



Stalmaatregelen voor het reduceren van geuremissie uit de intensieve veehouderij

Barn measures to reduce odour emission from intensive livestock farming

A. Winkel, H.H. Ellen, A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

A. Winkel, H.H. Ellen, A.J.A. Aarnink, N.W.J. Ogink, 2018. *Stalmaatregelen voor het reduceren van geuremissie uit de intensieve veehouderij [Barn measures to reduce odour emission from intensive livestock farming]*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1115.

Synopsis

Deze studie geeft een overzicht van bestaande en perspectievolle maatregelen waarmee de emissie van geur uit stallen in de intensieve veehouderij kan worden verminderd. De resultaten van deze studie dienen ter ondersteuning van beleidsvorming en de evaluatie van de Wet geurhinder en veehouderij.

Abstract

This study provides an overview of existing and new measures which can be used to reduce emissions of odour from barns in intensive livestock farming. The results of this study serve policy making and the evaluation of the Dutch act on odour nuisance and livestock farming.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/453477> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2018 Wageningen Livestock Research

Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Wageningen 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.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1115

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Woord vooraf | 5 |
| | Samenvatting | 7 |
| 1 | Inleiding | 10 |
| | 1.1 Probleembeschrijving en aanleiding | 10 |
| | 1.2 Doel | 10 |
| | 1.3 Afbakening | 10 |
| 2 | Introductie in bronnen, processen en meetmethoden van geur | 12 |
| | 2.1 Bronnen van geur uit stallen | 12 |
| | 2.1.1 Varkenshouderij | 12 |
| | 2.1.2 Pluimveehouderij | 13 |
| | 2.2 Meten van geur uit stallen | 14 |
| 3 | Inventarisatie en beoordeling maatregelen | 17 |
| | 3.1 Verminderen geurvorming in mest via voer | 19 |
| | 3.2 Verminderen mest als geurbron | 21 |
| | 3.3 Maatregelen m.b.t. ventilatie en luchtbehandeling | 27 |
| | 3.4 Maatregelen 'out-of-pipe' | 30 |
| | 3.5 Geurreductie door stofreductie? | 30 |
| | 3.6 Geurreductie door combinatie van maatregelen | 32 |
| | 3.7 Geurreductie bij enkele andere bronnen | 32 |
| 4 | Conclusies | 34 |
| | 4.1 Bestaande maatregelen | 34 |
| | 4.2 Perspectievolle nieuwe maatregelen | 35 |
| | Literatuur | 37 |
| | Bijlage A: samenstelling klankbordgroep | 42 |

Woord vooraf

Dit rapport geeft een overzicht van bestaande en perspectiefvolle maatregelen waarmee de emissie van geur uit stallen in de intensieve veehouderij kan worden verminderd. De resultaten van deze studie dienen ter ondersteuning van beleidsvorming en de evaluatie van de Wet geurhinder en veehouderij.

Deze onderzoeksopdracht is uitgevoerd binnen het kader van het Beleidsondersteunend Onderzoek van het Ministerie van Economische Zaken, thema Agro – Mest, Milieu en Klimaat (BO-20-004), met financiering van het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

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

dr.ir. A. (Albert) Winkel

Samenvatting

Probleembeschrijving en doel

Veehouderijen stoten met hun ventilatielucht geur uit die bij omwonenden van die stallen kan leiden tot geurhinder, verstoring van gedrag en activiteiten, en stressgerelateerde gezondheidsklachten. Regulering van geurhinder nabij stallen vindt plaats d.m.v. de Wet geurhinder en veehouderij. Recent is een evaluatie van deze wet afgerond. Uit die evaluatie blijkt dat het voorschrijven van Beste Beschikbare Technieken (BBT) onderdeel van de oplossing is om te komen tot een lagere geurbelasting van omwonenden van veehouderijen. Er is echter weinig inzicht in welke maatregelen als BBT kunnen worden beschouwd. Binnen die context heeft deze studie tot doel een overzicht te bieden van – en inzicht te verkrijgen in – maatregelen waarmee de emissie van geur uit stallen voor varkens en pluimvee kan worden verminderd. De resultaten van deze studie dienen ter ondersteuning van de evaluatie van de Wet geurhinder en veehouderij en verdere beleidsvorming.

Werkwijze

Bestaande en perspectievolle nieuwe maatregelen zijn verkregen door een inventarisatie van maatregelen in de Regeling geur en veehouderij inclusief de daaraan ten grondslag liggende onderzoeksrapporten en het uitvoeren van een literatuuronderzoek. Bij het literatuuronderzoek is uitputtendheid nagestreefd. In totaal zijn ruim honderd Engelstalige wetenschappelijke artikelen en Nederlandstalige onderzoeksrapporten verkregen. Alle publicaties zijn gedownload, gearchiveerd en nader bestudeerd. Deze kennis is aangevuld met praktische expertkennis van de auteurs. Maatregelen zijn beoordeeld op o.a. toepasbaarheid, effectiviteit, controleerbaarheid, kostenniveau en eventuele neveneffecten.

