijfers; milieucompodium. <http://www.mnp.nl/mnc/i-nl-0180.html>, RIVM, Bilthoven.
- Anonymous. 2006. Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek. MNP Rapport 500093003/2006, Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.
- Anonymus. 2005. Nationaal luchtkwaliteitsplan 2004., Ministerie van VROM, Den Haag.
- Baekbo, P. 1989a. Air quality and pig herd health (in danish). PhD-Thesis, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Baekbo, P. 1989b. Air quality and pig herd health (in danish). Ph.D., The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Banhazi, T., and C. Cargill. 1999. Survey of pig sheds in australia - preliminary results. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 76-82.
- Banhazi, T. M., J. Seedorf, D. L. Rutley, and W. S. Pitchford. 2004. Factors affecting the concentrations of airborne bacteria and endotoxines in australian piggery buildings.
- Bongers, P., D. Houthuijs, B. Remijn, R. Brouwer, and K. Biersteker. 1987. Lung function and respiratory symptoms in pig farmers. British Journal of Industrial Medicine 44: 819-823.
- Bos, B., P. W. G. Groot Koerkamp, and K. Groenestein. 2003. A novel design approach for livestock housing based on recursive control - with examples to reduce environmental pollution. Livestock Production Science 84: 157-170.
- Bottcher, R. W., R. D. Munilla, K. M. Keener, K. E. Parbst, and G. L. v. Wicklen. 1999. Windbreak walls and wet pad scrubbers for reducing odorous dust emissions from tunnel ventilated swine buildings. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 186-193.
- Brunekreef, B., and S. T. Holgate. 2002. Air pollution and health. The Lancet 360: 1233-1242.
- Bundy, D. S., and T. E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. Transactions of the ASAE 1975:137-139,144.
- Buringh, E., and A. Opperhuizen (Editors). 2002. On health risks of ambient pm in the netherlands. Executive summary. RIVM, Bilthoven, Bilthoven.
- Chardon, W. J., and K. W. Van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. Rapport 682, Alterra / RIVM, Wageningen.
- Chiba, L. I., E. R. Peo Jr, and A. J. Lewis. 1987. Use of dietary fat to reduce dust, aerial ammonia and bacterial colony forming particle concentration in swine confinement buildings. Trans. ASAE 30: 464-468.
- Chiba, L. I. et al. 1985a. Effect of dietary fat on pig performance and dust levels in modified open-front and environmentally regulated confinement buildings. J. Anim. Sci. 61: 763-781.
- Chiba, L. I. et al. 1985b. Effect of dietary fat on pig performance and dust levels in modified open-front and environmentally regulated confinement buildings. J. Anim. Sci. 61: 763-781.
- CIGR-working group No 13 "Climatization Environmental Control in Animal Housing". 1994. Aerial environment in animal housing. Concentrations in and emissions from farm buildings. CIGR-rapport Report Series No. 94.1, CEMAGREF, Groupement de Rennes, Rennes Cedex, France, 116 pp.
- Donham, K. J., L. J. Scallon, W. Pependorf, M. W. Treuhaft, and R. C. Roberts. 1986. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 47: 404-410.
- Donham, K. J., D. C. Zavala, and J. A. Merchant. 1984. Respiratory symptoms and lung function among workers in swine confinement buildings: A cross-sectional epidemiological study. Archives of Environmental Health Vol. 39(no. 2): 96-101.

- Dosman, J. A. et al. 1997. Lung function measurements in swine confinement workers: Longitudinal decline, shift change, environmental intervention. Proceedings of the Fifth International Symposium on Livestock Environment, p. 15-16, ASAE, St. Joseph Mich., USA.
- Ellen, H. H., and H. Drost. 1997. Technische mogelijkheden om de stofconcentratie in pluimveestallen te verlagen. Rapport R9703, Praktijkonderzoek Pluimveehouderij, Beekbergen, 28 pp.
