



---

# Technieken voor reductie van bio-aerosol emissies uit stallen

A.J.A. Aarnink, T.J. Hagens en N.W.M. Ogink



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

---

---

# Technieken voor reductie van bio-aerosol emissies uit stallen

A.J.A. Aarnink<sup>1</sup>  
T.J. Hagenaars<sup>2</sup>  
N.W.M. Ogink<sup>1</sup>

1 Wageningen UR Livestock Research

2 Centraal Veterinair Instituut

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema Bioaerosolen (BO-12.12-004-005)

Wageningen UR Livestock Research  
Wageningen, april 2015

---

Livestock Research Rapport 828

---

Aarnink, A.J.A., T.J. Hagenaars, N.W.M. Ogink, 2015. Technieken voor reductie van bio-aerosol emissies uit stallen . Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 828.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



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

Livestock Research Rapport 828

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Opties voor reductie van concentratie en emissie van bio-aerosolen</b>	<b>13</b>
2.1	Voorkomen vorming en opname bio-aerosolen in de lucht	13
2.1.1	Hokbevuiling verminderen	14
2.1.2	Indrogen van mest voorkomen	14
2.1.3	Oliefilm op dier	14
2.1.4	Oliefilm op vloer/strooisel	14
2.1.5	Waterfilm op vloer/strooisel	15
2.2	Reiniging van de lucht door verwijdering van deeltjes	15
2.2.1	Verwijderen van deeltjes uit de lucht door drogelucht-filtratie	15
2.2.2	Verwijderen van deeltjes uit de lucht door ionisatie	17
2.2.3	Verwijderen van deeltjes uit de lucht door luchtwassing	17
2.3	Reiniging van de lucht door desinfectie	19
2.3.1	Werking van desinfectie	19
2.3.2	Chemische desinfectie	20
2.3.3	Fysische desinfectie	22
2.3.4	Combinatie van chemische en fysische middelen	23
<b>3</b>	<b>Perspectievolle en direct toepasbare reductiemaatregelen</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>28</b>

---

# Woord vooraf

Nederland heeft verschillende regio's met zeer hoge concentraties landbouwhuisdieren. In de loop der jaren is ook de schaalvergroting sterk toegenomen. Vooral de schaalvergroting is in toenemende mate op gespannen voet komen te staan met het lokale draagvlak voor dit soort bedrijven en met datgene wat wenselijk is vanuit het perspectief van ruimtelijke ordening, milieu en landschappelijke inpassing. In een aantal gebieden is sprake van publieke onrust over de effecten van de vestiging van grote bedrijven op de gezondheid van omwonenden en de leefkwaliteit. Deze onrust heeft zich in het bijzonder uitgekristalliseerd in de discussie rond een aantal zogenoemde megastal-initiatieven, met geplande bedrijfsgroottes die de gemiddelde omvang ruim overtreffen. Alhoewel er nog weinig harde gegevens bekend zijn, is er publieke zorg over de effecten van grote aantallen dieren op veehouderijbedrijven op de gezondheid. Dit betreft vooral de potentiële risico's van de uitstoot van fijnstof en mogelijk daaraan gebonden ziektekiemen. Hierbij worden verbanden gelegd met de MRSA-problematiek en de toename van Q-koorts (N.B. sinds de verplichte vaccinatie zijn de gevallen van Q-koorts sterk afgenomen). In het rapport 'Processen en factoren bij de emissie van bio-aerosolen uit stalgebouwen' is de huidige stand van kennis ten aanzien van de processen en factoren die een rol spelen bij de vorming en de emissies van bio-aerosolen op een rij gezet. De volgende stap is aan te geven wat de mogelijkheden zijn voor reductie. In dit rapport zijn deze mogelijkheden op een rij gezet op basis van de huidige stand van kennis. Daarbij is vooral gekeken naar de mogelijkheden die op dit moment al toegepast kunnen worden in de praktijk.

Deze opdracht is uitgevoerd voor het ministerie van Economische Zaken binnen het kader van beleidsondersteunend onderzoek, thema Bioaerosolen (BO-12.12-004-005).

Nico Ogink  
Programmacoördinator  
Wageningen UR Livestock Research



---

# Samenvatting

Sinds de uitbraken van besmettelijke veeziekten zoals de vogelgriep (AI) en vooral Q-koorts is er bij de Nederlandse bevolking een toegenomen bezorgdheid over de negatieve effecten van de veehouderij op de gezondheid van de mens. Gezondheidsproblemen kunnen ontstaan als gevolg van bepaalde micro-organismen, maar ook als gevolg van bepaalde componenten afkomstig van micro-organismen. Deze kiemen en kiemcomponenten kunnen op zichzelf staande deeltjes in de lucht vormen, maar zijn vaak onderdeel van grotere stofdeeltjes. Stofdeeltjes die geheel of gedeeltelijk een biologische oorsprong hebben noemen we bio-aerosolen. Aangezien stofdeeltjes in stallen vrijwel allemaal een biologische oorsprong hebben, zijn stofdeeltjes en bio-aerosolen in dit geval (vrijwel) equivalent aan elkaar. Het doel van dit onderzoek is te inventariseren welke technieken potentie hebben om de emissie en/of de verspreiding van bio-aerosolen (met kiemen en kiemcomponenten) te reduceren en tevens te inventariseren welke daaruit direct beschikbaar zijn voor de praktijk. In dit rapport wordt vooral ingegaan op generieke methoden om de emissie van bio-aerosolen te reduceren en niet op reductiemethoden gericht op specifieke ziektekiemen of kiemcomponenten.

Er zijn verschillende mogelijkheden om de concentratie bio-aerosolen in stallucht en de emissie van bio-aerosolen (met kiemen en kiemcomponenten) via de stallucht te reduceren. In de eerste plaats is het van belang om via hygiënemaatregelen de insleep van ziektekiemen op het bedrijf te voorkomen. Om ook de insleep van ziektekiemen via de lucht te voorkomen worden op sommige bedrijven filters ingezet die bacteriën en virussen tegenhouden. In dit rapport beperken we ons tot de opties die de productie en uitstoot van bio-aerosolen (met kiemen en kiemcomponenten) in de stal kunnen reduceren. De mogelijkheden om de insleep van ziektekiemen te reduceren worden buiten beschouwing gelaten.

De verschillende opties voor reductie van bio-aerosolen (met kiemen en kiemcomponenten) in stallen zijn beoordeeld op kiemreductie (bacteriën en virussen), reductie van bio-aerosolen, op andere milieueffecten (ammoniak-, geur- en methaanemissies en overige milieueffecten) en op vaste en variabele kosten. Op basis van deze vergelijking komen een aantal systemen positief naar voren. Deze systemen kunnen onderverdeeld worden naar systemen die, voor wat betreft emissies van bio-aerosolen (met kiemen en kiemcomponenten), naar verwachting, een relatief beperkte reductie geven (<90%) en systemen die een hoge reductie geven (>90%). De verwachte reducties zijn veelal gebaseerd op metingen aan (fijn)stofreducties. Hierna worden die systemen opgesomd die direct toepasbaar zijn in de praktijk.

Systemen met een beperkte reductie van emissies van bio-aerosolen en (ziekte)kiemen (<90%):

- *Beperking hokbevuiling.* Vermindering van hokbevuiling is van belang in de varkenshouderij. Hokbevuiling beïnvloedt niet alleen emissies van kiemen en bio-aerosolen, maar tevens de emissies van ammoniak en geur. Kosten zijn relatief beperkt.
- *Oliefilm op dier.* Dit systeem kan toegepast worden in de varkenshouderij. Tegen relatief geringe kosten levert het systeem een vrij hoge fijnstof reductie (62% bij vleesvarkens).
- *Oliefilm op vloer.* Dit systeem kan zowel in de varkenshouderij als in de pluimveehouderij worden toegepast. De kosten van dit systeem zijn relatief laag, terwijl reducties tot 90% zijn gemeten.
- *Droogfilterwand.* De droogfilterwand haalt vooral het grovere stof uit de lucht. Fijnstof wordt met 40% gereduceerd. Het is een relatief simpel en goedkoop systeem. Op dit moment wordt het systeem vooral toegepast in de pluimveehouderij, waarbij de ventilatoren op de kopse kant van de stal zijn geplaatst.
- *Warmtewisselaar.* Het effect van een warmtewisselaar op de emissie van bio-aerosolen is niet groot (afhankelijk van de geïnstalleerde capaciteit 13 of 31% reductie), maar dit systeem wordt al vaak toegepast in pluimveestallen, vooral in stallen met vleeskuikens, om redenen van energiebesparing en verbetering van het stalklimaat.

- *Ionisatie*. De verschillende ionisatiesystemen zijn ontwikkeld om stof te reduceren. De kosten zijn relatief gering, terwijl de fijnstof emissie met ca. 50% kan worden gereduceerd.
- *Luchtwassers*. Deze scoren vooral goed op de andere milieueffecten (ammoniak en geur). Ze vangen ook een (belangrijk) deel van het stof weg waardoor de kiememissie in het algemeen ook wordt gereduceerd. Bij biologische wassers kan de kiememissie echter toenemen. Onderzoek zal moeten aantonen of deze kiemen vooral uit de wasser zelf komen en of ze onschuldig zijn.

Systemen met een hoge reductie van emissies van bio-aerosolen en (ziekte)kiemen (>90%):

- *Hoog efficiënte filters*. Het grote voordeel van hoog efficiënte filters is dat het alle deeltjes afvangt, zowel stof als ziektekiemen (bacteriën en virussen). Het doet echter weinig aan de gasvormige emissies. Het systeem kan zowel bij de ingaande als de uitgaande lucht worden toegepast.
- *Kortegolfstraling met UVC*. Het grote voordeel van UVC-straling is dat het zeer effectief is in het doden van ziektekiemen, zowel bacteriën als virussen. Aangezien UVC-straling geen effect heeft op de milieu-emissies kan dit systeem even goed voor de ingaande als voor de uitgaande lucht worden toegepast. Bij toepassing in de uitgaande lucht moet, voor een goede werking, wel eerst het (grovere) stof worden afgevangen.

De volgende systemen zouden na verdere optimalisatie op termijn perspectief kunnen bieden:

- *De chemische oxidatiemiddelen ozon, waterstofperoxide / peroxone, per-azijnzuur en EOW*. De voordelen van deze middelen zitten vooral in de reductie van de stofemissie (door het wassysteem) en de reductie van de kiememissie (door de oxidatieve werking van het middel).
- *Koude plasma*. Op dit moment zijn de kosten van koude plasmatechnologie nog te hoog voor toepassing in de veehouderij. Door verdere ontwikkeling en optimalisatie zou dit systeem op termijn perspectief kunnen bieden.
- *Foto-katalyse*. Dit is een vrij nieuwe techniek. Effecten zijn daarom nog moeilijk aan te geven. De techniek zou op termijn perspectief kunnen bieden voor toepassing in de intensieve veehouderij. De kosten zullen dan echter nog belangrijk moeten worden verlaagd.