Resultaten en conclusies

A. Bestaande maatregelen

Op dit moment kunnen geuremissies uit varkensstallen worden gereduceerd door de volgende bronmaatregelen in de stal:

- Roosters met goede doorlaat toepassen (o.a. metalen driekantroosters; diverse Rav-codes¹ D)
- Verkleind emitterend oppervlak kelder (o.a. stankafsluiters en schuine putwanden; diverse Rav-codes D)
- Toplaag mengmest in kelder koelen (betreft Koeldekstelsysteem, o.a. Rav D 3.2.3)
- Mestbanden onder roostervloer (betreft Kempfarmstelsysteem, Rav D 3.2.16)
- Drijvende ballen in mest in kelder (betreft Balansballensysteem, Rav D 4.1)
- Mestopvang in water (betreft Cavardosysteem, Rav D 3.2.5)
- Mest in kelder aanzuren (betreft o.a. Rav D 3.2.2)

Met uitzondering van de drijvende ballen, hebben bovenstaande maatregelen een geuremissiefactor die 22% lager is dan die van conventionele vleesvarkensstallen (Rav D 3.100)

Op dit moment kunnen geuremissies uit de intensieve veehouderij worden gereduceerd door de volgende end-of-pipe maatregelen:

- Biofilter (alleen pluimvee), met een reductie van 45%
- Chemische luchtwassers (pluimvee, varkens en vleeskalveren), met reducties van 30%
- Biologische luchtwassers (pluimvee, varkens en vleeskalveren), met reducties van 45%
- Gecombineerde luchtwassers (varkens en vleeskalveren), met reducties van 30 en 45%.

¹ Rav-code: in bijlage 1 bij de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) zijn alle huisvestingssystemen voor landbouwhuisdieren opgenomen in een gecodeerde indelingsstructuur van Hoofdcategorieën (rundvee, schapen, geiten, enzovoort) > Diercategorieën > Huisvestingssystemen. De Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) maakt gebruik van dezelfde codering.

Het operationeel/technisch goed blijven werken van biofilters is een zorgpunt. Uit recent onderzoek is gebleken dat gecombineerde luchtwassers een lager rendement hebben dan eerder opgenomen in de Rgv.

Op dit moment kan de geurhinder (niet de geuremissie) t.g.v. intensieve veehouderijen worden gereduceerd door de volgende out-of-pipe maatregelen:

- Het ombuigen van de ventilatiestroom; van horizontaal naar verticaal
- Het vergroten van de uitstroomsnelheid
- Het verhogen van het emissiepunt (schoorsteenvorming)
- Het verplaatsen van het emissiepunt (verder verwijderd van geurgevoelige receptoren)

Deze maatregelen zijn geen onderdeel van regelingen (Rav, Rgv). Het zijn aanpassingen aan stallen waarmee in de verspreidingsmodellering met V-STACKS vergunningen in de praktijk kan worden gevarieerd om (via atmosferische verdunning) tot een zo klein mogelijke geurbelasting voor de omgeving te komen. Voor geurcomponenten, waarvan geen toxische effecten te verwachten zijn, is het verminderen van hinder via atmosferische verdunning effectief en veilig. Bedacht moet worden dat met deze aanpak mogelijk het verspreidingsgedrag van stofdeeltjes en het endotoxine daarin eveneens verandert: lokale pieken in belasting nabij stallen worden uitgesmeerd over een groter gebied, zodat regionale achtergrondconcentraties mogelijk toenemen. De (gunstige en/of ongunstige) gezondheidseffecten daarvan zijn op dit moment niet bekend.

B. Perspectiefvolle nieuwe maatregelen

De volgende bronmaatregelen in relatie tot voeders voor vleesvarkens zijn als perspectiefvolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Verlagen van het ruweiwitgehalte
- Afstemmen van het ruweiwitgehalte en het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten
- Het minimaliseren van het gebruik van zwavelrijke grondstoffen

Nadere afstemming met de veevoedingsindustrie is nodig om te bepalen in welke mate deze mogelijkheden werkelijk kunnen worden benut bij het samenstellen van voeders, gezien de (reeds lage) ruweiwitgehalten in hedendaagse voeders, actuele grondstoffenprijzen en andere nutritionele eisen die aan voeders worden gesteld. Daarna kunnen ook de (meer)kosten voor voeders worden ingeschat.