- EU. 1999. Richtlijn 1999/30/eg van de raad van 22 april 1999 betreffende de grenswaarden voor zwavel-dioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 313/12, Brussel.
- Fischer, P. 2001. Epidemiologie pm - nadruk op "acute" risico's (heranalyse mortaliteit; inzichten morbiditeit). In: Symposium Vereniging van Milieukundigen (VVM) 'Recente ontwikkelingen in de kennis omtrent fijn stof, Dec. 2001, Utrecht.
- Gast, R. M., and D. S. Bundy. 1986. Control of feed dusts by adding oils. In: ASAE paper 86-4039
- Gore, A. M., E. T. Kornegay, H. P. Viet, and E. R. Collins. 1986. Soybean oil effects on nursery air quality and pig performance. In: ASAE paper 86-4040
- Groenestein, C. M., and H. G. v. Faassen. 1996. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. J. agric. Engng Res. 65: 269-274.
- Groot Koerkamp, P. W. G., G. H. Uenk, and H. Drost. 1996. De uitstoot van respirabelstof door de nederlandse veehouderij. Rapport 96-10, Instituut voor Milieu- en Agritechniek.
- Guinand, N. 1999. Dust concentration in piggeries: Influence of season, age of pigs, type of floor and feed presentation in farrowing, post-weaning and finishing rooms. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 69-75.
- Gustafsson, G. 1989. Mass balances of dust in houses for pigs. In: Land and Water Use, Dodds and Grace (Ed.), Balkema Rotterdam, pp. 1465-1470.
- Gustafsson, G. 1997. Investigations on factors affecting air pollutants in animal houses. Ann. Agric. Environ. Med. 4: 203-215.
- Gustafsson, G. 1999. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. J. agric. Engng Res. 74: 379-390.
- Gustafsson, G., and E. Von Wachenfelt. 2004. Dust in floor housing systems for laying hens. In: Engineering the Future, AgEng conference, Leuven, Belgium. p session 22.
- Hahne, J. 2005. Abluftreinigungsanlagen in der tierhaltung: Leistungen - planungshilfen - betrieb - wartung. In: Fachseminar Abluftreinigung 12-13 October 2005, Cloppenburg, Germany
- Hahne, J., R. Schicke, and K.-D. Vorlop. 2003. Möglichkeiten und grenzen zur minderung von ammoniak-, staub- und geruchsemissionen durch abluftreinigungsverfahren. [options and limitations for the reduction of ammonia, dust and odor emissions by waste gas cleaning systems.]. In: 6. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Vechta, Germany. p 253-259.
- Heber, A. J., and C. R. Martin. 1988. Effect of additives on aerodynamic segregation of dust from swine feed. Trans. ASAE 31(2): 558-563.
- Heber, A. J. M. S. J. M. F., and L. H. Willard. 1988. Size distribution and identification of aerial dust particulates in swine finishing buildings. Trans. ASAE 31(3): 882-887.
- Hinds, W. C. 1999. Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles. Second Edition ed. Wiley, New York.
- Hinz, T., H. Sonnenberg, J. Hartung, S. Linke, and J. Schilf. 1999. Dust reduction when littering a cattle house. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June, Aarhus, Denmark. p 329-334.
- Jongbloed, A. W., A. Bannink, and J. W. Cone. 2004. De invloed van voedingsmaatregelen op het optreden van gasvormige emissies binnen de veehouderij. Rapport 04/100266, Animal Sciences Group, Lelystad.
- Lengweiler, P., A. Moser, P. V. Nielsen, and H. Takai. 1999. Modeling measured deposition and resuspension rates of particles in animal buildings. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 197-203.
- Li, X., J. E. Owen, A. J. Murdoch, and C. C. Pearson. 1993. Respirable dust from animal feeds. In: Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV, Warwick, England
- 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
- Mechler, R., M. Amann, and W. Schöpp. 2002. A methodology to estimate changes in statistical life expectancy due to the control of particulate matter air pollution. Interim Report IR-02-035, International Institute for Applied Systems Analysis, Austria.
