



Additionele maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen: verkenning van opties, kosten en effecten op de gezondheidslast van omwonenden

A. Winkel en I.M. Wouters (eindredactie), T.J. Hagenaars, D.J.J. Heederik, N.W.M. Ogink, I. Vermeij



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Additionele maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen: verkenning van opties, kosten en effecten op de gezondheidslast van omwonenden

Additional measures to reduce emissions of bioaerosols from animal houses: exploration of options, costs, and effects on health of neighbouring residents

Eindredactie

A. Winkel en I.M. Wouters

Auteurs

Dit rapport is tot stand gekomen door een multidisciplinair projectteam bestaande uit de volgende onderzoekers (in alfabetische volgorde):

T.J. Hagenaars ¹, D.J.J. Heederik ², N.W.M. Ogink ³, I. Vermeij ³, A. Winkel ³ en I.M. Wouters ²

¹ *Centraal Veterinair Instituut (CVI), Wageningen University and Research Centre*

² *Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht*

³ *Livestock Research, Wageningen University and Research Centre*

Wageningen, juni 2016

Livestock Research Rapport 949

Winkel, A. en Wouters, I. (eindredactie), 2016. *Additionele maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen: verkenning van Opties, Kosten en effecten op de gezondheidslast van omwonenden* [Additional measures to reduce emissions of bioaerosols from animal houses: exploration of options, costs, and effects on health of neighbouring residents]. Wageningen, Wageningen University & Research centre, Livestock Research (auteurs: A. Winkel, N.W.M. Ogink en I. Vermeij), Centraal Veterinair Instituut (T.J. Hagenaars), Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht (auteurs: I.M. Wouters en D.J.J. Heederik), Livestock Research Rapport 949. 74 blz. <http://dx.doi.org/10.18174/385496>.

Synopsis

Met het oogpunt op het verminderen van gezondheidsrisico's voor omwonenden van stallen is in deze studie verkend welke bestaande en nieuwe maatregelen genomen zouden kunnen worden om stalemissies van bioaerosolen met een groter percentage terug te dringen dan de 30% voor fijn stof welke thans gevraagd wordt voor pluimveecategorieën in het 'Besluit emissiearme huisvesting'. Voor perspectiefvolle maatregelen zijn de jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) berekend. Tevens is een verkennend rekenmodel uitgewerkt waarmee effecten van stalmaatregelen op de gezondheidsrisico's van omwonenden kunnen worden beoordeeld. De onzekerheden bleken echter te groot om dit beoordelingsmodel op dit moment voor beleidsdoeleinden te kunnen toepassen. Ten slotte vind een synthese plaats welke emissiereductie maatregelen op basis van hun reducties en kosteneffectiviteit perspectiefvol zijn.

Abstract

With regard to reducing health risks of neighbouring residents of livestock farms, this study explored which existing and new measures can be taken to reduce emissions of bioaerosols from animal houses with a reduction percentage that is greater than the 30% which is currently in place for fine dust for poultry housing systems, as laid down in the national 'regulation on low-emission housings'. For promising measures, the yearly costs (investment costs and operating costs) were estimated. In addition, an exploratory calculation model was developed to determine effects of barn measures on the health of local residents. However, the current uncertainties associated with the model components were too large to apply this assessment model for policy purposes. Finally, a synthesis is made on which emission measures provide good prospects based on their reduction performance and cost effectiveness.

Omslagfoto

De foto op de omslag toont een hok met vleesvarkens waarin een zogenaamde 'oliefilmapplicator' hangt. Deze stalmaatregel kan de concentratie en emissie van fijn stof in varkensstallen met 40 tot 80% verlagen door het aanbrengen van druppeltjes plantaardige olie op de flanken van de varkens.

© 2016 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 gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

Woord vooraf		7
Samenvatting		9
1	Inleiding	13
1.1	Aanleiding en probleembeschrijving: van stalemissie naar gezondheidseffect	13
1.2	Gezondheidseffecten van veehouderijbedrijven	14
1.3	Het Nederlandse toetsingskader voor fijn stof	14
1.4	Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissies	14
1.5	Het Besluit emissiearme huisvesting	15
1.6	Aanpak van bioaerosolemissies in Duitsland	15
1.7	Onderzoek naar een toetsingskader voor endotoxinen	16
1.8	Doel en onderzoeksvragen	16
1.9	Werkwijze en leeswijzer	17
2	Brede inventarisatie en eerste beoordeling van mogelijke stalmaatregelen	19
2.1	Maatregelengroep stro(oisel)	20
2.2	Maatregelengroep voer	20
2.3	Maatregelengroep voersysteem	21
2.4	Maatregelengroep hygiëne/mest	21
2.5	Maatregelengroep dieractiviteit beperken	22
2.6	Maatregelengroep olie-/waterfilm	23
2.7	Maatregelengroep biosecurity	24
2.8	Maatregelengroep ionisatie (in de stal)	24
2.9	Maatregelengroep stalklimaat	25
2.10	Maatregelengroep ventilatie	25
2.11	Maatregelengroep 'end of pipe'	26
2.12	Maatregelengroep desinfectie (end of pipe)	28
2.13	Maatregelengroep 'out of pipe'	28
2.14	Maatregelengroep beleid	29
3	Nadere beoordeling bestaande en perspectiefvolle nieuwe maatregelen	33
3.1	Bestaande maatregelen en hun toepasbaarheid	33
3.2	Bestaande maatregelen met perspectief voor een bredere toepassing	35
3.3	Perspectiefvolle nieuwe maatregelen: korte termijn	36
3.4	Perspectiefvolle nieuwe maatregelen: lange termijn	37
3.5	Perspectiefvolle nieuwe maatregelen: kostenraming	38
4	Uitwerking beoordelingsmodel	41
4.1	Een vereenvoudigd beoordelingsmodel: karakter	41
4.2	Afbakening emissiecomponenten beoordelingsmodel	42
4.3	Ontwerpkeuzes vereenvoudigd beoordelingsmodel	42
4.3.1	Processen 1 en 2: emissie naar de buitenlucht	42
4.3.2	Proces 3: verspreiding en verdunning	43
4.3.3	Proces 4: inactivatie en sedimentatie	44
4.3.4	Processen 5 en 6: blootstelling en dosis	44
4.3.5	Proces 7: van blootstelling/dosis naar gezondheidseffecten	45
4.4	Samenvatting kennislancunes, aannames en modelparameters	49

5	Resultaten scenarioberekeningen beoordelingsmodel	50
5.1	Resultaten scenarioberekeningen fijn stof (PM10)	50
5.2	Resultaten scenarioberekeningen endotoxinen	51
5.3	Resultaten scenarioberekeningen micro-organismen	52
6	Discussie en conclusies	53
6.1	Benodigde reductieniveaus en hun effecten op de gezondheidslast	53
6.2	Mogelijkheden voor het inzetten van bestaande maatregelen	53
6.3	Mogelijkheden voor bredere toepassing bestaande maatregelen	54
6.4	Mogelijkheden voor nieuwe maatregelen op de korte termijn	54
6.5	Mogelijkheden voor het combineren van maatregelen	55
6.6	Mogelijkheden voor nieuwe maatregelen op lange termijn	56
	Referenties	57
	Bijlage A: gedetailleerde kosten additionele maatregelen	64
	A.1 Van nature hygiënisch stro(oisel)	64
	A.2 Dunnere strooisellaag	64
	A.3 Varkenstoilet	65
	A.4 Oliefilm op varken via applicator (nippel, roller)	65
	A.5 Positieve ionisatie in de stal	66
	A.6 Ionisatoren met koolstofborsteltjes	67
	A.7 Koeling ingaande lucht (verlaging debiet)	68
	A.8 Elektrostatische precipitator (ESP)	69
	A.9 Luchtwassing met oxiderende middelen	70
	A.10 Vegetatieve buffers rond stallen	72
	Bijlage B: samenstelling klankbordgroep	74

Woord vooraf

Met het oogpunt op het verminderen van gezondheidsrisico's voor omwonenden van stallen is in deze studie verkend welke bestaande en nieuwe maatregelen genomen zouden kunnen worden om stalemissies van bioaerosolen met een groter percentage terug te dringen dan de 30% voor fijn stof welke thans gevraagd wordt voor pluimveecategorieën in het 'Besluit emissiearme huisvesting'. Voor perspectiefvolle maatregelen zijn de jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) berekend. Tevens is een verkennend rekenmodel uitgewerkt waarmee effecten van stalmaatregelen op de gezondheidsrisico's van omwonenden kunnen worden beoordeeld. De onzekerheden bleken echter te groot om dit beoordelingsmodel op dit moment voor beleidsdoeleinden te kunnen toepassen. Ten slotte vind een synthese plaats welke emissiereductiemaatregelen op basis van hun reducties en kosteneffectiviteit perspectiefvol zijn.

Bij de samenstelling van het rapport is het projectteam ondersteund door een klankbordgroep met vertegenwoordigers van bij deze problematiek betrokken maatschappelijke partijen (zie bijlage B). Graag dank ik alle leden van de klankbordgroep voor hun waardevolle inbreng.

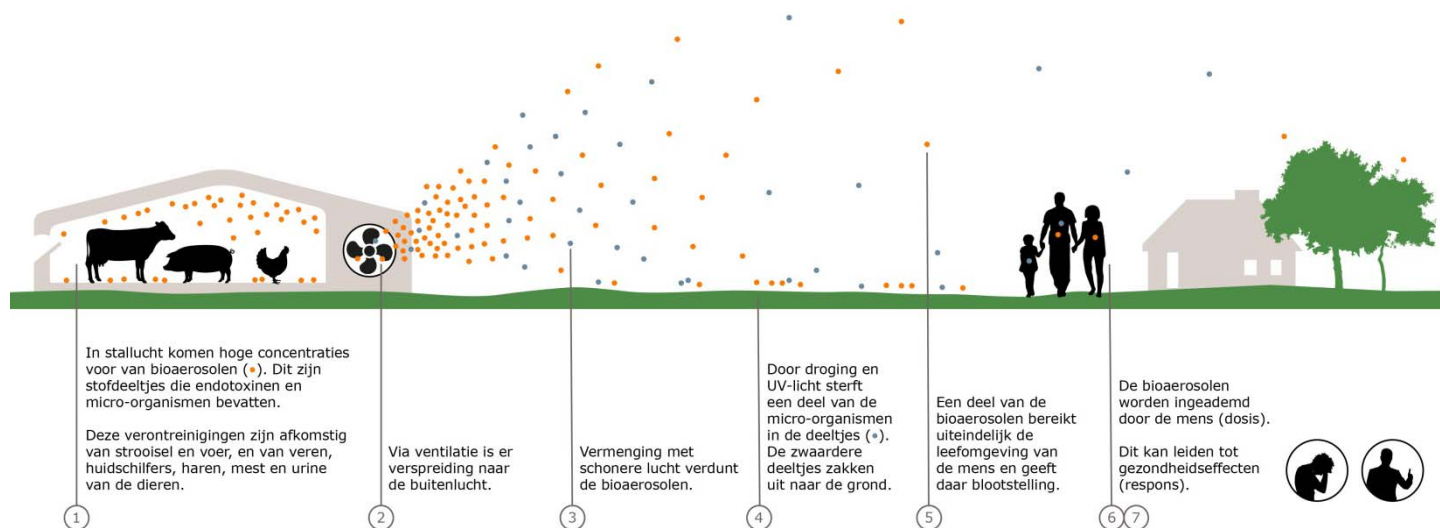
Deze onderzoeksopdracht is uitgevoerd binnen het kader van het Beleidsondersteunend Onderzoek van het Ministerie van Economische Zaken, thema Verduurzaming Veehouderijketens, met financiering van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Deze studie is het product van een multidisciplinair projectteam bestaande uit onderzoekers van drie verschillende onderzoeksinstituten. Graag dank ik de leden van het projectteam voor de prettige en effectieve samenwerking.

Dr.ir. N.W.M. (Nico) Ogink
Projectleider

Samenvatting

Aanleiding en probleembeschrijving

De toename van schaalgrootte in de veehouderij en het optreden van zoönosen als Q-koorts hebben de laatste jaren geleid tot zorg over mogelijke gezondheidseffecten van veehouderijbedrijven op omwonenden, met name t.a.v. de uitstoot van *bioaerosolen*: zwevende deeltjes (fijn stof) met daarin endotoxinen (ontstekingsbevorderende celwandfragmenten van Gramnegatieve bacteriën) en micro-organismen. Deze bioaerosolen kunnen zich benedenwinds van stallen verspreiden en mogelijk gezondheidseffecten bewerkstelligen bij omwonenden, zoals stapsgewijs weergegeven in Figuur 1. Er bestaan nog veel kennislacunes t.a.v. de processtappen in Figuur 1, in het bijzonder t.a.v. mogelijke gezondheidseffecten (stap 7). Naar dit laatste aspect is enkele jaren geleden het zogenaamde Intensieve Veehouderij en Gezondheid omwonenden (IVG) onderzoek uitgevoerd en loopt thans een vervolgstudie, het Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (VGO) onderzoek. Daarnaast wordt thans onderzocht of een specifiek toetsingskader voor endotoxinen mogelijk en nuttig is ter bescherming van de algemene bevolking in veehouderijgebieden, naast bestaande toetsingskaders voor geur, ammoniak en fijn stof.



Figuur 1

Procesketen van stalemissie tot gezondheidseffect bij omwonenden.

Om de buitenluchtconcentraties van fijn stof in veehouderijgebieden structureel te verlagen is sinds 1 augustus 2015 tevens het 'Besluit emissiearme huisvesting' in werking getreden. Dit besluit bepaalt middels 'maximale emissiewaarden' voor fijn stof dat pluimveestallen die zijn opgericht op of na 1 juli 2015 een emissiereductie van 30% dienen te realiseren. Ondernemers kunnen hiertoe kiezen voor passende huisvestingssystemen en fijnstofreductietechnieken zoals opgenomen in systematiek van het overzicht 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' van de Rijksoverheid. In het licht van het voorgaande geeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu in een brief van 19 maart 2015 aan de Tweede Kamer aan het perspectief te willen laten onderzoeken van maatregelen die stalemissies van bioaerosolen verder kunnen reduceren dan met de huidige technieken mogelijk is. In het onderhavige rapport worden de resultaten van deze verkennende studie gepubliceerd.

Doel

In deze studie is beoogd inzicht te verkrijgen in: (a) additionele maatregelen die genomen kunnen worden om stalemissies van bioaerosolen te verminderen, (b) de kosten van deze maatregelen, en (c) de effecten die deze maatregelen kunnen hebben op gezondheidsrisico's van omwonenden van stallen. Het begrip 'additionele' maatregelen heeft hier twee betekenissen. In de eerste plaats gaat het om maatregelen die een extra reductie van bioaerosolen kunnen geven ten opzichte van de 30% m.b.t. fijn stof zoals thans opgenomen voor pluimveecategorieën in het Besluit emissiearme huisvesting. Tevens gaat het om maatregelen die nieuw zijn ten opzichte van maatregelen die nu al voorhanden zijn.

Werkwijze

Deze studie bestaat uit vier hoofdonderdelen en een afsluitend integraal advies over stalmaatregelen. In de eerste plaats (hoofdstuk 2) is een uitgebreide inventarisatie verricht naar mogelijkheden om emissies van bioaerosolen uit stallen te verminderen. In een initiële beoordeling zijn hieruit nieuwe perspectiefvolle maatregelen geïdentificeerd. In de tweede plaats (hoofdstuk 3) is een nadere beoordeling uitgevoerd van zowel bestaande als nieuwe perspectiefvolle maatregelen, o.a. door ook de jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) te berekenen op grond van informatie verkregen van leveranciers van technieken. In de derde plaats (hoofdstuk 4) is een beoordelingsmodel uitgewerkt waarmee effecten van stalmaatregelen op de gezondheidsrisico's van omwonenden kunnen worden beoordeeld. In de vierde plaats (hoofdstuk 5) zijn met dit model diverse scenario's doorgerekend zodat een eerste inzicht verkregen wordt t.a.v. het effect van stalmaatregelen op gezondheidsrisico's van omwonenden. In hoofdstuk 6 ten slotte wordt de verkregen kennis uit de vier activiteiten in zijn totaliteit uitgewerkt tot een aantal groepen van maatregelen welke genomen zouden kunnen worden om emissies van bioaerosolen uit stallen met een groter percentage terug te dringen dan de 30% voor fijn stof welke thans gevraagd wordt voor pluimveecategorieën in het Besluit emissiearme huisvesting.

Resultaten en conclusies m.b.t. het beoordelingsmodel

Het in hoofdstuk 4 uitgewerkt beoordelingsmodel is feitelijk een rekenkundige benadering van de procesketen in Figuur 1. Het model berekent – op kwantitatieve, relatieve schaal – in welke mate een reductie in emissie (stap 2) doorwerkt via stappen 3, 4, 5 en 6 naar een reductie van de gezondheidslast (stap 7). Vanwege de grote kennislacunes t.a.v. de stappen in de procesketen van Figuur 1 is het model een *sterke vereenvoudiging* van de werkelijkheid. In hoofdstuk 5 zijn – voor fijn stof, endotoxinen en micro-organismen afzonderlijk – en voor diverse scenario's berekend welke emissiereductie tot welke mogelijke vermindering van de gezondheidslast leidt. De resultaten suggereren voor fijn stof dat een reductie van de emissie met een *x* percentage een ongeveer evenredige reductie van de gezondheidslast van omwonenden geeft. Voor endotoxinen lijkt dit beeld anders en voor micro-organismen is het beeld wisselend tussen de scenario's. Deze bevindingen uit het beoordelingsmodel zijn echter te onzeker – o.a. door zeer onzekere aannames over de blootstellingsresponsrelaties (doorwerking van stappen 5 > 6 > 7) – voor gebruik in beleidsontwikkeling. Het werk uit hoofdstukken 4 en 5 heeft met name wetenschappelijke waarde omdat hiermee op een rij is gezet langs welke hoofdlijnen (zie Figuur 1) een beoordelingsmodel zou moeten verlopen, welke aspecten (variabelen, processen) daarbij aan de orde komen en tegen welke onzekerheden wordt aangelopen.

Resultaten en conclusies m.b.t. bestaande maatregelen

De inventarisatie van maatregelen (hoofdstuk 2) heeft 83 mogelijkheden opgeleverd. Deze maatregelen zijn gegroepeerd in 14 maatregelengroepen en voorzien van een volgnummer (zie Tabel 1). Binnen de 83 maatregelen zijn 17 bestaande maatregelen geïdentificeerd, welke als volgt kunnen worden onderscheiden:

- 4 bestaande maatregelen (maatregelen 13.1 t/m 13.4) reduceren de emissies van bioaerosolen *niet* maar verdunnen de concentraties in buitenlucht door de ventilatielucht respectievelijk verticaal, met grotere snelheid, hoger, of op een andere plaats de atmosfeer in te brengen;
- 4 bestaande maatregelen reduceren emissies van fijn stof met minder dan het niveau van 30% (en dus *onvoldoende*), namelijk: 6.1 Oliefilm op de vloer via leidingen/nozzles bij leghennen [15%], 11.1 Warmtewisselaar [het type met 13%], 6.2 Oliefilm op de vloer via een robot bij grondstallen voor leghennen [30%], en 11.3 Mestdroogtunnels; de bandendroger volgens E 6.4.1 [30%];
- 3 bestaande maatregelen leveren slechts een 3 tot 5 procentpunten grotere reductie van de emissie van bioaerosolen t.o.v. het niveau van 30%, namelijk: de 11.1 warmtewisselaar [het type met 33%], 11.8 Simpele waterwasser [33%] en de 11.9 Chemische luchtwasser [35%];
- 4 bestaande maatregelen leveren een *middelgrote* reductie van bioaerosolen (tussen de 40 en 54%), namelijk: 6.1 Oliefilm op de vloer via leidingen/nozzles bij vleeskuikens [54%], 8.1 Negatieve ionisatie van stallucht bij vleeskuikens [49%], 11.2 Droogfilterwand bij o.a. vleeskuikens en (opfok)leghennen (40%) en de 11.3 Mestdroogtunnels; de platendroger volgens E 6.4.2; bij (opfok)leghennen [55%]. Geen van deze maatregelen geeft echter een reductie van ammoniak of geur. De mestdroogtunnels geven een forse toename van ammoniak en geur.

- 3 bestaande maatregelen tenslotte, leveren een *hoge* reductie van bioaerosolen, namelijk: 11.7 Biobed [80%], 11.9 Biologische luchtwasser [60 / 75%] en 11.11 Gecombineerde luchtwasser [80%].

Resultaten en conclusies m.b.t. het breder inzetten van bestaande maatregelen

Uit hoofdstuk 3 wordt geconcludeerd dat de volgende reeds bestaande maatregelen perspectiefvol zijn om te verbreden in toepassing naar meer diercategorieën:

- Maatregel 6.1 Oliefilm op de vloer via leiding/nozzles naar varkensstallen: afhankelijk van de dosering kunnen reducties behaald worden tussen 30 en 80%.
- Maatregel 8.1 Negatieve ionisatie naar varkensstallen: de reductie wordt hier verwacht tussen 30 en 50% te liggen.
- Maatregel 10.1 Debietverlaging door luchtkoeling naar leghennenstallen.
- Maatregel 11.2 Droogfilterwand naar varkensstallen: de reductie wordt hier verwacht eveneens rond de 40% te liggen, zoals bij pluimvee.
- Maatregel 11.6 Elektrostatische precipitator: naar alle mechanisch geventileerde stallen met een centrale uitlaat, zoals varkensstallen. Deze bestaande techniek dient verder ontwikkeld te worden zodat reducties tussen 75 en 95% haalbaar zijn.
- Maatregel 11.11 Gecombineerde luchtwassers: deze techniek is op dit moment alleen beschikbaar voor varkens. Om deze maatregel te verbreden naar pluimveecategorieën dienen gecombineerde luchtwassers bedrijfszeker te kunnen worden ingezet met een door praktijkmetingen gevalideerd voldoende verwijderingsrendement voor stof, geur en ammoniak. Het huidige certificeringsproces voor enkele gecombineerde luchtwassers voor pluimveestallen in Duitsland kan mogelijk benut worden om deze systemen ook in Nederland beschikbaar te maken.

Resultaten en conclusies m.b.t. het inzetten van nieuwe maatregelen: korte termijn

Uit de 83 gevonden maatregelen worden 4 als perspectiefvol beoordeeld om op korte termijn (binnen één tot twee) in te zetten:

- Maatregel 6.3 Oliefilmapplicator bij varkens met een reductie tussen 40 en 80% en jaarkosten van 4,50 euro per varkensplaats per jaar (0,75 euro per 10-procentpunten reductie bij 60%).
- Maatregel 4.1 Dunnere meststrooisellaag bij leghennen middels een strooiselmestschuif met een verwachte reductie van met name fijn stof, endotoxinen, micro-organismen en ammoniak in een range tussen 20 en 35%. De jaarkosten zijn 0,08 euro per henplaats per jaar (0,04 euro per 10-procentpunten reductie bij 20%).
- Maatregel 4.3 Hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet met een verwachte reductie van 20-50% voor fijn stof (alsook ammoniak, geur en broeikasgassen) en met jaarkosten van ca. 10 euro per varkensplaats per jaar (3,33 euro per 10-procentpunten reductie bij 30%) vergelijkbaar met een chemische luchtwasser.
- Maatregel 11.6 Elektrostatische precipitator. Zoals eerder beschreven vergt dit systeem nog verdere ontwikkeling om tot een (voor dergelijke technieken normaal) reductiepercentage te komen in de range van 75 tot 95%.

Resultaten en conclusies m.b.t. het gecombineerd inzetten van maatregelen

Ten aanzien van varkensstallen is het inzetten van luchtwassers bij nieuwbouw (met hoge verwijderingsrendementen) reeds zo gangbaar geworden dat bestaande en nieuwe maatregelen met een lager reductiepercentage dan luchtwassers mogelijk niet of nauwelijks meer door ondernemers zullen worden gekozen. Dit kan mogelijk anders zijn wanneer maatregelen mogen worden gecombineerd zodat een grotere totaalreductie wordt bereikt die wel in de buurt komt van het niveau van luchtwassers en die tevens nevenvoordelen kennen, zoals het verbeteren van de luchtkwaliteit in de stal voor werkenden en dieren, het verbeteren van dierprestaties en het verlagen van de arbeidslast. In hoofdstuk 6 worden enkele voorbeelden gegeven van mogelijke combinaties en hun gezamenlijke reductiepercentage.

Resultaten en conclusies m.b.t. het inzetten van nieuwe maatregelen: lange termijn

Uit de 83 gevonden maatregelen worden 11 als perspectiefvol beoordeeld om op langere termijn (over meer dan twee jaar), na een ontwikkelperiode, in te zetten. Het gaat daarbij om een nieuw stalconcept, namelijk ventilatie-gescheiden strooiselruimten (maatregel 5.4), en om een aantal end of pipe maatregelen om micro-organismen te doden en/of af te vangen (12.1 t/m 12.9). Voor al deze

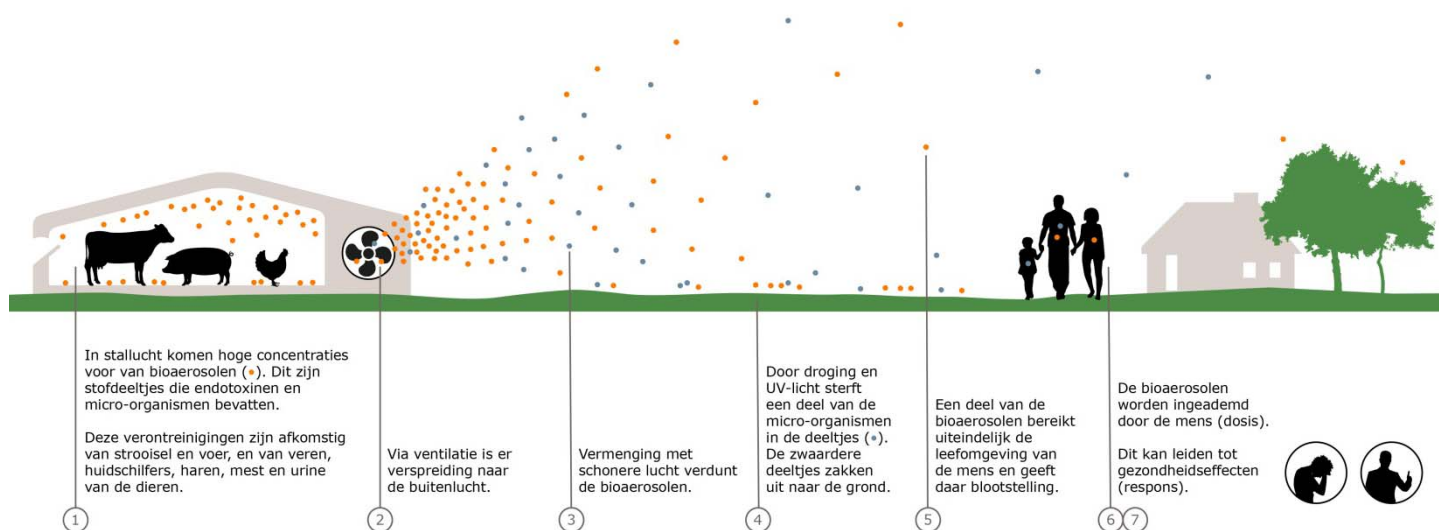
maatregelen geldt dat hun effectiviteit en jaarkosten nog onvoldoende zijn in te schatten. Voor de luchtwasstappen met een oxiderend middel (12.1 t/m 12.6), 12.7 Behandeling met UVc, 12.8 Behandeling met koude plasma en 12.9 Fotokatalytische behandeling geldt dat deze technieken nog geheel of deels ontwikkeld moeten worden voor toepassing bij stallen. Het is pas zinvol deze systemen te ontwikkelen wanneer uit thans lopend en toekomstig onderzoek blijkt dat micro-organismen een relevante bijdrage leveren aan de gezondheidslast voor omwonenden door bioaerosolen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleembeschrijving: van stalemissie naar gezondheidseffect

De toename van schaalgrootte in de veehouderij en het optreden van zoonosen als Q-koorts hebben de laatste jaren geleid tot zorg over mogelijke gezondheidseffecten van veehouderijbedrijven op omwonenden, met name t.a.v. de uitstoot van verontreinigingen als stofdeeltjes, endotoxinen (ontstekingsbevorderende celwandfragmenten van Gramnegatieve bacteriën) en micro-organismen via de ventilatielucht (Gies et al., 2007; Heederik et al., 2011; Roest et al., 2011). Deze verontreinigingen worden door natuurlijke of mechanische (d.m.v. ventilatoren) ventilatie uitgestoten in de buitenlucht, verspreiden zich benedenwinds van stallen en kunnen zo tot een verhoogde blootstelling leiden van omwonenden. Dit proces is het centrale probleem in deze studie.

Dit probleem is tevens samengevat in Figuur 1. Deze figuur loopt als rode draad door het rapport en vormt de basis van de aanpak van deze studie. De figuur toont een 'procesketen' met daarin 7 stappen. De figuur wordt hierna toegelicht.



Figuur 1

Procesketen van stalemissie tot gezondheidseffect bij omwonenden.

In stallucht komen hoge concentraties voor van stofdeeltjes en van endotoxinen en micro-organismen in deze deeltjes (Seedorf et al., 1998; Winkel et al., 2015b; Winkel et al., 2014f). Deze verontreinigingen zijn afkomstig van bronnen als mest, strooisel en voer, en van de veren, huidschilfers, haren en urine van de dieren (Cambra-López et al., 2011). Deze bronnen drogen en verstoffen, waarna de deeltjes in de lucht komen ('aerosoliseren') door de activiteit van de dieren of door luchtwervelingen die ze veroorzaken. In stallen produceren de dieren koolstofdioxide, water en warmte. Deze drie (voor omwonenden onschadelijke) verontreinigingen moeten worden afgevoerd via de ventilatie. Met deze ventilatie worden echter tegelijkertijd ook stofdeeltjes met daarin endotoxinen en micro-organismen (tezamen 'bioaerosolen' genoemd) uitgestoten in de buitenlucht. Het voorgaande is in Figuur 1 weergegeven in stappen 1 en 2. Benedenwinds van stallen ontstaan zo 'emissiepluimen' waarin verhoogde concentraties van de laatstgenoemde drie verontreinigingen meetbaar zijn (Heederik et al., 2011). Nadat deze deeltjes in de buitenlucht zijn gekomen, verspreiden ze zich in de hoogte en breedte, en in de lengte: over een zekere afstand. De stallucht met deeltjes vermengt zich hierbij met schone(re) buitenlucht, zodat concentraties verdund worden (proces 3). Een deel van de micro-organismen in de deeltjes zullen afsterven als gevolg van bijvoorbeeld droging en

UV-straling in het zonlicht ('inactivatie', proces 4). Hoewel de deeltjes heel klein zijn, hebben ze toch massa, zodat ze langzaam naar de grond uitzakken of in bomen en struiken blijven steken ('sedimentatie', proces 4). Dit laatste proces verloopt sneller voor grotere deeltjes: hoe groter het deeltje, hoe zwaarder dit is en hoe sneller dit zal neerslaan. Een deel van de oorspronkelijk uitgestoten deeltjes bereikt het leefgebied van mensen en leidt daar tot blootstelling (proces 5). Wanneer deze deeltjes daadwerkelijk worden ingeademd, is dit de feitelijke dosis die een persoon binnenkrijgt (proces 6). Vervolgens kunnen gezondheidseffecten optreden (proces 7). Van de stappen 3 en 4 is aanzienlijk minder kennis beschikbaar dan van stappen 1 en 2. Over de relatie tussen stappen 5/6 enerzijds en 7 anderzijds, zogenaamde 'blootstelling-responsrelaties' is nog weer minder bekend. Ten aanzien van stappen 3 t/m 7 bestaan er op dit moment nog zeer veel kennislacunes.

1.2 Gezondheidseffecten van veehouderijbedrijven

Ten aanzien van stap 7 is recent een literatuurstudie verschenen die een update geeft van de kennis t.a.v. de relatie tussen veehouderij en gezondheid (Dusseldorp et al., 2015). Uit een eerste onderzoek (Intensieve Veehouderij en Gezondheid omwonenden; IVG) in Nederland (Heederik et al., 2011) bleek dat allergie, astma en chronische luchtwegaandoeningen (COPD) dicht in de buurt van veehouderij minder vaak voorkomen dan bij mensen op grotere afstand. Echter, de COPD-patiënten die in de buurt van veehouderijen woonden, hadden vaker problemen van de luchtwegen als gevolg van bijvoorbeeld luchtweginfecties en hadden vaker een piepende ademhaling. Ook gebruikten ze meer medicijnen. Dit verband werd sterker als er meer veehouderijen waren in de omgeving. Verder werden aanwijzingen gevonden dat omwonenden van pluimveebedrijven vaker longontsteking hadden. Verder bleek uit oriënterende berekeningen bij de eerder genoemde literatuurstudie door Winkel et al. (2015) dat concentraties van endotoxine benedenwinds van stallen hoger zouden kunnen zijn dan de door de Gezondheidsraad geadviseerde grenswaarde van 30 EU/m³. Thans loopt een vervolgonderzoek op het IVG-onderzoek, namelijk het Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (VGO) onderzoek, welke de stand van kennis over gezondheidsrisico's van stalemissies voor omwonenden een belangrijke stap verder kan brengen.