De volgende bronmaatregelen voor bestaande pluimveestallen zijn als perspectiefvolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Dunnere meststrooisellaag d.m.v. strooiselmestschuiven. In recent onderzoek is vastgesteld dat het dun houden van de strooiselmestlaag in volièrestallen voor leghennen (max. 2-3 cm) in emissiereducties resulteert van circa 20% voor fijn stof en ammoniak. De techniek is per 15 maart 2017 opgenomen in de Rav en de lijst 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' onder Rav-code E 7.10. Mogelijk reduceert deze techniek ook geur door het verminderen van de hoeveelheid geurbron: metingen tenderen naar een beperkte geurreductie (6 tot 26%), maar deze reductie is niet statistisch significant en daarmee onzeker. Wanneer de wens bestaat het geurreductiepercentage met een grotere mate van betrouwbaarheid vast te stellen om vervolgens op te nemen in de regelgeving, zijn aanvullende geurmetingen nodig. De jaarkosten worden ingeschat op EUR 0,08 per dierplaats voor een standaard leghennenstal en EUR 0,19 per dierplaats voor een standaard ouderdierenstal. De techniek vermindert het leggen van ongewenste 'buitennesteieren' en verkleint de arbeidsbehoefte voor het uitscheppen van strooiselmest. Vanwege deze nevenvoordelen is de bereidheid van legpluimveehouders om deze maatregel te implementeren groot.
- Frequent afdraaien mestbanden (dagelijks of vaker i.p.v. wekelijks of twee maal per week). Deze maatregel vermindert de aanwezigheid van bandenmest in pluimveestallen als bron van geur. De maatregel is toepasbaar in alle huisvestingssystemen voor pluimvee met mestbanden en in zowel bestaande als nieuwe stallen. De kosten beperken zich tot een mogelijk verhoogde slijtage van transportbanden en draaiende delen en hogere elektrakosten. De maatregel reduceert tevens de emissie van ammoniak, maar niet die van fijn stof of endotoxine. De reductie in ammoniak- en geuremissie van deze maatregel t.o.v. twee maal per week en wekelijks afdraaien van mestbanden kan vastgesteld worden volgens een adequaat onderzoeksontwerp in voor de Nederlandse situatie

representatieve en modern uitgeruste stallen voor grond- en volièrehuisvesting. De verkregen relatieve reducties kunnen dan worden toegepast op de absolute (ammoniak en) geuremissies van stalsystemen met twee maal per week of wekelijkse ontmesting.

De volgende maatregelen m.b.t. emissiearme stalontwerpen zijn als perspectiefvolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Afscheiden strooiselruimten in de stal. De strooiselmestlaag vormt in pluimveestallen de belangrijkste bron van stofdeeltjes, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geur. Door strooiselruimten voor "vuil gedrag" (stofbaden, scharrelen) te scheiden van "schoon gedrag" (eten, drinken, leggen en rusten) kunnen emissies van leghennenstallen vermoedelijk belangrijk worden gereduceerd. Verdere uitwerking van deze oplossingsrichting voor nieuwe stalontwerpen en mogelijk tevens bestaande stallen, vereist samenwerking tussen onderzoekers (m.b.t. ontwerpprocessen, emissieprocessen, dierwelzijn en gedrag), bedrijfsleven (stalinrichters, ventilatiefirma's) en sector (pluimveehouders). Het is een oplossingsrichting voor de langere termijn. Er kan geen kostenberekening worden gegeven.
- Varkenstoilet. In vleesvarkenstallen met een zogenaamd varkenstoilet kunnen hokbevuiling en de daaraan verbonden (geur)emissies vermoedelijk worden gereduceerd door gebruik te maken van het zindelijke gedrag van varkens. De jaarkosten bedragen naar schatting EUR 10,- per dierplaats. Voor het beschikbaar komen van reductiepercentages voor ammoniak en geur is emissieonderzoek op vleesvarkensbedrijven noodzakelijk.
- Verlagen debiet (en emissies) door luchtconditionering. Door luchtconditionering kan het ventilatiedebiet worden verminderd en – ten dele – vermoedelijk ook de emissies (als product van debiet maal concentratie) door minder gunstige condities voor vervluchting van geurcomponenten en ammoniak en gunstiger condities voor sedimentatie van stofdeeltjes. Daarnaast maakt een kleiner luchtdebiet kleiner gedimensioneerde en goedkopere end-of-pipe oplossingen mogelijk. Deze oplossingsrichting wordt reeds toegepast in sommige pluimveestallen maar kan uitgebreid worden naar meer diercategorieën. Het is een oplossingsrichting voor de langere termijn. Er kan geen kostenberekening worden gegeven.

De volgende end-of-pipe maatregelen zijn als perspectiefvolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Nabehandeling met koude plasmatechnologie
- Fotokatalytische nabehandeling

Voor beide technieken geldt dat er internationaal slechts enkele studies uitgevoerd zijn naar de effectiviteit en toepassing in de veehouderij. Verder onderzoek en doorontwikkeling is noodzakelijk om deze technieken te optimaliseren en inpasbaar te maken voor veehouderijbedrijven. Het zijn beide oplossingsrichtingen voor de langere termijn. Er kan geen kostenberekening worden gegeven.