- Nannen, C., G. Schmitt-Pauksztat, and W. Büscher. 2005. Mikroskopische untersuchung von staubpartikeln in mastschweinställen. Landtechnik 60: 218-219.

- Osman, S. P. L., R. M. Kay, and J. E. Owen. 1999. Dust reduction in pig buildings using an applicator to spread oil directly onto pigs. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 253-260.
- Pearson, C. C., and T. J. Sharples. 1995. Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed (review paper). *J. Agric. Engng Res.* 60: 145-154.
- Pedersen, S., and H. Takai. 1999. Dust response to animal activity. In: Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June., Aarhus, Denmark. p 306-309.
- Preller, L. 1995. Respiratory health effects of pig farmers. Assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors. PhD-thesis Agricultural University Wageningen, 1995: 173 pp.
- Preller, L., D. Heederik, J. S. M. Boleij, P. F. J. Vogelzang, and M. J. M. Tielen. 1995. Lung function and chronic respiratory symptoms of pig farmers: Focus on exposure to endotoxins and ammonia and use of disinfectants. *Occupational and Environmental Medicine* 52: 654-660.
- Preller, L., and P. Vogelzang. 1993. Gezondheid varkenshouder aan risico's blootgesteld! Rapport 93.001, Stichting Gezondheidsdienst voor dieren in Zuid-Nederland.
- Roelofs, P. F. M. M., and G. P. Binnendijk. 2000. De invloed van het afdekken van voerbakken op de stofconcentratie in afdelingen voor gespeende biggen. *Varkens publicatie* 253, Praktijkonderzoek, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Roelofs, P. F. M. M., G. P. Binnendijk, H. J. Romein, and A. L. P. v. d. Sande-Schellekens. 1993. Arbeid en arbeidsomstandigheden in diepstrooiselsystemen voor vleesvarkens. Proefverslag nr. P 1.96, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, 60 pp.
- Smith, J. L., and K. Y. Lee. 2003. Soil as a source of dust and implications for human health. *Advances in Agronomy* 80: 1-32.
- Takai, H., L. D. Jacobson, and S. Pedersen. 1996. Reduction of dust concentration and exposure in pig buildings by adding animal fat in feed. *J. agric. Engng Res.* 63: 113-120.
- Thaler, R. C., A. J. A. Aarnink, K. Koch, and T. E. Sauber. 2002. Effect of grain type, milling method, and diet form on dust production in a laboratory dust generator. *J. Anim. Sci.* Vol. 80 (Suppl. 1): 178.
- Thaler, R. C., and S. H. Pohl. 1999. Comparison of normal corn and high oil corn (hoc) for growth performance, carcass characteristics, and dust control in swine grow-finish barns *Animal Science* 9920 No. 1999. <http://plantsci.sdstate.edu/Farm%20Reports/Beresford%201999/9920.pdf>.
- Uenk, G. H., G. J. Monteny, T. G. M. Demmers, and M. G. Hissink. 1994. Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestilo's voor en na het mixen van de mest, IMAG-DLO, Wageningen.
- Vogelzang, P. 1999. Airway disease and risk factors in pig farmers. PhD-thesis Medical Science, Catholic University Nijmegen, The Netherlands, 135 pp.
- Von Essen, S. G., C. I. Andersen, and L. M. Smith. 2005. Organic dust toxic syndrome: A noninfectious febrile illness after exposure to the hog barn environment. *Journal of Swine Health and Production* 13: 273-276.
- 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 mastschweinställen. *Deutsche Tierärztl. Wochenschrift* 94: 420-424.
- Zucker, B.-A., H. Bonin, and W. Müller. 2005. Relationship between the concentration of different air contaminants and the hygienic condition in two pig fattening houses. In: ISAH 2005, Warsaw, Poland. p 380-382.