1.3 Het Nederlandse toetsingskader voor fijn stof

Ten aanzien van stappen 1 en 2 in Figuur 1 is enkele jaren geleden een omvangrijk emissieonderzoek uitgevoerd waarin de emissies van fijn stof zijn bepaald voor 13 verschillende huisvestingsystemen voor pluimvee, varkens en koeien (Winkel et al., 2015b). Deze emissiewaarden zijn formeel vastgelegd in het overzicht 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015). De emissiefactoren worden thans gebruikt in een verspreidingsmodel voor fijn stof (ISL3a) waarmee berekend kan worden of het oprichten van een stal tot een overschrijding leidt van de Europese grenswaarden voor fijn stof in de buitenlucht ter hoogte van het dichtstbijzijnde gevoelige object, zoals een woonhuis. De emissiefactoren, het verspreidingsmodel en de Europese grenswaarden voor fijn stof vormen tezamen een belangrijk toetsingskader ter bescherming van de gezondheid van omwonenden. Met dit toetsingskader is het mogelijk met maatwerk voor elke afzonderlijke stallocatie (situatie) te toetsen of oprichting van een stal tot onaanvaardbare blootstelling aan fijn stof leidt bij omwonenden.

1.4 Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissies

Tegelijk met het hierboven genoemde emissieonderzoek is een tweede onderzoeksprogramma uitgevoerd waarin een groot aantal technieken zijn ontwikkeld waarmee fijnstofemissies in pluimveestallen kunnen worden gereduceerd. De technieken uit dit tweede onderzoeksprogramma zijn met een bijbehorend reductiepercentage opgenomen in categorie E 7 (en enkele andere) van de Rav-codering. Overschrijdingen van Europese grenswaarden (zoals bepaald met het hierboven beschreven toetsingskader voor fijn stof) kunnen vervolgens voorkomen worden door een van de ontwikkelde fijnstofreductietechnieken in te zetten.

Voor deze studie is het belangrijk op te merken dat deze technieken specifiek het fijn stof, dat wil zeggen stofdeeltjes met een (aerodynamische) diameter kleiner dan 10 µm, aanpakken. Dit fijne stof kan buiten de stal lang in de buitenlucht aanwezig blijven. Er is echter ook grover stof met diameters tussen 10 en circa 100 µm. Deze deeltjes blijven minder lang in de buitenlucht aanwezig doordat ze – onder invloed van hun massa – snel uitzakken naar de grond. Voor sommige technieken (zoals het toedienen van een oliefilm op strooisel) geldt dat de effectiviteit groter is voor kleinere deeltjes. Voor andere technieken (zoals die op basis van impactie, zoals filters en luchtwassers) geldt dat hun effectiviteit juist toeneemt met de deeltjesgrootte. Algemeen wordt aangenomen dat technieken die fijn stof reduceren tevens concentraties van micro-organismen en endotoxinen verlagen omdat deze laatste twee componenten als onderdeel van stofdeeltjes in de lucht voorkomen. Omdat echter micro-organismen en endotoxinen waarschijnlijk niet evenredig over de verschillende deeltjesgroottes zijn verdeeld, kunnen reductiepercentages voor fijn stof (PM10) niet één op één worden doorgetrokken naar reductiepercentages van micro-organismen en endotoxinen.

1.5 Het Besluit emissiearme huisvesting

Ten aanzien van stappen 1 en 2 in Figuur 1 is per 1 augustus 2015 tevens het 'Besluit emissiearme huisvesting' in werking getreden, welke het daarvoor geldende 'Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij' verving. Het tot dan toe geldende Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij schreef maximale ammoniakemissiewaarden voor m.b.t. een aantal diercategorieën uit de Rav-systematiek. Artikel 7 van het nieuwe Besluit emissiearme huisvesting schrijft echter tevens voor dat dierenverblijven (stallen) die zijn *opgericht op of na 1 juli 2015* alleen nog huisvestingssystemen gebruiken die een fijnstofemissie kennen gelijk aan of lager dan de waarden genoemd in bijlage 2 bij het Besluit. In deze bijlage zijn dus 'maximale emissiewaarden' voor fijn stof opgenomen voor pluimveecategorieën. Deze waarden zijn 30% lager dan de emissiefactoren in het overzicht 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015). Concreet betekent dit dus dat nieuw te bouwen pluimveestallen voortaan een emissiereductie dienen te bewerkstelligen van 30% t.o.v. de bijbehorende emissiefactor. Een veehouder heeft hierbij de vrijheid om een huisvestingssysteem of reductietechniek te kiezen waarmee voldaan wordt aan de maximale emissiewaarde.

1.6 Aanpak van bioaerosolemissies in Duitsland

Het onderwerp van dit rapport speelt tevens nadrukkelijk in delen van Duitsland. In Duitsland komen gebieden voor met veedichtheden vergelijkbaar met die in Nederlandse concentratiegebieden, en met een eveneens vergelijkbare maatschappelijke bezorgdheid rondom mogelijke gezondheidsrisico's van stalemissies. Uit een recente inventarisatie van de Duitse wetgeving ten aanzien van dit thema (InfoMil, 2015) blijkt dat dit thema daar niet nationaal maar op het niveau van deelstaten is geregeld. De aanpak in Nederland is – voor wat betreft fijn stof (PM10) – gebaseerd op maatwerk: met een toetsingskader bestaande uit emissiefactoren en een verspreidingsmodel kan voor elke situatie getoetst worden of Europese grenswaarden voor de buitenlucht worden overschreden ter hoogte van het dichtstbijzijnde gevoelige object (zie boven). Tevens heeft een veehouder de vrijheid om een huisvestingssysteem of reductietechniek te kiezen waarmee voldaan wordt aan de Europese grenswaarde, dan wel de maximale emissiewaarde uit het Besluit emissiearme huisvesting. De deelstaten Nedersaksen, Noordrijn-Westfalen en Sleeswijk-Holstein hebben echter generieke (i.p.v. maatwerk) wetgeving voorgeschreven op basis van het voorzorgsprincipe. Dit beleid kan in drie punten worden samengevat. In de eerste plaats verplichten deze deelstaten varkensbedrijven die onder de Europese IPPC-richtlijn¹ vallen (bedrijven met meer dan 2000 vleesvarkens of 750 zeugen) bij het oprichten of wijzigen van een stal een gecombineerde luchtwasser te plaatsen welke zowel fijn stof, ammoniak als geur met tenminste 70% reduceert (ook in Nederland wordt deze drievoudige 70% eis gesteld aan 'gecombineerde' luchtwasser). Hierbij wordt de gecombineerde luchtwasser als Best

¹ IPPC: richtlijn 2010/75/EC inzake industriële emissies (integrated pollution prevention and control). Beschikbaar op: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN>

Beschikbare Techniek (BBT) gezien. Deze verplichting zal in de toekomst ook gaan gelden voor pluimveebedrijven die onder de Europese IPPC-richtlijn vallen (bedrijven met meer dan 40.000 stuks kippen, kalkoenen, eenden of parelhoenders). Op dit moment wordt de gecombineerde luchtwasser voor pluimvee nog niet als BBT gezien vanwege het te beperkte aanbod: er bestaat thans nog slechts één gecertificeerde gecombineerde wasser, meerdere doorlopen echter het certificeringsproces. In de tweede plaats verplichten de deelstaten het bevoegd gezag om bij bestaande varkens- en pluimveebedrijven te beoordelen of een chemische of biologische luchtwasser nodig is t.a.v. ammoniak, geur of fijn stof. Dit kan bijvoorbeeld nodig zijn wanneer blijkt dat Europese grenswaarden voor fijn stof worden overschreden. In de derde plaats verplichten de deelstaten het bevoegd gezag om te beoordelen of een onderzoek naar gezondheidsschade door bioaerosolen noodzakelijk is voor een specifieke situatie, bijvoorbeeld wanneer op een zekere afstand (<350 m voor varkensbedrijven en <500 m voor pluimveebedrijven) bewoning bestaat, wanneer binnen 1000 m van een woning meer dan één veehouderijbedrijf bestaat, wanneer er woonbebouwing bestaat in de hoofdwindrichting van een veehouderijbedrijf (>1000 m), wanneer er een gevoelig object, zoals een ziekenhuis, binnen 1000 m bestaat, of wanneer omwonenden gezondheidsklachten rapporteren. Een dergelijk onderzoek is niet nodig als de veehouder een luchtwasser plaatst die fijn stof (bioaerosolen) met 70% afvangt.

1.7 Onderzoek naar een toetsingskader voor endotoxinen

In Nederland is op verzoek van de overheid door de Gezondheidsraad op 30 november 2012 een advies uitgebracht over 'gezondheidsrisico's rond veehouderijen' (Gezondheidsraad, 2012). In dit advies concludeert de Gezondheidsraad dat het beschermen van de gezondheid van omwonenden via een kwantitatief beoordelingskader op dit moment nog niet mogelijk is. Wel adviseert de Gezondheidsraad een grenswaarde voor de algemene bevolking voor endotoxine van 30 endotoxine units per m³. In een kabinetsbrief van 14 juni 2013 (vergaderjaar 2012-2013, kamerstuk 28 973 nr. 143) geeft de staatssecretaris van Economische Zaken aan '*een inventarisatie (te) laten uitvoeren naar mogelijke maatregelen ter vermindering van de risico's van veehouderijen voor de gezondheid van omwonenden*'. Ook wordt aangekondigd dat de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu de gezondheidskundige advieswaarde van 30 endotoxine units per m³ '*nader (zal) uitwerken zodat deze norm ter bescherming van de gezondheid van omwonenden van veehouderijen kan worden toegepast bij het verlenen van de omgevingsvergunning milieu*'. Als eerste resultaat uit dit onderzoek is recent een literatuuronderzoek uitgebracht waarin de stand van kennis is samengevat rondom endotoxine-emissies uit de veehouderij en is verkend langs welke lijnen een beoordelingskader voor endotoxinen kan worden ontwikkeld (Winkel et al., 2014). De staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu heeft in een brief van 19 maart 2015 (vergaderjaar 2014-2015, kamerstuk 28 973 nr. 163) de Tweede Kamer geïnformeerd over de bevindingen uit dit literatuuronderzoek en het vervolgonderzoek:

'Gezien het resultaat van bijgevoegde literatuurstudie, kan reductie van stalemissies noodzakelijk zijn ter vermindering van de risico's voor de volksgezondheid. Dat geldt naast de emissies van endotoxinen ook voor andere bioaerosolen. Daarom wil ik het perspectief van maatregelen om stalemissies verder te reduceren dan met de huidige technieken laten onderzoeken. Ik zal daarvoor een verkennende studie laten uitvoeren'.

In het onderhavige rapport worden de resultaten van deze verkennende studie gepubliceerd.

1.8 Doel en onderzoeksvragen

In het licht van de beschreven aanleiding en problematiek is in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu een verkennende studie uitgevoerd. In deze studie is beoogd inzicht te verkrijgen in: (a) additionele maatregelen die genomen kunnen worden om stalemissies van bioaerosolen te verminderen, (b) de kosten van deze maatregelen, en (c) de effecten die deze maatregelen kunnen hebben op een aantal gezondheidsrisico's van omwonenden van stallen. Het begrip 'additionele' maatregelen in de doelstelling heeft hier twee betekenissen. In de eerste plaats gaat het om maatregelen die een **extra reductie** van bioaerosolen kunnen geven ten opzichte van de

30% m.b.t. fijn stof zoals thans opgenomen voor pluimveecategorieën in het Besluit emissiearme huisvesting. Tevens gaat het om maatregelen die **nieuw** zijn ten opzichte van de reeds toegepaste maatregelen die nu al voorhanden zijn binnen de Rav-systematiek. Hierbij stonden de volgende onderzoeksvragen centraal:

1. Welke maatregelen bestaan er in zijn totaliteit om stalemissies van bioaerosolen te reduceren, rekening houdende met zowel bestaande als nieuwe maatregelen?
 - a. Welke reducties van bioaerosolemissies (fijn stof, endotoxine en micro-organismen) kunnen voor deze maatregelen worden geschat? Is deze reductie 30% of minder of groter dan de 30% welke thans voor pluimveecategorieën in het Besluit emissiearme huisvesting wordt gevraagd?
 - b. Welke effecten kunnen daarnaast worden geschat t.a.v. andere emissies, zoals geur, ammoniak en broeikasgassen? Welke maatregelen leveren een 'integrale' milieuwinst op t.a.v. meerdere componenten?
 - c. Wat is het werkingsprincipe van de maatregel? Bij welke diercategorieën kan de maatregel worden toegepast? Kan de maatregel alleen worden toegepast bij nieuwbouw of renovatie, of ook bij bestaande stallen?
 - d. In welk stadium van ontwikkeling, onderzoek en validatie bevindt elke maatregel zich?
 - e. Is de maatregel controleerbaar door het bevoegd gezag?
 - f. Welk indicatieve kostenniveau kan worden geschat voor elke maatregel?
2. Welke additionele maatregelen lijken – gezien de uitkomsten van onderzoeksvragen 1a t/m 1f – in eerste instantie perspectiefvol?
 - a. Welke daarvan kunnen direct worden toegepast? Welke vergen nog ontwikkeling of validatie?
 - b. Welke jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) kunnen worden *berekend* voor de in eerste instantie als perspectiefvol beoordeelde additionele maatregelen? Hoe verhouden deze jaarkosten zich tot die van reeds bestaande maatregelen? Hoe verhouden deze jaarkosten zich tot de emissiereductie die ermee behaald kan worden?
3. Op welke wijze ('raamwerk') kunnen de effecten van deze extra maatregelen op de gezondheidsrisico's voor omwonenden worden beoordeeld?
4. Wanneer de extra maatregelen middels dit raamwerk worden beoordeeld, wat is dan de inschatting van hun effect op gezondheidsrisico's van omwonenden, waarbij effecten dienen te worden meegenomen van: (a) fijn stof, (b) endotoxinen, en (c) micro-organismen?
5. Eindvraag: welke maatregelen zijn – gelet op de antwoorden op onderzoeksvragen 1 t/m 5 – perspectiefvol om emissies van bioaerosolen uit stallen met een groter percentage terug te dringen dan de 30% welke thans gevraagd wordt voor pluimveecategorieën in het Besluit emissiearme huisvesting?

1.9 Werkwijze en leeswijzer

In essentie zijn bovenstaande onderzoeksvragen d.m.v. vier activiteiten beantwoord.

1. In de eerste plaats is een inventarisatie uitgevoerd van maatregelen ter vermindering van stalemissies van stofdeeltjes en de daarin voorkomende endotoxinen en micro-organismen. Hierbij is uitputtendheid nagestreefd. In hoofdstuk 2 is het totale pakket aan verkregen maatregelen gestructureerd weergegeven en initieel beoordeeld. In dit hoofdstuk worden een aantal perspectiefvolle nieuwe maatregelen geïdentificeerd welke thans nog niet worden toegepast.

2. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens een nadere beoordeling uitgevoerd van de mogelijkheden die zowel bestaande als (uit hoofdstuk 2 verkregen) nieuwe maatregelen bieden om emissies van bioaerosolen uit stallen te reduceren. Deze nadere beoordeling wordt bijvoorbeeld uitgevoerd door voor zowel de bestaande als de (uit hoofdstuk 2 verkregen) nieuwe maatregelen de jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) te berekenen. Voor bestaande maatregelen zijn hiervoor de meest actuele (bestaande) kostenberekeningen gebruikt, voor de (uit hoofdstuk 2 verkregen) nieuwe maatregelen zijn de jaarkosten doorgaans voor de eerste keer doorgerekend op basis van informatie verkregen van leveranciers van systemen en technieken. Gedetailleerdere kostentabellen hiervan –

uitgesplitst naar investeringskosten, exploitatiekosten en totale jaarkosten – zijn opgenomen en nader besproken in Bijlage A. De hoofdstukken 2 en 3 richten zich beide op processtappen 1 en 2 uit Figuur 1 en dienen ter beantwoording van onderzoeksvragen 1 en 2.

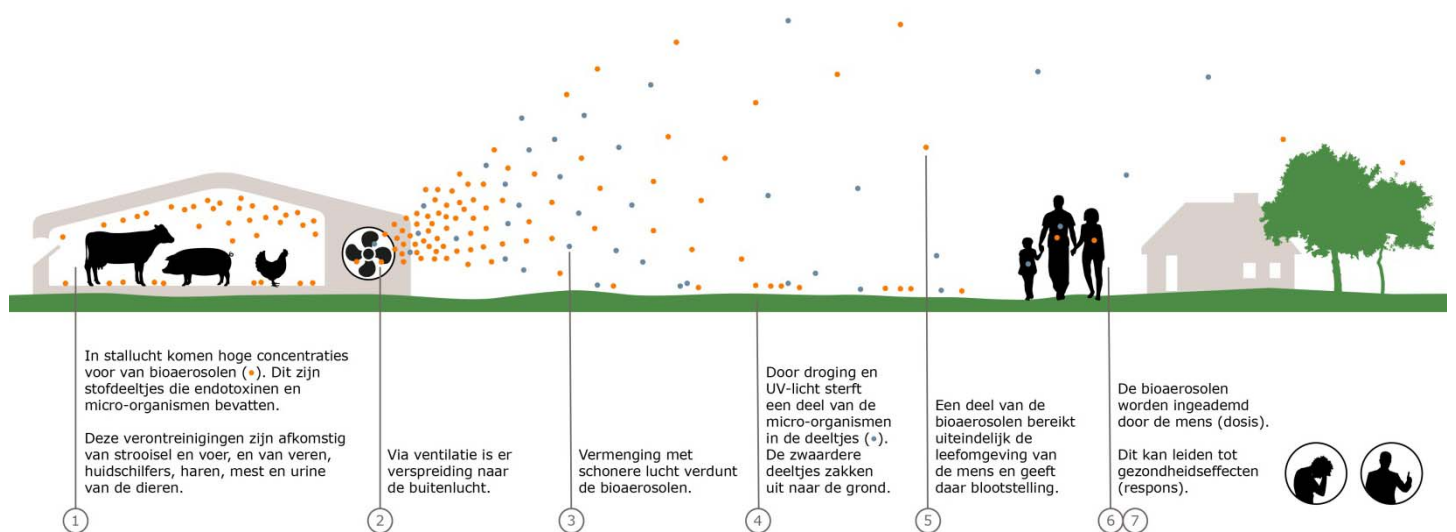
3. In de derde plaats is in relatie tot onderzoeksvraag 3 in hoofdstuk 4 een eenvoudig raamwerk uitgewerkt waarmee effecten van stalmaatregelen op de gezondheidsrisico's van omwonenden kunnen worden beoordeeld. Dit raamwerk bestaat feitelijk uit een model dat voortbouwt op de emissiereducties van de maatregelen uit hoofdstuk 2 en dat de procesketen in Figuur 1 als basis gebruikt. Wegens grote kennislacunes t.a.v. de processen in Figuur 1 is een sterk vereenvoudigd beoordelingsmodel ontworpen waarin noodgedwongen veel aannames zijn gedaan. Het beoordelingsmodel moet daarom nadrukkelijk gezien worden als een *eerste verkenning* van de wijze waarop effecten van stalmaatregelen op gezondheidsrisico's van omwonenden beoordeeld zouden kunnen worden.

4. Met dit beoordelingsmodel zijn in hoofdstuk 5 diverse scenario's doorgerekend zodat een *eerste inzicht* verkregen wordt t.a.v. het effect van stalmaatregelen op gezondheidsrisico's van omwonenden (onderzoeksvraag 4).

In hoofdstuk 6 ten slotte wordt de verkregen kennis uit de vier activiteiten in zijn totaliteit uitgewerkt tot een aantal groepen van maatregelen welke genomen zouden kunnen worden om emissies van bioaerosolen uit stallen met een groter percentage terug te dringen dan de 30% welke thans gevraagd wordt voor pluimveecategorieën in het Besluit emissiearme huisvesting.

2 Brede inventarisatie en eerste beoordeling van mogelijke stalmaatregelen

In dit hoofdstuk worden de resultaten op een rij gezet van een inventarisatie van stalmaatregelen die genomen kunnen worden om emissies van stofdeeltjes en de daarin voorkomende endotoxinen, micro-organismen en dragerschap van antibioticaresistentie te reduceren. Hierbij is uitputtendheid zo veel mogelijk nagestreefd. Dit hoofdstuk dient ter beantwoording van onderzoeksvragen 1 en 2 en richt zich op stappen 1 en 2 uit de procesketen in Figuur 1.



Figuur 1

Procesketen van stalemissie tot gezondheidseffect bij omwonenden.

Aan het einde van dit hoofdstuk wordt het totale pakket aan gevonden stalmaatregelen (83 in totaal) gestructureerd weergegeven en van een beoordeling voorzien (Tabel 1). In dit basisoverzicht is iedere maatregel voorzien van een beoordeling t.a.v. de wetenschappelijke bewijsstatus van de maatregel, de controleerbaarheid, het kostenniveau (inclusief energiekosten), en de effecten op emissies van: stof (PM10), endotoxine, micro-organismen (bacteriën en virussen), geur, ammoniak en broeikasgassen (methaan, lachgas). Hoewel de laatste drie typen verontreinigingen geen bioaerosolen zijn worden ze in de beoordeling wel meegenomen om afwenteling van problemen te voorkomen.

De in dit hoofdstuk weergegeven maatregelen zijn mede verkregen uit een integratie en actualisatie van eerdere literatuurstudies, overzichtsrapporten en documentatie t.a.v. het reduceren van stof of bioaerosolen in stallen en het verminderen van volksgezondheidsrisico's t.g.v. blootstelling aan luchtverontreinigingen uit stallen (Aarnink and Ellen, 2006; Aarnink et al., 2015a; Aarnink et al., 2015b; Ellen et al., 2011; Winkel et al., 2011c). De maatregelen worden hierna per maatregelengroep kort besproken alvorens het totaaloverzicht in Tabel 1 wordt gepresenteerd.

2.1 Maatregelengroep stro(oisel)

Met het woord **strooisel** wordt in dit rapport een vochtabsorberende substantie bedoeld die over de vloer van het huisvestingssysteem wordt aangebracht. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan verschillende soorten stro, houtkrullen/zaagsel of zand. In sommige stalsystemen, zoals bij groepshuisvesting voor zeugen op een pakket stro, is de vloer continu bedekt met strooisel wat tevens regelmatig wordt aangevuld. Bij stalsystemen voor bijvoorbeeld leghennen werkt dit anders: hier worden lege, schone stallen doorgaans ingestrooid met een laagje strooisel voordat de jonge hennen in de stal worden geplaatst. Vervolgens bouwt zich een strooisellaag op welke vrijwel geheel bestaat uit droge en verkruimelde mest van de kippen die niet meer wordt aangevuld met nieuw strooisel. Dit type strooisel wordt in dit rapport **strooiselmest** genoemd (zie bijv. par. 2.4). In deze paragraaf gaat het echter om strooisel in de eerst beschreven betekenis van het woord.

De maatregelen in de groep strooisel zijn alleen toepasbaar in die stallen waar relevante hoeveelheden stro(oisel) wordt gebruikt, zoals in de eendenhouderij (strostallen), biologische varkenshouderij, melkveehouderij (ligboxen, strohokken, grupstallen, ruwvoer) en geiten-/schapenhouderij (strostallen, ruwvoer). In recent onderzoek in Nederlandse melkveestallen werd gevonden dat 27% van de stofdeeltjes met aerodynamische diameters tussen 2,5 en 10 µm afkomstig was van stro(oisel) (Aarnink et al., 2011; Cambra-López et al., 2011). Dit is een relatief hoog percentage; in de lucht van stallen zonder gebruik van strooisel zijn doorgaans geen strooiseldeeltjes vindbaar. In deze stallen kunnen de genoemde maatregelen een beperkte reductie geven. Gedacht moet worden aan niveaus tot 10 á 20%. Mogelijk ongunstig is het gebruik van compoststrooisel of meststrooisel (zie maatregel 1.2), bijvoorbeeld in diepstrooiselligboxen voor melkvee. Ondanks dat dit materiaal tot ca. 60 °C is verhit in een vijzelpers/composteringsunit (waarmee bacteriën worden gedood en een droog, rul product ontstaat) is het rijk aan bacterieel endotoxine. Uit een recent onderzoek in Nederlandse melkveestallen bleken endotoxineconcentraties in stallen met compoststrooisel in de ligboxen ruim tweemaal hoger dan in stallen met zaagsel in de ligboxen (Samadi et al., 2012).

In de reguliere pluimveehouderij en varkenshouderij wordt stro(oisel) echter niet of slechts op zeer beperkte schaal gebruikt, bijvoorbeeld tegen beschadigend pikgedrag of als afleidingsmateriaal. Daarmee vormt het een relatief onbelangrijke bron van bioaerosolen en is er geen wezenlijke reductie mee te bereiken. Meer achtergrondinformatie en literatuurreferenties m.b.t. de maatregelen in deze groep is te vinden in de rapporten van Aarnink and Ellen (2006) en Winkel et al. (2011c).

Binnen de maatregelengroep **stro(oisel)** in Tabel 1 wordt het afzien van het gebruik van compoststrooisel of meststrooisel en het gebruik van een schoner alternatief als bijvoorbeeld zaagsel als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel voor de rundveehouderij beoordeeld omdat hiermee een halvering van endotoxineconcentraties mogelijk lijkt, deze maatregel eenvoudig is en op elk bedrijf toepasbaar. Voor deze bedrijven zullen de strooiselkosten hierdoor mogelijk toenemen.

2.2 Maatregelengroep voer

In tabel 2 in het rapport van Aarnink and Ellen (2006) worden 8 studies samengevat naar het toevoegen van olie of vet aan pellets/brok voor vleesvarkens om daarmee de stofproductie hieruit te verlagen. Uit de tabel blijkt dat het toevoegen van 0,5 tot 5% vet/olie een reductie van totaalstof kan geven van zo'n 10 tot 50%. De reductie die behaald wordt varieert echter tussen studies en is waarschijnlijk afhankelijk van de belangrijkheid van voerstof in het totaal van stofbronnen. Ook met een laagje vet of lignine rond de pellet kan stofvorming worden gereduceerd. De hoeveelheid vet in varkensvoer is echter in de eerste plaats afhankelijk van de nutritionele behoeften van het dier. De keuze voor bepaalde grondstoffen in mengvoer kan eveneens de stofproductie in de stal verlagen maar deze worden normaliter gekozen op basis van hun nutritionele eigenschappen en hun prijs op de grondstoffenmarkt. Het inbrengen van een extra eis t.a.v. stofproductie bij het samenstellen van een voer uit grondstoffen lijkt niet realistisch. Meer achtergrondinformatie en literatuurreferenties m.b.t.

de maatregelen in deze groep is te vinden in de rapporten van Aarnink and Ellen (2006) en Winkel et al. (2011c).

Binnen de maatregelengroep **voer** in Tabel 1 wordt geen van de maatregelen als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat mengvoerders in de eerste plaats worden samengesteld op basis van de nutritionele behoefte van het dier en de geldende marktprijzen voor de ingrediënten. Het inbrengen van een extra eis t.a.v. stofvorming wordt als niet realistisch beoordeeld.

2.3 Maatregelengroep voersysteem

Een andere manier om voerstof te verminderen is om aanpassingen van het voersysteem te plegen (Tabel 1). Deze maatregelen zijn met name toepasbaar bij varkensstallen en mogelijk bij melkveestallen met voerautomaten. Allereerst lijkt er een tendens te bestaan van lagere stofconcentraties in varkensstallen met brijvoeding dan varkensstallen met droogvoeding (Guingand, 1999; Li et al., 1992; Nannen et al., 2005; Takai and Pedersen, 2000; Zeitler et al., 1987). Mogelijk komt dit doordat enerzijds het droogvoer aanleiding geeft tot vaste deeltjes die makkelijk aerosoliseren terwijl nat voer eerst in dient te drogen, en anderzijds doordat het droogvoer doorgaans onbeperkt beschikbaar is, hetgeen dieractiviteit en daarmee aerosolisatie van voerdeeltjes in de hand werkt. De keuze voor een brijvoer- of droogvoerinstallatie wordt echter vooral ingegeven door de bedrijfsomvang: een brijvoerinstallatie kan slechts uit op grote bedrijven. Op Varkens Innovatie Centrum Sterksel is in 2013 kort gewerkt aan een eenvoudig prototype bronafzuiging bestaande uit een ringleiding met aanzuiggaatjes rond de voerbak, aangesloten op een stofzuiger die gelijktijdig aanschakelde met het uitstorten van voer in de voerbak. Bij de voerbak in kwestie was inderdaad geen voerstof meer zichtbaar in tegenstelling tot andere voerbakken. Stofmetingen zijn niet verricht en het prototype is niet verder ontwikkeld. Op praktijkschaal zal dit echter een forse investering vergen die niet realistisch is. Tevens is er gewerkt aan deksels die op de bovenzijde van droogvoerbakken kunnen worden gelegd om te voorkomen dat er voerstof uit de bovenzijde van de droogvoerbak komt bij het lossen van voer uit de valpijp in de bak (Binnendijk and Roelofs, 2001; Roelofs and Binnendijk, 2000). Een vast deksel is echter niet handig omdat dagelijks gecontroleerd wordt of alle voerbakken goed functioneren door te kijken of er daadwerkelijk de normale voorraad voer in ligt. Een transparant deksel vervuult snel en wordt ondoorzichtig. Een los deksel dient voor elke voerbak opgetild te worden wat een extra handeling met zich meebrengt. Tevens moet er een mogelijkheid zijn voor de lucht om te ontsnappen uit de voerbak wanneer deze gevuld wordt met droogvoer. Aangezien voer in varkensstallen voor minder dan 10% bijdraagt aan het fijne stof (PM₁₀; op massabasis), wordt van deze maatregelen een klein effect verwacht (Aarnink et al., 2011; Cambra-López et al., 2011). Naar verwachting zal de reductie voor de grotere stofdeeltjes (inhaleerbaar stof oftewel PM₁₀₀) groter zijn en zal het voersysteem er aanzienlijk minder stoffig uit zien.

Binnen de maatregelengroep **voersysteem** in Tabel 1 wordt geen van de maatregelen als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat deze maatregelen ofwel technisch moeilijk zijn door te voeren of duur zijn en naar verwachting een beperkte reductie van fijne stofdeeltjes (orde van grootte: 10%) zullen geven.

2.4 Maatregelengroep hygiëne/mest

Uit recent onderzoek naar bronnen van stof in Nederlandse stallen (Aarnink et al., 2011; Cambra-López et al., 2011) blijkt dat mest een belangrijke bron is van stofdeeltjes met aerodynamische diameters tussen 2,5 en 10 µm, met bijdragen van 70-86% bij leghennen (volière- en grondhuisvesting), 96% bij vleeskuikens, 52% bij kalkoenen, 92% bij biggen, 30% bij vleesvarkens, 29% bij zeugen en 21% bij melkkoeien. Omdat deze deeltjes uit mest afkomstig zijn is hun gehalte aan micro-organismen en endotoxine hoog (Aarnink et al., 2015b; Winkel et al., 2014f).

Op basis van deze bevinding wordt thans door Wageningen UR Livestock Research onderzocht of een dunnere meststrooisellaag bij leghennen (maatregel 4.1; bijv. door een strooiselmestschuif) en het 'varkenstoilet' (maatregel 4.3) concentraties en emissies van bioaerosolen kunnen verlagen. Tussentijdse resultaten aan maatregel 4.1 suggereren dat hiermee een reductie van zowel stofdeeltjes als ammoniak kan worden bereikt (Julio Mosquera; pers. comm.). Aan het varkenstoilet zijn nog geen emissiemetingen verricht (Nico Verdoes; pers. comm.). Beide opties worden als perspectiefvol beoordeeld. Hieraan gerelateerd blijkt een strikte hygiëne in varkensstallen door frequente reiniging met een industriële stofzuiger, het wassen van varkens, het tussen rondes nat reinigen van de afdelingen inderdaad bij te dragen aan het verminderen van luchtverontreiniging in stallen (Banhazi et al., 2008a; Banhazi et al., 2008b; Ulens et al., 2014; van't Klooster et al., 1993).

Ook buiten de stal is hygiëne ten aanzien van mestopslag, -overslag, -verwerking en droging effectief om verwaaiing en emissies van meststofdeeltjes vanaf het erf te voorkomen (Winkel et al., 2014f). Bij pluimveemestdrogers (droogzolders, bandendrogers en platendrogers; zie categorie E6 volgens bijlage 2 van de Regeling ammoniak en veehouderij) kunnen zeer hoge stofpieken voorkomen wanneer de droger draait. Een belangrijke maatregel is om het drogen in een afsluitbare ruimte te laten plaatsvinden. Wanneer de droger draait, dient dan de uitlaatopening van de ruimte gesloten te worden en dient de droogventilatie te stoppen en overgenomen te worden door de stalventilatoren (bypassventilatie). Deze twee zaken kunnen geautomatiseerd worden (Winkel et al., 2014b; Winkel et al., 2014c). Onduidelijk is op dit moment welke emissies er plaats vinden bij be-/verwerking van mest in andere situaties. Wanneer hier eveneens emissies optreden kan het binnen uitvoeren van deze processen effectief zijn.