Uit dit rapport kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Aangezien vrijwel al het stof in stallen van biologische oorsprong is, is stof in stallen praktisch synoniem aan bio-aerosolen in stallen. De huidige reductiemethoden voor (fijn)stof zullen daarom de emissie van bio-aerosolen vrijwel in dezelfde mate verminderen. In de lijst met emissiefactoren in het kader van de Regeling Ammoniak en Veehouderij (de Rav-lijst) zijn op dit moment reductiesystemen opgenomen die de emissie van fijnstof reduceren met 13 tot 80%. Deze systemen zijn dus direct beschikbaar om de emissie van bio-aerosolen uit stallen te verminderen.
- De relatie tussen de concentratie bio-aerosolen en de concentratie (ziekte)kiemen en kiemcomponenten in de lucht is niet eenduidig. Deze relatie hangt sterk samen met soort kiem of kiemcomponent. Dit betekent dat een reductiepercentage voor bio-aerosolen niet één op één vertaald mag worden naar de reductie van specifieke kiemen of kiemcomponenten. Echter, bij reductiesystemen die niet een bepaalde bron aanpakken, maar alle bronnen in gelijke mate, mag verondersteld worden dat de kiememissie in dezelfde mate wordt gereduceerd. Daar bovenop kan een extra effect worden bewerkstelligd wanneer het reductiesysteem specifiek inwerkt op kiemen, b.v. gebruik van ozon of UVC-straling.
- Er zijn een tweetal systemen beschikbaar die tegen relatief hoge kosten een sterke reductie (>90%) geven van de emissie van (ziekte)kiemen en die op dit moment al kunnen worden toegepast in de praktijk: 1) hoog efficiënte filters voor varkens- en pluimveestallen met centrale afzuiging van lucht; 2) kortegolfstraling met UVC voor varkens- en pluimveestallen met centrale afzuiging van lucht.
- Perspectiefvolle systemen voor een sterke reductie (>90%) van de emissie van (ziekte)kiemen, die echter nader onderzoek vergen, zijn: 1) chemische oxidatiemiddelen zoals ozon, waterstofperoxide / peroxone, per-azijnzuur en EOW ('Electrolyzed oxidizing water'), die aan het waswater van de luchtwasser worden toegevoegd; 2) koude plasma technologie; 3) foto-katalyse.



---

Op basis van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Praktijkonderzoek naar operationele wassers en filters en onderzoek in een gecontroleerde laboratoriumopstelling moeten inzicht verschaffen in het effect van biologische zuiveringstechnieken (biologische wassers, biobedden) op de emissie van (ziekte)kiemen en kiemcomponenten.
- Verdere ontwikkeling en optimalisatie is nodig van nieuwe technieken zoals foto-katalyse en koude plasmatechniek. Deze systemen kunnen een belangrijk deel van de organische verbindingen in ventilatielucht afbreken. Hiermee dienen zich nieuwe combinaties van stofafvangende en kiemdodende technieken aan die verder kunnen worden ontwikkeld voor toepassing in stallen.



---

# 1 Inleiding

Sinds de uitbraken van besmettelijke veeziekten zoals AI en vooral Q-koorts is er bij de Nederlandse bevolking bezorgdheid ontstaan over mogelijk negatieve effecten van de veehouderij op de gezondheid van de mens (zie ook het rapport van de Commissie van Doorn (2011)). Er is een toenemende oppositie waar te nemen van omwonenden tegen voorgenomen uitbreidingen en verplaatsingen van veehouderijbedrijven. Er bestaan nog vele kennislacunes op dit gebied; zo is er nog weinig bekend over de werkelijke risico's per infectieziekte en bedrijfstype. Onlangs is een multidisciplinair onderzoek uitgevoerd naar mogelijke gezondheidseffecten voor omwonenden van intensieve veehouderijbedrijven. Dit onderzoek bestond uit het meten van fijnstof en de microbiële componenten in fijnstof in het veld, analyse van door huisartsen geregistreerde gegevens en aanvullend een vergelijkend onderzoek onder astmatici en een niet-astmatische controle groep. Enkele belangrijke conclusies uit dit rapport waren:

- Er zijn duidelijke aanwijzingen dat omwonenden kunnen worden blootgesteld aan micro-organismen ook onder reguliere omstandigheden (geen uitbraken) en aan stoffen afkomstig van micro-organismen, met name zogeheten endotoxinen, bestanddelen van de celwand van bepaalde bacteriën.
- Het is belangrijk om te onderzoeken welke maatregelen de emissie van deeltjes uit stallen terug kunnen dringen.

Zoals hiervoor aangegeven kunnen gezondheidsproblemen ontstaan als gevolg van bepaalde micro-organismen, maar ook als gevolg van bepaalde componenten afkomstig van micro-organismen. Deze kiemen en kiemcomponenten zijn vaak onderdeel van grotere stofdeeltjes. Stofdeeltjes die geheel of gedeeltelijk een biologische oorsprong hebben noemen we bio-aerosolen. In de rest van het rapport praten we daarom over bio-aerosolen als we het hebben over stofdeeltjes die ziekteverwekkende kiemen en kiemcomponenten kunnen bevatten. Aangezien stofdeeltjes in stallen vrijwel allemaal een biologische oorsprong hebben, zijn stofdeeltjes en bio-aerosolen in dit geval (vrijwel) equivalent aan elkaar.

De relatie tussen de concentratie bio-aerosolen en de concentratie ziektekiemen en kiemcomponenten in de lucht is niet eenduidig. Deze relatie hangt sterk samen met de soort kiem of kiemcomponent. Hierbij is het van belang waar de kiem of kiemcomponent voorkomt in de stal, b.v. is het een kiem die voorkomt op de huid (zoals sommige typen Streptokokken en Stafylokokken), komt de kiem vooral voor in feces (zoals *E. coli* of *Campylobacter*) of wordt het vooral met de ademhaling uitgescheiden (zoals Influenza-virussen). Verder is het van belang of de kiem of kiemcomponent altijd aanwezig is (zoals endotoxine) of alleen tijdens uitbraken van bepaalde ziekten (zoals bij Q-koorts).

Onlangs is een verkennende studie gedaan naar de relatie tussen emissiereducties van bio-aerosolen en gezondheidsrisico's in de omgeving van veehouderijbedrijven (Hagenaars *et al.*, 2015). In deze studie werd geconcludeerd dat de verwachting is dat als de emissie van bio-aerosolen van een bedrijf met een bepaald percentage (x%) wordt gereduceerd, de met micro-organismen in die bioaerosolen verbonden gezondheidslast met ongeveer eenzelfde percentage van x% wordt gereduceerd, mits de meeste omwonenden die geïnfecteerd raken blootgesteld zijn aan lage doses. Dit betekent dat in dat geval elke vermindering van de emissie van bio-aerosolen kan bijdragen aan een vermindering van de risico's voor omwonenden.

Het doel van dit onderzoek is te inventariseren welke technieken potentie hebben om de emissie en/of de verspreiding van bio-aerosolen (met kiemen en kiemcomponenten) te reduceren en tevens te inventariseren welke daaruit direct beschikbaar zijn voor de praktijk. In dit rapport wordt vooral ingegaan op generieke methoden om de emissie van bio-aerosolen te reduceren en niet op reductiemethoden gericht op specifieke ziektekiemen of kiemcomponenten.

---

In hoofdstuk 2 worden de verschillende opties weergegeven om de concentratie en emissie van bio-aerosolen te reduceren. In paragraaf 2.1 wordt ingegaan op de mogelijkheden om de vorming en de opname van bio-aerosolen in de lucht te voorkomen. In paragrafen 2.2 en 2.3 wordt ingegaan op de mogelijkheden van reiniging van de lucht. Hierbij zijn twee hoofdprincipes te onderscheiden: a) reiniging van de lucht door het verwijderen van deeltjes uit de lucht (par. 2.2) en b) reiniging van de lucht door desinfectie (par. 2.3). In hoofdstuk 3 worden de technieken samengevat die perspectiefvol zijn en (vrijwel) direct toepasbaar zijn in de praktijk. In hoofdstuk 4 worden de resultaten in het kort bediscussieerd. In hoofdstuk 5 ten slotte staan de conclusies van dit onderzoek en wordt een aantal aanbevelingen gedaan.

---

## 2 Opties voor reductie van concentratie en emissie van bio-aerosolen

De grootte van micro-organismen varieert sterk. Ruwweg kan aangegeven worden dat virussen een aerodynamische diameter<sup>1</sup> hebben van 0,1 µm, bacteriën van 1,0 µm en schimmels van 10 µm. Virussen en bacteriën zijn daarom in het algemeen beduidend kleiner zijn dan de stofdeeltjes die veelvuldig in de lucht voorkomen (fijnstof: deeltjes die kleiner zijn dan 10 µm ofwel PM10). Er zijn verschillende mogelijkheden om de concentratie bio-aerosolen in stallucht en de emissie van bio-aerosolen via de stallucht te reduceren. In de eerste plaats is het van belang om middels hygiënemaatregelen de kans op insleep van ziektekiemen op het bedrijf klein te maken. Om de insleepkans van ziektekiemen via de lucht te minimaliseren worden op sommige bedrijven filters ingezet die bacteriën en virussen tegenhouden (Loeffen, 2008). In dit hoofdstuk zullen we ons beperken tot de opties die de productie en uitstoot van bio-aerosolen in de stal kunnen reduceren. De insleep van ziektekiemen wordt daarom als een gegeven beschouwd. Opties voor reductie van bio-aerosolen in de stal kunnen worden ingedeeld volgens twee hoofdprincipes: 1) voorkomen dat bio-aerosolen worden gevormd en in de lucht worden opgenomen; 2) verlaging van de concentratie bio-aerosolen via reiniging van de lucht.

Het eerste hoofdprincipe geldt alleen voor de droge (stof)deeltjes. De vochtige aerosolen komen vooral rechtstreeks vanuit het ademhalingssysteem in de lucht. Bij het tweede hoofdprincipe zijn twee belangrijke methoden te onderscheiden: a) reiniging van de lucht door het verwijderen van deeltjes uit de lucht en b) reiniging van de lucht door desinfectie. In het vervolg van dit hoofdstuk beschrijven we eerst het eerste hoofdprincipe in een paragraaf en daarna de twee methoden van het tweede hoofdprincipe in aparte paragrafen.

### 2.1 Voorkomen vorming en opname bio-aerosolen in de lucht

Opties om te voorkomen dat droge aerosolen (stofdeeltjes) worden gevormd, in de lucht worden opgenomen en emitteren zijn reeds in een eerdere rapportage beschreven (Aarnink en Ellen, 2006). Deze opties zijn opgedeeld naar: 1) aanpak bij de bron; 2) voorkomen stofvorming; 3) voorkomen stofopname in de lucht. Op basis van deze opdeling worden hieronder de belangrijkste opties voor stofreductie weergegeven:

#### 1) Aanpak bij de bron:

- Aanpassing van het voer (brijvoer verstrekken, betere pellets, pellets coaten);
- Hokbevuiling verminderen;
- Aanpassing strooisel (ander soort strooisel, ontstoft strooisel, verversen strooisel);

#### 2) Voorkomen stofvorming:

- Indrogen van mest voorkomen;
- Processen verbeteren bij maken en transport van strooisel;

#### 3) Voorkomen stofopname in de lucht:

- Activiteit van dieren beperken in relatie tot de stofbron;
- Voersysteem verbeteren;
- Oliefilm op dier;
- Oliefilm op vloer/strooisel;
- Waterfilm op vloer/strooisel;
- Dikke laag strooisel;

---

<sup>1</sup> De aerodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van 1 kg/dm<sup>3</sup> dat dezelfde valsnelheid heeft als het betreffende deeltje.

---

Aangezien de meeste (ziekte)kiemen in droge aerosolen in varkens- en pluimveestallen ontstaan uit mest, huilschilfers en veertjes (Aarnink *et al.*, 2011) zullen vooral maatregelen die hierop insteken effectief zijn om kiemverspreiding in de lucht tegen te gaan; dit zijn de volgende opties:

- Hokbevuiling verminderen;
- Indrogen van mest voorkomen;
- Oliefilm op dier;
- Oliefilm op vloer/strooisel;
- Waterfilm op vloer/strooisel;

### 2.1.1 Hokbevuiling verminderen

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 belangrijk gestuurd worden via de inrichting van het hok (Aarnink, 1997). De laatste 10-15 jaar is veel onderzoek gedaan om hokbevuiling in de varkenshouderij te voorkomen. Het verminderen van hokbevuiling is belangrijk in relatie tot hygiëne en gezondheid van de varkens, maar is tevens van belang voor het verminderen van emissies van stof en bio-aerosolen naar de buitenlucht. Verder zal het verminderen van de hokbevuiling een verlaging geven van de geur- en ammoniakemissie uit de stal. De neveneffecten van een verminderde hokbevuiling zijn daarom groot.