1 Inleiding

1.1 Probleembeschrijving en aanleiding

Veehouderijen stoten met hun ventilatielucht geur uit (Rijksoverheid, 2006; Rijksoverheid 2017). Bij omwonenden van veehouderijen kan geuremissie leiden tot geurhinder, verstoring van gedrag en activiteiten, en stressgerelateerde gezondheidsklachten die zowel fysiek als mentaal tot uiting kunnen komen (Venselaar-Mooij et al., 2015). Na een daling in het percentage van geurgehinderden door veehouderijen tussen 1997 en 2011 (CBS, 2012), bestaat de indruk dat in de afgelopen jaren het aantal klachten over geur vanuit veehouderijen zijn toegenomen. Met name in de provincie Noord-Brabant bestaat veel maatschappelijke onrust over dit onderwerp. De provincie Noord-Brabant zet druk om maatregelen te nemen om geurhinder aan te (kunnen) pakken. Begin 2014 heeft dit tot Kamervragen geleid over de werking van de Wet geurhinder en veehouderij (Rijksoverheid, 2006). Daarop heeft de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (I&M) een evaluatie naar de Wet geurhinder en veehouderij toegezegd in een Kamerbrief van 30 april 2015 (Kamerstuk 29 383, nr. 240, ²). De evaluatie is uitgevoerd door een bestuurlijke en ambtelijke werkgroep, met vertegenwoordigers van provincies, gemeenten, sector, milieubeweging en bewonersverenigingen. Het eerste tussenadvies van deze evaluatie is 29 september 2015 naar de Tweede Kamer verstuurd (Kamerstuk 29 383, nr. 244, ³). Het eindadvies van de werkgroep is in oktober 2016 opgeleverd (Verdaas et al., 2016). Uit die evaluatie komt naar voren dat het voorschrijven van Beste Beschikbare Technieken (BBT) onderdeel van de oplossing is om tot een lagere geurbelasting te komen. Er is echter weinig inzicht in welke maatregelen als BBT kunnen worden beschouwd. Naast de ammoniakemissiearme maatregelen waarvoor ook een geurreductie wordt toegekend, zijn er weinig andere maatregelen bekend. Ook is er weinig bekend over de kosten van geurreducerende technieken. De omvang van deze kosten zijn nodig om BBT te kunnen vaststellen.

1.2 Doel

Deze studie heeft tot doel een overzicht te bieden van – en inzicht te verkrijgen in – maatregelen waarmee de emissie van geur uit stallen voor varkens en pluimvee kan worden verminderd. De resultaten van deze studie dienen ter ondersteuning van de evaluatie van de Wet geurhinder en veehouderij en verdere beleidsvorming.

1.3 Afbakening

Deze studie richt zich op maatregelen die de emissie van geur uit de dierruimten in stallen voor varkens en pluimvee, zoals bedoeld in de Regeling geurhinder en veehouderij (Rijksoverheid 2017), kunnen verminderen. Waar mogelijk worden ook de dierruimten voor vleeskalveren meegenomen in de studie. Geen onderdeel van deze studie zijn maatregelen gericht op het verminderen van emissies uit voeropslagen, voerkeukens of mestopslagen, emissies bij mestverwerking of emissies tijdens het uitrijden van mest. Ook beleidsmaatregelen, waaronder afstandsgrenzen of beperkingen van aantallen dieren of stallen, vallen buiten de scope van deze studie. De geurhinder die omwonenden van stallen ervaren is de resultante van verschillende processen en factoren die spelen nadat geuremissie heeft plaatsgevonden, zoals: de gecumuleerde geurbelasting als gevolg van geuremissie uit meerdere stallen in een gebied, de ligging van stallen ten opzichte van bewoning, meteorologische verspreidingscondities, persoonlijke gevoeligheid en psychosociale factoren. Deze studie richt zich op de dierruimten in de stal als emissiebron met als centrale gedachte dat het verminderen van geuremissies zal bijdragen aan het verminderen van geurhinder.

² Kamerstuk online beschikbaar op: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29383-240.html>

³ Kamerstuk online beschikbaar op: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29383-244.html>

1.4 Werkwijze en indeling rapport

Hoofdstuk 2 van dit rapport introduceert de lezer kort in enkele belangrijke aspecten van geurhinder in de veehouderij als kennisbasis voor het lezen van het verdere van het rapport. Vervolgens levert hoofdstuk 3 aan de hand van een inventarisatie van de wetenschappelijke literatuur een overzicht van zowel bestaande als nieuwe maatregelen om geuremissie en geurhinder te verminderen. Deze maatregelen worden beoordeeld t.a.v. bijvoorbeeld hun effectiviteit, neveneffecten/afwenteling, controleerbaarheid en toepasbaarheid. De studie eindigt met conclusies t.a.v. bestaande en nieuwe perspectiefvolle maatregelen om geuremissies uit dierverblijven van stallen in de intensieve veehouderij te reduceren.

2 Introductie in bronnen, processen en meetmethoden van geur

2.1 Bronnen van geur uit stallen

Geur in de veehouderij wordt veroorzaakt door de (microbiologische) afbraak van, veelal organische, componenten in mest, urine en voer (Zhu, 2000). De geur die men ruikt is een mix tussen potentieel enkele honderden verschillende stoffen. Belangrijke groepen van componenten die geur vanuit de veehouderij kunnen veroorzaken zijn: sulfiden, fenolen en indolen, vluchtige vetzuren, ammoniak en vluchtige aminen (Le et al., 2005). De geurconcentratie en geuremissie in de veehouderij wordt dan ook niet bepaald door een enkele component, maar door vele verschillende componenten. Afhankelijk van de specifieke bronnen en de specifieke omstandigheden kunnen steeds andere componenten de belangrijkste bijdrage leveren aan de geurconcentratie. Daarnaast is er ook vaak een interactie tussen de verschillende geurcomponenten, waardoor ze elkaar kunnen verzwakken of juist versterken.