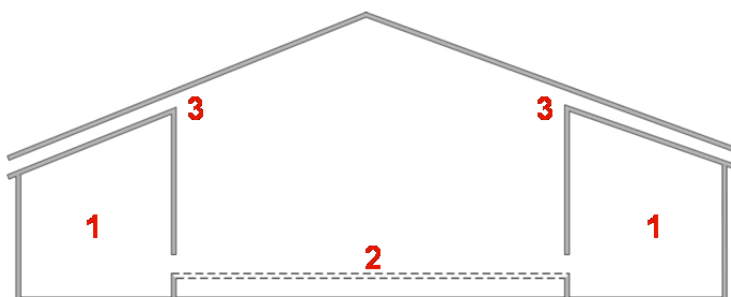
Binnen de maatregelengroep **hygiëne/mest** in Tabel 1 worden 4 maatregelen als perspectiefvolle *nieuwe* maatregelen beoordeeld. Twee maatregelen, namelijk: het dun houden van de strooiselmestlaag bij (opfok)leghennen en vleeskuikenouderdieren (maatregel 4.1) en het varkenstoilet (hygiënisch hokontwerp; maatregel 4.3) worden als perspectiefvol beoordeeld omdat ze aangrijpen op de belangrijkste stofbron in stallen (mest) die bovendien rijk is aan micro-organismen en endotoxine. Daarnaast verlagen deze maatregelen tevens de concentraties van stof/bioaerosolen in de stal hetgeen gunstig is voor werkenden in stallen en voor de dieren. Ook het be-/verwerken van mest (maatregel 4.7) en drogen van (pluimvee)mest (maatregel 4.8) in afgesloten ruimten wordt als perspectiefvol beoordeeld omdat hiermee (piek)emissies en verwaaiing kan worden voorkomen.

2.5 Maatregelengroep dieractiviteit beperken

Uit meerdere onderzoeken is gebleken dat de concentratie van bioaerosolen in stallucht sterk samenhangt met de activiteit van de dieren (Calvet et al., 2009; Costa et al., 2009; Kim et al., 2008; Winkel et al., 2015b). Het werkingsprincipe achter deze samenhang is dat het gedrag van de dieren de aanwezige stofdeeltjes in de stal opwerpen (aerosoliseren). Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan krabben, stofbaden, (op)springen, lopen, veren schudden en vleugelbewegingen bij pluimvee, maar ook het vreten en spelen bij varkens. Deze gedragingen gingen weer sterk samen met de aanwezigheid van licht. Wanneer in leghennenstallen de verlichting 's avonds wordt uitgeschakeld, daalt de concentratie van deeltjes in de lucht scherp met zo'n 80 tot 95%. Wanneer de volgende ochtend de verlichting weer aanschakelt is een sterke stijging te zien. Zo worden tijdsprofielen in stofconcentraties van stallen verkregen die zeer karakteristiek verlopen voor bepaalde diercategorieën (Winkel et al., 2015b). Met de verlichting van stallen kan – in principe – de concentratie van stof sterk worden beïnvloed. Echter; de verlichting in stallen is tevens afhankelijk van dierwelzijnsregelgeving, aangezien dieren licht nodig hebben voor visuele waarneming, hun fysiologisch functioneren en het vertonen van natuurlijk gedrag. Varkens bijvoorbeeld, dienen minimaal 8 uur licht op een dag te ontvangen, bij een verlichtingssterkte van minimaal 40 lux (Wet Dieren, Besluit houders van dieren, Artikel 2.23, lid 1). Vleeskuikens dienen minimaal 6 uren duisternis te ontvangen per dag en tijdens de lichtperiode dient de verlichtingssterkte op ten minste 80% van de bruikbare oppervlakte ten minste 20 lux te bedragen (Europese richtlijn 2007/43/EG, Bijlage 1, lid 6). Van Harn (2009)

vergeleek vier lichtschema's voor vleeskuikens die met name verschilden t.a.v. de afwisseling van licht- en donkerperioden, maar vond geen verschillen voor emissies van fijnstof en ammoniak. Van Emous en Ogink (2010) verkenden het perspectief van drie verschillende lichtschema's voor leghennen waarbij diverse schemerperiodes tijdens de dag werden ingebouwd en concludeerden dat fijnstofreducties mogelijk waren tussen 7 en 14%. Geconcludeerd moet worden dat het verlagen van concentraties van bioaerosolen door de verlichtingssterkte en/of verlichtingsduur te verminderen mogelijk is, maar toch niet perspectiefvol is, omdat bij verminderingen die concentraties wezenlijk verlagen al snel het welzijn van de dieren in het geding komt.

Een andere aanpak is om de activiteit van dieren, en dan met name het krabben en stofbaden van leghennen op strooisel, te scheiden van de ruimte waarin eten, drinken, rusten en leggen plaatsvindt (Van Emous et al., 2010; Van Emous et al., 2009). Door deze gedragingen in afgescheiden ruimtes te laten plaatsvinden, kan deze ruimte apart worden geventileerd op een minimum niveau. Deze kleine ventilatiestroom kan dan worden behandeld volgens een techniek uit maatregelengroep 11 en 12. In de hoofdruimte van de stal hoeft dan geen strooisel meer aanwezig te zijn (maar bijvoorbeeld een roostervloer) zodat hier de stofconcentratie voor mens en dier alsook de emissie uit deze ruimte aanzienlijk lager is. Een voorbeeld van dit principe is uitgewerkt in Figuur 2. Er is de auteurs momenteel één stalsysteem bekend dat werkt volgens onderstaande principe; deze stal is in eerder onderzoek bezocht, er is een oriënterende fijnstofmeting verricht en het systeem is beoordeeld op het perspectief om fijnstof te reduceren (Van Emous et al., 2009). Dit stalconcept wordt als perspectiefvol beoordeeld en verdient verdere aandacht bij stalontwerpen.



Figuur 2
Schematische weergave van een stal met gescheiden en apart geventileerde strooiselruimtes (1), een hoofdruimte met roostervloer (2) voor eten/drinken/rusten/leggen, welke eveneens apart wordt geventileerd (3; luchtinlaat).

Binnen de maatregelengroep **dieractiviteit** in Tabel 1 wordt de optie van strooiselruimten die afgescheiden zijn van de hoofdruimte (maatregel 5.4) als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat deze maatregel aangrijpt op de belangrijkste bron van bioaerosolen in stallen voor (opfok)leghennen en vleeskuikenuouderdieren (namelijk: de strooiselmest) en de activiteit van de dieren daarop. Deze maatregel kan naar verwachting de emissie met (enkele) tientallen procenten reduceren. Daarnaast verlaagt het systeem de concentraties van stof/bioaerosolen in de stal hetgeen tevens gunstig is voor werkenden in stallen en voor de dieren.

2.6 Maatregelengroep olie-/waterfilm

Er is veel onderzoek verricht naar het aanbrengen van een oliefilm op het strooisel bij vleeskuikens (Aarnink et al., 2009; Winkel et al., 2014a; Winkel et al., 2011b) en bij leghennen (Winkel et al., 2013; Winkel et al., 2014d; Winkel et al., 2012c; Winkel et al., 2009). De oliefilm zorgt ervoor dat stofdeeltjes in de toplaag van het strooisel minder aerosoliseren wanneer de hennen daarop actief zijn. Er zijn twee fijnstofreductiesystemen op basis van een oliefilm (een systeem op basis van vaste leidingen met nozzles en een zelfrijdende vernevelrobot) opgenomen in het overzicht 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015). Voor leghennen is tevens het aanbrengen van een (aangezuurde) waterfilm op strooisel onderzocht. Hierbij kwam echter, zoals verwacht, meer

ammoniak vrij uit het strooisel, hetgeen ongewenst is (Van Harn et al., 2012a; Van Harn et al., 2013; Van Harn et al., 2012b).

Voor toepassing bij varkens tot slot, publiceerden Osman et al. (1999) resultaten van een olieroller en een olieborstel waarmee varkens zelf een klein beetje plantaardige olie op hun huid aanbrengen en verspreiden door het hok. In deze studie werden concentraties van respirabel stof (~PM4) met 41 tot 63% gereduceerd en concentraties van totaalstof (~PM100) met 37 tot 83%. Op basis van dit onderzoek is op Varkens Innovatie Centrum Sterksel i.s.m. het bedrijfsleven een oliefilmapplicator ontwikkeld (Winkel et al., 2012a; Winkel et al., 2014e). Dit apparaat bestond uit een voorraadvaatje met olie en een scharnierende staaf aan de onderzijde van het vaatje. De staaf hing tussen de flanken van de varkens en diende als speelmateriaal. Elke keer wanneer een varken de staaf liet scharnieren, droop er een druppel olie uit het vaatje langs de staaf naar beneden. In deze studie werden concentraties van PM10 gereduceerd met gemiddeld 62% bij een olieconsumptie van 6 mL/dag per varken. Het systeem is door het bedrijfsleven verder doorontwikkeld en marktrijp gemaakt. Het is echter weer van de markt gehaald omdat er te weinig omzet mee bereikt werd. Desondanks is het een zeer effectieve bronmaatregel voor varkensstallen en wordt hier als perspectiefvol beoordeeld.

Binnen de maatregelengroep **olie-/waterfilm** in Tabel 1 wordt de olieapplicator voor vleesvarkensstallen als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat twee experimentele studies hoge reducties van fijn stof laten zien, de techniek mogelijk tevens als speel-/afleidingsmateriaal kan dienen voor de dieren en de benodigde inspanningen voor het ontwikkelen van een marktrijp systeem beperkt zijn. Daarnaast verlaagt het systeem de concentraties van stof/bioaerosolen in de stal hetgeen tevens gunstig is voor werkenden in stallen en voor de dieren.

2.7 Maatregelengroep biosecurity

In deze maatregelengroep gaat het om een aantal uiteenlopende opties (technieken, voorzieningen, managementmaatregelen, etcetera) die gericht zijn op het voorkomen van insleep, besmetting, infectie, manifestatie, uitscheiding of transmissie van micro-organismen. Het gaat hier doorgaans om maatregelen die niet direct gerelateerd zijn aan het stalgebouw als emitterende eenheid. Verder zijn de maatregelen specifiek gericht op micro-organismen. Effecten op emissies van stof worden niet verwacht. Ook effecten op emissies van endotoxinen zijn onwaarschijnlijk. Verder zijn hun effecten op de emissies van micro-organismen niet of zeer moeilijk in te schatten. Uit oogpunt van het bieden van een volledig (integraal) maatregelenbeeld is deze maatregelengroep opgenomen in Tabel 1. Binnen de scope van deze studie worden ze echter niet meegenomen als perspectiefvolle maatregelen.

2.8 Maatregelengroep ionisatie (in de stal)

De systemen in deze maatregelengroep verspreiden elektrisch geladen deeltjes in de stal door middel van een hoge spanning. Stofdeeltjes in stallucht nemen deze lading op en gaan hechten aan tegengesteld geladen of geaarde objecten in de stal. De stal lijkt hierdoor erg stoffig, maar dit is juist stof wat uit de lucht is verwijderd. In de VS is een negatief ionisatiesysteem ontwikkeld welke in Nederland verder is doorontwikkeld, experimenteel onderzocht en in praktijkstallen gevalideerd (Cambra-López et al., 2009; Winkel et al., 2011a). Dit systeem reduceert PM10 concentraties in vleeskuikenstallen met gemiddeld 49% en is reeds beschikbaar binnen de Rav-systematiek.

Ook positieve ionisatiesystemen, welke positief geladen elektrische deeltjes produceren, zijn ontwikkeld. Het is waarschijnlijk dat ook deze systemen effectief zijn in het reduceren van stof/bioaerosolen in stallucht, hoewel hieraan geen gepubliceerde metingen bekend zijn. Het werkingsprincipe van positieve ionisatie als 'end of pipe' toepassing is wel bij praktijkstallen gevalideerd en is opgenomen als maatregel 11.6 in Tabel 1.

Tot slot zijn er ionisatoren met koolstofborsteltjes (bijvoorbeeld met een lampfitting; ook wel 'ionisatielampen' genoemd) op de markt. Ook deze produceren elektrisch geladen deeltjes. Sommige geven tevens licht, andere geven alleen elektrische deeltjes af. Het werkingsprincipe van de ionisatoren berust erop deeltjes elektrostatisch te laten samenklonteren, zodat ze als groter en zwaarder deeltje versneld sedimenteren. In het verleden zijn dergelijke ionisatoren in varkenstallen beproefd, maar niet effectief gebleken (Van't Klooster, 1991). Recent staan deze ionisatoren opnieuw in de belangstelling als techniek om de luchtkwaliteit in pluimveestallen te verbeteren (Bijlevel, 2015; Duindam, 2014). Deugdelijk onderzoek ontbreekt echter, zodat de werkelijke effectiviteit van de huidige generatie ionisatoren onduidelijk is.

Binnen de maatregelengroep **ionisatie** in Tabel 1 worden alle nog niet toegepaste ionisatiesystemen als perspectiefvolle *nieuwe* maatregelen beoordeeld. Ionisatiesystemen zijn in algemene zin in veel (mechanisch geventileerde) staltypen toepasbaar, zijn effectief en verbruiken weinig energie. Daarnaast verlagen ze de concentraties van stof/bioaerosolen in de stal hetgeen tevens gunstig is voor werkenden in stallen en voor de dieren.

2.9 Maatregelengroep stalklimaat

Hoewel stofdeeltjes/bioaerosolen zeer klein zijn en bijna zwevend in de lucht gesuspendeerd blijven, hebben ze toch massa en een valsnelheid. Stalstofdeeltjes met een aerodynamische diameter van 10 µm (éénhonderste millimeter) 'vallen' in stilstaande lucht met een snelheid van ongeveer 5 mm/s (Mostafa, 2008). In laminair of turbulent stromende lucht is de valsnelheid echter lager. Door hoge luchtsnelheden en turbulenties in luchtstromen te voorkomen kan het neerslaan van stofdeeltjes worden bespoedigd. Door het vergroten van de luchtvochtigheid, bijvoorbeeld door het vernevelen van kleine waterdruppeltjes, nemen deeltjes water op, worden groter en zwaarder en slaan daardoor eveneens sneller neer. Deze aanpak lijkt voornamelijk effectief bij hoge luchtvochtigheden en voor de grotere deeltjes (Ellen, 1999).

Binnen de maatregelengroep **stalklimaat** in Tabel 1 wordt geen van de maatregelen als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat klimaatvariabelen ingesteld worden naar de behoefte van het dier, hetgeen weinig ruimte laat om hiermee tevens de emissies van bioaerosolen te verminderen.

2.10 Maatregelengroep ventilatie

In veel situaties worden stallen met name geventileerd om de warmteproductie van de dieren af te voeren, zodat de temperatuur in de stal tussen optimale grenzen blijft. Bij hoge buitentemperaturen en/of (bijna) volgroeide dieren is steeds meer luchtvolume nodig om de geproduceerde warmte af te voeren. Hierdoor treden relatief grote emissies op. Door de ingaande lucht te koelen, bijvoorbeeld door koeling met grondwater (van circa 10 °C), kan worden volstaan met een kleiner luchtdebiet en zijn emissies lager. Wel dient altijd voldoende te worden geventileerd om andere componenten, zoals vocht en CO₂ in voldoende mate af te voeren. Er zijn twee hoofdtypen systemen op de markt beschikbaar voor koeling van de ingaande lucht om hiermee het ventilatiedebiet te verminderen.

Voor vleeskuikens bestaat er het zogenaamde 'TerraSea' systeem. Dit betreft feitelijk een totaal stalconcept bestaande uit enerzijds een luchtconditioneringssysteem (gebruik makend van grondwater van circa 10–12 °C voor koeling of opwarming van binnenkomende buitenlucht) en anderzijds een biologische of chemische luchtwasser die de uitgaande lucht reinigt. Omdat met een kleiner ventilatiedebiet kan worden volstaan (circa 30% van een traditionele vleeskuikenstal) kan ook de luchtwasser relatief klein worden gedimensioneerd. De beperkte luchtstroom wordt dan voor 35% (chemische luchtwasser) of 75% (biologische luchtwasser met lange verblijfstijd) van fijn stof gereinigd. Er bestaat geen emissiefactor voor het luchtconditioneringssysteem zonder luchtwasser,

hoewel dit wel mogelijk zou zijn. Belangrijke nevenvoordelen zijn: een constant en optimaal stalklimaat, mogelijk betere dierprestaties en een laag energiegebruik (Ellen et al., 2014b). Bij varkens kan de ingaande lucht eveneens gekoeld worden met behulp van luchtconditionering via warmte-koudeopslag (WKO). Dit systeem werkt op hoofdlijnen hetzelfde (Ellen et al., 2014a).

Tevens zijn er 'pad cooling' systemen verkrijgbaar. Deze worden in de luchtinlaat geplaatst en bestaan uit lamellen/een pakking welke met water worden bevoeid. De binnenkomende lucht neemt het water op; bij de verdamping wordt daarbij warmte-energie aan de lucht onttrokken die zo in temperatuur afneemt en in relatieve vochtigheid toeneemt. Met deze lagere luchttemperatuur kan met een kleiner ventilatiedebiet worden volstaan.

Voor beide hoofdtypen systemen geldt dat de emissie niet recht evenredig zal afnemen met de reductie van het ventilatiedebiet omdat in dit kleinere debiet concentraties hoger zullen zijn. Voor stofdeeltjes is het mogelijk dat het kleinere ventilatiedebiet tot een lagere luchtsnelheid leidt en zo tot minder aerosolisatie van deeltjes (en meer sedimentatie van reeds ge-aerosoliseerde deeltjes). Onduidelijk is op dit moment welke reductie van bioaerosolen voor deze maatregelen geschat kan worden.

Binnen de maatregelengroep **ventilatie** in Tabel 1 wordt het verlagen van het luchtdebiet door luchtkoeling als perspectievolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat het niet ingrijpt op de concentraties maar op het luchtvolume dat door de stal wordt geventileerd. Hiermee wordt mogelijk aselectief de emissie van meerdere componenten (fijn stof, endotoxinen, micro-organismen, geur, ammoniak en broeikasgassen) verminderd, al zal deze vermindering niet recht evenredig zijn met de vermindering in ventilatiedebiet. Tevens wordt de maatregel reeds toegepast in nieuwe stalconcepten.

2.11 Maatregelengroep 'end of pipe'

In maatregelengroep 11 zijn technieken opgenomen die verbonden kunnen worden aan de luchttuitlaat van de stal en daar bioaerosolen uit de ventilatielucht kunnen verwijderen voordat deze de atmosfeer in stromen. Veel van deze technieken hebben status 1. Dat wil zeggen: deze technieken zijn ontwikkeld, onderzocht, in de praktijk gevalideerd en opgenomen in regelgeving als de Rav of het overzicht 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015).

De grofstoffilters en absoluutfilters worden thans gebruikt in de luchtinlaat van stallen die belangrijk genetisch uitgangsmateriaal (fokdieren) huisvesten om hiermee de insleep van pathogenen te elimineren. Ze kunnen tevens gebruikt worden om ventilatielucht van 'reguliere stallen' te zuiveren en zijn in principe zeer effectief. Dit is echter een kostbare maatregel omdat er een grote tegendruk overwonnen moet worden (hoog elektriciteitsverbruik) en filters regelmatig moeten worden vervangen. Vanwege deze hoge kosten worden dergelijke systemen in de praktijk zelden toegepast. Om deze reden zijn ze tevens niet perspectievol.

De elektrostatische precipitator (ESP) wordt als techniek in het overzicht 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015) 'ionisatiefilter' genoemd. Dit is feitelijk het toepassen van ionisatie (zie maatregelengroep 3.1.8) als end of pipe systeem. In de industrie worden ESP's veelvuldig toegepast om deeltjes in rookgassen af te vangen. Met ESP's worden normaliter zeer hoge reductiepercentages bereikt (>90% voor fijn stof), aanzienlijk hoger dan de 57% voor PM10 waarmee de ionisatiefilter thans in de lijst 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015) staat. Het systeem werpt slechts een zeer beperkte tegendruk op (in vergelijking met bijvoorbeeld filters of luchtwassers) zodat het extra elektriciteitsverbruik van ventilatoren die deze tegendruk moeten overwinnen laag is. Ook het ionisatiesysteem zelf verbruikt weinig elektriciteit. Tot slot wordt geen spuiwater geproduceerd, het betreft een droge techniek waarbij verzameld stof in een stofbak wordt verzameld. Het systeem is bij elke mechanisch geventileerde stal mogelijk. Gezien deze eigenschappen wordt de ESP beoordeeld als een perspectievolle techniek. Optimalisaties van dit

systeem zijn echter nodig om het reductieniveau te vergroten tot niveaus die in de industrie gehaald worden (Winkel et al., 2015a; Winkel et al., 2012b).

Het biobed (niet te verwarren met een biologische luchtwasser) bestaat uit een grote horizontale bak met een dikke laag organisch pakkingsmateriaal (zoals houtsnippers of turf) welke van boven enigszins met water wordt besprenkeld en waar van onder naar boven stallucht doorheen wordt geblazen. Het organische pakkingsmateriaal werkt als een filter waarin stofdeeltjes blijven steken. Tevens wordt ammoniak en geur afgebroken door bacteriën in het pakkingsmateriaal. Sinds eind jaren tachtig van de vorige eeuw is het perspectief van biobedden onderzocht in varkensstallen (Demmers and Uenk, 1996; Donkers, 1986; Eggels et al., 1989; Seedorf and Hartung, 1999; Uenk et al., 1993; Van de Sande-Schellekens and Backus, 1993) en meer recent – naast varkensstallen – tevens in pluimvee- en rundveestallen (Arends et al., 2006; Melse and Hol, 2012; Melse et al., 2014a; Melse et al., 2014b; Nicolai and Janni, 1999; Tymczyna et al., 2007; Winkel et al., 2010). Uit dit onderzoek blijkt dat het biofilter zowel fijn stof als ammoniak en geur kan reduceren. Echter, zowel in ouder als recent onderzoek blijkt dat er veel operationele problemen bestaan die de werking en effectiviteit van het systeem op termijn onzeker maken. De operationele problemen bestaan bijvoorbeeld uit het ontstaan van te droge en/of te natte plekken in het bed, verstoppingen door stofophoping, inklinking van het bed op lange termijn, het oplopen van de tegendruk die door de ventilatoren overwonnen moet worden en het ontstaan van kortsluitstromen (voorkeursstromen) langs droge plekken. Desondanks is het biobed op dit moment opgenomen binnen de Rav-systematiek, maar dan uitsluitend als maatregel voor pluimveestallen, niet voor varkensstallen.

Aan het huidige aanbod van luchtwassers is veel onderzoek, ontwikkeling en validatie op praktijkbedrijven vooraf gegaan, waarop in dit rapport niet verder op wordt ingegaan. In zijn totaliteit kunnen de huidige luchtwassers voor stallen worden ingedeeld in vier hoofdtypen: eenvoudige waterwassers (welke de ventilatielucht slechts wassen en zo ontdoen van stof), chemische luchtwassers (welke met name ammoniak zeer effectief verwijderen door te wassen met waswater dat sterk is aangezuurd met zwavelzuur), biologische luchtwassers (welke met name geur en stof effectief verwijderd middels microbiële afbraak door micro-organismen in de pakkingslaag), en gecombineerde luchtwasser (welke voorgaande stappen combineren en 70% reductie dienen te behalen t.a.v. zowel fijn stof, ammoniak als geur). De waterwasser kan alleen toegepast worden bij de pluimveecategorieën in de Rav-systematiek, de chemische luchtwasser bij zowel melkvee/vleeskalveren, varkens als pluimvee, de biologische luchtwasser bij vleeskalveren, varkens en pluimvee, en de gecombineerde luchtwasser alleen bij vleeskalveren en varkens. Alle vier hoofdtypen luchtwassers verwijderen stof uit de ventilatielucht, maar de biologische en gecombineerde luchtwassers zijn hierin met 60 tot 80% het meest effectief. Zucker et al. (2005) onderzochten een combinatie van een biologische/chemische wasser op het vermogen om stof en endotoxinen uit de ventilatielucht te verwijderen. In deze studie werden reducties gevonden van 86% voor inhaleerbaar stof, 91% voor endotoxinen en 50% voor gramnegatieve bacteriën. Zhao et al. (2011) onderzochten drie multistage luchtwassers (twee met een chemische + biologische wasstap en één gecombineerde luchtwasser) en vond reducties van 61 tot 93% voor PM10, 47 tot 90% voor PM2,5, 46 tot 85% voor bacteriën en 70 tot 100% voor ammoniak. Op dit moment zijn er naar schatting zo'n 2000 luchtwassers geplaatst (Melse et al., 2015), waarvan het overgrote deel bij varkensstallen en enkele tientallen (chemische) luchtwassers bij rundveestallen. Bij pluimveestallen worden luchtwassers tot nu toe slechts incidenteel ingezet. Dit heeft vermoedelijk te maken met de hoge piekdebieten die in de zomer en/of aan het einde van de groeironde bij vleeskuikens en vleeskalkoenen moet worden ingezet en waarop de wasser dient te worden gedimensioneerd alsook het verstoep raken van de wasserpakkingen met stof en veren.

Binnen de maatregelengroep **end of pipe** in Tabel 1 wordt de elektrostatische precipitator (ESP; maatregel 11.6) als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat met dergelijke systemen een zeer hoge reductie van fijn stof (en daarmee endotoxinen en micro-organismen) kan worden bereikt tegen lage energiekosten, het systeem geen spuiwater produceert en de techniek bij alle mechanisch geventileerde stallen (met een centrale luchtuitlaat) toepasbaar is. Wel is nog verdere ontwikkeling nodig om een hogere emissiereductie te bereiken.

2.12 Maatregelengroep desinfectie (end of pipe)

Door Aarnink et al. (2015a) is recent een rapportage geschreven over het reduceren van bioaerosolen uit stallen. De inhoud van die rapportage is meegenomen in het basisoverzicht in Tabel 1. In paragraaf 2.3 van voornoemde rapport wordt beschreven dat de chemische oxidatiemiddelen 12.1 t/m 12.6 als extra stap kunnen worden toegepast in luchtwastechnieken. Hiervoor zal echter verder moeten worden onderzocht met welke dosis en contacttijd deze middelen ingezet dienen te worden om een voldoende kiemdodend effect te verkrijgen. Bij kiemdoding worden efficiënties meestal uitgedrukt in het aantal 10-log stappen. Hierbij komen 2 stappen overeen met $(1-10^{-2}=)$ 99% reductie, 3 stappen met $(1-10^{-3}=)$ 99,9% reductie, 4 stappen met $(1-10^{-4}=)$ 99,99% reductie, enzovoort. Ook de fysische behandelingen met koude plasma en fotokatalyse vergen verder onderzoek voordat deze systemen praktijkrijp en effectief ingezet kunnen worden. UVC-behandeling is nu reeds mogelijk. Het is echter belangrijk dat eerst zoveel mogelijk stofdeeltjes worden afgevangen in een pre-stap en dat de lucht van alle kanten worden bestraald (Aarnink et al., 2015a; Roelofs et al., 1999). Voordat verder onderzoek wordt gestart naar de werking (dosis, contacttijd) en technische toepassing van deze maatregelen dient aan de hand van lopend onderzoek (bijvoorbeeld het Veehouderij en Gezondheid Omwonenden onderzoek) beoordeeld te worden hoe belangrijk het reduceren van (levende) kiememissies is binnen de totale gezondheidslast van stalemissies in relatie tot bijvoorbeeld fijn stof en endotoxinen.

Alle maatregelen in de maatregelengroep **desinfectie** in Tabel 1 worden als perspectievolle *nieuwe* maatregel beschouwd, maar dan met name voor verder onderzoek en ontwikkeling wanneer uit lopend onderzoek blijkt dat kiemdodende end of pipe maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan het verminderen van de gezondheidslast van omwonenden van stallen.

2.13 Maatregelengroep 'out of pipe'

Voor de volledigheid zijn in deze groep maatregelen opgenomen die de emissie van bioaerosolen niet reduceren, maar de verspreidingskarakteristiek van bioaerosolen in de buitenlucht veranderen. Maatregelen 13.1, 13.2 en 13.3 zijn erop gericht om de lucht respectievelijk verticaal, met een zo groot mogelijke uitreesnelheid, en zo hoog mogelijk te doen uitstromen. Deze drie maatregelen zorgen ervoor dat de pluim met bioaerosolen hoger in de atmosfeer wordt ingebracht. Dit leidt tot twee veranderde verspreidingskarakteristieken: (1) de pluim bereikt het leefniveau van mensen pas op een grotere afstand van de stal, en (2) op dat moment is er verdunning opgetreden van de pluim t.g.v. verticale opmenging. Merk op dat de totale emissievracht uit het stalgebouw niet wordt gereduceerd, maar dat deze over een groter gebied wordt verspreid. Of de verlaging van bioaerosolconcentraties in de directe omgeving van het bedrijf opweegt tegen de verhoging van 'achtergrondniveaus' verderop is alleen te beoordelen op grond van scenario-berekeningen met pluimverspreidingsmodellen, hetgeen buiten de scope van deze studie valt. We merken op dat verhoogde achtergrondniveaus in principe tot verhoogde gezondheidslast leiden omdat voor (stedelijk) fijn stof geen 'no-effect level' bestaat, en dus elke microgram fijn stof in een volume lucht bijdraagt aan de gezondheidslast. Maatregel 13.4 (het verplaatsen van het emissiepunt) is er bijvoorbeeld op gericht om een zo groot mogelijke afstand te scheppen tussen het emissiepunt en het dichtstbijzijnde gevoelige object (bijvoorbeeld een woonhuis), zodat de concentratie van bioaerosolen zo veel mogelijk is verdund voordat het dit gevoelige object bereikt.

Ook maatregel 13.5 vermindert de uitstoot van bioaerosolen uit het stalgebouw niet. De afvang wordt hier gerealiseerd in de buitenlucht; op of voor de erfgrans, door loofdragende begroeiing zoals de grove den (*Pinus sylvestris*) en de haagbeuk (*Carpinus betulus*). Naar de afvang van stofdeeltjes door zogenaamde 'groenelementen' is de afgelopen jaren vrij veel onderzoek verricht (Adrızal et al., 2008; Burley et al., 2011; Erbrink et al., 2009; Hofschreuder, 2008; Oosterbaan et al., 2009; Pronk and Dijk, 2012, 2013; Pronk et al., 2012; Pronk et al., 2014; Pronk et al., 2015; Pronk et al., 2013a; Pronk et al., 2013b; Wesseling et al., 2011). Uit dit onderzoek is gebleken dat het aandeel van de ventilatielucht dat daadwerkelijk door het groenelement stroomt kan variëren tussen 20 en 70%,

afhankelijk van de windrichting (richting het groenelement, zijwind of tegenwind) en de verhouding tussen de uitstroomsnelheid van de ventilator en de windrichting en bij een groenelement dat even hoog is als de nok van de stal en gepositioneerd op 30 meter afstand. Onder de *meest ideale omstandigheden* (wind komt recht over de stal aanwaaien in de richting van het groenelement, optimale verhouding tussen uitstroomsnelheid en windsnelheid) zou een groenelement (hoogte gelijk aan de hoogte van de nok van de stal en op 30 meter afstand) de buitenluchtconcentraties van middelfijn stof (ca. 5–12 µm) met *maximaal* 25% kunnen verminderen terwijl kleiner stof (ca. 3–8 µm) nauwelijks wordt afgevangen. De maatregel lijkt met name effectief voor grover stof. Wel dient bedacht te worden dat dit geldt voor groenelementen die aan alle optimale condities voldoen. Wanneer een groenelement slecht onderhouden wordt, in loofdichtheid afneemt, of er bomen sterven zal de effectiviteit afnemen.

Binnen de maatregelengroep **out of pipe** in Tabel 1 wordt de vegetatieve buffer als perspectiefvolle *nieuwe* maatregel beoordeeld omdat het met een fijnstofafvangst tussen nul en maximaal 25% voor PM10 enigszins effectief is (waarschijnlijk effectiever voor grover stof), de werking experimenteel is aangetoond en de maatregel op veel bedrijven toepasbaar is.

2.14 Maatregelengroep beleid

Voor de volledigheid zijn in deze groep de maatregelen opgenomen die niet vallen onder (technische of management) stalmaatregelen, maar generiek en beleidsmatig van aard zijn.

Instellen van een minimale afstand tussen stallen en woningen is een maatregel van dit type. Deze maatregel berust op de volgende werkingsprincipes: uit een beperkte hoeveelheid studies naar de concentraties van stofdeeltjes – en de endotoxinen en micro-organismen daarin – benedenwinds van stallen blijkt dat concentraties nabij het emissiepunt aanvankelijk hoog zijn en dan afnemen met de afstand vanaf de stal. Een samenvatting van deze studies wordt gegeven in de literatuurstudie door Winkel et al. (2014f). Zoals besproken in par. 3.1.9 hebben deeltjes massa en zakken neer uit de emissiepluim. Ook wordt de pluim met deeltjes verdund (vermengd) met buitenlucht. Tot slot worden deeltjes uitgespoeld door regen en impacteren tegen objecten (gebouwen, bomen, gewas) in het landschap.

Regels die de schaalgrootte van bedrijven inperken zullen voor een individueel bedrijf de totale emissievracht (bronsterkte) evenredig inperken. Wanneer het aantal bedrijven in een regio gelijk blijft (beperkingen op het ene bedrijf worden niet gecompenseerd door nieuwe bedrijven onder het schaalniveau van de beperking) neemt de belasting in de hele regio af.

Voor beide maatregelen geldt dat ze geen onderdeel zijn van deze studie.

Tabel 1

Basisoverzicht van maatregelen ter vermindering van bioaerosolen en daaraan gerelateerde gezondheidsrisico's. **Geel** gearceerde maatregelen zijn maatregelen die nu reeds toegepast worden. **Blauw** gearceerde maatregelen zijn als perspectievolle nieuwe maatregel beoordeeld.