### 2.1.2 Indrogen van mest voorkomen

Het voorkomen van indrogen van de mest is voor alle diercategorieën van belang. In de varkenshouderij kan het indrogen van mest worden voorkomen door een goede afvoer van de mest naar de mestkelder. Voorkomen moet worden 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, met name als dieren in contact kunnen komen met deze droge (strooisel)mest. 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).

### 2.1.3 Oliefilm op dier

Een perspectiefvolle ontwikkeling lijkt het aanbrengen van een olielaagje direct op de varkens (Osman *et al.*, 1999). Deze onderzoekers testten twee systemen: 1) een roller die olie aanbrengt op de rug van de varkens als ze willen vreten; 2) een schuurborstel die olie aanbrengt tijdens het schuren van de varkens. De roller reduceerde inhaleerbaar (PM<sub>50</sub>) en respirabel (PM<sub>4</sub>) stof met respectievelijk 83 en 63%; de schuurborstel met respectievelijk 37 en 41%. Bij onderzoek aan een vergelijkbaar systeem met een zogenaamde 'olienippel', waarbij vleesvarkens telkens een beetje olie op de huid krijgen wanneer ze tegen een staaf aanlopen, werd een reductie van de PM<sub>10</sub> concentratie gevonden van 62% (Winkel *et al.*, 2013a).

### 2.1.4 Oliefilm op vloer/strooisel

In de varkenshouderij en recent ook in de pluimveehouderij is veel onderzoek gedaan naar het effect van het aanbrengen van een oliefilm laag op de stofconcentratie en -emissie. De oliefilm laag wordt aangebracht door het vernevelen van plantaardige olie (koolzaadolie) in de stal. Afhankelijk van de oliedosering kunnen reducties bereikt worden tot 90%, zowel in de varkenshouderij (Takai, 2007) als in de pluimveehouderij (Aarnink *et al.*, 2008). Bij vleeskuikens werd bij de hoogste dosering (24 ml m<sup>-3</sup>

---

<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>) een toename van voetzollaesies gevonden. Voor vleeskuikens is nu voor PM10-emissie een emissiereductiefactor opgenomen van 54% bij een oliedosering van 12 ml m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, waarbij op 21 dagen na opzet van de kuikens wordt gestart met het vernevelen van de olie (www.infomil.nl). Deze reductiefactor is gebaseerd op onderzoek in praktijkstallen van Winkel *et al.* (2011e).

### 2.1.5 Waterfilm op vloer/strooisel

Bij het aanbrengen van een waterfilm op de vloer of op het strooisel zijn de resultaten wisselend. Water verdampt zeer snel, daarom is regelmatig sproeien noodzakelijk om het stof op de vloer of in het strooisel te blijven binden. Met water zijn reducties in stofemissie haalbaar van ca. 50%. Daarbij moet echter voorkomen worden dat eventueel aanwezig strooisel te nat wordt. Sproeien van water in vleeskuikenstallen is niet aan te bevelen, aangezien dit een verhogend effect heeft op het optreden van voetzoolaandoeningen. De prevalentie van deze aandoeningen is één van de criteria voor de welzijnsbeoordeling van deze diergroep. Dit probleem is bij toepassing van een waterfilm bij leghennen in volièrehuisvesting niet of minder aanwezig. Bij een toename van de hoeveelheid gespreoid water per m<sup>2</sup> neemt echter ook de ammoniakemissie toe (Van Harn persoonlijke mededeling, 2011). Terwijl de opname van bio-aerosolen in de lucht afneemt als gevolg van het aanbrengen van een waterfilm, geeft de verhoging van het vochtgehalte van het strooisel een verhoogde wateractiviteit en dit kan de ontwikkeling van micro-organismen bevorderen. Het aanbrengen van een waterfilm is vanwege voornoemde nadelen niet aan te bevelen.

## 2.2 Reiniging van de lucht door verwijdering van deeltjes

De belangrijkste principes om deeltjes uit de lucht te verwijderen zijn:

- Drogelucht-filtratie (stoffilter, droogfilterwand, droogtunnel en warmtewisselaar);
- Ionisatie;
- Luchtwassing.

### 2.2.1 Verwijderen van deeltjes uit de lucht door drogelucht-filtratie

#### Stoffilter

Er is een grote verscheidenheid aan stoffilters verkrijgbaar, van grofstof-filters die vooral de grotere stofdeeltjes (>10 µm) wegvangen, tot fijnstof-filters die ook een deel van het fijnstof (<10 µm) wegvangen tot absoluut-filters, die ook hele kleine deeltjes tegenhouden, zoals bacteriën en virussen. Volgens een standaard gedefinieerd door de 'US Department of Energy' moeten zogenaamde HEPA-filters ('*High Efficiency Particulate Air*' filters) of absoluutfilters een verwijderingsrendement hebben van ten minste 99,97% van de aerosolen met een diameter van 0,3 µm. Inmiddels worden echter ook HEPA klassen gedefinieerd met een lager verwijderingsrendement. Dit zijn dan geen absoluutfilters. Filters hebben in het algemeen voor deeltjes met een diameter van 0,3 µm het laagste verwijderingsrendement. Grotere deeltjes dan 0,3 µm worden verwijderd als gevolg van interceptie (deeltjes zijn groter dan de openingen tussen de vezels) of als gevolg van impactie (door de traagheid van de deeltjes kunnen ze de luchtstroom niet volgen, maar botsen ze tegen de vezels). Kleinere deeltjes dan 0,3 µm krijgen te maken met diffusiekrachten waardoor ze andere richtingen volgen dan de luchtstroom en hebben daardoor een grote kans om te botsen met de vezels en zich daaraan te hechten. De Europese norm EN 1822:2009 definieert verschillende HEPA klassen, van E10, met een verwijderingsrendement > 85% tot U17 met een verwijderingsrendement > 99,9999% voor deeltjes met een diameter van 0,3 µm.

Stoffilters hebben slechts een geringe invloed op gasvormige emissies, terwijl ze de stofemissie tot vrijwel 100% kunnen reduceren. Luchtwassers hebben een relatief groot effect op de gasvormige emissies, vooral op ammoniak, maar een geringer effect op stofemissie (afhankelijk van type luchtwasser varieert deze tussen de 35 en 80%). Als een hoge stofreductie is vereist zou een stoffilter als voor- of nageschakelde techniek van luchtwassers kunnen worden ingezet. Groffilters zouden bijvoorbeeld een voorgeschakelde techniek kunnen zijn voor biologische en chemische wassers. Hoog efficiënte filters zouden een nageschakelde techniek kunnen zijn voor biologische en chemische

---

wassers. Dit laatste vergt echter wel aandacht in verband met de hoge luchtvochtigheid van de uitgaande lucht uit wassers.

Bij een hoog efficiënt filtersysteem in de inkomende lucht, zoals in een APF(Air Pathogen Free)-stal (Loeffen, 2008) worden filterpakketten opgebouwd van grof naar fijn. Hierbij moeten de goedkopere grovere filters vaker vervangen worden dan de duurdere absoluut-filters. In deze absoluut-filtersystemen treden grote drukverschillen op waardoor krachtige ventilatoren dienen te worden gebruikt. Het toenemen van drukverschillen komt bij alle luchtfilters met pakkingsmateriaal voor en kan tot een sterke toename van het benodigde ventilatievermogen leiden. Dit laatste aspect heeft ertoe geleid dat men op zoek is gegaan naar optimalisatie in plaats van maximalisatie van de luchtreiniging. Optimaal wil in dit geval zeggen een optimum ten aanzien van kosten en rendement. In de VS (University of Minnesota) is uitgebreid onderzoek gedaan naar het effect van filtering van de inkomende lucht op de verspreiding van het PRRS-virus. Deze verspreiding kon belangrijk worden teruggedrongen door de inzet van droogfilters met een 'Minimum Efficiency Reporting Value' (MERV) van 14 of 16 (Dee *et al.*, 2009; Dee *et al.*, 2010; Spronk *et al.*, 2010). MERV16-filters verwijderen meer dan 95% van de deeltjes in de range van 0,3 – 10 µm, terwijl voor MERV14-filters dit rendement minimaal 90% is.

#### Droogfilterwand

Een droogfilterwand is een systeem dat tussen de stal en de uitlaat van de ventilatoren wordt geplaatst. De lucht wordt op deze manier door deze wand gezogen, die uit een dubbele laag kunststof bestaat. In beide lagen zitten openingen die steeds verspringen ten opzichte van elkaar waardoor de lucht in een slalom door het filter wordt geleid. Doordat de luchtstroom steeds van richting verandert slaan de stofdeeltjes, door hun traagheid, neer op de filterwand. Het opgehoopte stof dat op deze manier uit de lucht wordt verwijderd moet regelmatig worden weggezogen. Uit onderzoek van Winkel *et al.* (2011d) aan twee leghennenstallen bleek dit systeem een gemiddelde reductie te geven voor PM10 van 40%. Voor PM2,5 werd geen reductie gevonden.

#### Droogtunnel

Door in leghennenstallen een deel van de uitgaande ventilatielucht door droogtunnels voor mest te leiden wordt deze mest gedroogd. Een bijkomend effect is dat stofdeeltjes in de lucht worden afgevangen door de vochtige mest, waardoor de stofemissie wordt gereduceerd. Uit onderzoek van Uenk *et al.* (1994) bleek dat de emissie van totaalstof in een batterijstal met mestbanden bij gebruik van een droogtunnel ca. 70% lager was dan zonder gebruik van een tunnel. In recenter onderzoek van Winkel *et al.* (2011a) werden reducties gevonden van PM10- en PM2.5-concentraties van gemiddeld respectievelijk 58% en 44%, gemeten voor en na de droogtunnel. In de lijst met emissiefactoren in de 'Regeling Ammoniak en Veehouderij' (de Rav-lijst; [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)) zijn op dit moment drie typen droogtunnels opgenomen, twee met een PM10-reductie van 55% en één met een reductie van 30%. De stofreductie uit de stal is tevens afhankelijk van de hoeveelheid lucht die via de droogtunnel en de hoeveelheid lucht die via de bypass wordt afgevoerd. Om te voorkomen dat de ammoniakemissie sterk toeneemt tijdens het droogproces van de mest, dient de mest in de stal te worden voorgedroogd (Winkel *et al.*, 2013b) of dagelijks uit de stal te worden verwijderd (Winkel *et al.*, 2013c).

#### Warmtewisselaar

Door de inkomende lucht bij pluimveestallen op te warmen met de uitgaande stallucht middels een warmtewisselaar kan de hoeveelheid geëmitteerde fijnstof worden gereduceerd. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de hechting van het stof rechtstreeks aan de wanden van de warmtewisselaar en anderzijds doordat door afkoeling van de uitgaande lucht de relatieve luchtvochtigheid belangrijk toeneemt, waardoor stofdeeltjes zwaarder worden en sneller sedimenteren. Onderzoek op twee vleeskuikenbedrijven lieten een PM10 reductie over de warmtewisselaar zien van gemiddeld 78% voor PM10 en 67% voor PM2,5 (Ellen *et al.*, 2013). Het uiteindelijke effect op de stofemissie uit de stal hangt mede af van de capaciteit van de warmtewisselaar, want deze capaciteit bepaalt hoeveel lucht er door de warmtewisselaar kan worden geleid en hoeveel lucht er via een bypass de stal moet verlaten. Op basis van minimale capaciteitseisen voor de warmtewisselaar zijn twee emissiereductiefactoren voor PM10 opgenomen in de Rav-lijst: 31% en 13% ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)).