Voordat de geur van een veehouderij bij omwonenden waar te nemen is, zijn een aantal zaken van belang, zoals de vorming van geur bij de bron (dieren, mest, urine en voer), de emissie naar de omgeving en de verspreiding van de geur. Verder spelen nog de eventueel toegepaste luchtbehandeling, inclusief methoden om de lucht te verdunnen, en de afstand tussen het emissiepunt en de geurgevoelige objecten een rol. Om geuroverlast te voorkomen kunnen maatregelen op één van de hiervoor genoemde schakels in de keten aangrijpen. Aanpak zo dicht mogelijk bij de bron heeft daarbij de voorkeur, aangezien dan ook hinder op het bedrijf zelf, voor mens en dier, kan worden voorkomen. Hierna wordt ingegaan op de verschillende bronnen waaruit in de huidige situatie geur kan ontstaan en op de verschillende aspecten die daar een rol bij spelen. Dit is uitgewerkt voor de varkens- en de pluimveehouderij.

2.1.1 Varkenshouderij

Binnen de varkenshouderij zijn er een aantal diergroepen: zeugen zonder biggen (guste en dragende zeugen), zeugen met biggen (kraamzeugen), gespeende biggen, beren, opfokzeugen en -beren en vleesvarkens. Deze diergroepen kunnen binnen één bedrijf voorkomen, maar ook op gespecialiseerde bedrijven. Daar waar van toepassing wordt hierna specifiek op een diergroep ingegaan. Veelal zijn de genoemde aspecten echter van toepassing op alle diergroepen.

Voer

Het voer is in feite de basis van de vorming van geur. Voer kan op zichzelf bijdragen aan de geurvorming, maar zeker nadat het is opgenomen door het dier. Door de vertering in het dier wordt een deel van het opgenomen voer omgezet in mest. De samenstelling en grondstoffen maar ook toevoegingen kunnen een belangrijke rol spelen in de uiteindelijke kwaliteit van de mest en daarmee ook in de geurvorming. Dit is onder andere aangetoond in het promotieonderzoek van Le (2006).

In de varkenshouderij worden twee hoofdvormen van voeding toegepast: droogvoer en brijvoeding. Bij droogvoer wordt het voer in droge vorm aan de dieren aangeboden. Voor vleesvarkens meestal in zogenaamde droogvoerbakken met een enkele vreetplaats, voor dragende zeugen in zogenaamde voerstations. Een automatisch systeem met buizen zorgt voor de vulling van de bakken. Naast de voerbakken zijn drinknippels aanwezig. Bij brijvoer wordt het voer in natte vorm aan de dieren aangeboden. Basis van het voer kan zijn dat het droogvoer wordt gemengd met water, maar veelal wordt het voer op het bedrijf samengesteld uit meerdere, meestal vochtige, componenten. Het betreft hier veelal gefermenteerde bijproducten uit de voedingsindustrie met een zuur karakter. De opslag van deze componenten kan gepaard gaan met een bepaalde geurvorming, maar de indruk bestaat dat ook de mest van dieren gevoerd met brijvoer een andere geur produceert, veelal gekenmerkt door een zuur karakter als gevolg van vluchtige vetzuren van gefermenteerde bijproducten.

Bij de bereiding van brijvoer kan ook veel geur vrijkomen. Ook niet schone apparatuur, leidingen en andere delen van het brijvoersysteem en troggen kunnen geur veroorzaken. Voerresten kunnen bederven en beschimmelen en zijn daarmee een bron van geur. De mate van schoonhouden en het aantal voedingsbeurten en troggrootte, heeft invloed op vermorsing en/of achtergebleven voerresten. Op een aantal bedrijven wordt ruwvoer aan de varkens verstrekt. Als dit buiten, bijvoorbeeld in een sleufsilos, wordt opgeslagen kan dit ook voor geuremissie zorgen.

Mest(opslag)

In de varkenshouderij is mest een belangrijke bron van geuremissie. In een stal zal altijd mest aanwezig zijn. Afhankelijk van de keuze van de varkenshouderij kan dit zelfs tot een jaar zijn. Daarbij wordt de hele stal onderkelderd. Dit komt vooral voor bij vleesvarkens en dragende zeugen. Bij kraamzeugen en gespeende biggen is het meer gebruikelijk om voor een korte periode van mestopslag in de putten onder de hokken te kiezen. Dit i.v.m. de hygiëne. Door de kortere duur van de opslag wordt het proces van geurvorming in de mest doorbroken. Uit onderzoek is gebleken dat door dagontmesting met behulp van een V-vormige mestband de geuremissie sterk kan worden beperkt (Aarnink et al., 2007). Om bij volledige onderkeldering de emissie van geur te beperken kunnen de kelders onder de dichte en roostervloeren van elkaar gescheiden worden door middel van zogenaamde stankafsluiters. Het mestniveau in beide kelders is gelijk, maar er is maar een heel geringe luchtuitwisseling mogelijk uit de kelder onder de dichte vloer (alleen voldoende om niveautoename of -afname mogelijk te maken). In sommige situaties kan de ventilatielucht door de mestput gaan. Dit vergroot de kans op een hogere geuremissie.