Maatregel	Type ^a	Werkingsprincipe	Toepasbaar bij ^b Bestaand/Nieuw Diercategorie	Status ^c	Controle mogelijk?	Kosten ^d	Effecten op emissie uit de stal ^d					Opmerking/toelichting	
							Stof (PM10)	Endot.	Micro- organismen	Geur	NH ₃		BKG
Onderdeel A													
vermindering van insleep, bronnen, vorming en luchtopname van verontreinigingen in de stal													
1. Maatregelengroep stro(oisel)													
1.1 Van nature stofarm stro(oisel)	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N Pl, Va, Ru, Gei, Sch	2	Moelijk	---	+	0/+	0/+	0	0	0	Bijv. vlasstro, houtkrullen/zaagsel of kleikorrels
1.2 Van nature hygiënisch stro(oisel)	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N Met name: Me, Ru	2	Ja	-	0	30-50	0	0	0	0	Bijv. geen compoststrooisel of meststrooisel
1.3 Ontstoft stro(oisel)	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N Pl, Va, Ru, Gei, Sch	4	Moelijk	---	+	0/+	0/+	0	0	0	Te duur voor grootschalig gebruik
1.4 Goede kwaliteit stro(oisel)	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N Pl, Va, Ru, Gei, Sch	4	Moelijk	-	+	0/+	0/+	0	0	0	Geen oud/droog/verstoft stro(oisel) gebruiken
1.5 Frequent verversen/aanvullen	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N Pl, Va, Ru, Gei, Sch	4	Moelijk	---	+	0/+	0/+	+	+	0	Voorkomt vervuiling/vliegvorming
1.6 Dikkere stro(oisel)laag	M	Opname lucht ↓	B+N Va, Ru, Gei, Sch	4	Ja	-	+	0/+	0/+	-	-	-	Stof zakt uit naar diepere/vochtige onderlaag
1.7 Stofarm verstrekken	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N Pl, Va, Ru, Gei, Sch	4	Moelijk	-	+	0/+	0/+	0	0	0	Bijv. strobaal in hok leggen i.p.v. rondwerpen
1.8 Stro bevochtigen voor inbrengen	M	Opname lucht ↓	B+N Me, Ru, Gei, Sch	3	Moelijk	0	+	+	+	0	0	0	Bijv. 1 L water op 5 kg stro
2. Maatregelengroep voer													
2.1 Vetgehalte verhogen	M, B	Bron: mengvoer ↓	B+N Met name: Va	2	Ja	-	+	0/+	0/+	0	0	0	Voedingstechnische ruimte beperkt
2.2 Stofarme grondstoffenkeuze	M, B	Bron: mengvoer ↓	B+N Met name: Va	2	Ja	-/+	+	0/+	0/+	0	0	0	Grondstoffenkeuze eerst afh. van prijzen
2.3 Coaten van pellets met vet/lignine	M, B	Bron: mengvoer ↓	B+N Met name: Va	2	Ja	-	+	0/+	0/+	0	0	0	Voedingstechnische ruimte beperkt
3. Maatregelengroep voersysteem													
3.1 Brijvoeding i.p.v. droogvoer	S	Bron: voer ↓	N Va	2	Ja	-/+	+	0/+	0/+	0	0	0	Brijvoed. alleen op grote bedrijven rendabel
3.2 Brok/pellets i.p.v. meel	M	Bron: droogvoer ↓	B+N Va	3	Ja	0	+	0/+	0/+	0	0	0	-
3.3 Stofarm voertransport	S, B	Bron: droogvoer ↓	N Va	2	Ja	0	+	0/+	0/+	0	0	0	Bijv. sleepketting i.p.v. vizzelleidingen
3.4 Voerbakken/-systeem afsluiten	S, B	Bron: droogvoer ↓	B+N Va	3	Ja	-	+	0/+	0/+	0	0	0	Echter: bij storten moet lucht 'weg kunnen'
3.5 Lage valhoogte valpijp in vreetbak	S	Bron: droogvoer ↓	B+N Va	4	Ja	0	+	0/+	0/+	0	0	0	-
3.6 Minder vermorsing (voerbakontw.)	S, B	Bron: voer ↓	N Pl, Va	3	Ja	0	+	0/+	0/+	0	0	0	-
3.7 Bronafzuiging rond voerbak	S, B	Bron: droogvoer ↓	B+N Va	3	Ja	---	+	0/+	0/+	0	0	0	-
4. Maatregelengroep hygiëne/mest													
4.1 Dunnere strooiselmestlaag	M, T	Bron: strooiselmest ↓	B+N Pl	3	Ja	-/+	10-35%	15-40%	15-40%	0	10-35%	0	Tevens: minder grondeieren, minder arbeid voor uitscheppen strooisel en grondeieren rapen
4.2 Verwijderen mest uit hok	M	Bron: vaste mest ↓	B+N Va, Gei, Scha	3	Ja	---	0/+	+	+	+	+	0	Arbeidsintensief
4.3 Hygiënisch hokontw. / varkenstoilet	S	Bron: vaste mest ↓	N Va	3	Ja	-	20-40%	+	+	+	+	+	Bijv. rooster met goede doorlaat, varkenstoilet
4.4 Frequent mestschuiven	M, T	Bron: drijfmest ↓	B+N Me	1	Ja	-	0/+	0/+	0/+	+	++	0	-
4.5 Frequent stofzuigen/nat reinigen	M	Bron: alle ↓	B+N Va, Ne	2	Moelijk	---	+	+	+	+	+	0	Arbeidsintensief
4.6 Nat reinigen tussen rondes	M	Bron: alle ↓	B+N Pl, Va, Ru	3	Moelijk	-	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0	-
4.7 Mestbe-/verwerk. in afgesl. ruimte	S	Opname lucht ↓	B+N Pl, Va, Me, Ru	3	Ja	---	+	+	+	0/+	0/+	0	Tengaan verwaaiing
4.8 Mestdroging in afsluitbare ruimte	S, T	Droogmest	B+N Pl	2	Ja	---	+	+	+	0	0	0	Bij draaien van droger veel meststof
5. Maatregelengroep dieractiviteit													
5.1 In batches i.p.v. onbepert voeren	M, T	Opname lucht ↓	B+N Va (droogvoer)	2	Ja	0	+	0/+	0/+	0	0	0	-
5.2 Beperken verlichtingsduur (uur/dag)	M, T	Opname lucht ↓	B+N Pl, Va	2	Moelijk	+	++	++	++	0	0	0	Onderhavig aan welzijnsregelgeving, teveel neveneff.
5.3 Beperken verlichtingssterkte (lux)	M, T	Opname lucht ↓	B+N Pl	4	Moelijk	+	0/+	0/+	0/+	0	0	0	Onderhavig aan welzijnsregelgeving, teveel neveneff.

5.4	Afgescheiden strooiselruimten in stal	S	Opname lucht ↓	N PI	3	Ja	?	++	++	++	+	+	0	Apart ventileren met beh. uit groepen 11./12.
6. Maatregelengroep olie-/waterfilm														
6.1	Oliefilm op vloer via leiding/nozzles	T, S	Opname lucht ↓	B+N PI, Va	1	Ja	---	15/54%	++	+	0	0	0	Afh. van oliedosering
6.2	Oliefilm op vloer via robot	T, S	Opname lucht ↓	B+N PI	1	Ja	---	30%	+	+	0	0	0	Afh. van oliedosering. Doorontwikkeling nodig
6.3	Oliefilm op dier via applicator	T, S	Opname lucht ↓	B+N Va	2	Ja	-	50-70%	++	++	0	0	0	Afh. van oliedosering
6.4	Waterfilm op vloer	T, S	Opname lucht ↓	Alle	2	Ja	-	20-60%	+	+	---	---	0	Afh. Van waterdosering. Strooisel: meer geur en NH ₃ , niet bij kale vloer

7. Maatregelengroep biosecurity														
7.1	Erf/stal dicht t.a.v. personen	S, M	Insleep via mens ↓	B+N Alle	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.2	Schone/vuile weg principe erf	S, M	Insleep via mens ↓	B+N Alle	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.3	Spoelplaats voertuigen vuile weg	S, M	Insleep via mens ↓	B+N Alle	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.4	Aanwezigheid hygiënecloak/douche, bedrijfskleding, laarzenborstels, etc.	S, M	Insleep via mens ↓	B+N Alle	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.5	Inlaat dicht t.a.v. vliegen/vogels	T	Insleep via vliegen/vogels ↓	B+N Met name: MGS	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.6	Ongediertebestrijdingsplan	T, M	Insleep via muis, rat, etc.	B+N Alle	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.7	Behandeling luchtinlaat (zie 11./12.)	T	Insleep via lucht ↓	B+N MGS	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.8	Uitloop overdekt	S, T	Insleep via vogelpoep ↓	B+N PI	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.9	Uitloop zonder poelen, sloten, etc.	S	Insleep via vogelpoep ↓	B+N PI	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.10	Geen nabije luchtuitlaten/-inlaten	S	Transmissie tussen stallen ↓	N PI, Va, Ru	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.11	Vaccinatie zoönotische micro-organismen	M	Manifestatie micro-organismen ↓	B+N ?	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.12	Vaccinatie pathogene micro-organismen	M	Manifestatie micro-organismen ↓	B+N ?	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-
7.13	Vermindering antibioticagebruik	M	Antibiot. resist. micro-organismen ↓	B+N Alle	5	Ja	?	0	0	?	0	0	0	-

Onderdeel B

Verwijderen verontr. uit lucht in de stal

8. Maatregelengroep ionisatie														
8.1	Negatieve ionisatie stallucht	T, S	Concentraties ↓	B+N PI, Va (gesl. karakter)	1	Ja	-	49%	++	+	0	0	0	-
8.2	Positieve ionisatie stallucht	T, S	Concentraties ↓	B+N PI, Va (gesl. karakter)	3	Ja	---	?	?	?	0	0	0	Onderzoek nodig
8.3	Ionisatoren met koolstofborsteltjes	T, S	Concentraties ↓	B+N PI, Va (gesl. karakter)	3	Ja	-	?	?	?	0	0	0	Onderzoek nodig

9. Maatregelengroep stalklimaat														
9.1	Luchtsnelheid verlagen	T, M	Sedimentatie ↑	B+N Alle	4	Moelijk	-	+	+	+	0	0/+	0	-
9.2	Luchtvochtigheid verhogen	T, M	Sedimentatie ↑	B+N Alle	3	Moelijk	-	+	0/+	0/+	-/0	-/0	0	Veelal in strijd met optimaal stalklimaat

Onderdeel C

Verlagen ventilatievolume, verwijderen verontreiniging uit ventilatielucht en desinfectie van ventilatielucht

10. Maatregelengroep ventilatie														
10.1	Debiet ↓ luchtkoeling	T	Ventilatievolume ↓	N PI, Va	1 (2)	Ja	---	++	++	++	++	++	++	Tijdens hitte en tweede helft groeiperiode
10.2	Debiet ↓ omdr. dag-/nachtritme	M	Ventilatievolume ↓	B+N Daglicht-dichte stallen	4	Moelijk	0	+	+	+	+	+	+	Geen daglichttoetreding mogelijk
10.3	Bronafzuiging + beh. 11./12.	S, T	Zie 11./12.	B+N Alle / effectief bij MGS	3	Ja	---	?	?	?	0	0	0	Effecten afh. van afzuigdebiet en beh.
10.4	Recirculeren + beh. 11./12.	S, T	Zie 11./12.	B+N Alle / effectief bij MGS	3	Ja	---	?	?	?	0	0	0	Effecten afh. van recirculatie-debiet en beh.
11. Maatregelengroep 'end of pipe'														
11.1	Warmtewisselaar	T, S	Impactie	B+N MGS: PI, Va, Ru	1	Ja	-/0	13/33%	+	+	0	+	0	Besparing op verwarmingskosten
11.2	Droogfilterwand	T, S	Impactie	B+N MGS: PI, Va, Ru	1	Ja	-	40%	++	+	0	0	0	-
11.3	Mestdroogtunnel/-zolder	T, S	Impactie	B+N MGS: PI, Va, Ru	1	Ja	---	30/55%	++	+	-	-	0	Besparing mestafvoer, extra geur en NH ₃

11.4 Groffilters	T, S	Filtratie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2	Ja	---	+++	+++	+	+	0	0	Kosten voor energie (drukval) en filters
11.5 Absoluutfilters	T, S	Filtratie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2	Ja	---	++++	++++	++++	+	0	0	Kosten voor energie (drukval) en filters
11.6 Elektrostatische precipitator (ESP)	T, S	Ionisatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	1	Ja	---	57%	++	++	0	0	0	Optimalisatie rendement >90% mogelijk
11.7 Biobed (biofilter)	T, S	Filtratie + microb. omz.	B+N MGS: Pl, Va, Ru	1	Ja	---	80%	++	?	45%	70%	0	Mogelijk kiememissies uit systeem
11.8 Simpele waterwassers	T, S	Wash-out	B+N MGS: Pl, Va, Ru	1	Ja	---	33%	+	+	0	0	0	-
11.9 Chemische luchtwassers	T, S	Wash-out + chem. omz.	B+N MGS: Pl, Va, Ru	1	Ja	---	35%	+	+	30-45%	70-95%	0	-
11.10 Biologische luchtwassers	T, S	Wash-out + microb. omz.	B+N MGS: Pl, Va, Ru	1	Ja	---	60-75%	++	?	45-70%	70-85%	0	Mogelijk kiememissies uit systeem
11.11 Gecombineerde luchtwassers	T, S	Combinatie 11.7-11.9	B+N MGS: Va	1	Ja	---	80%	+++	++	70-85%	70-90%	0	-

12. Maatregelengroep desinfectie

12.1 Luchtwassings met chloriden	T, S	Chem. oxidatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	---	+	+	++++	0	+	0	Verder onderzoek nodig
12.2 Luchtwassings met ozon	T, S	Chem. oxidatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	---	+	+	++	+	+	0	Verder onderzoek nodig
12.3 Luchtwassings met peroxide	T, S	Chem. oxidatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	---	+	+	++	+	+	0	Verder onderzoek nodig
12.4 Luchtwassings met peroxone	T, S	Chem. oxidatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	---	+	+	+++	+	+	0	Verder onderzoek nodig
12.5 Luchtwassings met per-azijnzuur	T, S	Chem. oxidatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	---	+	+	++++	0	++++	0	Verder onderzoek nodig
12.6 Luchtwassings met EOW	T, S	Chem. oxidatie	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	-	+	+	+++	+	+	0	Verder onderzoek nodig
12.7 Fysische nabeh. met UVc-straling	T, S	UVc-behandeling	B+N MGS: Pl, Va, Ru	2-3	Ja	---	0	0	++++	0	0	0	Verder onderzoek nodig
12.8 Fysische nabeh. met koude plasma	T, S	Koude plasma beh.	B+N MGS: Pl, Va, Ru	3	Ja	?	+++	+++	++++	++	++	?	Verder onderzoek nodig
12.9 Fotokatalytische nabehandeling	T, S	Fotokatalyse	B+N MGS: Pl, Va, Ru	3	Ja	---	?	?	+++	++	+	0	Verder onderzoek nodig

Onderdeel D

Maatregelen buiten de stal

13. Maatregelengroep 'out of pipe'

13.1 Uitstroom ombuigen naar verticaal	T, S	Verdunning atm. ↑	B+N MGS: Pl, Va, Ru	-	Ja	-	0	0	0	0	0	0	Emissie blijft gelijk
13.2 Verticale uitstroomsnelheid ↑	T, S	Verdunning atm. ↑	B+N MGS: Pl, Va, Ru	-	Moelijk	-	0	0	0	0	0	0	Emissie blijft gelijk
13.3 Emissiepunt verhogen	T, S	Verdunning atm. ↑	B+N MGS: Pl, Va, Ru	-	Ja	-	0	0	0	0	0	0	Emissie blijft gelijk
13.4 Verplaatsen emissiepunt	T, S	Vergroten afstand	B+N MGS: Pl, Va, Ru	-	Ja	-	0	0	0	0	0	0	Emissie blijft gelijk
13.5 Vegetatieve buffers rond stal	B	Impactie	B+N Alle	2	Ja	-	0-25%	0-25	0-25	0	0	0	Emissie blijft gelijk, reductie rond erfgrans Landschappelijke inpasbaarheid?

14. Maatregelengroep beleid

14.1 Afstandsgrenzen	B	Verdunning + sedimentatie	B+N Alle	2	Ja	n.v.t.	0	0	0	0	0	0	Emissie blijft gelijk. Is onderdeel studies 'Veehouderij en Gezondheid Omwonenden' (VGO) en 'Ontwikkeling Beoordelingskader Endotoxine-emissies' (OBE)
14.2 Limiteren bedrijfsomvang	B	Limiteren bronsterkte	B+N Alle	-	Ja	n.v.t.							Bronsterkte bedrijf reduceert evenredig met inperking

^a Type: **B** = maatregel buiten het veehouderijbedrijf; **M** = managementmaatregel; **S** = maatregel t.a.v. stalontwerp; **T** = techniek aanvullend op het reguliere houderijsysteem of stal

^b Toepasbaar bij: **B** = bestaande stal en/of **N** = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal
| en:

Pl = pluimvee; **Va** = varkens; **Me** = melkkoeien; **Ru** = overige runderen, zoals vleeskalveren; **Gei** = geiten; **Sch** = schapen; **Ne** = nertsen | **MGS** = (deels) mechanisch geventileerde stallen

^c Status: **1** = maatregel ontwikkeld + effectiviteit vastgesteld via (praktijk)experimenteel wetenschappelijk onderzoek + opgenomen in regelgeving (bijv. maatregelen in de Rav)

2 = maatregel ontwikkeld + effectiviteit bestudeerd via wetenschappelijk onderzoek

3 = maatregel in ontwikkeling en (enig) onderzoek (bijv. via pilotstudies, oriënterende modellering, oriënterende metingen, enzovoort)

4 = geheel of grotendeels onuitgewerkte maatregel, maar aannemelijk vanuit een beredeneerd of gemodelleerd werkingsprincipe

5 = maatregel waarover niets bekend is

^d Kosten/Effecten: ---- Zeer sterk negatief effect | --- Sterk negatief effect | -- Negatief effect | - Licht negatief effect | 0 Geen effect | + Licht positief effect | ++ Positief effect | +++ Sterk positief effect | ++++ Zeer sterk positief effect

? = effect onbekend

3 Nadere beoordeling bestaande en perspectievolle nieuwe maatregelen

In totaal heeft de inventarisatie in hoofdstuk 2 naar maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen 83 maatregelen opgeleverd. In de paragrafen van hoofdstuk 2 zijn deze maatregelen in maatregelengroepen besproken en initieel beoordeeld. Een samenvattend overzicht van deze beoordeling is opgenomen in Tabel 1.

3.1 Bestaande maatregelen en hun toepasbaarheid

Filtreren we uit Tabel 1 die 16 maatregelen die *nu reeds toegepast worden* voor het verminderen van fijnstofemissies, dan ontstaat Tabel 2. Afgezien van maatregelen 13.1, 13.2 en 13.3, hebben alle overige maatregelen status 1. Dat wil zeggen: ze zijn ontwikkeld, hun effectiviteit is via (praktijk)onderzoek vastgesteld en ze zijn opgenomen in regelgeving als de Rav.

Tabel 2

Overzicht van 16 maatregelen welke **nu reeds toegepast worden** om de emissie van fijn stof te reduceren. Maatregelen die de emissie bij pluimvee met **30% of meer** kunnen reduceren zijn **geel** gearceerd.

Maatregel	Status	Effect op emissie uit de stal						Toepasbaar bij diercategorie (Rav code)
		Stof (PM ₁₀)	End.	MO	Geur	NH ₃	BKG	
6.1 Oliefilm op vloer via leiding/nozzles (Rav E 7.1 E 7.8)	1	54%	++	+	0	0	0	Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikens (E 5) en Vleeskalkoenen (F),
6.2 Oliefilm op vloer via robot (Rav E 7.9)	1	30%	+	+	0	0	0	Opfoklegghennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren (E 4)
8.1 Negatieve ionisatie stallucht (E 7.2)	1	49%	++	+	0	0	0	Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikens (E 5) en Kalkoenen (F)
10.1 Debiet ↓ via luchtkoeling	1	++	++	++	++	++	++	Vleeskuikens (E 5) en Vleesvarkens (D 3)
11.1 Warmtewisselaars (Rav E 7.6 E 7.7)	1	33%	+	+	0	+	0	Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)
11.2 Droogfilterwand (Rav E 7.4)	1	40%	++	+	0	0	0	Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)
11.3 Mestdroogtunnels (Rav E 6.1 E 6.4.1 E 6.4.2)	1	30%	++	+	--	--	0	Opfokhennen (E 1) en Leghennen (E 2)
11.6 Elektrostatische precipitator (ionisatiefilter) (Rav E 7.5)	1 (2)	57%	++	++	0	0	0	Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)
11.7 Biobed (biofilter) (Diverse Rav cat.)	1 (2)	80%	++	?	45%	70%	0	Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)
11.8 Simpele waterwasser (Rav E 7.3)	1	33%	+	+	0	0	0	Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)

(vervolg Tabel 2)

11.9 Chemische luchtwassers (Diverse Rav cat.)	1	35%	+	+	30%	70%	0	Melkkoeien (A1), Vleeskalveren (A4), Biggen (D 1.1), Kraamzeugen (D 1.2), Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3), Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)
					40%	90%		
					45%	95%		
11.10 Biologische luchtwassers (Diverse Rav cat.)	1	60%	++	?	45%	70%	0	Vleeskalveren (A4), Biggen (D 1.1), Kraamzeugen (D 1.2), Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3), Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikenouderdieren (E 4), Vleeskuikens (E 5), Kalkoenen (F) en Eenden (G)
		75%			70%	85%		
11.11 Gecombineerde luchtwassers (Diverse Rav cat.)	1	80%	+++	++	70%	70%	0	Vleeskalveren (A4), Biggen (D 1.1), Kraamzeugen (D 1.2), Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3)
					75%	85%		
					85%	90%		
13.1 Uitstroom ombuigen naar verticaal	-	0	0	0	0	0	0	Mechanische geventileerde stallen
13.2 Verticale uitstroomsnelheid ↑	-	0	0	0	0	0	0	Mechanische geventileerde stallen
13.3 Emissiepunt verhogen	-	0	0	0	0	0	0	Mechanische geventileerde stallen
13.4 Emissiepunt verplaatsen	-	0	0	0	0	0	0	Mechanische geventileerde stallen

Na bestudering van Tabel 2 valt op dat:

- vier van de 17 maatregelen (maatregelengroep 'out of pipe', maatregelen 13.1 t/m 13.4) de emissies van bioaerosolen niet reduceren maar verdunnen de in buitenlucht door de ventilatielucht respectievelijk verticaal, met grotere snelheid, hoger, of op een andere plaats de atmosfeer in te brengen;
- acht van de 17 maatregelen (6.1, 6.2, 8.1, 11.1, 11.2, 11.3, 11.6 en 11.7) recent zijn ontwikkeld voor het reduceren van emissies van fijn stof en dan met name uit pluimveestallen. Deze maatregelen zijn ontwikkeld in een speciaal daartoe uitgevoerd onderzoeksprogramma tussen 2008 en 2012;
- de reductie van fijnstofemissie door deze acht maatregelen varieert van circa 30 tot 60%; het behalen van reducties boven 60% is – binnen energetische en financiële randvoorwaarden – moeilijk (zonder dergelijke randvoorwaarden zijn zeer hoge reducties technisch mogelijk);
- van de acht ontwikkelde maatregelen geen hiervan de emissie van geur vermindert;
- van de acht ontwikkelde maatregelen alleen de warmtewisselaar de ammoniakemissie enigszins vermindert;
- de mestdroogtunnels (11.3) weliswaar fijn stof reduceren maar extra ammoniak en geur uitstoten (probleemverschuiving);
- slechts bij drie maatregelen (6.1, 6.2, 6.3) fijn stof wordt aanpakt in de stal, zodat niet alleen de emissie maar ook het werkklimaat en het leefklimaat voor de dieren verbetert;
- de overige 13 maatregelen 'end of pipe' of 'out of pipe' maatregelen betreffen;
- de 'out of pipe' maatregelen de emissie van stof als zodanig niet verminderen;
- met name de luchtwassers verwijdering van stof combineren met een verwijdering van geur en ammoniak;
- chemische luchtwassers toegepast kunnen worden bij zowel melkkoeien, vleeskalveren, varkens en pluimvee;
- biologische luchtwassers toegepast kunnen worden bij vleeskalveren, varkens en pluimvee;
- gecombineerde luchtwassers alleen kunnen worden toegepast bij vleeskalveren en varkens.

3.2 Bestaande maatregelen met perspectief voor een bredere toepassing

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van maatregelen welke nu reeds toegepast worden om de emissie van fijn stof te reduceren. Acht hiervan zijn met name ontwikkeld, experimenteel getest en in de praktijk gevalideerd om ingezet te worden bij *pluimveestallen*. De volgende maatregelen lenen zich echter ook voor toepassing in andere diercategorieën:

- *Maatregel 6.1 Oliefilm op de vloer via leiding/nozzles*: het vernevelen van (koolzaad)olie, in zuivere vorm of als water/olie-mengsel, is oorspronkelijk ontwikkeld in varkensstallen en binnen het Nederlandse onderzoek doorontwikkeld voor toepassing in pluimveestallen. De techniek kan echter ook worden ingezet in stallen voor biggen of vleesvarkens. Een goed overzicht van studies naar olieverneveling in varkensstallen is gepubliceerd door Takai (2007). Afhankelijk van de dosering kunnen stofreducties behaald worden tussen **30** en **80%**.
- *Maatregel 8.1 Negatieve ionisatie*: deze maatregel is oorspronkelijk ontwikkeld om toegepast te worden in pluimveestallen met een korte productiecycclus (vleeskuikens, maar ook vleeskuikenouderdieren in opfok en vleeskalkoenen) omdat het geïoniseerde stof dat zich binnen het gebouw aan alle oppervlakken hecht elke 6 tot 12 weken dient te worden weggehaald/gereinigd. In Nederlands onderzoek is deze maatregel eveneens in stallen voor vleesvarkens beproefd waarbij het systeem een stofreductie (PM10) van **36%** behaalde (Winkel et al., 2012a; Winkel et al., 2014e). Internationaal vond Rosentrater (2003) met hetzelfde systeem een reductie van 36% (PM4) bij vleesvarkens en 50% (PM4) bij kraamzeugen.
- *Maatregel 10.1 Debietverlaging door luchtkoeling*: deze maatregel (die aselectief alle emissies verlaagt door het luchtvolume dat geëmitteerd wordt te verlagen) is reeds onderdeel van enkele nieuwe stalconcepten voor vleeskuikens en vleesvarkens. Mogelijk is dit principe inzetbaar bij bijvoorbeeld leghennen.
- *Maatregel 11.2 Droogfilterwand*: deze 'end of pipe' maatregel is door een leverancier van luchtreinigingssystemen ontwikkeld om stofemissies uit pluimveestallen te verminderen. De droogfilterwand wordt tevens gebruikt vóór luchtwassers in pluimveestallen om met name het grove stof in de luchtstroom te verminderen en zo verstopping/vervuiling van de wasser tegen te gaan. Een overzicht van enkele studies naar de droogfilterwand, alsook de resultaten van een praktijkvalidatie bij twee Nederlandse leghennenstallen is gepubliceerd door Winkel et al. (2015a). Hieruit blijkt dat deze maatregel een PM10 reductie behaalt van rond de **40%**. Grotere stofdeeltjes worden overigens met een hogere efficiëntie afgevangen (tot ca. **65%** voor inhaleerbaar stof oftewel PM100) terwijl PM2,5 **niet** wordt verwijderd. Gezien het werkingsprincipe (impactie van deeltjes) mag verondersteld worden dat dit systeem ook bij andere mechanisch geventileerde stallen, zoals varkensstallen, effectief ingezet kan worden.
- *Maatregel 11.6 Elektrostatische precipitator*: zoals besproken in hoofdstuk 2 worden ESP's in de industrie veelvuldig toegepast om deeltjes in rookgassen af te vangen. Met ESP's worden normaliter zeer hoge reductiepercentages bereikt (>90% voor fijn stof), aanzienlijk hoger dan de 57% voor PM10 waarmee de ionisatiefilter thans in de lijst 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' (Rijksoverheid, 2015) staat. Zoals beargumenteerd in het artikel door Winkel et al. (2015a) mag verwacht worden dat niet alleen pluimveestof maar ook varkensstof goed kan worden afgevangen in een ESP. Bovendien kan met verder onderzoek, ontwikkeling en optimalisatie het verwijderingsrendement van deze techniek tot boven de 90% stijgen.

Voor elk van deze maatregelen geldt dat ze (a) reeds bestaan en toegepast mogen worden in *alleen* pluimveestallen, (b) dat hun effectiviteit in deze stallen reeds is vastgesteld volgens validatiemetingen op praktijkbedrijven volgens een geldend meetprotocol, (c) dat op basis van hun werkingsprincipe verwacht mag worden dat ze ook bij andere diercategorieën effectief zijn, en (d) dat er soms reeds onderzoek is gepubliceerd waarin de effectiviteit van de maatregelen in andere diercategorieën is bepaald. Gezien voorgaande aspecten kan het aantal diercategorieën voor deze maatregelen op korte termijn verbreed worden naar meer diercategorieën op basis van een beperkt aantal validatiemetingen op praktijkbedrijven anders dan de reeds bemeeten pluimveebedrijven.

3.3 Perspectievolle nieuwe maatregelen: korte termijn

De inventarisatie in hoofdstuk 2 heeft in totaal 83 maatregelen opgeleverd. Hieruit worden in deze paragraaf 10 nieuwe (nog niet binnen de Rav-systematiek opgenomen) maatregelen geïdentificeerd die op korte termijn (binnen één of twee jaar) beschikbaar kunnen komen voor het reduceren van emissies van bioaerosolen. Deze maatregelen worden samengevat in Tabel 3. Vooraf dient opgemerkt te worden dat vrijwel alle maatregelen in deze tabel alleen effectief zijn t.a.v. bioaerosolen en niet of nauwelijks t.a.v. ammoniak, geur of broeikasgassen.

Tabel 3

Overzicht van 11 **nog niet binnen de Rav-systematiek opgenomen maatregelen** welke op **korte termijn** beschikbaar zouden kunnen komen om de emissie van bioaerosolen uit stallen te reduceren. **Maatregelen die de emissie met 30% of meer kunnen reduceren zijn geel gearceerd.**

Maatregel	Status	Effect op emissie uit de stal						Toepasbaar bij diercategorie (Rav-code)
		Stof (PM ₁₀)	End.	MO	Geur	NH ₃	BKG	
1.2 Van nature hygiënisch strooisel	2	0	30-50%	+	+	+	0	Melkkoeien (A1)
4.1 Dunnere meststrooisellaag	2	10-35%	15-40%	15-40%	0	10-35%	0	Opfoklegghennen (E 1), Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren (E 4)
4.3 Hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet	2	20-40%	+	+	+	+	+	Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3)
4.7 Mestbe-/verwerking in afgesl. ruimte	3	+	+	+	0/+	0/+	0	n.v.t.
4.8 Mestdroging in afsluitbare ruimte	2	+	+	+	0	0	0	Opfokhennen (E 1), Leghennen (E 2)
6.3 Oliefilmapplicator	2	40-80%	40-80%	40-80%	0	0	0	Biggen (D 1.1), Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3)
8.2 Positieve ionisatie	3	?	?	?	0	0	0	Stallen met een gesloten karakter (mechanische ventilatie) en een korte productiecyclus tussen rondes: Biggen (D 1.1), Kraamzeugen (D 1.2), Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikens (E 5) en Kalkoenen (F)
8.3 Ionisatoren met koolstofborsteltjes	3	?	?	?	0	0	0	Stallen met een gesloten karakter (mechanische ventilatie) en een korte productiecyclus tussen rondes: Biggen (D 1.1), Kraamzeugen (D 1.2), Guste/dragende zeugen (D 1.3), Vleesvarkens (D 3), Vleeskuikenouderdieren in opfok (E 3), Vleeskuikens (E 5) en Kalkoenen (F)
11.6 Elektrostatische precipitator	1 (2)	75-95%	75-95%	75-95%	0	0	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
13.5 Vegetatieve buffers	2	0-25%	0-25%	0-25%	0	0	0	Alle stallen; gemakkelijker bij stallen met één centrale luchtuitlaat

? = geen onderzoeksresultaten beschikbaar.

Voor een aantal maatregelen geldt dat ze **vrijwel direct** kunnen worden ingezet: zo vergt het vervangen van meststrooisel door hygiënisch strooisel (1.2) in principe slechts een managementkeuze. Een dunnere meststrooisellaag (4.1) kan bereikt worden door het installeren van een strooiselschuif welke nu reeds op de markt verkrijgbaar is. Positieve ionisatiesystemen (8.2) en ionisatoren met koolstofborsteltjes (8.3) zijn ook reeds ontwikkeld en op de markt verkrijgbaar. Vegetatieve buffers (13.5) vergen het opstellen van een beplantingsplan en het aanleggen van de beplanting. Andere maatregelen zullen **tot circa twee jaar** vergen om marktrijp te zijn.

Voor zes maatregelen geldt dat er **resultaten van deugdelijk (experimenteel) onderzoek voorhanden** zijn of dat de maatregel momenteel in onderzoek is, namelijk: 1.2 (van nature hygiënisch strooisel), 4.1 (dunnere meststrooisellaag), 6.3 (oliefilm op dier via applicator), 10.1 (debietverlaging via luchtkoeling), 11.6 (elektrostatische precipitator) en 13.5 (vegetatieve buffers).

Voor deze maatregelen is de kans groot dat ze na het doorlopen van validatiemetingen volgens een meetprotocol een reductie van fijn stof (bioaerosolen) zullen tonen, zoals ingeschat in Tabel 3. Voor vijf maatregelen geldt dat er **weinig of geen resultaten van deugdelijk onderzoek** voorhanden zijn, namelijk: 4.3 (hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet), 4.7 (mestbe-/verwerking in afgesloten ruimte), 4.8 (mestdroging in afsluitbare ruimte), 8.2 (positieve ionisatie) en 8.3 (ionisatoren met koolstofborsteltjes). Voor deze maatregelen zijn uitkomsten van validatiemetingen minder zeker.