---

## 2.2.2 Verwijderen van deeltjes uit de lucht door ionisatie

Er is de laatste jaren vrij veel onderzoek verricht in Nederland naar het effect van ionisatie op stofreductie in pluimveestallen. Bij ionisatie is onderscheid te maken tussen negatieve en positieve ionisatie. Bij ionisatie wordt een hoog spanningsveld gecreëerd waardoor in het geval van negatieve ionisatie elektronen worden uitgestoten. Deze elektronen zorgen ervoor dat de deeltjes die zich in de lucht bevinden negatief worden geladen. Deze negatief geladen deeltjes worden vervolgens aangetrokken door positief geladen of gearde oppervlakken. Bij positieve ionisatie worden elektronen aan gasmoleculen onttrokken. Deze positief geladen moleculen zorgen voor een positieve lading van de deeltjes in de lucht. Deze positief geladen deeltjes worden vervolgens aangetrokken door negatief geladen of gearde oppervlakken.

Onderzoek bij vleeskuikens met een negatief ionisatiesysteem (EPI-systeem, Baumgartner Enviro-nics, Inc., VS) lieten een reductie zien van de PM10-emissie van 36% en van de PM2.5-emissie van 10%. Dit systeem liet echter geen (significant) effect zien op de concentratie en emissie van micro-organismen (totaal aantal bacteriën en schimmels) (Cambra-López *et al.*, 2009). Na optimalisatie van het systeem werden in twee praktijkstallen voor vleeskuikens reducties bereikt van 49% voor PM10 en 65% voor PM2.5 (Winkel *et al.*, 2011c).

De hiervoor genoemde negatieve en positieve ionisatiesystemen creëren een spanningsveld in een open systeem. Er zijn ook gesloten systemen op de markt die actief lucht aanzuigen. We spreken dan van een elektrostatisch filter. Een elektrostatisch filter gebruikt elektrisch geladen polypropyleen en poly-urethaan filtermateriaal dat deeltjes aantrekt. De elektrische lading ontstaat door de luchtstroom door het filter. Het voordeel van elektrostatische filters ten opzichte van gewone (doeken)filters is dat de drukval over het filter veel geringer kan zijn om een zelfde reinigende werking te hebben. Over het effect van elektrostatische filters op het wegvangen van ziektekiemen uit de lucht is echter nog weinig bekend.

Een positief ionisatiesysteem is getest in de uitgaande lucht van een pluimveestal (Winkel *et al.*, 2011b). In het onderzochte systeem werd de ventilatielucht door een horizontaal kanaal geblazen met achtereenvolgens een roterend grofstoffilter en een ionisatie-unit. Het systeem heeft een stofreductiefactor gekregen van 60% voor PM10 ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)).

## 2.2.3 Verwijderen van deeltjes uit de lucht door luchtwassing

Een luchtwasser bestaat uit een reactor die gevuld is met pakkingsmateriaal. Dit materiaal heeft een hoge porositeit en een groot oppervlak. Periodiek of continu wordt een waterige oplossing over dit zogenaamde filterbed gespreid (wasvloeistof). Door dit filterbed wordt van onder naar boven ('tegenstroomprincipe') of dwars op de vloeistofstroom ('dwarsstroomprincipe') lucht geblazen, waardoor een intensief contact tussen lucht- en waterfase wordt verkregen. De wasvloeistof wordt in het algemeen gerecirculeerd om het watergebruik en/of chemicaliëngebruik te verminderen. Als gevolg van het contact tussen luchtstroom en wasvloeistof, gaan goed oplosbare componenten uit de lucht in oplossing in de vloeistof en worden vaste delen (stofdeeltjes) uit de luchtstroom gewassen. In de vloeistof wordt de component gebonden of (bio)chemisch omgezet naar andere verbindingen. Om accumulatie van de component en van zijn eventuele afbraakproducten te voorkomen moeten deze uit het systeem worden afgevoerd. Deze afvoer kan plaatsvinden als gasvormige verbindingen in de uitgaande luchtstroom of als opgeloste verbinding die het systeem verlaat door het spuien van een deel van de wasvloeistof. Na het spuien van de wasvloeistof dient deze aangevuld te worden. In een wasser wordt in het algemeen gebruik gemaakt van een kunststof dragermateriaal om inklinking van het pakkingsmateriaal te voorkomen en een goede waterafvoer te garanderen (Melse en Willers, 2004).

---

Er is onderscheid te maken tussen vier typen luchtwassers:

- a) Chemische wassers;
- b) Biologische wassers;
- c) Biobedden;
- d) Gecombineerde luchtwassers.

Deze luchtwassers zijn vooral ontwikkeld om ammoniak en geurcomponenten uit de lucht te verwijderen. In de hierna volgende beschrijvingen van de verschillende technieken van luchtwassing zal vooral in worden gegaan op het effect van deze systemen op de reductie van stof en ziektekiemen.

#### Chemische wassers

Het principe van een chemische wasser is dat ammoniak uit de lucht wordt gewassen met behulp van zuur. In de praktijk wordt als zuur veelal zwavelzuur ( $H_2SO_4$ ) gebruikt. De zuurdosering wordt gestuurd met behulp een pH-meting van het recirculatiewater, die in de regel onder de 4 wordt gehouden. De chemische wasser is commercieel beschikbaar bij diverse leveranciers en wordt al veel toegepast in de varkenshouderij. De chemische wasser vangt een belangrijk deel van het stof dat zich in de ventilatielucht bevindt af. Dit hoopt zich op als zwevend stof in het waswater en zal deels bezinken in het waswaterbassin. Ook een belangrijk deel van de micro-organismen zullen gelijktijdig met het stof worden weggevangen. Bovendien zullen de micro-organismen (deels) worden geïnactiveerd als gevolg van de lage pH van het waswater. Indien gewenst zou de afdodende werking van het zuur versterkt kunnen worden door de pH in het systeem verder te verlagen. Eventueel kan aan het waswater ook een bacteriedodend (bactericide) of virusdodend middel (viricide) toegevoegd worden. Metingen aan een chemische wasser lieten een kiemreductie (totaal kiemgetal) van 70% zien (Aarnink *et al.*, 2004). Melse *et al.* (2012) vonden op 8 verschillende praktijklocaties met een chemische wasser een gemiddelde reductie van de PM10-concentratie van 38%; de spreiding was echter groot (s.d. = 19%). De gevonden kiemreductie van 70% ligt dus in de boven-range van de gemeten PM10-reducties.

#### Biologische wassers

Het principe van een biologische wasser, biowasser of het biotricklingfilter, is gebaseerd op de aanwezigheid van micro-organismen in het systeem die in staat zijn een aantal componenten af te breken. Ammoniak kan zo worden omgezet naar nitriet ( $NO_2^-$ ) en nitraat ( $NO_3^-$ ), al dan niet gevolgd door omzetting tot stikstofgas ( $N_2$ ). Een aantal geurverbindingen wordt afgebroken tot water,  $CO_2$  en sulfaat. Op het pakkingsmateriaal van de biologische wasser groeit een biofilm (bacteriën) die bevochtigd wordt door de wasvloeistof. De pH in het systeem is 6 tot 8 (Melse en Willers, 2004). Een belangrijk deel van het stof dat zich in de ventilatielucht bevindt zal uit de lucht worden verwijderd. Het zal zich ophopen als zwevend stof in het waswater en deels bezinken in het waswaterbassin. Aangezien (ziekte)kiemen zelf ook deeltjes zijn en meestal onderdeel zijn van grotere stofdeeltjes, betekent het afvangen van stof zeer waarschijnlijk ook een reductie van de emissie van (ziekte)kiemen. Mogelijk worden (ziekte)kiemen ook (deels) afgedood in het waswater als gevolg van de competitie met de grote hoeveelheid biomassa die zich in het waswater bevindt. Eventueel zou aan het waswater een virusdodend middel (viricide) toegevoegd kunnen worden. Een dergelijk middel dient echter niet vluchtig te zijn vanwege het intense contact tussen lucht en water in de wasser en bovendien dient het geen negatieve invloed te hebben op het functioneren van de bacteriën in het systeem. Ten slotte dient het niet te snel door de aanwezige bacteriën afgebroken te worden. Kiemmetingen aan luchtwassers op praktijkstallen lieten een duidelijk verschil zien in aantallen kiemen na de wasser ten opzichte van voor de wasser tussen een biologische wasser vergeleken met een chemische wasser. Gemiddeld nam de totale kiemconcentratie bij gebruik van de onderzochte biologische wasser toe met een factor 2,8, terwijl de kiemconcentratie in de chemische wasser met 70% afnam (Aarnink *et al.*, 2004). In voornoemd onderzoek zijn de kiemen niet nader gespecificeerd. De verwachting is dat het merendeel van de kiemen in de uitgaande lucht van de biologische wasser 'onschuldige' bacteriën zijn, afkomstig van de biologische wasser en dus niet uit de stal. Uit het onderzoek bleek dat de variatie tussen de metingen zeer groot was. Verder onderzoek naar het effect van biologische wassers op de emissie van relevante (ziekte)kiemen is gewenst.

---

### Biobedden

In een biobed bestaat in tegenstelling tot de biologische wasser, het pakkingsmateriaal van het filter voor het grootste gedeelte uit materiaal van organische oorsprong (bijvoorbeeld compost, houtsnippers, boomschors, turf, kokosvezels) dat een zeer groot specifiek oppervlak heeft. In het verleden is onderzoek uitgevoerd aan biobedden voor de behandeling van stallucht. Toen was de ervaring dat er problemen optraden met stofophoping, bevochtiging en verzuring en werd geconcludeerd dat een biobed minder geschikt is voor rechtstreekse behandeling van de ventilatielucht. Het biobed kan wel een geschikte techniek zijn voor geur- en stofreductie, wanneer het ingezet wordt ná een processtap waarin ammoniak en stof reeds uit de ventilatielucht zijn verwijderd. Op deze wijze kan een biobed gebruikt worden als nageschakelde techniek voor een biologische of chemische wasser. Recentelijk is het biobed weer onder de aandacht gekomen als techniek voor rechtstreekse stalluchtbehandeling. De (procesmatige) problemen uit het verleden zouden onder controle zijn. Daarom is recentelijk opnieuw onderzoek uitgevoerd aan een biobed. Dit biobed was na een mestdroogstelsel van een leghennenstal geschakeld. Uit de metingen werd geconcludeerd dat een biobed hoge ammoniak-, geur- en fijnstofreducties kan behalen, waarbij echter de bevochtiging van het biobed goed in de gaten moet worden gehouden (Melse en Hol, 2012). Het is de verwachting dat een biobed, net als een biologische wasser, de kiememissie uit een stal zou kunnen verhogen.