Gedrag

Varkens hebben over het algemeen een vast patroon van waar ze eten, liggen/slapen en mesten. Bij een goede indeling van het hok en bij een goed klimaat kan bevuilding van de dichte vloer zoveel mogelijk worden voorkomen. De indruk bestaat dat de mate van hokbevuilding een sterke invloed heeft op de geuremissie (Ellen et al., 2014).

Huisvesting

Bij een groter aandeel dichte vloer (60%) kan er meer hokbevuilding optreden, bij volledige roosters is de hokbevuilding minimaal. Bij gespeende biggen wordt over het algemeen volledig rooster toegepast. Dit kan in de vleesvarkensfase meer hokbevuilding tot gevolg hebben (Ellen et al., 2014). Bij betonroosters is de spleetbreedte van belang. De mest wordt minder goed door 18 mm roosters getrapt (de huidige norm) dan door 20 mm roosters (de vroegere norm), waardoor er meer hokbevuilding plaatsvindt.

Opslag dode dieren

Dode dieren kunnen snel en veel stank produceren. Vanuit IKB-regelgeving wordt echter een gesloten en gekoelde opslag geëist. Daarmee zal de bijdrage van deze activiteit aan geuroverlast naar de omgeving beperkt zijn.

2.1.2 Pluimveehouderij

De pluimveehouderij kent diverse subcategorieën die veelal niet op hetzelfde bedrijf aanwezig zijn. Er zijn diverse onderverdelingen te maken. Een in de sector veel gebruikte is die op basis van eindproduct: de legkolom, gericht op de productie van consumptie-eieren, en de vleeskolom, gericht op de productie van vlees. Ten aanzien van de geuremissie is een indeling naar wel of niet groeiende dieren mogelijk een meer zinvolle. Groeiende dieren geven over het algemeen een toenemende geuremissie tijdens de groeiperiode. Deze ontwikkeling is het sterkst bij vleeskuikens. Bij volwassen dieren is de geuremissie meer afhankelijk van het seizoen (eigenlijk het ventilatiedebiet). Een laatste indeling kan nog worden gemaakt op basis van de wijze van huisvesten; grondhuisvesting, al of niet met volledig strooiselvloer, of kooihuisvesting. Net als bij 'varkenshouderij' wordt hierna ingegaan op de bronnen van geur en daarbij eventueel specifiek op een deelsector indien van toepassing.

Voeding

Evenals bij varkens is de gedachte dat de vorming van geur in de mest via de keuze van grondstoffen of additieven kan worden beïnvloed. Deze beïnvloeding zal dan vooral gaan via de kwaliteit van de mest en dan met name bij die diercategorieën die worden gehouden in stallen met een volledig strooiselvloer. Een eerste indicatief onderzoek bij vleeskuikens met een verschil in voersamenstelling gaf aan dat hier wel mogelijkheden zijn, maar dat er een groot risico bestaat op een hogere ammoniakemissie (Ellen et al., 2017).

In de pluimveehouderij zijn drie vormen van mest aanwezig:

- Mestbandenmest: in stallen met kooihuisvesting en voliërestallen zijn mestbanden aanwezig onder roostervloeren waarop de dieren lopen. De mest wordt met de mestbanden regelmatig (dagelijks tot wekelijks) uit de stal afgevoerd en kan eventueel worden belucht. Deze mest wordt of opgeslagen in een afgedekte container, opgeslagen in een loods, of nagedroogd. Bij de laatste twee genoemde zal extra geur vrijkomen ten opzichte van de stal. In de geurregelgeving is hier echter (nog) geen rekening mee gehouden.
- Strooiselmest: stallen waarin de dieren vrij kunnen bewegen zijn meestal uitgevoerd met strooisel op de vloer. Dit strooisel bestaat echter voor het grootste deel uit mest dat is opgedroogd. Alleen bij de plaatsing van de dieren wordt een dunne laag strooisel aangebracht. Het strooisel dient als absorptielaag voor de geproduceerde mest en als materiaal voor de dieren om in te scharrelen en/of te stofbaden. De indruk bestaat dat in vochtiger strooisel meer geurvorming optreedt als gevolg van anaerobe processen. Een eerste indicatief onderzoek bij vleeskuikens naar beïnvloeding van de strooiselkwaliteit via het voer, wijst in dezelfde richting (Ellen et al., 2017).
- Roostermest: er zijn enkele stalvormen waarin een deel van de stal voorzien is van een verhoogde roostervloer, naast een deel met strooisel. Bekend voorbeeld is de scharrelstal. Mest die op de roosters wordt geproduceerd komt in de put eronder terecht en blijft daar gedurende de hele productieperiode in opslag. Door broei kan hier, naast ammoniak, ook geur ontstaan.