3.4 Perspectievolle nieuwe maatregelen: lange termijn

De inventarisatie in hoofdstuk 2 heeft in totaal 83 maatregelen opgeleverd. Hieruit worden in deze paragraaf nieuwe (nog niet binnen de Rav-systematiek opgenomen) maatregelen geïdentificeerd die op lange termijn (over meer dan twee jaar) beschikbaar kunnen komen voor het reduceren van emissies van bioaerosolen. Deze maatregelen worden samengevat in Tabel 4.

Tabel 4

Overzicht van **nog niet binnen de Rav-systematiek opgenomen maatregelen** welke op **lange termijn** beschikbaar zouden kunnen komen om de emissie van bioaerosolen uit stallen te reduceren. **Maatregelen die de emissie met 30% of meer kunnen reduceren zijn geel gearceerd.**

Maatregel	Status	Effect op emissie uit de stal						Toepasbaar bij diercategorie (Rav-code)
		Stof (PM ₁₀)	End.	MO	Geur	NH ₃	BKG	
5.4 Van ventilatie afgesch. strooiselruimte	3	++	++	++	++	++	0	Leghennen (E 2), Vleeskuikenouderdieren (E 4)
12.1 Luchtwassering met chloriden	2-3	+	+	++++	0	+	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.2 Luchtwassering met ozon	2-3	+	+	++	+	+	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.3 Luchtwassering met peroxide	2-3	+	+	++	+	+	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.4 Luchtwassering met peroxone	2-3	+	+	+++	+	+	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.5 Luchtwassering met per-azijnzuur	2-3	+	+	++++	0	++++	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.6 Luchtwassering met EOW	2-3	+	+	+++	+	+	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.7 Fysische nabeh. met UVc-straling	2-3	0	0	++++	0	0	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.8 Fysische nabeh. met koude plasma	3	+++	+++	++++	++	++	?	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt
12.9 Fotokatalytische nabehandeling	3	?	?	+++	++	+	0	Alle stallen met mechanische ventilatie en een centraal emissiepunt

Maatregel 5.4 (afgescheiden strooiselruimten in de stal) vergt een nieuw stalontwerp voor leghennen waarin de strooiselruimte voor het scharrelen en stofbaden afgescheiden is van een hoofdruimte met bijvoorbeeld roostervloeren en (mest)transportbanden waarin het eten, drinken, rusten en leggen plaatsvindt. Een dergelijk concept ontwikkelen kost tijd.

De overige maatregelen (12.1 t/m 12.9) zijn alle 'end of pipe' systemen die nageschakeld kunnen worden aan bijvoorbeeld een luchtwasser, elektrostatische precipitator of filterwand. Ze zijn met name bedoeld om micro-organismen te inactiveren en/of af te vangen. Er is enig onderzoek naar dergelijke systemen voorhanden, maar er is nog een relatief lange weg te gaan alvorens dergelijke systemen praktijkrijp zijn voor toepassing bij stallen. Zoals in de inleiding genoemd is er nog veel onbekend over de risico's van bioaerosolen rondom stallen en de rol daarin van de diverse componenten in het aerosol. Ontwikkeling en toepassing van de maatregelen 12.1 t/m 12.9 zullen vooral raadzaam zijn

wanneer micro-organismen een belangrijke rol spelen in de volksgezondheidsrisico's die bioaerosolen vormen.

3.5 Perspectievolle nieuwe maatregelen: kostenraming

In Tabel 5 wordt een samenvatting gegeven van de kosten van de als perspectievol beoordeelde additionele maatregelen. Gedetailleerdere kostentabellen en een bespreking daarvan is opgenomen in Bijlage A.

De in Tabel 5 en Bijlage A vermelde kosten zijn ingeschat op basis van eerdere kostenramingen (rapportages, literatuur) en op basis van informatie die opgevraagd is bij leveranciers van systemen. Bij onderstaande bedragen moet bedacht worden dat dit inschattingen zijn voor dit moment op basis van de best voorhanden zijnde kennis. Tussen leveranciers, en in de tijd, kunnen werkelijke bedragen variëren en daarmee afwijken van onderstaande inschattingen.

Uit Tabel 5 blijkt dat de maatregelen jaarkosten kennen die variëren tussen 0,05 en 1,22 euro per dierplaats per jaar voor leghennen, tussen 0,03 en 1,22 euro per dierplaats per jaar voor vleeskuikens en tussen 2,17 en circa 13 euro per dierplaats per jaar voor vleesvarkens. Bij de interpretatie van Tabel 5 moet bedacht worden dat de kosten van de maatregelen beschouwd moeten worden in relatie tot de emissievermindering die ermee bereikt wordt. Dat wil zeggen: een dure maatregel die een hoge reductie realiseert kan per eenheid reductie net zo veel kosten als een goedkope maatregel die een kleine reductie realiseert. Daarom worden in Tabel 6 de totale jaarkosten van de maatregelen uitgedrukt per 10 procentpunten reductie van fijn stof. Hierbij moet bedacht worden dat deze kosten alleen zijn toegerend aan fijnstofreductie; sommige maatregelen reduceren naast fijn stof echter tevens ammoniak en geur, hetgeen in deze benadering in prijsefficiency niet tot uiting komt.

Uit Tabel 6 blijkt dat – uitgedrukt per 10-procentpunten reductie van fijn stof – de maatregelen jaarkosten kennen die variëren tussen 0,02 en 0,40 euro per dierplaats per jaar voor leghennen, tussen 0,01 en 0,34 euro per dierplaats per jaar voor vleeskuikens en tussen 0,72 en circa 4 euro per dierplaats per jaar voor vleesvarkens. De variatie in prijsefficiency is, met een factor 5 tot 40, zeer groot.

Tabel 5

Overzicht van de totale jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten tezamen) voor de als perspectiefvol beoordeelde systemen, uitgedrukt in euro per dierplaats per jaar. **Geel** gearceerde maatregelen zijn maatregelen die nu reeds toegepast worden. **Blauw** gearceerde maatregelen zijn initieel als perspectiefvol beoordeeld in hoofdstuk 2.

Maatregel	Standaard legghennenstal met 40.000 dieren	Standaard vleeskuikenstal (2 stuks) met elk 45.000 dieren	Standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren	Standaard rundveestal met 100 dieren
Maatregelen in de stal				
1.2 Van nature hygiënisch strooisel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	46 tot 88^{a,b}
4.1 Dunnere strooiselmestlaag	0,08^a	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
4.3 Varkenstoilet	n.v.t.	n.v.t.	10,00^a	n.v.t.
4.7 Mestbe/verwerking in afgesl. ruimte	*	*	*	*
4.8 Mestdroging in afgesloten ruimte	*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
5.4 Van ventilatie afgesch. strooiselruimte	*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6.1 Oliefilm op vloer via leiding/nozzles	0,60^c	0,20^b	* ^f	n.v.t.
6.2 Oliefilm op vloer via robot	0,91^c	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6.3 Oliefilm applicator	n.v.t.	n.v.t.	4,50^e	n.v.t.
8.1 Negatieve ionisatie stallucht	n.v.t.	0,10^c	3,18^{e,f}	n.v.t.
8.2 Pos. ionisatie stallucht	0,83^a	0,45^a	5,33^a	n.v.t.
8.3 Ionisatoren met koolstofborsteltjes	0,05^a	0,03^a	2,17^a	n.v.t.
End of pipe maatregelen				
10.1 Verlagen ventilatie door koeling	*	0,52^a	13,30^a	n.v.t.
11.1 Warmtewisselaars	0,28 / 0,39^c	0,02 / 0,12^b	n.v.t.	n.v.t.
11.2 Droogfilterwand	0,12^c	0,13^b	2^f	n.v.t.
11.3 Mestdroogtunnels	0,38^c	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
11.6 Elektrostatische precipitator (ESP)	0,36^a	0,38^a	4,47^{a,f}	n.v.t.
11.7 Biobed	1,00^c	1,12^c	n.v.t.	n.v.t.
11.8 Simpele waterwasser	0,94^c	0,94^c	n.v.t.	n.v.t.
11.9 Chemische luchtwater	0,93^c	0,89 / 1,18^c	7 / 10 / 11^c	71
11.10 Biologische luchtwater	1,22^c	1,21^b	12 / 13^c	n.v.t.
11.11 Gecombineerde luchtwater	1,14^{d,f}	1,22^{d,f}	10 / 11^c	n.v.t.
Extra luchtwasstap met oxiderend middel:				
12.1 Luchtwassen met chloriden	1,18^a	1,06^a	9^a	n.v.t.
12.2 Luchtwassen met ozon	10,18^a	7,06^a	93^a	n.v.t.
12.3 Luchtwassen met waterstofperoxide	1,80^a	1,46^a	15^a	n.v.t.
12.4 Luchtwassen met peroxone	*	*	*	n.v.t.
12.5 Luchtwassen met per-azijnzuur	4,98^a	3,38^a	48^a	n.v.t.
12.6 Luchtwassen met EOW	*	*	*	n.v.t.
Extra nabehandeling met fysische methode:				
12.7 Nabeh. ventilatielucht met UVc	*	*	*	n.v.t.
12.8 Nabeh. ventilatielucht koude plasma	*	*	*	n.v.t.
12.9 Nabeh. ventilatielucht fotokatalytisch	*	*	*	n.v.t.
Out of pipe maatregelen:				
13.1 Uitstroom ombuigen naar verticaal	*	*	*	n.v.t.
13.2 Verticale uitstroomsnelheid ↑	*	*	*	n.v.t.
13.3 Emissiepunt verhogen	*	*	*	n.v.t.
13.4 Emissiepunt verplaatsen	*	*	*	n.v.t.
13.5 Vegetatieve buffer (groenelement)	0,05^a	0,10^a	1,15^a	44^a

* Kosten niet redelijkerwijs in te schatten wegens zeer uiteenlopende mogelijke uitvoeringen of nog geen voldoende ontwikkeld systeem of prototype.

^a Bron: kostenberekening in deze studie conform Ellen et al. (2011). Zie Bijlage A voor meer informatie.

^b Meerkosten voor standaard zaagsel i.p.v. meststrooisel van € 92 per koe per jaar bij een bedrijfsomvang van 230 koeien.

^c Kostenberekening conform Ellen et al. (2011) en Bijlage 1 bij dit rapport. Weergegeven worden geactualiseerde kostenniveaus t.o.v. Ellen et al. (2011) aan de hand van brongegevens uit 2014.

^d Bron: Ellen et al. (2011): kostenniveau in 2011.

^e Bron: Winkel et al. (2012a) en Winkel et al. (2014e).

^f Dit betreft een bestaande maatregel welke echter breder toegepast zou kunnen worden in o.a. deze diercategorie.

Tabel 6

Overzicht van de totale jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten tezamen) voor de als perspectiefvol beoordeelde systemen, **gestandaardiseerd** en uitgedrukt in euro per dierplaats per jaar, **per 10 procentpunten reductie** van fijn stof (bioaerosolen). **Geel** gearceerde maatregelen zijn maatregelen die nu reeds toegepast worden. **Blauw** gearceerde maatregelen zijn initieel als perspectiefvol beoordeeld in hoofdstuk 2.

Maatregel	Standaard leghennenstal met 40.000 dieren	Standaard vleeskuikenstal (2 stuks) met elk 45.000 dieren	Standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren	Standaard rundveestal met 100 dieren
Maatregelen in de stal				
1.2 Van nature hygiënisch strooisel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	13 tot 25 (bij 35% red.)
4.1 Dunnere strooiselmestlaag	0,03 (bij 25% red.)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
4.3 Varkenstoilet	n.v.t.	n.v.t.	3,33 (bij 30% red.)	n.v.t.
4.7 Mestbe/verwerking in afgesl. ruimte	*	*	*	*
4.8 Mestdroging in afgesloten ruimte	*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
5.4 Van ventilatie afgesch. strooiselruimte	*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6.1 Oliefilm op vloer via leiding/nozzles	0,40 (bij 15% red.)	0,04 (bij 54% red.)	*	n.v.t.
6.2 Oliefilm op vloer via robot	0,30 (bij 30% red.)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6.3 Oliefilmapplicator	n.v.t.	n.v.t.	0,75 (bij 60% red.)	n.v.t.
8.1 Negatieve ionisatie stallucht	n.v.t.	0,02 (bij 49% red.)	0,88 (bij 36% red.)	n.v.t.
8.2 Pos. ionisatie stallucht	0,28 (bij 30% red.) ^a	0,15 (bij 30% red.) ^a	1,78 (bij 30% red.) ^a	n.v.t.
8.3 Ionisatoren met koolstofborsteltjes	0,02 (bij 30% red.) ^a	0,01 (bij 30% red.) ^a	0,72 (bij 30% red.) ^a	n.v.t.
End of pipe maatregelen				
10.1 Verlagen ventilatie door koeling	*	0,17 (bij 30% red.) ^a	4,43 (bij 30% red.) ^a	n.v.t.
11.1 Warmtewisselaars	0,22 (bij 13% red.)	0,02 (bij 13% red.)	n.v.t.	n.v.t.
	0,12 (bij 33% red.)	0,04 (bij 33% red.)		
11.2 Droogfilterwand	0,03 (bij 40% red.)	0,03 (bij 40% red.)	0,5 (bij 40% red.)	n.v.t.
11.3 Mestdroogtunnels	0,13 (bij 30% red.)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
	0,07 (bij 55% red.)			
11.6 Elektrostatische precipitator (ESP)	0,06 (bij 57% red.)	0,07 (bij 57% red.)	0,78 (bij 57% red.)	n.v.t.
11.7 Biobed	0,13 (bij 80% red.)	0,14 (bij 80% red.)	n.v.t.	n.v.t.
11.8 Simpele waterwasser	0,28 (bij 33% red.)	0,28 (bij 33% red.)	n.v.t.	n.v.t.
11.9 Chemische luchtwasser	0,27 (bij 35% red.)	0,25 (bij 35% red.)	2,0 (bij 35% red.)	20 (bij 35% red.)
		0,34 (bij 35% red.)	2,9 (bij 35% red.)	
			3,1 (bij 35% red.)	
11.10 Biologische luchtwasser	0,20 (bij 60% red.)	0,20 (bij 60% red.)	2,1 (bij 60% red.)	n.v.t.
	0,16 (bij 75% red.)	0,16 (bij 75% red.)	1,7 (bij 75% red.)	
11.11 Gecombineerde luchtwasser	0,14 (bij 80% red.)	0,15 (bij 80% red.)	1,3 (bij 80% red.)	n.v.t.
Extra luchtwasstep met oxiderend middel:				
12.1 Luchtwassing met chloriden	*	*	*	n.v.t.
12.2 Luchtwassing met ozon	*	*	*	n.v.t.
12.3 Luchtwassing met waterstofperoxide	*	*	*	n.v.t.
12.4 Luchtwassing met peroxone	*	*	*	n.v.t.
12.5 Luchtwassing met per-azijnzuur	*	*	*	n.v.t.
12.6 Luchtwassing met EOW	*	*	*	n.v.t.
Extra nabehandeling met fysische methode:				
12.7 Nabeh. ventilatielucht met UVc	*	*	*	n.v.t.
12.8 Nabeh. ventilatielucht koude plasma	*	*	*	n.v.t.
12.9 Nabeh. ventilatielucht fotokatalytisch	*	*	*	n.v.t.
Out of pipe maatregelen:				
13.1 Uitstroom ombuigen naar verticaal	*	*	*	n.v.t.
13.2 Verticale uitstroomsnelheid ↑	*	*	*	n.v.t.
13.3 Emissiepunt verhogen	*	*	*	n.v.t.
13.4 Emissiepunt verplaatsen	*	*	*	n.v.t.
13.5 Vegetatieve buffer (groenelement)	0,05 (bij 10% red.)	0,10 (bij 10% red.)	1,15 (bij 10% red.)	44 (bij 10% red.)

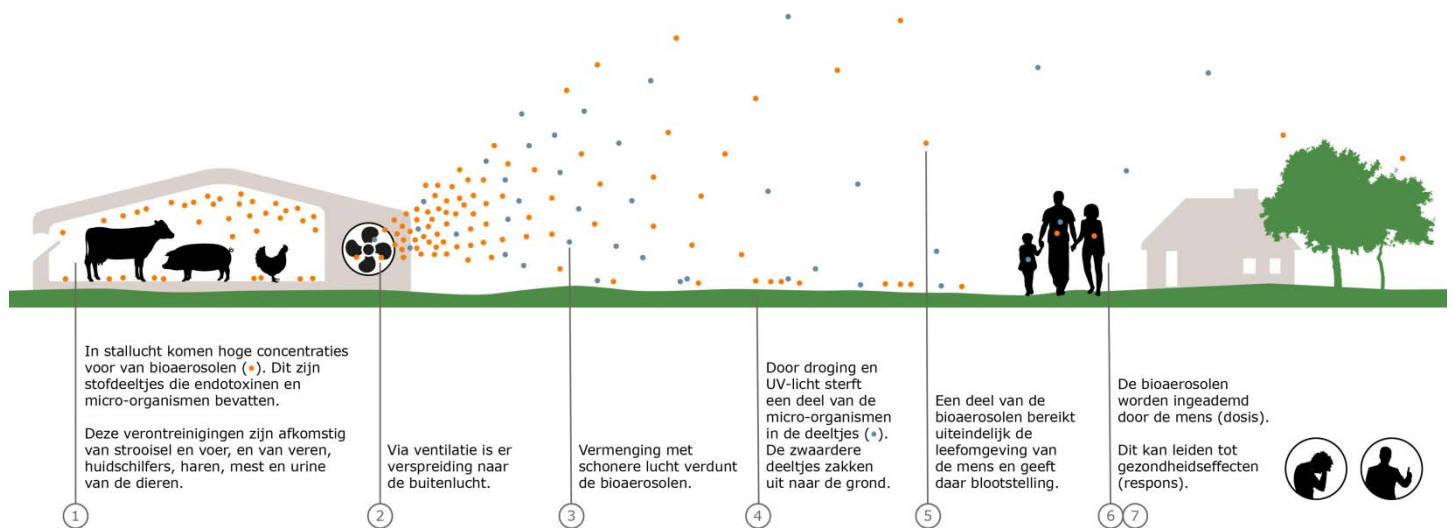
^a Geen reductiepercentage bekend. Uitgegaan is van een conservatieve inschatting van 30%. Als deze maatregel een hogere reductie van fijn stof (bioaerosolen) bereikt, zullen de jaarkosten per 10 procentpunten *lager* zijn.

^b Na doorontwikkeling zouden reducties tussen 70 en 95% haalbaar moeten zijn.

* Kosten niet redelijkerwijs in te schatten wegens zeer uiteenlopende mogelijke uitvoeringen of nog geen voldoende ontwikkeld systeem of prototype.

4 Uitwerking beoordelingsmodel

Het beoordelingsmodel voor effecten van maatregelen op volksgezondheidsrisico's vindt plaats op basis van de procesketen in Figuur 1.



Figuur 1

Procesketen van stalemissie tot gezondheidseffect bij omwonenden.

In deze procesketen kunnen naar Covello and Merkhofer (1993) drie typen processen worden omschreven: *bronuitstootprocessen* (1 en 2), *blootstellingsprocessen* (3 t/m 6) en *gevolgprocessen* (7). Het effect van een stalmaatregel op de blootstelling en gezondheid van omwonenden hangt – in lijn met de bovenstaande procesketen – af van de mate van emissiereductie en van de mate waarin deze reductie vervolgens doorwerkt in de rest van de procesketen (in de blootstellings- en gevolgprocessen). Idealiter zou elk proces (en mogelijk weer onderverdeeld naar onderliggende subprocessen) in Figuur 1 op een kwantitatieve en gedetailleerde manier worden gemodelleerd in het beoordelingsmodel. Anderzijds kan met epidemiologisch onderzoek een relatie worden gelegd tussen emissie (middels gebruik verspreidingsmodellen) of gemeten omgevingsniveaus van bioaerosolen en gezondheidseffecten, zonder dat alle tussenliggende processen in detail worden beschreven. Deze benaderingswijzen zijn complementair.

4.1 Een vereenvoudigd beoordelingsmodel: karakter

Zoals reeds in de inleiding van dit rapport is genoemd, is een modellering met hoog detailniveau niet mogelijk omdat veel kennis hiertoe ontbreekt. Om toch een eerste verkenning van mogelijke effecten van stalmaatregelen uit te voeren, is gekozen voor een beoordelingsmodel op basis van *sterk vereenvoudigende modelaannames*. Het in dit hoofdstuk gepresenteerde beoordelingsraamwerk: (1) moet beschouwd worden als een *eerste verkenning* van de wijze waarop effecten van stalmaatregelen beoordeeld zouden kunnen worden, en (2) wordt gebruikt om een *eerste indruk* te verkrijgen van de effecten van stalmaatregelen op de gezondheidslast van omwonenden.

4.2 Afbakening emissiecomponenten beoordelingsmodel

Bioaerosolen zijn zwevende deeltjes van organische oorsprong die bijvoorbeeld endotoxinen en micro-organismen kunnen bevatten. De micro-organismen kunnen drager zijn van genen die verantwoordelijk zijn voor antibioticaresistentie. Een beoordelingsraamwerk dient dus rekening te houden met meerdere emissiecomponenten en hun effecten op gezondheid. In het beoordelingsraamwerk zijn de volgende vier emissiecomponenten gekozen:

1. effect van fijn stof
2. effect van endotoxinen
3. effect van micro-organismen
4. effect van dragerschap van antibioticaresistentie

Ten aanzien van de eerste emissiecomponent fijn stof wordt in het beoordelingsraamwerk alleen rekening gehouden met *primair* fijn stof: d.w.z. stofdeeltjes die t.g.v. mechanische processen uit stallen worden uitgestoten. Er wordt geen rekening gehouden met eventueel *secundair* fijn stof, waaraan ook gezondheidseffecten gerelateerd zijn (Brunekreef et al., 2015). Secundaire stofdeeltjes ontstaan door chemische reacties in de atmosfeer uit o.a. gasvormig ammoniak uit stallen. Verder wordt er geen rekening gehouden met mogelijke effecten van de achtergrondblootstelling welke in gebieden met veel stallen verhoogd is.

Ten aanzien van de vierde emissiecomponent, dragerschap van antibioticaresistentie, moet worden opgemerkt dat deze theoretisch op twee manieren tot stand kan komen. De eerste is middels transmissie, vanuit stallen naar omwonenden, van een micro-organisme met antibioticaresistentie, een scenario dat al in emissiecomponent 3 besloten ligt. De tweede is middels overdracht, in de omgeving, van antibioticaresistentie vanuit een uit de stal afkomstig micro-organisme naar een ander micro-organisme dat vervolgens de humane gastheer koloniseert. Dit laatste scenario valt vanwege zijn complexiteit buiten het kader van het beoordelingsmodel. Enkele studies bij omwonenden laten zien dat er nauwelijks dragerschap van veehouderij-gerelateerde antibioticaresistentie (MRSA ST398) voorkomt, en dat deze niet verschilt van het achtergrondniveau (Bisdorff et al., 2012; van Cleef et al., 2010).

4.3 Ontwerpkeuzes vereenvoudigd beoordelingsmodel

4.3.1 Processen 1 en 2: emissie naar de buitenlucht

De bronuitstootprocessen van stofdeeltjes (fijn stof, PM10) en mogelijkheden om deze stofuitstoot te reduceren (processen 1 en 2) zijn de laatste acht jaar uitvoerig bestudeerd (Aarnink and Ellen, 2006; Winkel et al., 2015b; Winkel et al., 2011c). In de afgelopen twee jaar is er ook progressie gemaakt op het gebied van bronuitstootprocessen voor endotoxinen (Winkel et al., 2014f), waardoor hierin enig kwantitatief inzicht verkregen is. Voor zowel endotoxine als micro-organismen geldt echter dat het huidige inzicht in bronuitstootprocessen nog zeer beperkt is (Aarnink et al., 2015a; Aarnink et al., 2004; Aarnink et al., 2015b; Seedorf et al., 1998). Om de kennislacunes t.a.v. bronuitstootprocessen voor endotoxinen te vullen, vinden er op dit moment metingen plaats naar concentraties en emissies van endotoxine in een groot aantal stallen.

Procesbeschrijving

De emissie betreft het patroon van de hoeveelheid fijn stof of en/of daarin besloten micro-organismen en endotoxinen dat door het bedrijf wordt uitgestoten per tijdseenheid. Dit is vaak een tijdsafhankelijk patroon waarbij de variabiliteit die optreedt aanzienlijk kan zijn (bijvoorbeeld door verschillen tussen licht- en donkerperiodes, verschillende stadia in de groeicyclus van de dieren, pieken in stofvorming bij activiteiten zoals uitladen van dieren, seizoensgebonden variaties als temperatuur en ventilatiebehoefte). Pieken in stofvorming zouden tot extra scherpe blootstellingspieken kunnen leiden bij cumulatie van meerdere bedrijven. Voor micro-organismen die niet endemisch maar uitbraaksgewijs in stallen voorkomen zullen variaties in emissies niet alleen gerelateerd zijn aan variaties in stofemissies, maar naar verwachting ook aan het stadium van kiemverspreiding in de stal

(hoe groter het aantal geïnfecteerde dieren, hoe groter het totale aantal uitgescheiden kiemen per tijdseenheid).

Doorwerking van stalmaatregelen in processen 1 en 2

Voor verschillende stalmaatregelen is een inschatting beschikbaar voor de jaargemiddelde emissiereductie die ze kunnen opleveren (hoofdstukken 2 en 3). Er is weinig inzicht in stalmaatregelen op piekemissies of tijdsafhankelijke emissies. In het geval dat uitschieters (piekemissie) in de emissie verantwoordelijk zijn voor het leeuwendeel van het risico naar omwonenden, dan zal vooral de reductie van die piekemissie van belang zijn, en niet de (mogelijk daarvan verschillende) reductie van het gemiddelde emissieniveau. Daarnaast is van belang hoe de emissiereductie afhangt van de deeltjesgrootte. Afhankelijk van het type risico kan een bepaalde deeltjesgrootte (bijvoorbeeld <10 µm of <2.5 µm) relevant zijn. De verwijderingsefficiëntie van maatregelen kan sterk verschillen tussen deeltjesgroottes. Zo zijn reductietechnieken op basis van het principe van impactie (droogfilterwand, droogtunnel, etcetera) het meest effectief voor grotere deeltjes. Reductietechnieken op basis van het principe van het aanbrengen van een oliefilm op strooisel zijn echter het meest effectief voor kleinere deeltjes zoals PM_{2,5}. Zijn bij het tot stand komen van een gezondheidseffect vooral de kleine deeltjes van belang, dan zal met de emissiereductie van deze kleine deeltjes moeten worden gerekend (en vice versa).

Ontwerpkeuze/aanname

De schattingen van de emissiereducties uit hoofdstukken 2 en 3 zullen gebruikt worden om in de scenario's relevante waarden te kiezen om door te rekenen met het beoordelingsmodel.

4.3.2 Proces 3: verspreiding en verdunning

Procesbeschrijving

Voor verspreiding in de buitenlucht zijn atmosferische condities (stabiliteit van luchtlagen, temperatuurinversies), ruwheid van het aardoppervlak en windsnelheid van belang, evenals de uitstroomrichting van de stallucht (horizontale of verticale uitstroom). Deze verspreiding kan worden beschreven door pluimmodellen. Voor luchtverontreiniging zoals fijn stof wordt het Nieuw Nationaal Model (NNM) gebruikt, een model ontwikkeld voor het bepalen van fijnstofconcentraties als gevolg van verkeer, industrie en veehouderij². De pluimverspreidingsmodellen voorspellen de verspreiding van fijn stof en bioaerosolen naar de omgeving in afhankelijkheid van de hoogte van de emissie, de windrichting en windsnelheid en ruwheid van de omgeving. Voor fijn stof wordt meestal gerekend met de PM₁₀ fractie, terwijl voor bioaerosolen de grotere stoffractie mogelijk ook van belang is omdat de grotere fractie relatief meer van de bioaerosolen bevat.

Doorwerking van stalmaatregelen in proces 3

De verspreiding van luchtverontreinigingen zijn in standaard pluimmodellen recht evenredig met de grootte van de emissie. Dit betekent dat emissiereductie evenredig doorwerkt op het gehele ruimtelijke patroon van concentraties in de buitenlucht. Echter er kan differentiatie optreden in de doorwerking van een emissiereductie op de verspreiding in de omgeving/buitenlucht, wanneer de mate waarin de reductie optreedt afhangt van deeltjesgrootte. Om het effect hiervan in te schatten dient bekend te zijn wat de deeltjesgrootte-verdeling is, in hoeverre de stalmaatregelen een differentiële reductie in emissie veroorzaken en dient de bijdrage van deeltjesgrootte in de concentratie in de omgeving bekend te zijn. Over het laatste is op dit moment geen informatie beschikbaar.

Ontwerpkeuze/aanname

In het licht van het bovenstaande zal in het beoordelingsmodel uitgegaan worden van de veronderstelling dat een emissiereductie leidt tot een evenredige reductie van de concentraties die aanwezig zijn in de buitenlucht als gevolg van verspreiding en verdunning.

² Meer informatie over het Nieuw Nationaal Model: <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/luchtkwaliteit/inhoudelijk-dossier/thema/rekenen-beoordelen/nieuw-nationaal/>

4.3.3 Proces 4: inactivatie en sedimentatie

Procesbeschrijving

De inactivatiesnelheid (afdodingsnelheid) is relevant voor microbiële risico's, m.a.w. micro-organismen in bioaerosolen. Voor veel micro-organismen is uit in laboratoriumsettings uitgevoerde experimenten inzicht in de inactivatiesnelheid in de lucht verkregen. Een overzicht van dit werk wordt gegeven in hoofdstuk 2 van (Zhao, 2011) en recent werk is te vinden in Zhao et al. (2012). Een kennislacune in dit verband is de relatie tussen de inactivatiesnelheid van de micro-organismen en stofkarakteristieken (deeltjesgrootte, stofbron) waaraan het micro-organisme is gehecht of waarin het micro-organisme is ingekapseld. Dit geldt eveneens voor meteorologische omstandigheden (temperatuur, luchtvochtigheid, UV-straling) (Aarnink et al., 2015b). Deze relatie kan per soort micro-organisme verschillen. Voor temperatuur kan in het algemeen worden gesteld dat de inactivatiesnelheid toeneemt met de temperatuur. Voor luchtvochtigheid zijn vooral bacteriën gevoelig, waarbij elke soort zijn eigen optimale waarde heeft (Aarnink et al., 2015b). Zo is *Staphylococcus aureus* tolerant voor een lage luchtvochtigheid in stallucht terwijl deze net als *Streptococcus* spp. slecht overleeft bij een gemiddelde luchtvochtigheid (Dunklin and Puck, 1948). *Escherichia coli* is een voorbeeld van een micro-organisme dat gevoelig is voor een hoge luchtvochtigheid (Cox, 1989).

Doorwerking van stalmaatregelen in proces 4

De inactivatiesnelheid wordt gedefinieerd per kiem en is daarmee onafhankelijk van het totaal aantal per tijdseenheid geëmitteerde micro-organismen (niveau van de emissie). Uitgaande daarvan ondervinden micro-organismen die onderdeel zijn van een lagere emissie dezelfde inactivatiesnelheid als micro-organismen in de 'oorspronkelijke' hogere emissie, en dus werkt een middels stalmaatregelen verkregen emissiereductie evenredig door in het aantal micro-organismen dat aan het inactivatieproces ontsnapt. De hierboven genoemde kennislacune m.b.t. de relatie tussen de grootte van die bioaerosolen en de inactivatiesnelheid van micro-organismen in die bioaerosolen maakt de volgende kanttekening noodzakelijk: als bij de emissiereductie de deeltjesgrootte verdeling verandert zou daarmee de gemiddelde inactivatiesnelheid beïnvloed kunnen worden. In dat geval zou de emissiereductie niet evenredig doorwerken in het aantal micro-organismen dat aan het inactivatieproces ontsnapt. Voor de doorwerking van emissiereductie na verdiscontering van sedimentatie geldt iets vergelijkbaars. Sedimentatie is deeltjesgrootte afhankelijk: grotere deeltjes zijn zwaarder en sedimenteren sneller. Grotere deeltjes reiken dus minder ver in de procesketen van Figuur 1. Omdat er echter weinig bekend is over verdeling van bioaerosolen over deeltjesgrootteklassen kunnen we hierover geen uitspraken doen.

Ontwerpkeuze/aanname

In het licht van het bovenstaande wordt aangenomen dat (ook) na inactivatie en na sedimentatie de emissiereductie van een stalmaatregel evenredig doorwerkt.