### Gecombineerde luchtwassers

Gecombineerde luchtwassers zijn wassers waarin de chemische en de biologische reinigungsstap zijn gecombineerd. De luchtwasser kan opgebouwd zijn uit 2 of 3 trappen. Bij 3 trappen wordt in het algemeen in de eerste trap het (grove) stof verwijderd, in de tweede trap de ammoniak en in de derde trap de geur. Bij een 2-traps gecombineerde luchtwasser zijn de eerste 2 stappen gecombineerd. Op deze wijze wordt het merendeel van zowel de ammoniak, de geur als het fijnstof uit de lucht gewassen. In een onderzoek van Zhao *et al.* (2011) werden 3 verschillende typen gecombineerde luchtwassers onderzocht. Uit dit onderzoek bleek dat deze wassers de PM10-emissie reduceerden met 61 – 93%, de PM2,5-emissie met 47 – 90%, de ammoniakemissie met 70 – 100% en de emissie van bacteriën (totaal kiemgetal) met 46 – 85%. De meeste deeltjes (met kiemen) in de lucht waren groter dan 3,3 µm (73 – 95%). De verwijderingsefficiëntie van de gecombineerde luchtwassers voor de kiemen in deze deeltjes was groter (53 – 92%) dan voor de kiemen in de deeltjes kleiner dan 3,3 µm (-42 – 20%). Dat bij sommige metingen een negatieve efficiëntie is gemeten kan veroorzaakt zijn door variaties in tijd en plaats. De kiemmetingen in het onderzoek van Zhao *et al.* (2011) werden namelijk na elkaar genomen gedurende slechts 10 sec per monster en de monsters werden op één (representatieve) plaats in de in- en uitgaande lucht van de wasser genomen. Een andere oorzaak kan zijn dat er in de luchtwasser andere, kleinere deeltjes ontstaan dan in de ingaande lucht aanwezig zijn. Dat dit een oorzaak kan zijn, wordt bevestigd door onderzoek van Springorum *et al.* (2011). Zij vonden dat het aantal kleine deeltjes (met kiemen), van 0 – 5 µm, groter was in de lucht na reiniging in een biofilter dan in de ingaande, niet gereinigde stallucht ( $5,4 \times 10^6$  vs.  $2,0 \times 10^6$ ).

## 2.3 Reiniging van de lucht door desinfectie

Lucht kan ook door desinfectie worden gereinigd. Desinfectie is het gedeeltelijk of (vrijwel) volledig vernietigen van ziekteverwekkende organismen; dit kan op verschillende manieren worden bereikt, namelijk via:

- chemische methoden;
- fysische methoden, o.a. kortegolfstraling;
- een combinatie van chemische en fysische methoden.

Alvorens in te gaan op de verschillende middelen wordt een beschrijving gegeven van het werkingsprincipe van desinfectie.

### 2.3.1 Werking van desinfectie

Desinfectantia hebben de volgende werkingsprincipes:

- beschadiging van de celwand
- verandering van de doorlaatbaarheid van de celwand

- verandering van de eiwitstructuren in de cel
- verandering van het erfelijke materiaal (DNA of RNA)
- remming van de enzymactiviteit

Beschadiging of vernietiging van de celwand resulteert in een vernietiging van de cel. Sommige stoffen, zoals penicilline, remmen de vorming van de celwand. Andere desinfectantia, zoals fenolen, veranderen de doorlaatbaarheid van het membraan, waardoor vitale componenten, zoals N en P, kunnen ontsnappen. Hitte, straling en zure of alkalische oplossingen veranderen de structuur van het eiwit in de cel. Hitte stolt het cel-eiwit en zuren en basen denatureren het eiwit. UV-straling kan de vorming van dubbele bindingen veroorzaken, waardoor o.a. het DNA wordt beschadigd. Een andere principe van desinfectie is de remming van de enzymactiviteit. Oxiderende middelen, zoals chloride, kunnen de chemische structuur van enzymen veranderen en op deze manier deze enzymen deactiveren.

Bij toepassing van een desinfectans moeten de volgende zaken worden overwogen:

- contacttijd
- concentratie van het desinfectans
- intensiteit en manier van gebruik van fysische middelen
- temperatuur
- type organisme dat bestreden moet worden
- het karakter van de te behandelen vloeistof of lucht

De aanwezigheid van (organische) stof in de te behandelen vloeistof of de lucht zal de effectiviteit van het desinfectans verminderen, enerzijds door absorptie en anderzijds doordat deze stoffen een schild kunnen vormen voor de bacteriën.

Sterk oxiderende middelen (zoals chloriden en ozon) en UV-straling worden veel gebruikt voor desinfectie van afvalwater. De werkingsmechanismen van de verschillende behandelingen zullen voor lucht niet anders zijn. De benodigde concentraties en de minimale contacttijd zullen echter niet één op één geëxtrapoleerd kunnen worden van vloeistofbehandeling naar behandeling van lucht.

### 2.3.2 Chemische desinfectie

Chemische middelen werken volgens het principe van chemische oxidatie. In Tabel 1 wordt de oxidatieve kracht van een aantal componenten weergegeven, relatief t.o.v. die van zuurstof.

Tabel 1

*Oxidatieve kracht van enkele oxiderende stoffen ten opzichte van zuurstof (naar Ozonia, 1977, geciteerd door Metcalf en Eddy, 2003)*

Oxiderende stof	Relatief elektrochemisch oxidatievermogen (-)
Zuurstof (O <sub>2</sub> )	1.00
Chloor (Cl <sub>2</sub> )	1.11
Hypochloriet (ClO)	1.22
Waterstofperoxide (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.44
Ozon (O <sub>3</sub> )	1.69

Door de oxidatieve kracht van deze componenten kan niet alleen desinfectie worden bewerkstelligd, maar kunnen eveneens organische (geur)componenten worden afgebroken. Hierna worden in het kort de eigenschappen van de belangrijkste chemische oxidatiemiddelen besproken, namelijk van chloriden, ozon, waterstofperoxide/peroxone, per-azijnzuur en 'electrolyzed oxidizing water' (EOW).

---

### Chloriden

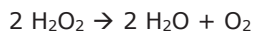
Van de oxiderende middelen worden chloriden wereldwijd het meest gebruikt voor desinfectie van water. De belangrijkste chloorhoudende desinfectantia in waterige oplossingen zijn: chloor (Cl<sub>2</sub>), natriumhypochloriet (NaOCl) en calciumhypochloriet (Ca(OCl)<sub>2</sub>). De oxidatieve stof bij chloorhoudende desinfectantia is in alle gevallen hypochloorzuur (HOCl). Aangezien chloriden niet in het milieu terecht moeten komen, is het gebruik van chloriden uit milieuoogpunt minder gewenst.

### Ozon

Ozon is een zeer sterk oxidatiemiddel. De halfwaardetijd van ozon bij 20°C is 45 minuten, daarom moet het vlak voor gebruik worden geproduceerd. Ozon heeft een sterk desinfecterende werking. Enkele microgrammen ozon per liter vloeistof is al voldoende voor een meetbaar effect op verschillende micro-organismen. Virussen verschillen t.a.v. hun gevoeligheid voor ozon. In de aquacultuur wordt ozon toegepast voor desinfectie van het recirculerende water, maar tevens voor oxidatie van organische afvalstoffen en nitriet (Summerfelt, 2003). De meeste pathogene micro-organismen kunnen worden geïnactiveerd bij ozondoseringen van 0,5 - 5,0 minuut mg/l (blootstellingtijd x concentratie). Sommige sporenvormende micro-organismen zijn moeilijk te inactiveren met ozon. Het ozonverbruik is sterk afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige organische stof. Bij gebruik van ozon voor desinfectie van stallucht is het daarom aan te bevelen om eerst het stof weg te vangen. Met behulp van ultraviolette straling (UVC-straling) kunnen eventuele ozonresiduen worden omgezet naar zuurstof. Boven een concentratie van 0,15 tot 0,25 ppm heeft ozon een negatieve invloed op de longfunctie bij mensen.

### Waterstofperoxide

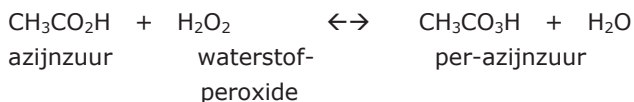
Waterstofperoxide is welbekend als bleekmiddel en als een stof die te gebruiken is voor het geurvrij maken van oplossingen. De oxiderende werking van waterstofperoxide is gebaseerd op de volgende reactie:



Met behulp van een katalysator kan peroxide ook worden omgezet in hydroxylradicalen (HO•). In combinatie met ozon (deze combinatie wordt peroxone genoemd) ontstaat een hoge concentratie van deze hydroxylradicalen. De oxidatieve werking van hydroxyl is zeer sterk. Peroxide is niet schadelijk voor het milieu. Wanneer alleen waterstofperoxide wordt gebruikt is de desinfecterende werking niet sterk, wanneer dit bijvoorbeeld wordt vergeleken met die van ozon of de chloriden. In combinatie met andere desinfectiemethoden zoals ozon, UV of per-azijnzuur ontstaat een sterk desinfecterend middel.

### Per-azijnzuur

Per-azijnzuur wordt al vele jaren gebruikt als desinfectans in ziekenhuizen. Per-azijnzuur is alleen verkrijgbaar in oplossingen waarin een evenwicht is tussen per-azijnzuur, azijnzuur en waterstofperoxide. Het evenwicht ziet er als volgt uit:



Per-azijnzuur is het belangrijkste desinfectans, hoewel ook waterstofperoxide bijdraagt aan de desinfecterende werking. Belangrijke voordelen van het gebruik van per-azijnzuur zijn: geen vorming van persistente rest- of bijproducten, de werking wordt niet beïnvloed door de pH, korte benodigde contacttijd en hoge effectiviteit tegen zowel bacteriën als virussen. Hoewel per-azijnzuur bij lage temperaturen (5-20°C) al een grote werkzaamheid heeft, wordt de desinfectietijd aanzienlijk verkort bij verhoging van de temperatuur.

### 'Electrolyzed oxidizing water' (EOW)

EOW wordt geproduceerd door elektrolyse van normaal drinkwater waar enig zout (NaCl) aan is toegevoegd. Aan de kathode wordt natriumhydroxide (NaOH) gevormd, terwijl aan de anode zuur wordt gevormd (HCl). De kathode- en de anoderuimten zijn op een speciale manier van elkaar gescheiden. Door de ionen van beide ruimten gedeeltelijk met elkaar te mengen ontstaat hypochloride

(HClO). Dit is een sterk oxiderende stof met een sterk desinfecterende werking. Het blijkt de bacteriën *E. coli*, *Staphylococcus aureus* en *Salmonella spp* in een vloeistof gedurende een korte behandeling van 0,5 tot 1 minuut sterk te reduceren (Issa-Zacharia *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2000). Het voordeel van EOW is dat het milieuvriendelijk is. Er hoeven bijvoorbeeld geen hoge concentraties chloor te worden gebruikt. EOW kan ook in een zuur milieu werken en zou dus misschien in combinatie met een chemische wasser toegepast kunnen worden.

### 2.3.3 Fysische desinfectie

#### Kortegolfstraling (UVC)

Het gebruik van UVC-straling is een mogelijkheid om lucht (vrijwel) kiemvrij te maken. UVC is het kortgolfige deel van het ultraviolette licht (golflengte tussen 100 en 280 nm). Alle micro-organismen zijn gevoelig voor UVC-straling. De stralingsdosis (het product van stralingsintensiteit en tijdsduur van blootstelling) die nodig is om 90% van de micro-organismen onschadelijk te maken verschilt echter van soort tot soort. Bij een stralingsdosis van 300 J/m<sup>2</sup> worden vrijwel alle bacteriën en virussen in de lucht onschadelijk gemaakt. In het algemeen liggen de bestralingsdoses die nodig zijn voor het voor 90% onschadelijk maken van bacteriën en gisten tussen 15 en 80 J/m<sup>2</sup>. Voor de meeste virussen zijn doses tussen 20 en 30 J/m<sup>2</sup> vereist (Roelofs, 1999). Desinfecteren met ultraviolette straling is vooral effectief bij een golflengte van 260 tot 265 nm. DNA en RNA in de cellen absorberen straling met deze golflengte.