Huisvesting

Het belangrijkste verschil bij pluimvee in huisvesting in relatie tot geur is wel of geen kooihuisvesting. Bij kooihuisvesting met mestbanden is geen strooisel/mest aanwezig in de stal als permanente bron van geur. Dit uit zich ook in de lagere geuremissiefactor voor deze vorm van huisvesting bij de diverse diercategorieën.

Opslag dode dieren

Dode dieren kunnen snel en veel stank produceren. Vanuit IKB-regelgeving wordt echter een gesloten en gekoelde opslag geëist. Daarmee zal de bijdrage van deze activiteit aan geuroverlast naar de omgeving beperkt zijn.

2.2 Meten van geur uit stallen

Voor het meten van geur bestaan internationale standaarden. Metingen kunnen tot doel hebben de geuremissie (bronsterkte) van een bedrijf te bepalen. Daarvoor moet zowel het ventilatiedebiet (m^3/uur) als de geurconcentratie in deze ventilatielucht (Europese odour units, OU_E/m^3) worden bepaald. De geuremissie is dan het product van ventilatiedebiet en de geurconcentratie in de ventilatielucht. In de veehouderij wordt voor het reguleren van de geuruitstoot van stallen de geuremissie uit stalsystemen van de verschillende diercategorieën vastgesteld, uitgedrukt als geuremissiefactor (OU_E/s per aanwezig dier). Als de geuremissiefactor van een stalsysteem bekend is kan hiermee voor bedrijven met een vergelijkbaar stalsysteem de totale geuruitstoot als product van het aantal dieren en de geuremissiefactor worden berekend. De berekende geuruitstoot van een veehouderijbedrijf is een belangrijke variabele in de Regeling geur en veehouderij (Rgv) omdat deze dient als invoerwaarde voor het verspreidingsmodel (V-STACKS vergunningen) waarmee de voorziene geurbelasting rond het bedrijf wordt berekend.

Naast de omvang van de geuremissie kan ook de beleving van een geurbron worden gekwantificeerd. Dit wordt de hedonische waarde genoemd. Hierbij kan worden vastgesteld bij welke geurconcentratie

een geur als hinderlijk wordt ervaren. Kennis van dit geurconcentratieniveau kan bijvoorbeeld gebruikt worden als maat voor het vaststellen van maximaal toelaatbare geurconcentraties (OU_E/m^3) in de bewoonde omgeving die door een geurbron wordt belast.

De geuruitstoot van een bron wordt bepaald door zowel het ventilatiedebiet als de geurconcentratie in deze ventilatielucht te bepalen. De geurconcentratie wordt gemeten door een geurpanel met behulp van de zogenaamde olfactometrische methode. De geurconcentratie wordt hierbij uitgedrukt in de eenheid OU_E/m^3 (European Odour Unit) volgens de standaard NEN-EN 13725 (CEN, 2003). De eenheid voor geurconcentratie in een luchtmonster is gebaseerd op het vaststellen bij welke verdunningsfactor (verdunning met geurvrije lucht) van het betreffende luchtmonster de helft van een geurpanel de aangeboden verdunning nog net kan onderscheiden van geurvrije lucht. Deze hoeveelheid wordt ook wel de drempelwaarde genoemd. De drempelwaarde-hoeveelheid geurstof in een m^3 van deze verdunde lucht wordt per definitie gelijkgesteld aan 1 OU_E . Indien een luchtmonster 1.000 maal moet worden verdund om de drempelwaarde-hoeveelheid te bereiken, betekent dit dus dat het onverdunde monster 1.000 OU_E/m^3 bevat. Er bestaat veel variatie tussen individuele drempelwaardes van het hetzelfde geurmonster. Daardoor kan de gevoeligheid van een geurpanel in afhankelijkheid van de personele samenstelling ook variëren. Om deze variatie te beperken is in de NEN-EN 13725 een beperkte toegelaten bandbreedte in gevoeligheid van individuele panelleden vastgesteld. Deze bandbreedte is gedefinieerd voor de referentiegeurstof n-butanol. Alleen panelleden met een drempelwaarde tussen 20 en 80 ppb n-butanol zijn gekwalificeerd voor geurmetingen.

De werkwijze voor het vaststellen van een geuremissiefactor voor huisvestingssystemen in de veehouderij is vastgelegd in een "Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij" (Ogink, 2011). Voor een gegeven huisvestingssysteem wordt op elk van vier verschillende bedrijven, over het jaar verdeeld, zes geurmonsters genomen en tegelijkertijd het ventilatiedebiet bepaald. Bij de monsternames wordt gedurende een periode van twee uur een representatief luchtmonster in duplo genomen. De lucht wordt opgeslagen in geurloze geurmonsterzakken. Het vullen van de zakken gebeurt via de zogenaamde longmethode. Hierbij wordt een lege monsterzak, die zich in een gesloten vat bevindt, via een slang verbonden met de bron. Door het vat vacuüm te pompen wordt de zak direct gevuld met lucht uit de geurbron zonder een pomp te passeren. Door verwarming van de geurmonsterleiding wordt condensvorming in de monsterzak vermeden. De geurmonsters worden binnen 30 uur na monstername geanalyseerd door een NEN-EN 13725 geaccrediteerd geurlaboratorium. Hierbij wordt aan een geurpanel via een geurbeker verdunde lucht uit de monsterzak aangeboden en gelijktijdig hieraan geurvrije lucht in een nabij gelegen tweede geurbeker. Panelleden moeten aangeven uit welke onbekende beker de verdunde geurlucht komt, ook al kunnen zij geen onderscheid maken. Uitgaande van een sterke verdunningsfactor, waarbij geen enkel panellid onderscheid kan maken, wordt stapsgewijs (factor 2) lagere verdunningen aangeboden totdat alle panelleden in staat zijn de geurbekers correct te onderscheiden. Op deze wijze wordt voor elke panellid de geurdrempel bepaald, en kan de mediaan van de geurdrempels vastgesteld worden.