4.3.4 Processen 5 en 6: blootstelling en dosis

Procesbeschrijving

De blootstelling van een populatie (een groep van omwonenden) vertoont in het algemeen een grote variatie door verschillen in locatie ten opzichte van de bron. In het algemeen geldt: hoe verder weg van de bron, hoe lager de concentraties in de buitenlucht waaraan omwonenden worden blootgesteld. Dit vertaalt zich naar alle waarschijnlijkheid in een grote variatie in de ingeademde dosis. Deze variatie kan worden beschreven door statistische waarschijnlijkheidsverdelingen met overdispersie (d.w.z. een 'dikke staart') zoals de log-normale verdeling en de negatief binomiale verdeling. In ieder geval laten beroepsmatige blootstellingen, dat wil zeggen de concentraties van een stof in de lucht van de werkomgeving, zich vaak door een log-normale verdeling beschrijven (Leidel et al., 1977). Voorbeelden van waarschijnlijkheidsverdelingen uit de literatuur over voedselgerelateerde zoonosen zijn Marks and Coleman (1998) (log-normale verdeling) en Teunis et al. (1999) (negatief binomiale verdeling). Fijn stof (PM10) studies rapporteren jaargemiddelde blootstelling van de algemene populatie middels een normale verdeling (Sun e.a, 2013), echter dit neemt niet weg dat op lokaal niveau bijvoorbeeld zeer dicht bij een drukke weg, nog wel sprake kan zijn van overdispersie. Bij fijn stof lijkt dus minder sprake van overdispersie, maar of dit ook geldt voor het fijn stof dat specifiek van veehouderij afkomstig is, is niet bekend, vooralsnog nemen we aan dat fijn stof blootstelling een

normale verdeling volgt. Voor endotoxinen is vooral informatie beschikbaar vanuit studies in de werkomgeving. Daarbij worden gezondheidseffecten gerelateerd aan 6 tot 8 uur durende blootstellingen aan bepaalde concentraties in de inademingslucht.

Doorwerking van stalmaatregelen in processen 5 en 6

Bij gebrek aan informatie gaan we er in dit beoordelingsmodel vanuit dat het mechanisme van blootstelling na reductie van de emissie van bioaerosolen niet verandert. In termen van de doorwerking betekent dit dat we veronderstellen dat de emissiereductie recht evenredig doorwerkt op blootstellingsniveaus.

Ontwerpkeuze/aanname

We doen de aanname dat na emissiereductie alle blootstellingsniveaus evenredig worden verlaagd. Dit betekent dat de gemiddelde blootstelling evenredig wordt verlaagd met de reductie van de emissiecomponent. De spreiding rondom de gemiddelde blootstelling (bijvoorbeeld: log-normale variatie) wordt echter verondersteld niet te veranderen.

4.3.5 Proces 7: van blootstelling/dosis naar gezondheidseffecten

Procesbeschrijving

- Een blootstelling-responsrelatie beschrijft het voorkomen van een gezondheidseffect in afhankelijkheid van het niveau van de blootstelling. Blootstelling-respons relaties kunnen door verschillende modellen worden beschreven. Veel epidemiologische studies naar chronische effecten door milieublootstelling modelleren het relatieve risico in afhankelijkheid van de blootstelling; dit is het risico relatief ten opzichte van niet- of laag-blootgestelden bij een zeker blootstellingsniveau. De vorm van blootstelling-respons relaties kan op verschillende manieren worden gemodelleerd. Vaak wordt dit vanuit relatief pragmatische overwegingen gedaan met relatief robuuste modellen (multiplicatieve modellen zoals logistische regressie). Blootstelling respons relaties worden met deze modellen ook gecorrigeerd voor bekende versturende variabelen (leeftijd, roken, etc.)
- In geval van micro-organismen wordt meestal gewerkt op basis van de *dosis* (dat wil zeggen: de hoeveelheid micro-organismen die naar verwachting in de gastheer – hier de omwonende – terechtkomen). De afhankelijkheid tussen ontvangen dosis en gezondheidseffect (respons) noemt men een dosis-responsrelatie. Voor fijn stof en endotoxine wordt meestal niet gewerkt met de dosis die daadwerkelijk geïnhaleerd wordt, maar met de *blootstelling* (dat wil zeggen: de concentraties die in de lucht voorkomen). De afhankelijkheid tussen blootstelling en gezondheidseffect (respons) noemt men een blootstellings-responsrelatie.
- Naast deze twee typen relaties is voor de gezondheidseffecten op een populatie (een groep van omwonenden) de verdeling van de populatie over de blootstelling van belang. Het aantal omwonenden dat een gezondheidseffect ondervindt kan gezien worden als de resultante van twee zaken: het aantal keer dat bepaalde blootstellingsniveaus optreden bij omwonenden (frequenties) en de kans op het gezondheidseffect bij elk van die verschillende blootstellingsniveaus. Deze resultante noemen we de populatierespons.
- Om het beoordelingsmodel te kunnen uitvoeren is het dus nodig om deze blootstelling-responsrelaties te kennen. Er zijn echter geen blootstelling-responsrelaties beschikbaar die specifiek zijn opgesteld voor omwonenden van veehouderijen. Daarom zijn we voor het beoordelingsmodel genoodzaakt uit te gaan van blootstelling-responsrelaties die zijn opgesteld zijn in andere blootstellingsituaties, bijvoorbeeld in de werkomgeving (voor endotoxine), of in de buitenlucht (voor verkegerelateerd PM10). Voor relaties uit de werkomgeving geldt dat er een aanzienlijke extrapolatieproblematiek is, van blootstelling over periodes van in de regel 8 uur naar langere periodes en naar normaal gesproken 10-1000 maal lagere blootstellingsniveaus.

Blootstelling-responsrelatie fijn stof

De in de literatuur beschreven blootstelling-responsrelaties voor fijn stof (PM10) zijn voornamelijk afkomstig uit studies naar fijn stof uit het verkeer. Blootstelling-responsrelaties worden in de literatuur beschreven als relatief risico (zie hierboven), waarbij de procentuele verandering in respons wordt gekwantificeerd per 10 µg/m³ toename van de PM10 concentratie. Primaire fijnstofemissies uit de

veehouderij betreffen voornamelijk de grotere fijnstofdeeltjes: deeltjes met aerodynamische diameters tussen 2,5 en 10 μm en – op massabasis – met name tussen 6 en 10 μm . Er is minder informatie over de blootstelling-responsrelaties voor de grovere fractie van fijn stof (PM_{2,5-10}), omdat de aandacht meer uitgegaan is naar de fijnere PM_{2,5} fractie. Er zijn echter wel aanwijzingen bij studies naar COPD, astma en luchtweg-gerelateerde ziekenhuisopnames dat de PM_{2,5-10} fractie in een sterker of minstens even sterk met korte-termijneffecten samenhangt als de PM_{2,5} fractie. De PM_{2,5-10} fractie is ook geassocieerd met ziekenhuisopnames voor problemen met hart en bloedvaten (cardiovasculaire aandoeningen) (Brunekreef and Forsberg, 2005). Effectschattingen m.b.t. ziekenhuisopnamen voor bovenstaande luchtwegaandoeningen en cardiovasculaire effecten variëren tussen de 2% en 10% toename per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5-10}. De onderliggende blootstellings-responsfunctie van fijn stof wordt beschreven met een lineaire regressie relatie waarbij het relatief risico evenredig toeneemt met de blootstelling (Brunekreef and Forsberg, 2005; Lelieveld et al., 2015; Sun et al., 2013). Studies laten zien dat een lineaire fit het beste van toepassing is (Samoli et al., 2005). In deze rapportage is gerekend met het gemiddelde van de gerapporteerde relatief risico's voor diverse uitkomsten samengevat in het review door Brunekreef en Forsberg (2005), te weten met een 5% toename in relatief risico per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toename in PM₁₀.

Blootstelling-responsrelatie endotoxine

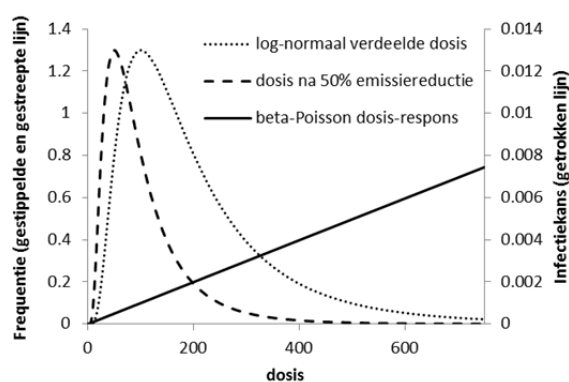
Voor endotoxinen is een beperkt aantal blootstelling-responsrelaties beschikbaar in de literatuur. Met uitzondering van de studie van Hoopmann et al. (2006), welke niet uitgebreid beschreven is, zijn er geen relaties beschikbaar die betrekking hebben op de te verwachten niveaus in de buitenlucht. Gegevens over blootstelling-responsrelaties van endotoxinen komen derhalve uit studies van beroepsmatige blootstelling of uit experimentele studies waarbij vrijwilligers gedurende een bepaalde tijd aan een concentratie endotoxinen zijn blootgesteld. Blootstelling-responsrelaties worden hierin beschreven d.m.v. logistische functies. Hierbij wordt de natuurlijke logaritme van de relatieve kans (odds) op de ziekte lineair geassocieerd met de blootstelling (deze omvat vrijwel altijd het natuurlijk logaritme van de blootstelling). De gegevens van Smit et al. (2008) laten zien dat de prevalentie van personen die last hebben van een piepende ademhaling ruwweg lineair toeneemt met de logaritme van de gemeten endotoxineconcentratie (Smit et al., 2008). Dit impliceert een niet-lineaire verband met ongetransformeerde endotoxineconcentraties. Een vergelijkbaar beeld komt naar voren uit een studie waarbij studies van verschillende werkomgevingen gezamenlijk geanalyseerd worden (Basinas et al., 2012). Hierbij dient wel de kanttekening geplaatst te worden dat in deze studies, en in de meeste studies in de werkomgeving, de logistische functie standaard wordt toegepast. De fit van mogelijke andere functies is niet onderzocht. In deze rapportage wordt de blootstelling-responscurve geëxtrapoleerd naar een veel lager blootstellingsgebied, welke in werkgerelateerde studies niet voorkomt. Bij gebrek aan betere informatie wordt aangenomen dat de risico's bij deze lage niveaus ook nog met de logistische functie kunnen worden beschreven.

Dosis-responsrelatie micro-organismen

Voor micro-organismen gebruiken we, zoals gebruikelijk in de literatuur, dosis-responsrelaties in plaats van blootstelling-responsrelaties. Een overzicht van dosis-responsrelaties voor micro-organismen is gegeven in hoofdstuk 2 van het proefschrift van Zhao (2011). In de literatuur over dosis-responsrelaties voor infecties met micro-organismen komen verschillende modellen voor. Dosis-responsrelaties kunnen meestal goed worden beschreven door exponentiële, hypergeometrische en/of Bèta-Poisson functies. Er is veel literatuur voor het geval van blootstelling van de mens aan micro-organismen via voedsel (Teunis et al., 2010; Teunis et al., 2012; Teunis et al., 1999; Teunis et al., 2008; Teunis et al., 2005). Voor blootstelling via de luchtwegen is de literatuur beperkter maar wordt van dezelfde modellen gebruik gemaakt. Voor blootstelling aan Q-koorts via de luchtwegen zijn er experimentele gegevens die deze modellen ondersteunen. Zo wordt de dosis-respons bij hamsters voor zowel injectie in de buik als voor aerosol-blootstelling met de Q-koorts bacterie goed beschreven door een exponentiële functie (Tigertt et al., 1961) en voor aerosol-blootstelling bij mensen door een hypergeometrische functie (Brooke et al., 2013; Brooke et al., 2015). Alle dosis-responsmodellen hebben gemeen dat de kans op infectie, of op ziekte, bij hogere doses niet meer evenredig maar minder dan evenredig stijgt met de dosis (dit is omdat de kans maximaal gelijk is aan 1). We moeten daar nog bij opmerken dat een 'kans op ziekte' de gezondheidslast niet altijd afdoende beschrijft. Zo kan de ernst van de infectie bij bacteriële zoonosen bij hogere dosis met de dosis toenemen; zie bijvoorbeeld Teunis et al. (2005) en Reinhold et al. (2012).

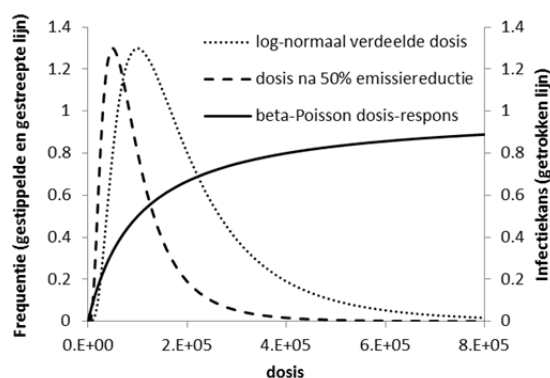
Doorwerking van stalmaatregelen in proces 7(dosis/blootstelling-respons relatie)

De mate van blootstelling in combinatie met de vorm van de blootstelling-responsrelatie is wellicht de belangrijkste bepalende factor voor de relatie tussen de bronsterkte van bioaerosolen en gezondheidsrisico's. In het algemeen geldt dat voor een zeer lage blootstelling de kans dichtbij de waarde 0 ligt, en voor een zeer hoge blootstelling dicht bij de waarde 1. Hoe de curve tussen deze twee grensgevallen in verloopt in combinatie met het gebied waarover zich de blootstelling uitstrekt bepaalt hoe de reductie van een stalmaatregel doorwerkt in de gezondheidslast. Ter illustratie hiervan geven we vier voorbeelden in Figuren 3a t/m 3d. In de voorbeelden gaan we uit van 50% emissiereductie, hetgeen onder de in dit hoofdstuk beschreven ontwerpkeuzes/aannames leidt tot een halvering van blootstelling/dosis, corresponderend met een verschuiving/samendrukking van de dosisverdeling zoals in Figuren 3a en 3b en blootstellingsverdeling zoals in Figuur 3c en 3d. In het voorbeeld van Figuur 3a en 3d strekt de dosis, respectievelijk blootstelling, zich uit over een gebied waarin de dosis-responsrelatie de vorm van een evenredigheidsverband heeft (een rechte lijn door oorsprong). Als gevolg daarvan werkt de halvering van de dosis evenredig door in de gezondheidseffecten (d.w.z. gezondheidseffecten worden ook met 50% gereduceerd). In de en van Figuur 3b en 3c strekt de dosis, respectievelijk blootstelling, zich uit over een gebied waarin de steilheid van dosis/blootstelling-responsrelatie afneemt. Als gevolg daarvan werkt de halvering van de dosis/blootstelling (sterk) minder dan evenredig door in de gezondheidseffecten.



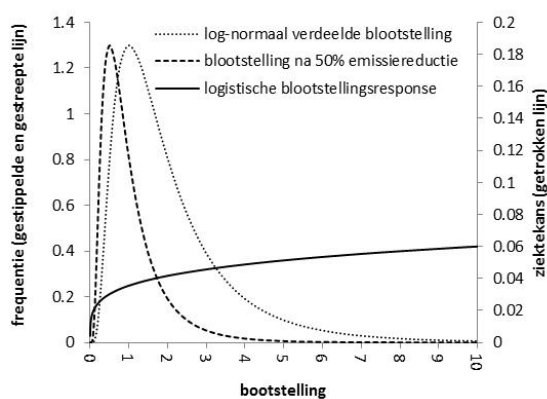
Figuur 3a

Een voorbeeldscenario waarin is weergegeven: de lognormaal verdeelde dosis (gestippelde lijn), de dosis na 50% emissiereductie (gestreepte lijn; merk op dat de dosisverdeling t.g.v. de reductie vermindert en dus naar links verschuift), en de dosis-responsrelatie als Beta-Poisson functie (merk op dat de dosis-responsrelatie in het betreffende dosisgebied lineair loopt)



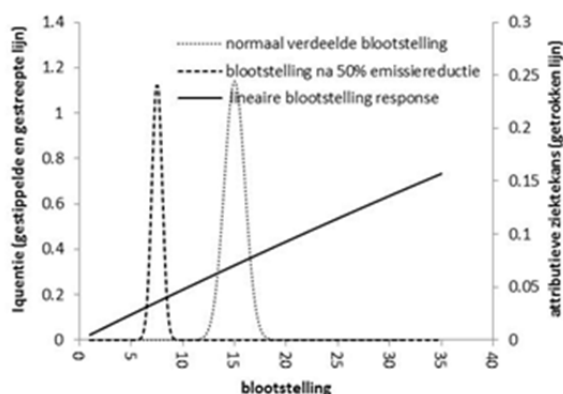
Figuur 3b

Een voorbeeldscenario waarin is weergegeven: de lognormaal verdeelde dosis (gestippelde lijn), de dosis na 50% emissiereductie (gestreepte lijn; merk op dat de dosisverdeling t.g.v. de reductie vermindert en dus naar links verschuift), en de dosis-responsrelatie als Beta-Poisson functie (merk op dat de dosis-responsrelatie in het betreffende dosisgebied afvlakkend loopt)



Figuur 3c

Een voorbeeldscenario waarin is weergegeven: de lognormaal verdeelde blootstelling (gestippelde lijn), de blootstelling na 50% emissiereductie (gestreepte lijn; merk op dat de blootstellingsverdeling t.g.v. de reductie vermindert en dus naar links verschuift), en de blootstelling-responsrelatie als logistische functie (merk op dat de blootstelling-responsrelatie in het betreffende blootstellingsgebied afvlakkend loopt)



Figuur 3d

Een voorbeeldscenario waarin is weergegeven: de normaal verdeelde blootstelling (gestippelde lijn), de blootstelling na 50% emissiereductie (gestreepte lijn; merk op dat de blootstellingsverdeling t.g.v. de reductie vermindert en dus naar links verschuift), en de blootstelling-responsrelatie als lineaire functie (merk op dat de blootstelling-responsrelatie in het betreffende blootstellingsgebied lineair loopt)

Het is belangrijk te realiseren dat de uitkomsten van de modellering gelden voor een hypothetische populatie omwonenden. In de berekeningen wordt het effect van omgevingsblootstelling als onafhankelijk beschouwd van leeftijd en andere risicofactoren. Verder is het achtergrondrisico (voorkomen van de ziekte in afwezigheid van de blootstelling) van belang. Bij micro-organismen wordt deze verondersteld nul te zijn omdat bij afwezigheid van micro-organismen de infectieziekte kans 0 is, voor fijn stof en endotoxines wordt naar andere meer algemeen voorkomende ziekte uitkomsten gekeken. Hiervoor geldt dat als de blootstelling laag is er nog een achtergrond risico voor de ziekte voorkomt die door andere oorzaken dan de blootstelling veroorzaakt wordt. Getallen hiervoor worden meestal niet gerapporteerd. Voor fijn stof is daarom gerekend met de attributieve fractie (dat deel van de response dat door de blootstelling veroorzaakt wordt, en voor endotoxine is gerekend met een achtergrond risico van 3% op basis van de data van Smit et al. (2008).

4.4 Samenvatting kennislancunes, aannames en modelparameters

Het uiteindelijke, vereenvoudigde beoordelingsmodel bestaat uit een wiskundige beschrijving die de in de vorige paragraaf beargumenteerde doorwerkingen van stalmaatregelen in de verschillende deelprocessen combineert. Een samenvattend overzicht van de belangrijkste kennislancunes, bijbehorende ontwerpkeuzes/aannames, en de parameters in het beoordelingsmodel wordt weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7

Samenvatting van de belangrijkste kennislancunes, bijbehorende ontwerpkeuzes/aannames, en de parameters in het beoordelingsmodel, per proces uit de procesketen in Figuur 1.

Proces in Figuur 1	Belangrijkste kennislancunes	Ontwerpkeuze/aanname in vereenvoudigd beoordelingsraamwerk	Parameters in beoordelingsraamwerk
1 en 2: emissie naar buitenlucht	Effect van stalmaatregelen op tijdsafhankelijke emissie (o.a. piekmissie)	Bij gebrek aan betere informatie worden jaargemiddelde emissiereductie t.g.v. stalmaatregelen doorgerekend. Het is niet bekend hoe reductie doorwerkt in de blootstellingspieken	Reductiepercentages van jaargemiddelde emissie
3: verspreiding en verdunning	<ul style="list-style-type: none"> - Bijdrage van verschillende deeltjesgroottes aan concentratie in de omgeving - Mate waarin stalmaatregelen verschillende deeltjesgroottes reduceren 	We veronderstellen nu dat emissiereductie leidt tot een evenredige reductie van de concentraties die aanwezig zijn in de buitenlucht als gevolg van verspreiding en verdunning	-
4: inactivatie en sedimentatie	<ul style="list-style-type: none"> - Bijdrage van verschillende deeltjesgroottes aan concentratie in de omgeving - Relatie tussen de inactivatiesnelheid van micro-organismen in bioaerosolen en de deeltjesgrootte van die bioaerosolen - Mate waarin stalmaatregelen verschillende deeltjesgroottes reduceren 	We veronderstellen nu dat emissiereductie leidt tot een evenredige reductie van de concentraties die aanwezig zijn in de buitenlucht, ook na verdiscontering van inactivatie (bij micro-organismen) en sedimentatie	-
5 en 6: blootstelling en dosis	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanismen van blootstelling - Verdeling van blootstelling over de populatie 	<ul style="list-style-type: none"> - We veronderstellen dat het mechanisme van blootstelling niet verandert na emissiereductie, d.w.z. dat de emissiereductie recht evenredig doorwerkt op alle blootstellingsniveaus - We veronderstellen een Lognormale blootstellingsverdeling voor endotoxinen en micro-organismen; normale verdeling voor PM10 	Geometrisch gemiddelde of rekenkundig gemiddelde en spreiding van blootstellingsverdeling
7: gezondheidseffect	<ul style="list-style-type: none"> - Mogelijke interactie tussen primair en secundair fijn stof in het veroorzaken van gezondheidsrisico's - Blootstellings-responsrelaties voor algemene populatie voor PM10, endotoxinen en micro-organismen 	<ul style="list-style-type: none"> - We veronderstellen dat mogelijke effecten van de achtergrondblootstelling (d.w.z. aan secundair fijn stof) van omwonenden geheel los staan van de effecten door blootstelling aan primair fijn stof afkomstig uit de veehouderij - We veronderstellen dat de vorm van de blootstellings-responsrelatie voor beroepsblootgestelden, namelijk logistisch, ook van toepassing is op algemene populatie (endotoxinen) met een veel lagere blootstelling - Bij gebrek aan informatie over het achtergrondrisico voor de ziektematen bij fijn stof wordt hier de invloed op de attributieve risico berekend 	Voor micro-organismen: steilheid van de dosis-responsrelatie

5 Resultaten scenarioberekeningen beoordelingsmodel

In dit hoofdstuk bespreken we de resultaten van een aantal scenarioberekeningen.

Scenario's worden gedefinieerd door aannames te doen voor de volgende onbekende factoren:

- reductiepercentage van de emissie door een stalmaatregel;
- verdeling van blootstellingsniveaus (voor fijn stof en endotoxine) of doses (micro-organismen) waaraan omwonenden worden blootgesteld: vorm, gemiddelde en spreiding;
- blootstellings-responsrelatie: type functie en vormparameters.

Het beoordelingsmodel berekent voor elk scenario de *potentiële impactfractie*, dat is het percentage waarmee de totale gezondheidslast zou worden verminderd ten gevolge van de stalmaatregelen, gegeven alle model- en scenarioaannames. Het beoordelingsmodel levert dus een uitkomst op relatieve schaal (fractie). Deze impactfractie is vervolgens onderscheiden naar drie kwalitatieve categorieën:

- *evenredig*: emissiereductie werkt voor minstens 95% door in de impactfractie;
- *minder dan evenredig*: emissiereductie werkt voor minder dan 95% door in de impactfractie;
- *sterk minder dan evenredig*: emissiereductie werkt voor minder dan de helft door in de impactfractie.

Hierna worden de uitkomsten van de scenarioberekeningen met het beoordelingsmodel besproken voor elk van de drie emissiecomponenten.

5.1 Resultaten scenarioberekeningen fijn stof (PM10)

De scenario's voor PM10 gaan uit van een normale verdeling voor de populatieblootstelling en van een lineaire blootstelling-responsrelatie. Voor de effectschattingen wordt het gemiddelde van de voor diverse uitkomsten gerapporteerde relatief risico's in het review van Brunekreef & Forsberg (2005) verondersteld, meer specifiek een 5% toename in relatief risico per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ toename in PM10. Omdat er geen achtergrondrisico's bekend zijn is met de relatieve populatie attributieve fractie gerekend. De resultaten voor een aantal scenario's zijn gegeven in Tabel 8. Deze resultaten laten zien dat voor PM10, onder de veronderstellingen van het beoordelingsmodel, de impactfracties onder veel scenario's evenredig, en onder sommige minder dan evenredig is aan de emissiereductie.

Tabel 8

Resultaten van de geselecteerde scenario's voor PM10. Verondersteld is een normale populatieblootstellingsverdeling en een lineair blootstelling-responsmodel (parameters: $\beta = 4.8 E-3$).

Scenario	Populatieblootstelling: gemiddelde ¹⁾	Populatieblootstelling: spreiding ²⁾	Emissiereductie	Geschat effect op populatierespons (potentiële impactfractie)
PM10-1	Laag	klein	10%	evenredig
PM10-2	Laag	groot	10%	evenredig
PM10-3	Hoog	klein	10%	minder dan evenredig
PM10-4	Hoog	groot	10%	minder dan evenredig
PM10-5	Laag	klein	30%	evenredig
PM10-6	Laag	groot	30%	evenredig
PM10-7	Hoog	klein	30%	evenredig
PM10-8	Hoog	groot	30%	minder dan evenredig
PM10-9	Laag	klein	80%	evenredig
PM10-10	Laag	groot	80%	evenredig
PM10-11	Hoog	klein	80%	evenredig
PM10-12	Hoog	groot	80%	evenredig

¹⁾ laag = 15, hoog = 25

²⁾ klein: sigma = 1, groot: sigma = 4

5.2 Resultaten scenarioberekeningen endotoxinen

De scenario's voor endotoxinen gaan uit van een lognormale verdeling voor de populatieblootstelling, en een logistisch blootstelling-responsmodel volgens Smit et al. (2008) voor de uitkomstmaat piepen op de borst. De resultaten voor de scenario's zijn gegeven in Tabel 9.

Tabel 9

Resultaten van de geselecteerde scenario's voor endotoxinen. Verondersteld is een lognormale populatieblootstellingsverdeling en een logistisch blootstelling-responsmodel (parameters: $\alpha = -3.3$ en $\beta = 0.238$).

Scenario	Populatieblootstelling: mediaan ¹⁾	Populatieblootstelling: spreiding ²⁾	Emissiereductie	Geschat effect op populatierespons (potentiële impactfractie)
ET-1	Laag	klein	10%	sterk minder dan evenredig
ET-2	Laag	groot	10%	sterk minder dan evenredig
ET-3	Hoog	klein	10%	sterk minder dan evenredig
ET-4	Hoog	groot	10%	sterk minder dan evenredig
ET-5	Laag	klein	30%	sterk minder dan evenredig
ET-6	Laag	groot	30%	sterk minder dan evenredig
ET-7	Hoog	klein	30%	sterk minder dan evenredig
ET-8	Hoog	groot	30%	sterk minder dan evenredig
ET-9	Laag	klein	80%	sterk minder dan evenredig
ET-10	Laag	groot	80%	sterk minder dan evenredig
ET-11	Hoog	klein	80%	sterk minder dan evenredig
ET-12	Hoog	groot	80%	sterk minder dan evenredig

¹⁾ laag = 10^0 , hoog = 10^2

²⁾ klein: sigma = 1, groot: sigma = 4

Deze resultaten laten zien dat voor alle scenario's geldt dat slechts een beperkt deel van de emissiereductie terug gevonden wordt in de potentiële impact op de populatie (populatie impact fractie). Ook blijkt het verschil tussen de potentiële impactfractie en het reductiepercentage van de emissie redelijk onafhankelijk van de verdeling van de populatieblootstelling. Deze onafhankelijkheid van de verdeling van de populatieblootstelling wordt veroorzaakt door de vorm van de dosis-responscurve. De veronderstelde blootstelling van de populatie ligt in een gebied waar de respons toeneemt met de blootstelling, maar al wel een zeer sterke afbuiging van de blootstelling-responsecurve optreedt. Deze afbuiging treedt onder het veronderstelde blootstelling-responsmodel al zeer snel op. Echter, omdat de blootstelling-responsecurve voor endotoxinen niet lineair is, dus een beperkte stijging in toename van ziekte met toename van blootstelling vertoont, is deze toename minder dan evenredig. Een reductie van emissie vertaalt zich daarom in alle scenario's in een minder dan evenredige reductie in de gezondheidslast (dus de relatieve reductie in gezondheidslast is kleiner dan de relatieve emissiereductie). Echter, bij toenemende reductiepercentages neemt de relatieve toename in gezondheidslast toe.

5.3 Resultaten scenarioberekeningen micro-organismen

De scenario's voor micro-organismen gaan uit van een log-normale verdeling voor de populatieblootstelling. Voor de dosis-respons worden twee scenario's beschouwd:

1. een beta-Poisson dosis-responsmodel dat een vergelijkbare "S-vorm" heeft als bepaald voor *Coxiella burnetii* gerelateerde acute ziektesymptomen door Brooke et al. (2013);
2. een beta-Poisson dosis-responsmodel met andere parameterwaarden zodat deze een steilere S-vorm heeft, vergelijkbaar met die bepaald voor *C. burnetii* infectie in hetzelfde artikel.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10

Resultaten van de geselecteerde scenario's voor micro-organismen. Verondersteld is een log-normale populatieblootstellingsverdeling en een beta-Poisson dosis-responsmodel (parameters: alpha = 1 en beta = 10⁵). Hoewel de kwantitatieve uitkomsten verschillen tussen de twee verschillende scenario's voor de dosis-responsecurve, zijn de kwalitatieve uitkomsten voor de impactfracties gelijk.

Scenario	Populatieblootstelling: mediaan ¹⁾	Populatieblootstelling: spreiding ²⁾	Emissiereductie	Geschat effect op populatierespons (potentiële impactfractie)
MO-1	laag	klein	10%	evenredig
MO-2	laag	groot	10%	minder dan evenredig
MO-3	hoog	klein	10%	sterk minder dan evenredig
MO-4	hoog	groot	10%	sterk minder dan evenredig
MO-5	laag	klein	30%	evenredig
MO-6	hoog	groot	30%	sterk minder dan evenredig
MO-7	Laag	klein	80%	evenredig
MO-8	Hoog	groot	80%	sterk minder dan evenredig

¹⁾ laag = 10², hoog = 10⁵

²⁾ klein: sigma = 1, groot: sigma = 4

Deze resultaten laten zien dat het verschil tussen de potentiële impactfractie en de emissiereductie sterk afhankelijk is van de verdeling van de populatieblootstelling. Zo is de potentiële impactfractie voor de scenario's MO-1, MO-5 en MO-7 allen corresponderend met een blootstelling met een lage mediaan en een kleine spreiding, steeds vrijwel gelijk aan de emissiereductie. Dit komt overeen met het voorbeeldscenario van Figuur 3a. Terwijl voor de scenario's MO-4, MO-6 en MO-8, allen corresponderend met een hoge mediaan en een grote spreiding, de potentiële impactfractie slechts een kwart tot een derde van de emissiereductie bedraagt. Dit komt overeen met het voorbeeldscenario uit Figuur 3b. Voor scenario's met een lage mediaan maar een grote spreiding en met een hoge mediaan maar een kleine spreiding, liggen de resultaten hier tussenin (scenario's MO-2 respectievelijk MO-3). Deze afhankelijkheid van de verdeling van de populatieblootstelling wordt veroorzaakt door de vorm van de dosis-responscurve. Voor lage doses is de respons namelijk evenredig met de blootstelling, terwijl dit voor hogere doses niet meer geldt.

6 Discussie en conclusies

6.1 Benodigde reductieniveaus en hun effecten op de gezondheidslast

Zoals reeds eerder in dit rapport genoemd is in hoofdstuk 4 een beoordelingsmodel ontwikkeld op basis van *sterk vereenvoudigde modelaannames*. Dat beoordelingsmodel moet beschouwd worden als een *eerste verkenning* van de wijze waarop effecten van stalmaatregelen beoordeeld zouden kunnen worden. In hoofdstuk 5 zijn verschillende scenario's doorgerekend om zo een *eerste indruk* te verkrijgen van de effecten van stalmaatregelen op de gezondheidslast van omwonenden. Het moet sterk benadrukt worden dat de uitkomsten uit hoofdstuk 5 met grote voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd. Ten aanzien van fijn stof suggereren de resultaten van de meeste scenario's dat een reductie van de emissie met een *x* percentage een ongeveer evenredige reductie van de gezondheidslast van omwonenden geeft. Wanneer deze bevinding juist is betekent dit concreet dat elke reductie van fijnstofemissie zin zou hebben in termen van de reductie van de gezondheidslast. Voor endotoxinen lijkt dit beeld anders en voor micro-organismen is het beeld wisselend tussen de scenario's. Deze bevindingen zijn echter dermate onzeker – o.a. door zeer onzekere aannames over de blootstellings-responsrelatie – dat deze niet kunnen worden gebruikt voor beleidsontwikkeling. Het werk in hoofdstukken 4 en 5 heeft met name veel wetenschappelijke waarde omdat in dit hoofdstuk voor een eerste keer op een rij is gezet langs welke hoofdlijnen (zie Figuur 1) een dergelijk beoordelingsmodel zou moeten verlopen, welke aspecten (variabelen, processen) daarbij aan de orde komen en tegen welke onzekerheden wordt aangelopen.

6.2 Mogelijkheden voor het inzetten van bestaande maatregelen

In Tabel 2, 5 en 6 zijn de bestaande maatregelen om fijn stof te reduceren opgenomen en geel gearceerd.

Van deze maatregelen schieten er 4 tekort om enkelvoudig te worden ingezet om de emissies van bioaerosolen met meer dan 30% te reduceren. Twee van deze maatregelen hebben een reductiepercentage voor fijn stof lager dan 30% (namelijk: 6.1 Oliefilm op de vloer via leidingen/nozzles bij leghennen [15%] en 11.1 Warmtewisselaar [13%]). Nog eens twee maatregelen hebben een reductiepercentage voor fijn stof van precies 30% (namelijk: 6.2 Oliefilm op de vloer via een robot bij grondstallen voor leghennen [30%] en 11.3 Mestdroogtunnels; de bandendroger volgens E 6.4.1 [30%]). Deze maatregelen kunnen, wanneer enkelvoudig ingezet, de emissie van bioaerosolen niet meer reduceren dan het gevraagde niveau van meer dan 30%.