De fractie micro-organismen die blootstelling aan UVC-straling overleeft kan beschreven worden met de volgende formule (Lightning, 1992, geciteerd uit Roelofs, 1999):

$$\frac{N_t}{N_0} \equiv e^{-k \cdot E_{\text{eff}} \cdot t}$$

Waarin:

- N<sub>t</sub> = aantal kiemen op tijd t
- N<sub>0</sub> = aantal kiemen voor de blootstelling aan UVC-straling
- t = blootstellingsduur (s)
- E<sub>eff</sub> = effectieve stralingssterkte (W/m<sup>2</sup>)
- k = 'killing rate' (m<sup>2</sup>/J)

Deze vergelijking geldt echter alleen voor schone en droge lucht. Bij hoge luchtvochtigheden (> 80%) en bij stofdeeltjes in de lucht wordt de effectiviteit geringer als gevolg van het afschermen van de micro-organismen door water, respectievelijk stof. Dit afschermen kan worden gereduceerd door meerdere stralingslampen te gebruiken die vanaf verschillende kanten op de lucht instralen. Voorfiltratie van de lucht om (een deel van) het stof weg te vangen is echter noodzakelijk. De invloed van omgevingstemperatuur op de gevoeligheid van micro-organismen voor UVC-straling is zeer beperkt.

#### Koude plasmatechnologie

Koude plasmatechnologie is in feite een vergaande vorm van ionisatie van de lucht. Plasma wordt ook wel de vierde aggregatietoestand genoemd (vast → vloeibaar → gas → plasma). Een plasma is een (gedeeltelijk) geïoniseerd gas dat vooral bestaat uit elektronen, ionen en radicalen. Deze kunnen gegenereerd worden door het aanbrengen van sterke elektrische velden. Plasmatechnologie wordt o.a. toegepast bij het aanbrengen van coatings. Vanuit de TU Eindhoven is een koude plasmatechniek ontwikkeld voor het reinigen van lucht: de corona reactor. Deze reactor werkt met zeer korte elektrische pulsen van zeer hoog voltage (50 – 100 kV). Volgens de onderzoekers van de TU zijn hoge reducties haalbaar tegen niet al te hoge kosten. Dit systeem is echter nog in de ontwikkelingsfase en zal nog moeten bewijzen of het een perspectiefvol reinigingssysteem is.

---

### 2.3.4 Combinatie van chemische en fysische middelen

#### Foto-katalytische oxidatie

In een foto-katalytisch proces vindt afbraak plaats onder invloed van een lichtbron (UV) in de aanwezigheid van een katalysator (bed) (bijvoorbeeld titaniumdioxide). Blootstelling aan UV-licht heeft als gevolg dat er elektronen ( $e^-$ ) vrijkomen uit het  $TiO_2$ . Tegelijkertijd worden positieve gaten gevormd ( $h^+$ ). De elektronen en de positieve gaten veroorzaken de vorming van superoxide ( $O_2^-$ ) en hydroxylradicalen ( $OH\bullet$ ) uit waterdamp en lucht. Deze radicalen kunnen vervolgens reageren met de af te breken organische verbindingen (bijv. bacteriën of virussen) zodat een kettingreactie van radicaalvorming en oxidatie wordt gestart. Wanneer de oxidatie volledig is, zijn de eindproducten van de reactie hoofdzakelijk water en kooldioxide. Als lichtbron wordt meestal UVA-licht gebruikt (365 nm) hetgeen onschadelijk is voor de huid en ogen van mens en dier. Foto-katalysesystemen worden op kleine schaal toegepast voor de behandeling van lucht en waterstromen in de industrie en bestaan ook als airconditioning-units voor luchtbehandeling van huizen en kantoren. Naar alle waarschijnlijkheid zullen ziektekiemen die zich in de lucht bevinden een foto-katalysebehandeling niet overleven.

Om te voorkomen dat het katalysatorbed verstopt raakt dient de te behandelen lucht eerst te worden ontdaan van het in deze lucht aanwezige stof.

---

## 3 Perspectievolle en direct toepasbare reductiemaatregelen

De verschillende opties voor reductie van bio-aerosolen in stallen, zoals in hoofdstuk 2 op een rij gezet, zijn beoordeeld op effect op kiemreductie (bacteriën en virussen), reductie van bio-aerosolen, op andere milieueffecten (ammoniak-, geur- en methaanemissies en overige milieueffecten) en op vaste en variabele kosten. Op basis van deze vergelijking komen een aantal systemen positief naar voren. Deze systemen kunnen onderverdeeld worden naar systemen die, uit oogpunt van kiememissies, een relatief beperkte reductie geven (<90%) en systemen die een hoge reductie geven (>90%). Aan het eind van deze paragraaf worden de systemen genoemd die in principe geschikt zijn om op dit moment al toe te passen in de veehouderij.

Systemen met een beperkte reductie van kiememissies (<90%):

- *Vermindering hokbevuiling.* Vermindering van hokbevuiling is van belang in de varkenshouderij. Hokbevuiling beïnvloedt niet alleen emissies van kiemen en bio-aerosolen, maar tevens de emissies van ammoniak en geur. Kosten zijn relatief beperkt, aangezien varkenshouders dit kunnen bereiken door te kiezen voor een goede hokinrichting ('Optimaal hok') en te zorgen dat het stalklimaat goed wordt geregeld, waardoor de varkens op de roosters mesten en niet de dichte vloer vervuilen. Door te zorgen voor koeling in de zomer kan hokbevuiling ook tijdens deze periode worden gereduceerd. Naast geringere milieueffecten zorgt minder hokbevuiling ook voor gezondere dieren en betere productieresultaten. Daarom zullen varkenshouders altijd streven naar een zo gering mogelijke hokbevuiling. Door de ondiepe mestkelders in het 'Optimaal hok' systeem en het regelmatig verwijderen van de mest uit de stal wordt de methaan emissie tevens gereduceerd.
- *Oliefilm op dier.* Dit systeem kan toegepast worden in de varkenshouderij. Dit is een relatief simpel systeem om te voorkomen dat het stof vanaf het dier en vanaf de vloer in de lucht wordt opgenomen. Tegen relatief geringe kosten levert het systeem een vrij hoge fijnstof reductie (62% bij vleesvarkens).
- *Oliefilm op vloer.* Dit systeem kan zowel in de varkenshouderij als in de pluimveehouderij worden toegepast. De olie kan zowel in een waterige emulsie als puur worden toegediend. Vanwege het effect op de strooiselkwaliteit wordt bij pluimvee de voorkeur gegeven aan het vernevelen van de pure plantaardige olie. De kosten van dit systeem zijn relatief laag, terwijl reducties tot 90% zijn gemeten.
- *Droogfilterwand.* De droogfilterwand haalt vooral het grovere stof uit de lucht. Fijnstof wordt met 40% gereduceerd. Het is een relatief simpel en goedkoop systeem. Op dit moment wordt het systeem vooral toegepast in de pluimveehouderij, waarbij de ventilatoren op de kopse kant van de stal zijn geplaatst.
- *Warmtewisselaar.* Een warmtewisselaar geeft een hoge reductie van fijnstof. Omdat slechts een deel van de uitgaande lucht via de warmtewisselaar naar buiten gaat is het effect op de emissie van bio-aerosolen niet groot (afhankelijk van de capaciteit van de warmtewisselaar 13 of 31% reductie). Dit systeem wordt echter al vaak toegepast in pluimveestallen, vooral in stallen met vleeskuikens, om redenen van energiebesparing en verbetering van het stalklimaat.
- *Ionisatie.* De verschillende ionisatiesystemen zijn ontwikkeld om stof te reduceren. Ze hebben dan ook geen of weinig effect op andere milieuemissies. Het gemiddelde verwijderingsniveau voor fijnstof van ionisatiesystemen ligt in de bandbreedte van 50 tot 60%. De kosten zijn relatief gering.
- *Luchtwassers.* Deze scores vooral goed op de andere milieuemissies. Ze vangen ook een (belangrijk) deel van het stof weg waardoor de emissie van kiemen uit de stal in het algemeen ook wordt gereduceerd (afhankelijk van het type ligt de fijnstof verwijdering tussen de 35 en 80%). Er is meer inzicht nodig in de kiememissies uit biologische reinigingssystemen om vast te kunnen stellen of deze een positieve uitwerking hebben op de emissie van ziektekiemen. Daarbij zal onderzocht moeten worden of de kiemen in de lucht die uit de wasser komen onschuldig zijn en in hoeverre kiemen uit de stal worden doorgelaten. In de



---

varkenshouderij worden luchtwassers al uitgebreid ingezet om emissies van vooral ammoniak en geur te reduceren. In de pluimveehouderij worden luchtwassers nog weinig toegepast vanwege de hoge ventilatiedebieten en de hoge stofconcentraties in deze stallen, die aanvullende eisen stellen aan de luchtwasser,.

Systemen met een hoge reductie van kiememissies (>90%):

- *Hoog efficiënte filters.* Het grote voordeel van hoog efficiënte filters is dat het vrijwel alle deeltjes afvangt, zowel stof als ziektekiemen (bacteriën en virussen). Het doet echter weinig aan de gasvormige emissies. Het systeem kan zowel bij de ingaande als de uitgaande lucht worden toegepast. Over het gebruik van absoluutfilters (HEPA-filters met een verwijderingsrendement >99,97% van deeltjes met een diameter van 0,3 µm) in een varkensstal is een uitgebreid rapport verschenen (Huijben *et al.*, 1998).
- *De chemische oxidatiemiddelen ozon, waterstofperoxide / peroxone, per-azijnzuur en EOW.* De voordelen van deze middelen zitten vooral in de reductie van de stofemissie (door het wassysteem) en de reductie van de kiememissie (door de oxidatieve werking van het middel). Het effect van deze middelen op de ammoniak- en geuremissie lijkt vrij beperkt, behalve voor per-azijnzuur en EOW die de ammoniakemissie ook kunnen reduceren. Op welke wijze deze chemische oxidatiemiddelen ingezet moeten worden in luchtwassystemen, met name welke doses en welke contacttijd moet worden gehanteerd, zal verder moeten worden onderzocht.
- *Kortegolfstraling met UVC.* Het grote voordeel van UVC-straling is dat het zeer effectief is in het doden van ziektekiemen, zowel bacteriën als virussen. Aangezien UVC-straling geen effect heeft op de milieu-emissies kan dit systeem even goed voor de ingaande als voor de uitgaande lucht worden toegepast. Over de mogelijke toepassing van UVC-straling in de varkenshouderij is een uitgebreid rapport verschenen (Roelofs, 1999).
- *Koude plasma.* Op dit moment zijn de kosten van koude plasmatechnologie nog te hoog voor toepassing in de veehouderij. Door verdere ontwikkeling en optimalisatie zou dit systeem op termijn perspectief kunnen bieden. Dit systeem reduceert niet alleen kiemen en stof, maar ook ammoniak en geur. Het is echter op dit moment niet bekend of er minder gewenste omzettingenproducten worden gevormd, b.v. lachgas.
- *Foto-katalyse.* Dit is een vrij nieuwe techniek. Effecten zijn daarom nog moeilijk aan te geven. De techniek zou op termijn perspectief kunnen bieden voor toepassing in de intensieve veehouderij. De kosten zullen dan echter nog belangrijk moeten worden verlaagd.

De volgende reductiemaatregelen zijn al voldoende uitontwikkeld en zijn op dit moment al toepasbaar in de veehouderij:

- Vermindering hokbevuiling: voor de varkenshouderij.
- Oliefilm op dier: voor de varkenshouderij.
- Oliefilm op vloer: voor de varkens- en pluimveehouderij.
- Droogfilterwand: voor de pluimveehouderij met centrale (aan één kant van de stal) afzuiging van lucht.
- Warmtewisselaar: voor de pluimveehouderij in stallen met centrale afzuiging van lucht.
- Ionisatie: voor de varkens- en pluimveehouderij.
- Luchtwassers: voor de varkens- en pluimveehouderij in stallen met centrale afzuiging van lucht.
- Hoog efficiënte filters: voor de varkens- en pluimveehouderij in stallen met centrale afzuiging van lucht.
- Kortegolfstraling met UVC: voor de varkens- en pluimveehouderij in stallen met centrale afzuiging van lucht.