Voor 3 maatregelen geldt dat ze de emissie van bioaerosolen slechts zeer beperkt kunnen reduceren boven het niveau van 30% (namelijk: de 11.1 warmtewisselaar [33%], 11.8 Simpele waterwasser [33%] en de 11.9 Chemische luchtwasser [35%]). Deze maatregelen leveren slechts een 3 tot 5 procentpunten grotere reductie van de emissie van bioaerosolen.

Voor 4 maatregelen geldt dat ze de emissie van bioaerosolen met een middelgroot reductiepercentage (tussen de 40 en 54%) kunnen reduceren (namelijk: 6.1 Oliefilm op de vloer via leidingen/nozzles bij vleeskuikens [54%], 8.1 Negatieve ionisatie van stallucht bij vleeskuikens [49%], 11.2 Droogfilterwand bij vleeskuikens en leghennen (40%) en de 11.3 Mestdroogtunnels; de platendroger volgens E 6.4.2; bij leghennen [55%]). Geen van deze maatregelen geeft echter een reductie van ammoniak of geur. De mestdroogtunnels geven een toename van ammoniak en geur.

Kijken we dan naar de jaarkosten van de systemen (investeringskosten en exploitatiekosten, uitgedrukt per 10-procentpunten reductie) dan zitten voor vleeskuikenstallen de maatregelen 6.1 Oliefilm op de vloer via leidingen/nozzles [54%], 8.1 Negatieve ionisatie van stallucht [49%] en de

11.2 Droogfilterwand [40%] dicht bij elkaar, met respectievelijk 4, 2, en 3 eurocent per vleeskuikenplaats per jaar.

Voor leghennenstallen ontstaat een ander beeld. De 11.2 Droogfilterwand [40%] kent de laagste jaarkosten met 3 cent per kipplaats per jaar (per 10-procentpunten reductie). De 11.3 Mestdroogtunnels; de platendroger volgens Rav E 6.4.2 [55%] kent jaarkosten van 7 cent per kipplaats per jaar. Bij dit laatste systeem moet echter bedacht worden dat er extra ammoniak en geur emitteert. Feitelijk bestaat er in deze '40 tot 54% reductiecategorie' dus slechts één relatief goedkope maatregel voor leghennenstallen zonder neveneffecten op andere emissiecomponenten.

Opgemerkt moet worden dat binnen de groep maatregelen met een middelgroot reductiepercentage ook de 11.6 Elektrostatische precipitator [57%] zou kunnen thuishoren. Echter, hoewel deze is opgenomen binnen de Rav-systematiek, vergt dit systeem nog verdere ontwikkeling om tot een (voor dergelijke technieken normaal) reductiepercentage te komen in de range van 75 tot 95%.

Tot slot moet opgemerkt worden dat in deze groep maatregelen met een middelgroot reductiepercentage geen maatregelen bestaan die toegepast kunnen worden bij varkensstallen.

Voor 3 maatregelen tenslotte, geldt dat ze de emissie van bioaerosolen met een hoog reductiepercentage kunnen reduceren (namelijk: 11.7 Biobed [80%], 11.9 Biologische luchtwasser [60 / 75%] en de 11.11 Gecombineerde luchtwasser [80%]). Deze maatregelen zitten qua jaarkosten in de bovenste helft van de range van maatregelen binnen een diercategorie (14 tot 27 eurocent per kipplaats per jaar en 1,7 tot 3,1 euro per varkensplaats per jaar; per 10-procentpunten) maar reduceren, naast bioaerosolen (fijn stof, endotoxine en bioaerosolen), eveneens ammoniak en geur. Ze worden veelvuldig toegepast in de varkenshouderij, maar nog slechts weinig in de pluimveehouderij (zie ook hoofdstuk 2).

6.3 Mogelijkheden voor bredere toepassing bestaande maatregelen

Uit hoofdstuk 3 wordt geconcludeerd dat de volgende reeds bestaande maatregelen perspectiefvol zijn om te verbreden in toepassing naar meer diercategorieën:

- Maatregel 6.1 Oliefilm op de vloer via leiding/nozzles naar varkensstallen: afhankelijk van de dosering kunnen reducties behaald worden tussen 30 en 80%.
- Maatregel 8.1 Negatieve ionisatie naar varkensstallen: de reductie wordt hier verwacht tussen 30 en 50% te liggen.
- Maatregel 10.1 Debietverlaging door luchtkoeling naar leghennenstallen.
- Maatregel 11.2 Droogfilterwand naar varkensstallen: de reductie wordt hier verwacht eveneens rond de 40% te liggen, zoals bij pluimvee.
- Maatregel 11.6 Elektrostatische precipitator: naar alle mechanisch geventileerde stallen met een centrale uitlaat, zoals varkensstallen. Zoals hiervoor aangegeven dient deze techniek verder te ontwikkeld worden. De techniek leent zich echter tevens voor verbreding.
- Maatregel 11.11 Gecombineerde luchtwassers: zoals eerder beschreven is deze techniek op dit moment alleen beschikbaar voor varkens. Om deze maatregel te verbreden naar pluimveecategorieën dienen gecombineerde luchtwassers bedrijfszeker te kunnen worden ingezet op pluimveebedrijven met een door praktijkmetingen gevalideerd voldoende verwijderingsrendement voor stof, geur en ammoniak. Het huidige certificeringsproces voor enkele gecombineerde luchtwassers voor pluimveestallen in Duitsland (zie inleiding) kan mogelijk benut worden om deze systemen ook in Nederland beschikbaar te maken.

6.4 Mogelijkheden voor nieuwe maatregelen op de korte termijn

In Tabel 3 zijn nieuwe maatregelen opgenomen die op korte termijn beschikbaar zouden kunnen komen om emissies van bioaerosolen te reduceren. Selecteren we hieruit die maatregelen die (a) naar verwachting meer dan 30% zouden kunnen reduceren, (b) op korte termijn beschikbaar zouden kunnen komen, en (c) relatief lage jaarkosten hebben, dan komen de volgende maatregelen in beeld:

- Maatregel 6.3 Oliefilmapplicator bij varkens met een reductie tussen 40 en 80% en jaarkosten van 4,50 euro per varkensplaats per jaar (0,75 euro per 10-procentpunten reductie bij 60%). Deze maatregel heeft geen effect op concentraties en emissies van geur en ammoniak, maar verbetert wel het werkklimaat in de stal en de luchtkwaliteit voor de varkens. Mogelijk kan het systeem ook als speelmateriaal dienen. De maatregel is reeds tweemaal experimenteel onderzocht met vergelijkbare uitkomsten. Tevens is de maatregel in ontwikkeling/productie genomen door het bedrijfsleven, maar ook weer uit het productassortiment gehaald vanwege te weinig (verwachte) omzet.
- Maatregel 4.1 Dunnere meststrooisellaag bij leghennen middels een strooiselmestschuif met een verwachte reductie van met name endotoxinen, micro-organismen en ammoniak in een range tussen 20 en 35%. De jaarkosten zijn met 0,08 euro per henplaats per jaar (0,08 euro per 10-procentpunten) relatief laag binnen de maatregelengroep voor leghennenstallen. Tevens wordt naast bioaerosolen, een kleine reductie van ammoniak verwacht. De maatregel geeft een kleine verbetering van de luchtkwaliteit in de stal voor mens en dier, vermindert tevens het aantal buitennesteieren en vermindert de arbeidsbehoefte omdat er gedurende de legperiode geen strooisel uit de stal hoeft worden geschept en er minder buitennesteieren hoeven worden geraapt. De strooiselmestschuif wordt reeds door het bedrijfsleven aangeboden en het perspectief van deze maatregel wordt thans onderzocht.
- Maatregel 4.3 Hygiënisch hokontwerp/varkenstoilet met een verwachte reductie van 20-50% voor fijn stof en naar verwachting gunstige effecten t.a.v. emissies van ammoniak, geur en broeikasgassen. Het varkenstoilet is reeds enige tijd in ontwikkeling en onderzoek (geen emissiemetingen) en onlangs op de markt gekomen. De jaarkosten zijn met ca. 10 euro per varkensplaats per jaar (3,33 euro per 10-procentpunten reductie bij 30%) vergelijkbaar met een chemische luchtwasser.
- Maatregel 11.6 Elektrostatische precipitator. Zoals eerder beschreven vergt dit systeem nog verdere ontwikkeling om tot een (voor dergelijke technieken normaal) reductiepercentage te komen in de range van 75 tot 95%. De techniek leent zich echter tevens voor verbreding van alleen pluimvee naar alle mechanisch geventileerde stallen met een centrale uitlaat.

6.5 Mogelijkheden voor het combineren van maatregelen

Ten aanzien van varkensstallen moet bedacht worden dat het inzetten van luchtwassers bij nieuwbouw (met hoge verwijderingsrendementen) reeds zo gangbaar is geworden dat maatregelen genoemd in Tabellen 5 en 6 met een lager reductiepercentage dan luchtwassers mogelijk niet of nauwelijks meer door ondernemers zullen worden gekozen. Dit kan mogelijk anders zijn wanneer maatregelen mogen worden gecombineerd zodat een grotere totaalreductie wordt bereikt die wel in de buurt komt van het niveau van luchtwassers en die tevens nevenvoordelen kennen, zoals het verbeteren van de luchtkwaliteit in de stal.

Hoewel deze studie zich primair richt op bioaerosolemissies in relatie tot gezondheidsrisico's voor omwonenden, merken we op dat in varkensstallen en pluimveestallen de blootstelling aan stof en endotoxinen tijdens het werk extreem hoog is, ver boven geadviseerde grenswaarden voor mens en dier (Donham and Cumro, 1999; Gezondheidsraad, 2010), hetgeen met een enkelvoudige of gecombineerde inzet van sommige (bron)maatregelen uit Tabellen 5 en 6 verminderd kan worden. Er bestaan aanwijzingen dat het verbeteren van de luchtkwaliteit in de stal de (long)gezondheid en prestaties van varkens kan verbeteren (Donham, 1991; Wathes et al., 2004; Winkel et al., 2012a). In pluimveestallen kunnen voorzieningen die de strooiselmestlaag dun houden niet alleen de concentraties en emissies van stof licht verminderen (schatting: ca. 20%), maar ook een vermindering geven van ammoniakconcentraties en –emissies, het aantal buitennesteieren en de arbeidslast (voor het uitscheppen van strooisel en rapen van eieren). Met het oog op deze bedenkingen kan het nuttig zijn (combinaties van) maatregelen met een relatief laag reductiepercentage toch op te nemen in bijvoorbeeld de Rav-systematiek.

Overigens mogen reductiepercentages van maatregelen niet opgeteld worden. Indien systeem A een reductie geeft van 55% en systeem B een reductie van 35%, reduceren zij samen concentraties en emissies niet met (opgeteld) 90%. Onder de aanname dat de maatregelen elkaar niet wezenlijk

versterken of verzwakken, maar zuiver additioneel zijn, bedraagt de reductie in dit voorbeeld eerst 55% door systeem A en dan nog eens 35% door systeem B over de resterende (100-55=) 45%, oftewel 16%. De totale reductie bedraagt dan (55+16=) 71% in plaats van 90%.

Enkele mogelijke combinaties zijn bijvoorbeeld:

- varkensstallen: een olieapplicator (ca. 60% reductie van fijn stof) in combinatie met een ionisatietechniek (zoals negatieve ionisatie, ca. 40% reductie van fijn stof). De reductie van een dergelijke combinatie bedraagt 76%.
- vleeskuikenstallen: een ionisatietechniek in de stal (zoals negatieve ionisatie, 49% reductie van fijn stof) in combinatie met een droogfilterwand (40% reductie van fijn stof). De reductie van een dergelijke combinatie bedraagt 69%.
- leghennestallen: een voorziening die de strooiselmestlaag dun houdt (zoals een strooiselmestschuif, ca. 20% reductie van fijn stof) in combinatie met een droogfilterwand (40% reductie van fijn stof). Rekenkundig zou de reductie van een dergelijke combinatie 52% bedragen.

6.6 Mogelijkheden voor nieuwe maatregelen op lange termijn

In Tabel 4 zijn nieuwe maatregelen opgenomen die op lange termijn beschikbaar zouden kunnen komen om emissies van bioaerosolen te reduceren. Het gaat daarbij om een nieuw stalconcept, namelijk 5.4 Van de ventilatie gescheiden strooiselruimten, en om een aantal end of pipe maatregelen om micro-organismen te doden en/of af te vangen (12.1 t/m 12.9). Voor al deze maatregelen geldt dat hun effectiviteit en jaarkosten nog onvoldoende zijn in te schatten. Voor de luchtwasstappen met een oxiderend middel (maatregelen 12.1 t/m 12.6), nabehandeling met UVc (maatregel 12.7), behandeling met koude plasma (maatregel 12.8) en de fotokatalytische behandeling (maatregel 12.9) geldt dat deze technieken nog geheel of deels ontwikkeld moeten worden voor toepassing bij stallen. Het is pas zinvol deze systemen te ontwikkelen wanneer uit thans lopend en toekomstig onderzoek blijkt dat micro-organismen een relevante bijdrage leveren aan de gezondheidslast voor omwonenden door bioaerosolen.

Referenties

- Aarnink, A. J. A., W. J. M. Landman, R. W. Melse, P. Gijssels de, A. H. T. Thuy, and T. Fabri. 2004. *Voorkomen van verspreiding van ziektekiemen en milieu-emissies via luchtreiniging*. Rapport nr. 059. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Agrotechnology & Food Innovations B.V.
- Aarnink, A. J. A., and H. H. Ellen. 2006. *Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij [Processes and factors influencing fine dust emissions from livestock production]*. Report 11. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Animal Sciences Group.
- Aarnink, A. J. A., J. v. Harn, A. Winkel, F. E. d. Buissonjé, T. G. v. Hattum, and N. W. M. Ogink. 2009. Dust reduction in poultry houses by spraying rapeseed oil. In *Joint International Agricultural Conference, July 6-8, 2009, 73-79*. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Aarnink, A. J. A., M. Cambra-López, T. L. H. Lai, and N. W. M. Ogink. 2011. *Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen [Size distribution and sources of particulate matter in animal houses]*. Report 452. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Aarnink, A. J. A., T. J. Hagenaars, and N. W. M. Ogink. 2015a. *Technieken voor reductie van bio-aerosol emissies uit stallen [Techniques for reduction of bioaerosols from animal houses; in Dutch]*. Report 828. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Aarnink, A. J. A., Y. Zhao, A. Dekker, and N. W. M. Ogink. 2015b. *Processen en factoren die van invloed zijn op de emissie van bio-aerosolen uit stallen [Processes and factors that influence the emission of bioaerosols from animal houses]*. Report 829. Wageningen, the Netherlands: Processen en factoren die van invloed zijn op de emissie van bio-aerosolen uit stallen.
- Adrizal, P. H. Patterson, R. M. Hulet, R. M. Bates, D. A. Despot, E. F. Wheeler, P. A. Topper, D. A. Anderson, and J. R. Thompson. 2008. The potential for plants to trap emissions from farms with laying hens: 2. Ammonia and dust. *J. Appl. Poult. Res.* 17(3):398-411.
- Arends, F., G. Franke, E. Grimm, W. Gramatte, S. Häuser, and J. Hahne. 2006. *Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen*. . KTBL-Schrift 451. Darmstadt, Deutschland: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL).
- Banhazi, T. M., D. L. Rutley, and W. S. Pitchford. 2008a. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 4. Emission factors and study recommendations. *J Agric Saf Health* 14(1):53-69.
- Banhazi, T. M., J. Seedorf, D. L. Rutley, and W. S. Pitchford. 2008b. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 2. Airborne pollutants. *J Agric Saf Health* 14(1):21-39.
- Basinas, I., V. Schlunssen, D. Heederik, T. Sigsgaard, L. A. M. Smit, S. Samadi, O. Omland, C. Hjort, A. M. Madsen, S. Skov, and I. M. Wouters. 2012. Sensitisation to common allergens and respiratory symptoms in endotoxin exposed workers: a pooled analysis. *Occup. Environ. Med.* 69(2):99-106.
- Bijleveld, H. 2015. Licht op stalklimaat. *Pluimveehouderij* Jaargang 45, Nr. van 10 juli 2015:24-25.
- Binnendijk, G. P., and P. F. M. M. Roelofs. 2001. Afdekken voerbakken geen oplossing voor stofproblematiek. *Praktijkonderzoek Veehouderij - Varkens* April 2011:11-12.
- Bisdorff, B., J. L. Scholhoelter, K. Claussen, M. Pulz, D. Nowak, and K. Radon. 2012. MRSA-ST398 in livestock farmers and neighbouring residents in a rural area in Germany. *Epidemiology and Infection* 140(10):1800-1808.
- Brooke, R. J., M. E. E. Kretzschmar, N. T. Muters, and P. F. Teunis. 2013. Human dose response relation for airborne exposure to *Coxiella burnetii*. *BMC Infectious Diseases* 13(1).
- Brooke, R. J., N. T. Muters, O. Péter, M. E. E. Kretzschmar, and P. F. M. Teunis. 2015. Exposure to low doses of *Coxiella burnetii* caused high illness attack rates: Insights from combining human challenge and outbreak data. *Epidemics* 11:1-6.
- Brunekreef, B., and B. Forsberg. 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *Eur. Respir. J.* 26(2):309-318.
- Brunekreef, B., R. M. Harrison, N. Kuenzli, X. Querol, M. A. Sutton, D. J. J. Heederik, and T. Sigsgaard. 2015. Reducing the health effect of particles from agriculture. *Lancet Respiratory Medicine* 3(11):831-832.
- Burley, H. K., A. Adrizal, P. H. Patterson, R. M. Hulet, H. Lu, R. M. Bates, G. P. Martin, C. A. B. Myers, and H. M. Atkins. 2011. The potential of vegetative buffers to reduce dust and respiratory virus transmission from commercial poultry farms. *J. Appl. Poult. Res.* 20(2):210-222.

- Calvet, S., H. van den Weghe, R. Kosch, and F. Estellés. 2009. The influence of the lighting program on broiler activity and dust production. *Poult. Sci.* 88(12):2504-2511.
- Cambra-López, M., A. Winkel, J. Van Harn, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009. Ionization for reducing particulate matter emissions from poultry houses. *Trans. ASABE* 52(5):1757-1771.
- Cambra-López, M., T. Hermosilla, H. T. L. Lai, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2011. Particulate matter emitted from poultry and pig houses: Source identification and quantification. *Trans. ASABE* 54(2):629-642.
- Costa, A., F. Borgonovo, T. Leroy, D. Berckmans, and M. Guarino. 2009. Dust concentration variation in relation to animal activity in a pig barn. *Biosyst. Eng.* 104(1):118-124.
- Covello, V. T., and M. W. Merkhofer. 1993. *Risk Assessment Methods - Approaches for Assessing Health and Environmental Risks*,. New York, USA: Plenum Press.
- Cox, C. S. 1989. Airborne bacteria and viruses. *Science Progress* 73(292):469-499.
- Demmers, T. G. M., and G. H. Uenk. 1996. *Experimenten met een biofilter op kleine schaal*. Nota P 96-37. Wageningen, the Netherlands: IMAG-DLO.
- Donham, K., and D. Cumro. 1999. Setting maximum dust exposure levels for people and animals in livestock facilities. In *International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities*, 93-110. Aarhus, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Donham, K. J. 1991. Association of environmental air contaminants with disease and productivity in swine. *American Journal of Veterinary Research* 52(10):1723-1730.
- Donkers, H. A. J. 1986. *Biofiltratie van ammoniak bevattende afgassen*. Afstudeerverslag. Eindhoven, the Netherlands: Technische Hogeschool Eindhoven, afdeling Scheikundige Technologie.
- Duindam, D. 2014. Vanaf dag 1 beter klimaat. *Pluimveehouderij* Jaargang 44, Nr. van 17 oktober 2014:2-3.
- Dunklin, E. W., and T. T. Puck. 1948. The lethal effect of relative humidity on air-borne bacteria. *Journal of Experimental Medicine* 87(2):87-101.
- Dusseldorp, A., C. B. M. Maassen, D. J. J. Heederik, and P. H. Fischer. 2015. *Veehouderij en gezondheid. Update van kennis over werknemers en omwonenden*. RIVM Rapport 2015-0135. Bilthoven, the Netherlands.
- Eggels, P. G., J. M. Boers, R. Scholtens, L. Feenstra, R. C. d. Haas, and J. Kruize. 1989. *Biofiltratie van ammoniak bevattende stallucht bij intensieve veehouderij*. Apeldoorn, the Netherlands: TNO.
- Ellen, H. 1999. Influence of air humidity on dust concentration in broiler houses. In *International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities*, 41-47. Aarhus, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Ellen, H., I. Vermeij, A. Winkel, and R. van Emous. 2011. *BBT fijn stof: beschrijving systemen en kosten [Best available techniques for particulate matter: description of systems and costs]*. Report 476. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ellen, H., J. Jansen, A. Smit, and I. Vermeij. 2014a. *Luchtconditionering met WKO in varkensstallen*. Leaflet, serie: Nevenvoordelen duurzame stalconcepten, 5 p. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ellen, H., J. Jansen, A. Smit, and I. Vermeij. 2014b. *TerraSea voor vleeskuikens*. Leaflet, serie: Nevenvoordelen duurzame stalconcepten, 4 p. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ellen, H. H., J. Jansen, A. Smit, and I. Vermeij. 2014c. *Nevenvoordelen duurzame stalconcepten [Side benefits sustainable housing systems]*. Rapport 736. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Erbrink, H. J., P. Hofschreuder, S. Jansen, V. H. M. Kuypers, B. d. Maerschallck, F. Ruyten, E. A. d. Vries, and J. Wolff. 2009. Flora - vegetatie voor een betere luchtkwaliteit; meten is weten - vegetatie voor een betere luchtkwaliteit. Innovatie Programma Luchtkwaliteit (IPL) i.o.v. Stadsregio Arnhem-Nijmegen/IPL. Delft.
- Gezondheidsraad. 2010. *Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit*. Publication number 2010/04OSH. The Hague, the Netherlands: Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands).
- Gezondheidsraad. 2012. *Gezondheidsrisico's rond veehouderijen*. Publicatie 2012/27. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Gies, E., J. v. Os, T. Hermans, and R. J. W. Olde Loohuis. 2007. *Megastallen in beeld*. Wageningen, the Netherlands: Alterra, Wageningen University and Research Centre.
- Guingand, N. 1999. Dust concentrations in piggeries: Influence of season, age of pigs, type of floor and feed presentation in farrowing, post-weaning and finishing rooms. In *International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities*, 34-40. Aarhus, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Heederik, D. J. J., A. J. W. Opstal-van Winden, L. A. M. Smit, I. M. Wouters, M. Hooiveld, C. J. IJzermans, F. van der Sman-de Beer, P. P. M. Spreeuwenberg, A. de Bruin, and B. van Rotterdam. 2011. *Mogelijke effecten van intensieve-veehouderij op de gezondheid van omwonenden: onderzoek naar potentiële*

- blootstelling en gezondheidsproblemen*. Utrecht, the Netherlands: Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht; Nederlands instituut voor onderzoek van de gezondheidszorg (NIVEL); Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Hofschreuder, P. 2008. *Inzet van groenelementen rond agrarische bedrijven om luchtkwaliteit te verbeteren: een quick scan [Vegetative shelter belts close to livestock houses to improve air quality: a quick scan; in Dutch, with English summary]*. ASG Rapport 136. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Animal Sciences Group.
- Hoopmann, M., O. Hehl, F. Neisel, and T. Werfel. 2006. Associations between bioaerosols coming from livestock facilities and asthmatic symptoms in children. *Gesundheitswesen* 68(8-9):575-584.
- InfoMil. 2015. Inventarisatie van Duitse wetgeving t.a.v. emissies van bioaerosolen uit stallen.
- Kim, K. Y., H. J. Ko, H. T. Kim, C. N. Kim, and S. H. Byeon. 2008. Association between pig activity and environmental factors in pig confinement buildings. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(5):680-686.
- Leidel, N. A., K. A. Busch, and J. R. Lynch. 1977. *Occupational exposure sampling strategy manual (DHEW [NIOSH] publication no. 77-173)*. Cincinnati, OH, USA: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- Lelieveld, J., J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki, and A. Pozzer. 2015. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *NATURE* 525(7569):367-+.
- 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*.
- Marks, H., and M. Coleman. 1998. Estimating distributions of numbers of organisms in food products. *Journal of Food Protection* 61(11):1535-1540.
- Melse, R. W., and J. M. G. Hol. 2012. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: biofiltratie van ventilatielucht uit een mestdroogsysteem 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]*. Report 498. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Melse, R. W., J. M. G. Hol, G. M. Nijeboer, and T. G. Van Hattum. 2014a. *Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal [Measurements on a biofilter for treatment of exhaust air from a fattening pig house]*. Report 802. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Melse, R. W., J. M. G. Hol, J. P. M. Ploegaert, G. M. Nijeboer, and T. G. Van Hattum. 2014b. *Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal - locatie 2 [Measurements on a biofilter for treatment of exhaust air from a fattening pig house - location 2]*. Report 896. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Melse, R. W., J. A. C. Schalk, and A. A. Bartels. 2015. *Onderzoek naar aanwezigheid van legionella in biologische luchtwassers bij stallen*. Rapport 891. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Mostafa, E. 2008. *Improvement of air quality in laying hens barn using different particle separation techniques*. PhD thesis. Bonn, Germany: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Nannen, C., G. Schmitt-Pauksztat, and W. Büscher. 2005. Mikroskopische Untersuchung von Staubpartikeln in Mastschweineställen: Unterschiede zwischen Flüssig- und Trockenfütterung. *Landtechnik* 60(4):218-219.
- Nicolai, R. E., and K. A. Janni. 1999. Effect of biofilter retention time on emissions from dairy, swine, and poultry buildings. Paper No. 994149.
- Oosterbaan, A., C. A. v. d. Berg, T. J. A. Gies, and A. J. Griffioen. 2009. *Een nieuwe landschapsdienst: landschapselementen voor een goede luchtkwaliteit*. Alterra Rapport 1949. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Alterra.
- 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 *International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities*, 253-260. Aarhus, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Pronk, A. A., and C. J. v. Dijk. 2012. Alle zin en onzin op een rij voer groen en luchtkwaliteit : kennis over groen en luchtkwaliteit gebundeld. *Boomzorg* 5(3):26-27.
- Pronk, A. A., H. J. Holterman, P. Hofschreuder, E. Lovink, J. P. M. Ploegaert, and W. d. Visser. 2012. *Onderzoek naar de interceptie van fijnstof door opgaande gewassen*. PRI Rapport 474. Wageningen, the Netherlands: Wageningen UR Livestock Research, Plant Research International.
- Pronk, A. A., and C. J. v. Dijk. 2013. *Representativiteit van beplanting bij meetlocaties luchtkwaliteit in Nederlandse steden*. PRI Rapport 532. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Plant Research International.

- Pronk, A. A., H. J. Holterman, and N. Ogink. 2013a. *Depositie van fijnstofdeeltjes : eigenschappen van fijnstofdeeltjes die de afvangkans door een gewas beïnvloeden*. PRI Rapport 498. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Plant Research International.
- Pronk, A. A., N. W. M. Ogink, H. J. Holterman, P. Hofschreuder, and I. Vermeij. 2013b. *Effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit : samenvattende rapportage en perspectieven toepassing groenelementen voor het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit rondom stallen*. PRI Rapport 493. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Plant Research International.
- Pronk, A. A., H. J. Holterman, S. v. d. Meer, H. Erbrink, and N. W. M. Ogink. 2014. *Windtunnelonderzoek naar de doorstroming van groenelementen rondom een veehouderijbedrijf: effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit rond stalgebouwen door doorstroming van geventileerde stallucht*. PRI Rapport 581. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Plant Research International.
- Pronk, A. A., H. J. Holterman, E. J. J. Meurs, and R. H. E. M. Geerts. 2015. *Metingen aan het windveld van een ventilator van een kippenstal*. PRI Rapport 612. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Plant Research International.
- Reinhold, P., C. Ostermann, E. Liebler-Tenorio, A. Berndt, A. Vogel, J. Lambertz, M. Rothe, A. Rüttger, E. Schubert, and K. Sachse. 2012. A bovine model of respiratory chlamydia psittaci infection: Challenge dose titration. *PLoS ONE* 7(1).
- Rijksoverheid. 2015. Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij. Den Haag, the Netherlands: Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2015/03/16/emissiefactoren-fijn-stof-voor-veehouderij-2015>.
- Roelofs, P. F. M. M., P. J. J. M. Nooijen, and P. C. Vesseur. 1999. *Haalbaarheid van luchtdesinfectie door UV-straling in varkensstallen [Feasibility of air disinfection by UV radiation inside pig houses; in Dutch, with English summary]*. Proefverslag Praktijkonderzoek Varkenshouderij P1.230. Rosmalen, the Netherlands: Praktijkonderzoek Varkenshouderij.
- 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*. Proefverslag nummer P 1.253. Rosmalen, the Netherlands: Praktijkonderzoek Varkenshouderij.
- Roest, H. I. J., J. J. H. C. Tilburg, W. Van Der Hoek, P. Vellema, F. G. Van Zijderveld, C. H. W. Klaassen, and D. Raoult. 2011. The Q fever epidemic in the Netherlands: History, onset, response and reflection. *Epidemiology and Infection* 139(1): 1-12.
- Rosentrater, K. A. 2003. Performance of an electrostatic dust collection system in swine facilities. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal* Manuscript BC 03 003. May, 2003.
- Samadi, S., F. J. C. M. Van Eerdenburg, A. R. Jamshidifard, G. P. Otten, M. Droppert, D. J. J. Heederik, and I. M. Wouters. 2012. The influence of bedding materials on bio-aerosol exposure in dairy barns. *J. Expos. Sci. Environ. Epidemiol.* 22(4):361-368.
- Samoli, E., A. Analitis, G. Touloumi, J. Schwartz, H. R. Anderson, J. Sunyer, L. Bisanti, D. Zmirou, J. M. Vonk, J. Pekkanen, P. Goodman, A. Paldy, C. Schindler, and K. Katsouyanni. 2005. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ. Health Perspect.* 113(1):88-95.
- Seedorf, J., J. Hartung, M. Schröder, K. H. Linkert, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70(1):97-109.
- Seedorf, J., and J. Hartung. 1999. Reduction efficiencies of a biofilter and a bioscrubber for bioaerosols from two different piggeries. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 112(12):444-447.
- Smit, L. A. M., D. Heederik, G. Doekes, C. Blom, I. van Zweden, and I. M. Wouters. 2008. Exposure-response analysis of allergy and respiratory symptoms in endotoxin-exposed adults. *Eur. Respir. J.* 31(6):1241-1248.
- Sun, Z., X. An, Y. Tao, and Q. Hou. 2013. Assessment of population exposure to PM10 for respiratory disease in Lanzhou (China) and its health-related economic costs based on GIS. *Bmc Public Health* 13.
- Takai, H., and S. Pedersen. 2000. Comparison study of different dust control methods in pig buildings. *Applied Engineering in Agriculture* 16(3):269-277.
- Takai, H. 2007. Factors influencing dust reduction efficiency of spraying of oilwater mixtures in pig buildings. In *DustConf 2007 - How to improve air quality*. Maastricht, the Netherlands.
- Teunis, P. F. M., N. J. D. Nagelkerke, and C. N. Haas. 1999. Dose response models for infectious gastroenteritis. *Risk Analysis* 19(6):1251-1260.
- Teunis, P. F. M., W. van den Brandhof, M. Nauta, J. Wagenaar, H. van den Kerkhof, and W. van Pelt. 2005. A reconsideration of the Campylobacter dose - Response relation. *Epidemiology and Infection* 133(4):583-592.

- Teunis, P. F. M., I. D. Ogden, and N. J. C. Strachan. 2008. Hierarchical dose response of E. coli O157:H7 from human outbreaks incorporating heterogeneity in exposure. *Epidemiology and Infection* 136(6):761-770.
- Teunis, P. F. M., F. Kasuga, A. Fazil, I. D. Ogden, O. Rotariu, and N. J. C. Strachan. 2010. Dose-response modeling of Salmonella using outbreak data. *International Journal of Food Microbiology* 144(2):243-249.
- Teunis, P. F. M., M. Koningstein, K. Takumi, and J. W. B. Van Der Giessen. 2012. Human beings are highly susceptible to low doses of Trichinella spp. *Epidemiology and Infection* 140(2):210-218.
- Tigertt, W. D., A. S. Benenson, and W. S. Gochenour. 1961. Airborne Q fever. *Bacteriological reviews* 25:285-293.
- Tymczyna, L., A. Chmielowiec-Korzeniowska, and A. Drabik. 2007. The effectiveness of various biofiltration substrates in removing bacteria, endotoxins, and dust from ventilation system exhaust from a chicken hatchery. *Poult. Sci.* 86(10):2095-2100.
- Uenk, G. H., G. J. Monteny, and T. G. M. Demmers. 1993. *Vermindering ammoniak-emissie door gebruik van biofilters : PROPRO - project luchtzuivering vleesvarkensstallen [Reduction of ammonia emission from pig houses using biofilters]*. Report 93-28. Wageningen, the Netherlands: IMAG-DLO.
- Ukens, T., S. Millet, N. Van Ransbeeck, S. Van Weyenberg, H. Van Langenhove, and P. Demeyer. 2014. The effect of different pen cleaning techniques and housing systems on indoor concentrations of particulate matter, ammonia and greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O). *Livest. Sci.* 159(1):123-132.
- Van't Klooster, C. E. 1991. *Verlagen van het stofgehalte van de lucht in varkensstallen: resultaten anno 1991*. Proefverslag / Proefstation voor de Varkenshouderij P1.70. Rosmalen, the Netherlands: Proefstation voor de Varkenshouderij.
- van't Klooster, C. E., P. F. M. M. Roelofs, and L. A. den Hartog. 1993. Effects of filtration, vacuum cleaning and washing in pighouses on aerosol levels and pig performance. *Livestock Production Science* 33(1-2):171-182.
- van Cleef, B. A., E. J. M. Verkade, M. W. Wulf, A. G. Buiting, A. Voss, X. W. Huijsdens, W. van Pelt, M. N. Mulders, and J. A. Kluytmans. 2010. Prevalence of Livestock-Associated MRSA in Communities with High Pig-Densities in The Netherlands. *PLoS ONE* 5(2).
- Van de Sande-Schellekens, A. L. P., and G. B. C. Backus. 1993. *Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO [Experiences with biofilters on PROPRO farms with fattening pigs]*. Proefverslag nummer P1.99. Rosmalen, the Netherlands: Proefstation voor de Varkenshouderij.
- Van Emous, R. A., A. Winkel, and N. W. M. Ogink. 2009. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: indicatieve evaluatie van het scharrelstelsel met gescheiden strooiselruimte [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: indicative evaluation of the housing system with separated floor bedding]*. Report 298. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Animal Sciences Group.
- Van Emous, R. A., and N. Ogink. 2010. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij : verkenning effecten alternatieve lichtschema's op fijnstofemissie bij leghennen [Measures to reduce fine dust from poultry houses : investigation of the effects of light regimes on fine dust in layer houses; in Dutch, with English summary]*. Report 347. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Van Emous, R. A., N. W. M. Ogink, and A. Winkel. 2010. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: gescheiden bedekte strooiselruimten bij legkippen [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: separated covered floor bedding for laying hens]*. Report 299. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Van Harn, J. 2009. *Invulling lichteisen EU welzijnsrichtlijn voor vleeskuikens - vier lichtschema's vergeleken (Comparison of four light schedules according to EU Directive 2007/43 for broilers; in Dutch with English summary)*. Report 172. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Animal Sciences Group.
- Van Harn, J., H. H. Ellen, R. A. v. Emous, J. Mosquera Losada, G. M. Nijeboer, F. A. Gerrits, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2012a. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effect van een waterfilm op het strooisel op de fijnstofemissie bij leghennen in voliëresystemen [Measures to reduce fine dust emission from poultry: effect of water spraying on bedding material on the fine dust emission in aviary housing systems for layers]*. Report 425. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Van Harn, J., H. H. Ellen, J. W. H. Huis in 't Veld, and N. W. M. Ogink. 2012b. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effecten van de aanbrenghrequentie van een waterfilm op het strooisel bij leghennen in voliëresystemen [Measures to reduce fine dust from poultry housings: effects of the frequency of water sprayin on the litter floor in aviary housing systems for laying hens]*. Report 565. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.

- Van Harn, J., H. H. Ellen, R. A. v. Emous, and N. W. M. Ogink. 2013. *Maatregelen ter vermindering van de fijnstofemissie uit pluimveestallen: effecten van het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm op het strooisel bij leghennen in voliëresystemen [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: effects of application of an acidified water film on the litter floor of laying hen houses with aviary housing systems]*. Report 573. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Wathes, C. M., T. G. M. Demmers, N. Teer, R. P. White, L. L. Taylor, V. Bland, P. Jones, D. Armstrong, A. C. J. Gresham, J. Hartung, D. J. Chennells, and S. H. Done. 2004. Production responses of weaned pigs after chronic exposure to airborne dust and ammonia. *Animal Science* 78:87-97.
- Wesseling, J., S. Van der Zee, and A. Van Overveld. 2011. *Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit*. RIVM Rapport 680705019/2011. Bilthoven, the Netherlands: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Winkel, A., T. G. van Hattum, and A. J. A. Aarnink. 2009. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ontwikkeling van een oliefilmsysteem voor leghennen in voliërehuisvesting [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: development of an oil spraying system for layers in aviary housing]*. Report 286. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. M. G. Hol, and N. W. M. Ogink. 2010. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: indicatieve evaluatie van biofiltratie als potentiële fijnstofreductietechniek [Measures to reduce fine dust emission from poultry: indicative evaluation of biofiltration as potential fine dust reduction technique]*. Report 313. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. W. H. Huis in't Veld, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011a. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op vleeskuikenbedrijven [Measures to reduce fine dust emission from poultry: validation of an ionization system on broiler farms]*. Report 462. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. van Harn, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011b. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op vleeskuikenbedrijven [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of an oil spraying system on broiler farms; in Dutch, with English summary]*. Report 392. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., M. M. A. H. H. Smolders, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2011c. *Plan van aanpak voor ontwikkeling van fijnstofreductiemethoden in varkensstallen [Plan of action for development of dust reduction principles inside pig houses]*. Report 395. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. D. M. Belgers, B. Peters, I. Vermeij, and H. H. Ellen. 2012a. *Ontwikkeling en evaluatie van technieken ter verlaging van stofconcentraties in varkensstallen [Development and evaluation of techniques to mitigate dust concentrations in pig houses; in Dutch, with English summary]*. Report 654. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, T. G. van Hattum, J. W. H. Huis in't Veld, G. M. Nijeboer, and N. W. M. Ogink. 2012b. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiefilter op leghennenbedrijven [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of an ionisation filter on layer farms]*. Report 440. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., R. A. van Emous, J. Mosquera Losada, G. M. Nijeboer, T. G. van Hattum, J. W. van Riel, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2012c. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie aanbrengen oliefilm op strooisel bij leghennen in voliërehuisvesting [Measures to reduce fine dust emission from poultry: optimization of oil application on litter of aviary housing for layers]*. Report 597. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. W. H. Huis in't Veld, G. M. Nijeboer, K. Blanken, H. Schilder, T. G. Van Hattum, and N. W. M. Ogink. 2013. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmrobot op een leghennenbedrijf [Measures to reduce fine dust emission from poultry: validation of an oil spraying robot on a layer farm]*. Report 686. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., M. Cambra-López, P. W. G. Groot Koerkamp, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2014a. Abatement of particulate matter emission from experimental broiler housings using an optimized oil spraying method. *Trans. ASABE* 57(6):1853-1864.
- Winkel, A., H. H. Ellen, and N. W. M. Ogink. 2014b. *Mogelijkheden voor het vaststellen van emissies van leghennenstallen met een nageschakeld mestdroogsysteem [Possibilities for determining emissions of*

-
- laying hen houses connected to a manure drying system*]. Report 803. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. W. H. Huis in't Veld, G. M. Nijeboer, H. Schilder, T. G. Van Hattum, H. H. Ellen, and N. W. M. Ogink. 2014c. *Emissies uit mestdroogsysteem op leghennenbedrijven bij dagontmesting en versneld drogen [Emissions from manure drying systems on layer farms using 24-h manure removal and rapid drying]*. Report 731. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. W. H. Huis in't Veld, G. M. Nijeboer, and N. W. M. Ogink. 2014d. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op een leghennenbedrijf [Measures to reduce fine dust emission from poultry: validation of an oil spraying system on a layer farm]*. Report 801. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., I. Vermeij, and H. H. Ellen. 2014e. Testing of various techniques for dust reduction in an experimental pig house. In *International Conference of Agricultural Engineering (AgEng), Zurich, July 6-10, 2014*. Zurich, Switzerland: European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng)
- Winkel, A., I. M. Wouters, A. J. A. Aarnink, H. D. J. J., and N. W. M. Ogink. 2014f. *Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: een literatuurstudie voor ontwikkeling van een toetsingskader [Emission of endotoxins from animal production: a literature survey for development of an assessment framework]*. Report 773. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, A. J. A. Aarnink, P. W. G. Groot Koerkamp, and N. W. M. Ogink. 2015a. Evaluation of a dry filter and an electrostatic precipitator for exhaust air cleaning at commercial non-cage laying hen houses. *Biosyst. Eng.* 129:212-225.
- Winkel, A., J. Mosquera, P. W. G. Groot Koerkamp, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2015b. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 111:202-212.
- Zeitler, M. H., M. König, and W. Groth. 1987. The effect of feed form (meal, pelleted, liquid) and season on the concentration and particle size distribution of airborne dust particles in fattening pig sties. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr.* 94(7):420-424.
- Zhao, Y. 2011. Measuring airborne microorganisms and dust from livestock houses. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, M. C. M. De Jong, N. W. M. Ogink, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2011. Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Trans. ASABE* 54(1):285-293.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, R. Dijkman, T. Fabri, M. C. M. de Jong, and P. W. G. G. Koerkamp. 2012. Effects of temperature, relative humidity, absolute humidity, and evaporation potential on survival of airborne Gumboro vaccine virus. *APPL. ENVIRON. MICROBIOL.* 78(4):1048-1054.
- Zucker, B. A., P. Scharf, C. Kersten, and W. Müller. 2005. Influence of an exhaust air washer on the emission of bioaerosols from a duck fattening unit. *Gefahrstoffe Reinhalt. Luft* 65(9):370-373.

Bijlage A: gedetailleerde kosten additionele maatregelen

A.1 Van nature hygiënisch stro(oisel)

De kosten van mesthygiënisatie bedragen circa € 92,- per koe (uitgaande van 230 melkkoeien), terwijl zaagsel circa € 138,- tot € 180,- per koe kost (KWIN, 2014-2015). De meerkosten voor van nature hygiënisch stro(oisel) bedragen dus € 46-88 per koe bij een bedrijfsgrootte van 230 melkkoeien. Bij de helft van dit aantal koeien verdubbelen de kosten voor mesthygiënisatie en is het verschil met van nature hygiënisch stro verdwenen. Van nature hygiënisch stro kan dus vooral op kleinere bedrijven zonder meerkosten uitgevoerd worden.

A.2 Dunnere strooisellaag

Een dunnere strooisel laag kan in pluimveestallen worden gerealiseerd door middel van een strooiselmestschuif die reeds commercieel beschikbaar is op de markt. Op basis van opgevraagde offertes worden de investeringen en jaarkosten in onderstaande tabellen weergegeven voor leghennen en vleeskuikenhouderdieren. Het systeem heeft een motor van 2,2 kW en draait vijf maal per week een half uur. In een leghennenstal zijn twee of drie (rij)systemen nodig.

Tabel A.2.1

Extra investeringskosten en jaarkosten van de strooiselmestschuif bij leghennen, gebaseerd op een standaard leghennenstal met 40.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	20.000	15%	3.000
Totaal	20.000		3.000
Totaal, per dierplaats	0,50		0,075
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,005
Totale kosten, per dierplaats			0,08

Tabel A.2.2.

Extra investeringskosten en jaarkosten van de strooiselmestschuif bij vleeskuikenhouderdieren, gebaseerd op een standaard ouderdierenstal met 21.000 moederdieren en 9% hanen (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	27.500	15%	4.125
Totaal	27.500		4.125
Totaal, per dierplaats	1,20		0,18
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,01
Totale kosten, per dierplaats			0,19

A.3 Varkenstoilet

Op basis van informatie verkregen van een leverancier van het varkenstoilet worden in onderstaande tabel de extra investeringskosten en jaarkosten weergegeven voor het zogenaamde 'ronde varkenstoilet'.

Tabel A.3

Extra investeringskosten en jaarkosten van het ronde varkenstoilet, gebaseerd op een standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	420.000	10%	42.000
Totaal	420.000		42.000
Totaal, per dierplaats	100,00		10,00
Exploitatiekosten, per dierplaats			-
Totale kosten, per dierplaats			10,00

A.4 Oliefilm op varken via applicator (nippel, roller)

Op basis van eerder onderzoek aan deze maatregel, met daarin een kostenraming (Winkel et al., 2012a; Winkel et al., 2014e), worden in onderstaande tabel de extra investeringskosten en jaarkosten van de olie-applicator weergegeven voor een vleesvarkenstal. De afschrijvingstermijn voor het systeem bedraagt 10 jaar. Inclusief rente en onderhoud bedraagt het percentage jaarkosten circa 14,5%. Naast de extra jaarkosten vanwege de investeringen zijn er ook exploitatiekosten door het oliegebruik van circa 2 liter per dierplaats per jaar. Dit kost € 2,80. Er worden geen verbetering van technische resultaten opgevoerd als compensatie van de kosten, hoewel er voorzichtige aanwijzingen zijn dat de gezondheid van de dieren mogelijk wel verbetert (Winkel et al., 2012a; Winkel et al., 2014e). Met deze conservatieve (veilige) schatting zullen de kosten toenemen met € 4,50 per dierplaats.

Tabel A.4

Extra investeringskosten en jaarkosten van de olie-applicator voor vleesvarkens, gebaseerd op een standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	50.000	14,5%	7.200
Totaal	50.000		7.200
Totaal, per dierplaats	11,90		1,70
Exploitatiekosten, per dierplaats			2,80
Totale kosten, per dierplaats			4,50

A.5 Positieve ionisatie in de stal

Er is één firma bekend welke positieve ionisatie heeft ontwikkeld voor toepassing binnen stallen. Op basis van de door deze firma verstrekte informatie worden in onderstaande tabellen de extra investeringskosten en jaarkosten van positieve ionisatie weergegeven voor een leghennenstal, vleeskuikenstal en vleesvarkensstal. De systemen kenmerken zich door zeer laag energieverbruik en lage onderhoud- en reinigingskosten. Er worden geen te vervangen filters toegepast, maar het stof wordt op een collectorplaat in het apparaat opgevangen.

Tabel A.5.1

Extra investeringskosten en jaarkosten van positieve ionisatie, gebaseerd op een standaard leghennenstal met 40.000 dieren (KWIN, 2014-2015) en een gemiddeld ventilatieniveau van 3,3 m³/uur per dier.

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	150.000	13%	19.500
Totaal	150.000		19.500
Totaal, per dierplaats	5,00		0,65
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,18
Totale kosten, per dierplaats			0,83

Tabel A.5.2

Extra investeringskosten en jaarkosten van positieve ionisatie, gebaseerd op twee standaard vleeskuikenstallen met elk 45.000 dieren (KWIN, 2014-2015) en elk een gemiddeld ventilatieniveau van 2,3 m³/uur per dier.

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	240.000	13%	31.200
Totaal	240.000		31.200
Totaal, per dierplaats	2,65		0,35
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,10
Totale kosten, per dierplaats			0,45

Tabel A.5.3

Extra investeringskosten en jaarkosten van positieve ionisatie, gebaseerd op een standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015) bestaande uit 18 afdelingen, met een gemiddeld ventilatieniveau van 30 m³/uur per dier.

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	135.000	13%	17.550
Totaal	135.000		17.550
Totaal, per dierplaats	32,00		4,18
Exploitatiekosten, per dierplaats			1,15
Totale kosten, per dierplaats			5,33

A.6 Ionisatoren met koolstofborsteltjes

Op basis van informatie verkregen van een firma welke ionisatoren met koolstofborsteltjes en een lampfitting op de markt brengt voor toepassing in stallen bedraagt de investering voor deze techniek tussen de € 4,- en € 6,- per m² voor pluimveestallen. Voor vleeskuikenstallen is het bedrag per m² lager dan voor leghennen. Voor een vleesvarkensstal wordt de investering op € 15 per m² geschat en voor melkveestallen ligt dit rond de € 25 per m². Het energieverbruik ligt tussen de 0,05 en 0,2 Watt/m² en de installatie dient, in geval van het MDV-certificaat, 24 uur per dag en 365 dagen per jaar aan te staan.

Tabel A.6.1

Extra investeringskosten en jaarkosten van ionisatoren met koolstofborsteltjes, gebaseerd op een standaard leghennenstal met 40.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	12.000	15%	1.800
Totaal	12.000		1.800
Totaal, per dierplaats	0,30		0,045
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,01
Totale kosten, per dierplaats			0,05

Tabel A.6.2

Extra investeringskosten en jaarkosten van ionisatoren met koolstofborsteltjes, gebaseerd op twee standaard vleeskuikenstallen met elk 45.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	16.000	15%	2.400
Totaal	16.000		2.400
Totaal, per dierplaats	0,18		0,027
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,01
Totale kosten, per dierplaats			0,03

Tabel A.6.3

Extra investeringskosten en jaarkosten van ionisatoren met koolstofborsteltjes, gebaseerd op een standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	60.000	15%	9.000
Totaal	60.000		9.000
Totaal, per dierplaats	14,25		2,14
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,03
Totale kosten, per dierplaats			2,17

A.7 Koeling ingaande lucht (verlaging debiet)

Er zijn twee systemen op de markt beschikbaar voor koeling van de ingaande lucht om hiermee het ventilatiedebiet, nodig om de warmtelast van de dieren af te voeren tot een optimale binnentemperatuur, te verminderen. Voor vleeskuikens bestaat er het zogenaamde 'TerraSea' systeem. Bij vleesvarkens kan de ingaande lucht gekoeld worden met behulp van luchtconditionering via warmte-koudeopslag (WKO). Op basis van informatie verkregen van de leveranciers en op basis van een recente rapportage (Ellen et al., 2014c) zijn de onderstaande tabellen de extra investeringskosten en jaarkosten van de systemen weergegeven voor een vleeskuikenstal, vleesvarkenstal en zeugenstal. Onder de tabellen wordt tevens een vergelijking weergegeven met deze kosten met een chemische luchtwasser op basis van voornoemde rapport van Ellen et al. (2014).

Tabel A.7.1

Extra investeringskosten en jaarkosten van het luchtkoelsysteem voor vleeskuikens, gebaseerd op twee standaard vleeskuikenstallen met elk 45.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	450.000	13%	58.500
Totaal	450.000		58.500
Totaal, per dierplaats	5,00		0,65
Exploitatiekosten, per dierplaats			-0,13
Totale kosten, per dierplaats			0,52

Tabel A.7.2

Extra investeringskosten en jaarkosten van het luchtkoelsysteem voor vleesvarkens, gebaseerd op een standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	295.000	12,25%	36.150
Totaal	295.000		36.150
Totaal, per dierplaats	70,00		8,60
Exploitatiekosten, per dierplaats			4,70
Totale kosten, per dierplaats			13,30

Ten opzichte van een chemische luchtwasser is de extra investering € 36 per dierplaats maar door een besparing van € 2 per dierplaats op de energiekosten zijn de kosten uiteindelijk vergelijkbaar.

A.8 Elektrostatische precipitator (ESP)

Dit systeem is reeds opgenomen in de Rav systematiek als 'ionisatiefilter' (Rav code E 7.5) op basis van een validatiestudie aan een prototype ESP nageschakeld aan leghennenstallen (Winkel et al., 2015a; Winkel et al., 2012b). Hoewel dit systeem formeel dus reeds beschikbaar is, is er nog een aanzienlijke doorontwikkeling mogelijk, zodat dit systeem toch als perspectievolle maatregel in dit hoofdstuk wordt meegenomen. Voor bestaande systemen zijn de extra investeringen en jaarkosten reeds vijf jaar geleden ingeschat (Ellen et al., 2011). Ze worden hier nogmaals weergegeven. De afschrijvingstermijn voor het ionisatiefilter is tien jaar. Er is nauwelijks onderhoud aan het systeem. Samen met de rente zijn de jaarkosten 12,5% van de investering. Het energieverbruik is zeer laag. Het ionisatiedeel heeft een vermogen van 30 watt en draait continu. Het geautomatiseerde schoonmaaksysteem wordt aangedreven door twee elektromotoren van elk 250 watt en deze draaien elk 30 minuten per dag.

Tabel A.8.1

Extra investeringskosten en jaarkosten van het ionisatiefilter, gebaseerd op een standaard leghennenstal met 40.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	110.000	12,5	13.750
Totaal	110.000		13.750
Totaal, per dierplaats	2,75		0,35
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,01
Totale kosten, per dierplaats			0,36

Tabel A.8.2

Extra investeringskosten en jaarkosten van het ionisatiefilter, gebaseerd op twee standaard vleeskuikenstallen met elk 45.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	250.000	12,5	31.250
Totaal	250.000		31.250
Totaal, per dierplaats	2,78		0,35
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,03
Totale kosten, per dierplaats			0,38

Tabel A.8.3

Extra investeringskosten en jaarkosten van het ionisatiefilter, gebaseerd op een standaard vleesvarkensstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	150.000	12,5	18.750
Totaal	150.000		18.750
Totaal, per dierplaats	36		4,46
Exploitatiekosten, per dierplaats			0,01
Totale kosten, per dierplaats			4,47

A.9 Luchtwassing met oxiderende middelen

Voor het berekenen van de investeringskosten en jaarkosten van luchtwassing met oxiderende middelen is de situatie van een chemische wasser als uitgangspunt genomen. Het belangrijkste verschil tussen een chemische wasser en een wasser met oxiderende middelen is dat het spuiwater een andere samenstelling en hoeveelheid kent. De jaarkosten van een chemische wasser voor de behandeling van stallucht, exclusief kosten voor zuur en afvoer spuiwater, bedragen € 9,40 (excl. BTW) per vleesvarkensplaats.

Door nu eenzelfde wasser voor te stellen met een ander chemicaliëngebruik kan globaal de exploitatiekosten berekend worden op basis van eerder onderzoek door Aarnink et al. (2004). In deze studie werd luchtwassing bestudeerd met waterstofperoxide, per-azijnzuur en ozon. Aangezien er in deze studie nog geen poging is gedaan om het gebruik van chemicaliën te optimaliseren, dat wil zeggen vast te stellen welke hoeveelheid chemicaliën nodig is om een gewenste kiemreductie te bereiken, zal het chemicaliëngebruik in werkelijkheid waarschijnlijk lager liggen dan in de experimenten. Daarom wordt in de kostenberekening aangenomen dat het chemicaliëngebruik een factor 10 lager ligt dan in deze studie.

Tabel A.9.1

Schatting van de kosten voor een luchtwasser met een oxiderend middel, op basis van de gegevens uit Aarnink et al. (2004), voor een standaard vleesvarkensstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015) en een gemiddeld ventilatieniveau van 35 m³/uur per dier.

Oxidatiemiddel	Jaarkosten en exploitatiekosten luchtwasser (€ per dierplaats), excl. BTW	Kosten voor oxidatiemiddel (€ per dierplaats per jaar), excl. BTW	Totale kosten (€ per dierplaats per jaar), excl. BTW
Standaard: zwavelzuur (chemische wasser, 95% reductie NH ₃)	9,40	1,0	10
Chloriden	9,40	0,0	9
Ozon	9,40	83 *	93
Waterstofperoxide	9,40	5,7 ‡	15
Peroxone	9,40	?	?
Per-azijnzuur	9,40	35 ‡	48
EOW	9,40	?	?

* Berekening van de exploitatiekosten van ozongeneratie is overgenomen uit Aarnink et al. (2004). Wanneer de benodigde hoeveelheid ozon 10 maal zo laag is, wordt aangenomen dat de kosten van ozongeneratie met een factor 5 dalen.

‡ Er wordt vanuit gegaan dat het chemicaliëngebruik als gevolg van optimalisatie 10 maal zo laag is als in de experimenten in Aarnink et al. (2004).

Voor de andere diercategorieën worden de kosten afgeleid van vleesvarkens. Bij vleesvarkens zijn de kosten gebaseerd op een ventilatiedebiet van gemiddeld 35 m³ per dierplaats per uur. Voor vleeskuikens is een gemiddeld ventilatiedebiet aangehouden van 3,25 m³ per dierplaats per uur. De kosten voor chemicaliën voor de verschillende wassers worden daarom met 3,25/35 vermenigvuldigd. Voor leghennen is een gemiddeld ventilatiedebiet aangehouden van 2,33 m³ per dierplaats per uur. De kosten voor chemicaliën voor de verschillende wassers worden daarom met 2,3/35 vermenigvuldigd.

Tabel A.9.2

Schatting van de kosten voor een luchtwasser met een oxiderend middel voor een leghennenstal met 40.000 dieren (KWIN, 2014-2015) en een gemiddeld ventilatieniveau van 3,25 m³/uur per dier, afgeleid uit de gegevens uit Aarnink et al. (2004) op basis van het ventilatiedebiet.

Oxidatiemiddel	Jaarkosten en exploitatiekosten luchtwasser (€ per dierplaats), excl. BTW	Kosten voor oxidatiemiddel (€ per dierplaats per jaar), excl. BTW	Totale kosten (€ per dierplaats per jaar), excl. BTW
Standaard: zwavelzuur (chemische wasser, 95% reductie NH ₃)	1,18	0,11	1,29
Chloriden	1,18	0,00	1,18
Ozon	1,18	9	10,18
Waterstofperoxide	1,18	0,62	1,80
Peroxone	1,18	?	?
Per-azijnzuur	1,18	3,80	4,98
EOW	1,18	?	?

* Berekening van de exploitatiekosten van ozongeneratie is overgenomen uit Aarnink et al. (2004). Wanneer de benodigde hoeveelheid ozon 10 maal zo laag is, wordt aangenomen dat de kosten van ozongeneratie met een factor 5 dalen.

‡ Er wordt vanuit gegaan dat het chemicaliëngebruik als gevolg van optimalisatie 10 maal zo laag is als in de experimenten in Aarnink et al. (2004).

Tabel A.9.3

Schatting van de kosten voor een luchtwasser met een oxiderend middel voor twee standaard vleeskuikenstallen met elk 45.000 dieren (KWIN, 2014-2015) en een gemiddeld ventilatieniveau van 2,33 m³/uur per dier, afgeleid uit Aarnink et al. (2004) op basis van het ventilatiedebiet.

Oxidatiemiddel	Jaarkosten en exploitatiekosten luchtwasser (€ per dierplaats), excl. BTW	Kosten voor oxidatiemiddel (€ per dierplaats per jaar), excl. BTW	Totale kosten (€ per dierplaats per jaar), excl. BTW
Standaard: zwavelzuur (chemische wasser, 95% reductie NH ₃)	1,06	0,03	1,09
Chloriden	1,06	0,00	1,06
Ozon	1,06	6,00	7,06
Waterstofperoxide	1,06	0,40	1,46
Peroxone	1,06	?	?
Per-azijnzuur	1,06	2,32	3,38
EOW	1,06	?	?

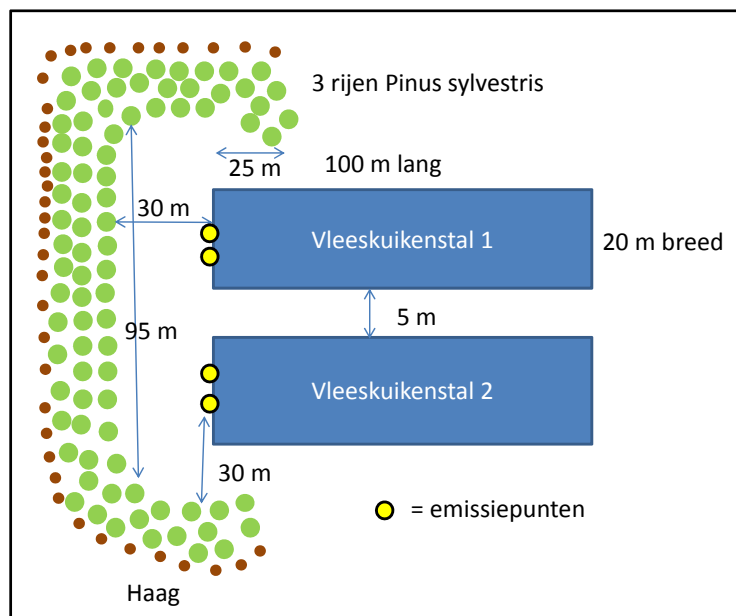
* Berekening van de exploitatiekosten van ozongeneratie is overgenomen uit Aarnink et al. (2004). Wanneer de benodigde hoeveelheid ozon 10 maal zo laag is, wordt aangenomen dat de kosten van ozongeneratie met een factor 5 dalen.

‡ Er wordt vanuit gegaan dat het chemicaliëngebruik als gevolg van optimalisatie 10 maal zo laag is als in de experimenten in Aarnink et al. (2004).

A.10 Vegetatieve buffers rond stallen

De kostenberekening in deze paragraaf is gebaseerd op een vegetatieve buffer bestaande uit drie rijen bomen (de Grove Den, *Pinus sylvestris*) rondom de emissiepunten van stallen op een bedrijf. Om deze drie rijen heen wordt er een beukenhaag gedacht. De eerste rij Grove Den wordt 30 meter van de emissiepunten geplant als grote boom met een hoogte van circa 7 meter. De doorsnee van de kruin van deze bomen is 5 tot 7 meter. De bomen worden daarom met 6 m tussenafstand gepoot. De andere twee rijen worden (om kosten te besparen) geplant met jonge bomen. Ook de beukenhaag wordt aangelegd met jonge aanplant om kosten te besparen. Deze vegetatieve buffer wordt doorgerekend voor een leghennenbedrijf, vleeskuikenbedrijf, zeugenbedrijf, vleesvarkensbedrijf en melkveebedrijf.

Onderstaand figuur schetst de situatie op het standaard vleeskuikenbedrijf met twee stallen met elk 45.000 dieren. Twee stallen bevinden zich naast elkaar op 5 meter afstand en hebben elk afmetingen van 100 meter lang en 20 meter breed. De emissiepunten liggen in de eindgevels van de stallen, zodat daaromheen de groenelementen worden aangebracht. De eerste rij bomen is $30\text{ m} + 15\text{ m} + 5\text{ m} + 15\text{ m} + 30\text{ m} = 95$ meter lang en aan de zijkant van de stal $30 + 25$ m breed. De totale lengte van de eerste rij is 205 meter. De omtrek van de tweede rij is groter omdat deze 7 meter verder naar buiten staat. De lengte hiervan is 230 m. De derde rij heeft dan een lengte van 255 m. De beukenhaag hieromheen heeft een lengte van zo'n 260 m.



Plattegrond van de vegetatieve buffer bestaande uit drie rijen Grove Den (*Pinus Sylvestris*) en een beukenhaag voor het standaard vleeskuikenbedrijf met twee stallen

Voor de *Pinus sylvestris* 500-600 wordt een aanschafprijs van € 1.000,- per stuk aangenomen. Voor 205 meter lengte zijn 34 bomen nodig. Voor de tweede rij wordt uitgegaan van een *Pinus sylvestris* 400-450 met een aanschafprijs van € 550,- per stuk. Voor 230 meter lengte zijn 38 bomen nodig. Voor de derde rij wordt uitgegaan van een *Pinus sylvestris* 175-200 met een geschatte aanschafprijs van € 100,- per stuk. Voor 255 meter lengte zijn 42 bomen nodig. De beukenhaag heeft een aanschafprijs van € 10,- per strekkende meter.

Op basis van bovenstaande situatieschets en prijzen wordt het kostenplaatje voor het standaard vleeskuikenbedrijf als volgt:

Tabel A.10.1

Extra investeringskosten en jaarkosten van de vegetatieve buffer, gebaseerd op twee standaard vleeskuikenstallen met elk 45.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	82.000	5,5	4.500
Totaal	82.000		4.500
Totaal, per dierplaats	0,91		0,05
Exploitatiekosten, per dierplaats			-
Totale kosten, per dierplaats			0,05

Op soortgelijke manier worden de kosten voor de overige stallen berekend. De investeringsbedragen wijken enigszins af van tabel A.10.1 vanwege andere stalbreedtes bij leghennen, vleesvarkens en melkvee.

Tabel A.10.2

Extra investeringskosten en jaarkosten van de vegetatieve buffer, gebaseerd op een standaard leghennenstal met 40.000 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	75.000	5,5	4.125
Totaal	75.000		4.125
Totaal, per dierplaats	1,88		0,10
Exploitatiekosten, per dierplaats			-
Totale kosten, per dierplaats			0,10

Tabel A.10.3

Extra investeringskosten en jaarkosten van de vegetatieve buffer, gebaseerd op een standaard vleesvarkenstal met 4.200 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	88.000	5,5	4.850
Totaal	88.000		4.850
Totaal, per dierplaats	21,00		1,15
Exploitatiekosten, per dierplaats			-
Totale kosten, per dierplaats			1,15

Tabel A.10.4

Extra investeringskosten en jaarkosten van de vegetatieve buffer, gebaseerd op een standaard melkveestal met 100 dieren (KWIN, 2014-2015).

	Investering (€), excl. BTW	Jaarkosten (% van invest.)	Jaarkosten (€), excl. BTW
Investeringen			
- Bouwkundig	-	-	-
- Installaties	80.000	5,5	4.400
Totaal	80.000		4.400
Totaal, per dierplaats	800,00		44,00
Exploitatiekosten, per dierplaats			-
Totale kosten, per dierplaats			44,00

Bijlage B: samenstelling klankbordgroep

Jan de Rijk	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Kaj Locher	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Edwin Cornelissen	Kenniscentrum InfoMil, Rijkswaterstaat
Folkert Folkertsma	Ministerie van Economische Zaken
Rob Scholtens	Provincie Noord-Brabant
Henk ter Horst	Provincie Gelderland
Frank Toemen	Gemeente Ede
Fred Stouthart	Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant
Steven van der Lelie	GGD Noord- en Oost-Gelderland
Renske Nijdam	GGD Brabant
Jan Brok	Nederlandse Vakbond Pluimveehouders
Herman Litjens	ZLTO, LTO Nederland
Hugo Bens	ZLTO

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



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

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 10.000 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.