Tabel 2

Voor- en nadelen van de verschillende opties voor reductie van kiemen (bacteriën en virussen) en bio-aerosolen. Tevens worden de andere milieueffecten en de kosten weergegeven.<sup>1</sup>

Systeem	Kiemen	Bio-aerosolen	Andere milieueffecten				Kosten		Totaal
			NH3	Geur	CH4	Overig	Vaste	Var.	
Voorkomen vorming en opname in lucht									
• < Hokbevuiling	+	+	+	+	0	0	0	0	+
• < indrogen mest	+	+	0	0	0	0	0	0	0
• Oliefilm op dier	+	+	0	0	0	0	-	-	+
• Oliefilm op vloer <sup>2</sup>	+	+	0	0	0	0	-	-	+
• Waterfilm op vloer <sup>2</sup>	0	+	0/- <sup>3</sup>	0	0	0	-	0	0
• Optimaal hok	+	+	+	+	+	0	0	0	+
Droogelucht-filtratie									
• Stoffilters:									
o Grof	+	++	0	+	0	0	-	--	0
o Absoluut	++++	++++	0	+	0	0	--	----	+
• Droogfilterwand	+	+	0	0	0	0	-	0	+
• Droogtunnel	+	+	-	-	0	0	-	+	-
• Warmtewisselaar	+	+	++	+	0	0	-	+	++
Ionisatie									
• Negatief	+	+	0	0	0	0	-	-	+
• Positief	+	+	0	0	0	0	-	-	+
• Ionisatiefilter	+	+	0	0	0	0	-	-	+
Luchtwassers									
• Chemisch	+	+	++++	+	0	-	--	-	++
• Biologisch	? <sup>4</sup>	++	+++	+++	0	0	--	-	?
• Biobed	? <sup>4</sup>	+++	++	++++	0	0	-	-	?
• Combi	+	++	++++	+++	0	-	--	-	++
Desinfectie door chemische oxidatie <sup>5</sup>									
• Chloriden	++++	+	+	0	0	---	--	--	-
• Ozon	++	+	+	+	0	0	---	-	0
• Peroxide	++	+	+	+	0	0	--	--	0
• Peroxone	+++	+	+	+	0	0	---	--	+
• Per-azijnzuur	++++	+	++++	0	0	0	--	----	+
• EOW <sup>6</sup>	+++	+	+	+	0	0	--	-	+
Desinfectie door fysische middelen									
• UVC-straling	++++	0	0	0	0	0	-	---	+
• Koude plasma	++++	+++	++	++	?	?	----	?	?
Desinfectie door fotokatalyse	+++	?	+	++	0	0	----	--	?

<sup>1</sup>) De beoordeling heeft een schaal van ---- (sterk negatief effect) tot ++++ (sterk positief effect); 0 = geen effect; ? = effect onbekend. Bij 'Totaal' geven de minnen en plussen een overall beoordeling weer, variërend van totaal geen perspectief (----) tot zeer perspectiefvol (++++); ? = perspectief nog niet duidelijk.

<sup>2</sup>) Op vloer of strooisel.

<sup>3</sup>) Op een kale vloer heeft dit geen effect, op strooisel verhoogt het de ammoniakemissie bij leghennen; bij vleeskuikens is het niet aan te bevelen vanwege het effect van nat strooisel op voetzoollaesies.

<sup>4</sup>) Bij deze wassers bestaan op dit moment nog vraagtekens in hoeverre zij een risico opleveren ten aanzien van kiememissies gegenereerd vanuit het pakkingsmateriaal, en hoe dit zich verhoudt tot de beperking van kiememissies uit de stal.

<sup>5</sup>) Desinfectie door chemische oxidatie wordt toegepast in een wassysteem met water waaraan een oxidatiemiddel is toegevoegd. Op welke wijze deze chemische oxidatiemiddelen ingezet moeten worden in luchtwassersystemen, met name welke doses en welke contacttijd moet worden gehanteerd, zal verder moeten worden onderzocht.

<sup>6</sup>) Electrolyzed oxidizing water' = geëlektrolyseerd oxiderend water

---

## 4 Discussie

In algemene zin kan worden gezegd dat opties die de stofemissie ofwel de emissie van bio-aerosolen reduceren ook de emissie van (ziekte)kiemen en kiemcomponenten reduceren. Dit betekent echter niet dat een reductiepercentage voor bio-aerosolen één op één vertaald mag worden naar de reductie van specifieke kiemen of kiemcomponenten. Bij reductiesystemen die niet één bepaalde bron aanpakken, maar alle bronnen in gelijke mate, mag verondersteld worden dat de kiememissie in dezelfde mate wordt gereduceerd. Daar bovenop kan een extra effect op kiemreductie worden bewerkstelligd wanneer het reductiesysteem specifiek inwerkt op kiemen, b.v. gebruik van ozon of UVC-straling. Voor deze systemen geldt echter dat de werking minder goed zal zijn als niet eerst een belangrijk deel van het stof is afgevangen.

De huidige stofreductiesystemen in de Regeling Ammoniak en Veehouderij, de zogenaamde Rav-lijst ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)), reduceren de fijnstof-emissies en daarmee de emissies van bio-aerosolen met 13 tot 80%. Elke reductie verkleint de kans op verspreiding van (ziekte)kiemen en kiemcomponenten. De gewenste reductie zal echter sterk samenhangen met de eigenschappen van de ziektekiemen of kiemcomponenten. Kiemen kunnen in grote aantallen voorkomen in de lucht en worden daarom steeds in  $_{10}\log$  weergegeven. In een uitgebreid onderzoek werden door Seedorf *et al.* (1998) gemiddelde bacterieconcentraties gevonden in pluimvee-, varkens- en rundveestallen van respectievelijk  $10^{6,4}$ ,  $10^{5,1}$  en  $10^{4,3}$  kve (kolonievormende eenheden) per  $m^3$  lucht. Bij 50% reductie van fijnstof zouden nog steeds respectievelijk  $10^{6,1}$ ,  $10^{4,8}$  en  $10^{4,0}$  kve per  $m^3$  lucht aanwezig zijn in de stal. Bij emissies van ziektekiemen met een hoge infectiekans bij blootstelling aan zeer geringe concentraties zijn waarschijnlijk veel hogere reducties nodig om de kans op transmissie van ziektekiemen via de lucht belangrijk te verkleinen (Hagenaars *et al.*, 2015). Dan zal gedacht moeten worden aan reducties van 99% of meer. Dit kan waarschijnlijk alleen met luchtreinigingssystemen opgelost worden. De huidige luchtwassers zullen niet aan de eis van >99% reductie kunnen voldoen. Bij gebruik van een ander zuur, bijvoorbeeld per-azijnzuur zou dit wel bereikt kunnen worden. De kosten van per-azijnzuur zijn echter beduidend hoger dan van zwavelzuur, dat op dit moment wordt gebruikt in chemische en gecombineerde wassers (Aarnink *et al.*, 2004). In het rapport van Starmans en Melse (2011) wordt aangegeven dat uit oogpunt van veiligheid, efficiëntie en kosten citroenzuur als een goed alternatief voor zwavelzuur naar voren komt. Wat het effect is van citroenzuur op kiemreductie zal nader onderzocht moeten worden. Wel is bekend dat citroenzuur desinfecterend kan werken ten aanzien van bacteriën (Tsai *et al.*, 2003) en virussen (Avian Influenza) (Lombardi *et al.*, 2008). Perspectiefvol lijkt de toepassing te zijn van EOW ('Electrolyzed oxidizing water') in chemische wassers. Gebruik van hoog efficiënte filters is een andere mogelijkheid om emissies van kiemen te voorkomen. Hoog efficiënte filters kunnen echter de emissies van ammoniak en geurcomponenten niet voorkomen. Gebruik van UVC of foto-katalyse zijn andere perspectiefvolle methoden om kiemen te doden. Deze systemen zijn echter alleen effectief als de lucht gereinigd is van stof, daarom kan een combinatie met een luchtwassersysteem een goede optie zijn.

In dit rapport is alleen ingegaan op de mogelijkheden om de emissie van bio-aerosolen te reduceren. Voor een goed begrip van de rol van bio-aerosolen op de gezondheid van omwonenden is het echter ook van belang inzicht te krijgen in de verspreiding van de bio-aerosolen naar de omgeving. Hierbij spelen o.a. de hoogte van de luchttuitlaat, de uitworpsnelheid en de meteorologische omstandigheden (windsnelheid en -richting, temperatuur, turbulentie) een belangrijke rol. Ook de grootte van de uitgestoten stofdeeltjes speelt een belangrijke rol bij de verspreiding. Naarmate de deeltjes kleiner worden zullen ze zich meer gasvormig gaan gedragen en zal de kans op sedimentatie afnemen. Met behulp van bemonsteringen en verspreidingsmodellen is het mogelijk de optredende concentraties op verschillende punten in de omgeving in kaart te brengen.

---

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Uit dit rapport kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Aangezien vrijwel al het stof in stallen van biologische oorsprong is, is stof in stallen (nagenoeg) synoniem aan bio-aerosolen in stallen. De huidige reductiemethoden voor fijnstof zullen daarom de emissie van bio-aerosolen in dezelfde mate verminderen. In de lijst met emissiefactoren in het kader van de Regeling Ammoniak en Veehouderij (de Rav-lijst) zijn op dit moment reductiesystemen opgenomen die de emissie van fijnstof reduceren met 13 tot 80%.
- De relatie tussen de concentratie bio-aerosolen en de concentratie (ziekte)kiemen en kiemcomponenten in de lucht is niet eenduidig. Deze relatie hangt sterk samen met soort kiem of kiemcomponent. Dit betekent dat een reductiepercentage voor bio-aerosolen niet één op één vertaald mag worden naar de reductie van specifieke kiemen of kiemcomponenten. Echter, bij reductiesystemen die niet een bepaalde bron aanpakken, maar alle bronnen in gelijke mate, mag verondersteld worden dat de kiememissie in dezelfde mate wordt gereduceerd. Daar bovenop kan een extra effect worden bewerkstelligd wanneer het reductiesysteem specifiek inwerkt op kiemen, b.v. gebruik van ozon of UVC-straling.
- Er zijn een aantal systemen beschikbaar die tegen relatief geringe (meer)kosten een beperkte reductie (<90%) geven van de emissie van bio-aerosolen en die op dit moment al kunnen worden toegepast in de praktijk: 1) vermindering hokbevuiling bij varkens b.v. via een optimaal hok; 2) oliefilm aanbrengen op de huid van het varken; 3) oliefilm aanbrengen op de vloer in varkensstallen of op het strooisel in pluimveestallen; 4) gebruik van een droogfilterwand bij pluimveestallen; 5) gebruik van een warmtewisselaar in pluimveestallen; 6) gebruik van een ionisatiesysteem in pluimvee- en varkensstallen; 7) gebruik van luchtwassers bij varkens- en pluimveestallen.
- Er zijn een tweetal systemen beschikbaar die tegen relatief hoge kosten een sterke reductie (>90%) geven van de emissie van (ziekte)kiemen en die op dit moment al kunnen worden toegepast in de praktijk: 1) hoog efficiënte filters voor varkens- en pluimveestallen met centrale afzuiging van lucht; 2) kortegolfstraling met UVC voor varkens- en pluimveestallen met centrale afzuiging van lucht.
- Perspectiefvolle systemen voor een sterke reductie (>90%) van de emissie van (ziekte)kiemen, die echter nader onderzoek vergen, zijn: 1) chemische oxidatiemiddelen ozon, waterstofperoxide / peroxone, per-azijnzuur en EOW ('Electrolyzed oxidizing water'), die aan het waswater van de luchtwasser worden toegevoegd; 2) koude plasma technologie; 3) foto-katalyse.

Op basis van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Biologische zuiveringstechnieken (biologische wassers, biobedden) kunnen een belangrijk deel van stofdeeltjes uit ventilatielucht afvangen maar creëren ook mogelijk zelf weer bio-aerosolen die verspreid kunnen worden. Onduidelijk is wat de relevantie is van door biologische wassers en biofilters gegenereerde bio-aerosolen en of deze schadelijk zijn. Praktijkonderzoek naar operationele wassers en filters en onderzoek in een gecontroleerde laboratoriumopstelling kunnen hier inzicht verschaffen.
- Het palet aan luchtzuiveringstechnieken in de veehouderij heeft zich de afgelopen jaren verbreed van luchtwassers naar droogfilters en ionisatiefilters. Er zijn ook prototypes gebaseerd op foto-katalyse en koude plasmatechniek ontwikkeld om alle organische verbindingen in ventilatielucht af te breken. Hiermee dienen zich nieuwe combinaties van stofafvangende en kiemdodende technieken aan die verder kunnen worden ontwikkeld voor toepassing in stallen.

---

## Referenties

- 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., Cambra-López, M., Lai, H. T. L. & Ogink, N. W. M. (2011). Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen., Rapport 452, 22 Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Aarnink, A. J. A. & Ellen, H. H. (2006). Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij. 36 Lelystad: Animal Sciences Group.
- Aarnink, A. J. A., Landman, W. J. M., Melse, R. W., Gijsel, P. d., Thuy, H. T. T. & Fabri, T. (2004). Voorkomen van verspreiding van ziektekiemen en milieu-emissies via luchtreiniging., 63 Wageningen: Agrotechnology and Food Innovations.
- Aarnink, A. J. A., Van Harn, J., Van Hattum, T. G., Zhao, Y., Snoek, J. W., Vermeij, I. & Mosquera, J. (2008). Reductie stofemissie bij vleeskuikens door aanbrengen oliefilm., Rapport 154, 40 Lelystad: Animal Sciences Group, Rapport 154.
- Cambra-López, M., Winkel, A., Van Harn, J., Ogink, N. W. M. & Aarnink, A. J. A. (2009). Ionization for reducing particulate matter emissions from poultry houses. Transaction of the ASABE 52(5): 1757-1771
- Commissie van Doorn (2011). Al het vlees duurzaam. De doorbraak naar een gezonde, veilige en gewaardeerde veehouderij in 2020. 24 pp.
- Dee, S., Pitkin, A. & Deen, J. (2009). Evaluation of alternative strategies to MERV 16-based air filtration systems for reduction of the risk of airborne spread of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Veterinary Microbiology 138(1-2): 106-113.
- Dee, S., Spronk, G., Reicks, D., Ruen, P. & Deen, J. (2010). Further assessment of air filtration for preventing PRRSV infection in large breeding pig herds. Veterinary Record 167(25): 976-977.
- Ellen, H., Mosquera, J., Hol, J. M. G., Huis in 't Veld, J. W. H., Nijeboer, G., Ploegaert, J. P. M. & Ogink, N. W. M. (2013). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een warmtewisselaar op vleeskuikenbedrijven. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Ellen, H. H. & Drost, H. (1997). Technische mogelijkheden om de stofconcentratie in pluimveestallen te verlagen. Rapport R9703, Praktijkonderzoek Pluimveehouderij, Beekbergen, 28 pp.
- Hagenaars, T. J., Aarnink, A. J. A. & Ogink, N. W. M. (2015). Relatie tussen emissiereducties van bio-aerosolen en gezondheidsrisico's in de omgeving van veehouderijbedrijven: voorstudie. In druk: Wageningen UR, Centraal Veterinair Instituut.
- Issa-Zacharia, A., Kamitani, Y., Tiisekwa, A., Morita, K. & Iwasaki, K. (2010). In vitro inactivation of Escherichia coli, Staphylococcus aureus and Salmonella spp. using slightly acidic electrolyzed water. Journal of Bioscience and Bioengineering 110(3): 308-313.
- Kim, C., Hung, Y. C. & Brackett, R. E. (2000). Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens. Journal of Food Protection 63(1): 19-24.
- Loeffen, W. L. A. (2008). Population dynamics of swine influenza virus in finishing pigs. PhD, 127 Utrecht: Utrecht University.
- Lombardi, M. E., Ladman, B. S., Alphin, R. L. & Benson, E. R. (2008). Inactivation of Avian Influenza Virus Using Common Detergents and Chemicals. Avian Diseases 52(1): 118-123.
- Melse, R. W., Hofschreuder, P. & Ogink, N. W. M. (2012). Removal of particulate matter (PM10) by air scrubbers at livestock facilities: results of an on-farm monitoring program. Transaction of the ASABE 55(2): 689-698.
- Melse, R. W. & Hol, J. M. G. (2012). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: biofiltratie van ventilatielucht uit een mestdroogstelsel bij een leghennenstal = Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: biofiltration of exhaust air of a manure drying system at a barn for laying hens. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Osman, S. P. L., Kay, R. M. & Owen, J. E. (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., 253-260 Aarhus, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark.
- Roelofs, P. (1999). Desinfectie binnenkomende lucht met UV-straling. Periodiek Varkenshouderij, Proefstation voor de Varkenshouderij.

- 
- Seedorf, J., Hartung, J., Schroder, M., Linkert, K. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H. & Wathes, C. M. (1998). Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of agricultural engineering research* 70(1): 97-109.
- Springorum, A. C., Clauß, M. & Hartung, J. (2011). AIRBORNE DISTRIBUTION OF BIO-AEROSOLS OF DIFFERENT SIZE AND COMPOSITION AFTER PASSING A BIO-SCRUBBER. In *Proceedings of the XVth International Congress on Animal Hygiene* Vienna, Austria: International Society of Animal Hygiene.
- Spronk, G., Otake, S. & Dee, S. (2010). Prevention of PRRSV infection in large breeding herds using air filtration. *Veterinary Record* 166(24): 758-759.
- Starmans, D. A. J. & Melse, R. W. (2011). Alternatieven voor zwavelzuur in chemische luchtwassers. 19: Lelystad : Animal Sciences Group, Rapport 385.
- Takai, H. (2007). Factors influencing dust reduction efficiency of spraying of oil-water mixtures in pig buildings. In *DustConf 2007, How to improve air quality. International Conference, 23-24 April, Maastricht, The Netherlands.*  
<http://www.dustconf.org/client/dustconf/upload/S6/Takai%20DK%20pap.pdf>.
- Tsai, Y. P., Pai, T. Y., Hsin, J. Y. & Wan, T. J. (2003). Biofilm bacteria inactivation by citric acid and resuspension evaluations for drinking water production systems. *Water Science and Technology* 48(11-12): 463-472.
- Uenk, G. H., Monteny, G. J., Demmers, T. G. M. & Hissink, M. G. (1994). Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestsilos voor en na het mixen van de mest. In *Rapport 93-10, 22 Wageningen: IMAG-DLO.*
- Winkel, A., Belgers, J., Peters, B., Vermeij, I. & Ellen, H. H. (2013a). Ontwikkeling en evaluatie van technieken ter verlaging van stofconcentraties in varkensstallen. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Blanken, K., Ellen, H. H. & Ogink, N. W. M. (2013b). Ammoniakvorming in mestdroogsystemen op legpluimveebedrijven met mestbandbeluchting. Rapport 730, 20 Lelystad: Wageningen UR Livestock Research, Rapport 730.
- Winkel, A., Huis in 't Veld, J. W. H., Nijeboer, G. M., Schilder, H., Van Hattum, T. G., Ellen, H. H. & Ogink, N. W. M. (2013c). Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in stallen met een droogtunnel = Dust emission from animal houses: layer hens in houses with a tunnel drying system. Rapport 731, 42 Lelystad: Wageningen UR Livestock Research, Rapport 731.
- Winkel, A., Mosquera, J., Ellen, H. H., Hol, J. M. G., Nijeboer, G. M., Ogink, N. W. M. & Aarnink, A. J. A. (2011a). Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in stallen met een droogtunnel = Dust emission from animal houses: layer hens in houses with a tunnel drying system. Rapport 280, 38 Lelystad: Wageningen UR Livestock Research, Rapport 280.
- Winkel, A., Mosquera, J., Huis in 't Veld, J. W. H., Nijeboer, G. M. & Ogink, N. W. M. (2011b). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiefilter op leghennenbedrijven. Rapport 440, in druk Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Mosquera, J., Huis in 't Veld, J. W. H., Ogink, N. W. M. & Aarnink, A. J. A. (2011c). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op vleeskuikenbedrijven. Rapport 462, 25 Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Mosquera, J., Huis in 't Veld, J. W. J., Nijeboer, G. M. & Ogink, N. W. M. (2011d). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een droogfilterwand op leghennenbedrijven = Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of a dry filter wall on layer farms. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.

- 
- Winkel, A., Mosquera, J., Van Harn, J., Nijeboer, G. M., Ogink, N. W. M. & Aarnink, A. J. A. (2011e). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op vleeskuikenbedrijven. Rapport 392, 25 Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Zhao, Y., Aarnink, A. J. A., Ogink, N. W. M., De Jong, M. C. M. & Groot Koerkamp, P. W. G. (2011). Effectiveness of multi-stage scrubbers on reducing emissions of air pollutants from pig houses. Transactions of the ASABE 54(1): 285-293.

---

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
info.livestockresearch@wur.nl  
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 828



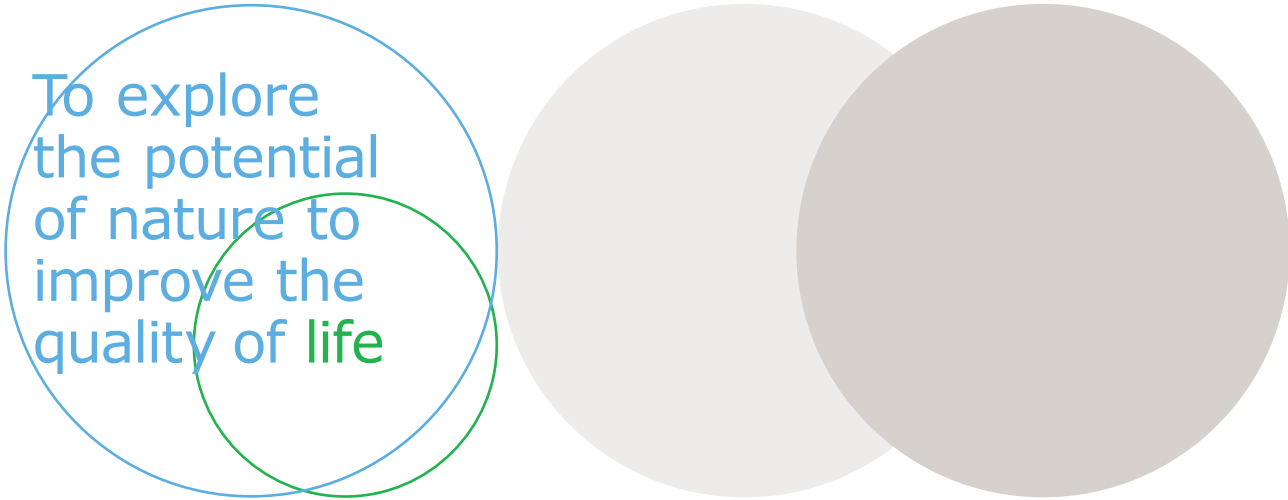
---

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life

---

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 480 10 77  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch)

Livestock Research Rapport 828



---

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.