In hoeverre een geur als hinderlijk wordt ervaren is sterk gebonden aan de persoon. In zijn algemeenheid neemt de ervaring van hinderlijkheid toe met de geurconcentratie. De mate van hinderlijkheid kan echter bij een gelijke geurconcentratie verschillen tussen geuren van verschillende bronnen als gevolg van de geursamenstelling en de hieraan gekoppelde beleving. Door middel van het bepalen van de 'hedonische waarde' is het mogelijk dit soort verschillen in het beleven van hinderlijkheid vast te stellen. Bij het bepalen van de hedonische waarde wordt, net als bij het vaststellen van een emissiefactor, een geurmonster genomen van de te onderzoeken lucht. Van deze lucht wordt eerst de geurconcentratie bepaald. Daarna wordt aan de panelleden gevraagd de geur te beoordelen volgens een ordinale schaal lopend van -4 (uiterst onaangenaam) tot 0 (neutraal) tot +4 (uiterst aangenaam) bij een reeks met afnemende verdunningen (waarin de geurconcentratie dus toeneemt). Uit deze reeks kan via een regressielijn de relatie tussen hinderlijkheid en geurconcentratie worden afgeleid. In de meeste industriële bedrijfstakken met geuruitstoot wordt de geurconcentratie bij een hedonische waarde van -1 (licht onaangenaam) als maatgevende concentratie voor de belasting van de bewoonde omgeving gebruikt. Deze benadering is overigens niet toegepast voor de vaststelling in de Rgv van de maximale geurbelasting van woonobjecten in de omgeving door veehouderij. In de Rgv wordt geen onderscheid gemaakt naar verschil in hinderlijkheid

tussen geurbronnen/diercategorieën maar wordt er uitgegaan van een algemene relatie tussen geurconcentratie en hinderlijkheid.

3 Inventarisatie en beoordeling maatregelen

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van mogelijkheden om emissies van geur uit stallen te reduceren op basis van de huidige stand van kennis. Deze kennis bevat in de eerste plaats de technieken in de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) en de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), en de daarbij genoemde meetrapporten. Daarnaast is met relevante trefwoorden gezocht in de online universiteitsbibliotheek van Wageningen UR, in databases voor wetenschappelijke artikelen (Webofscience en Scopus) en in zoekmachine Google. Deze literatuurverkenning heeft ruim honderd relevante Engelstalige wetenschappelijke artikelen en Nederlandstalige onderzoeksrapporten opgeleverd. Binnen het zoekresultaat werd een opvallend groot aantal van elf wetenschappelijke review artikelen gevonden welke breed de stand van kennis samenvatten rondom maatregelen om geuremissies uit stallen te verminderen (Bibbiani & Russo, 2012; Carey et al., 2004; Hamon et al., 2012; Hartung, 1986; Liu et al., 2014; Nahm, 2003; O'Neill & Phillips, 1991; O'Neill et al., 1992; Ubeda et al., 2013; Ullman et al., 2004; Williams, 2001). Tevens is gebruik gemaakt van een recent rapport getiteld 'Handvatten voor vermindering geuroverlast bij varkens- en pluimveebedrijven' (Ellen et al., 2014). Alle publicaties zijn gedownload, gearchiveerd en nader bestudeerd. Deze kennis is aangevuld met praktische expertkennis van de auteurs.

De gevonden maatregelen zijn opgenomen in Tabel 1 op de volgende pagina, gegroepeerd per maatregelengroep, en van een beoordeling voorzien op de manier zoals recent toegepast in het maatregelenrapport voor emissiereductie van bioaerosolen (Winkel et al., 2016b):

- het **type maatregel**: M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op het reguliere houderijsysteem of stal; B = maatregel buiten het veehouderijbedrijf;
- het **werkingsprincipe** van de maatregel;
- de **toepasbaarheid** bij nieuwe versus nieuwe én bestaande stallen, de hoofdcategorieën dieren waarin zij toepasbaar zijn (pluimvee, varkens, vleeskalveren) en het ventilatietype (alle stallen versus alleen mechanisch geventileerd);
- de **wetenschappelijke bewijsstatus** van de maatregel (van slechts een idee tot een volledig uitontwikkeld en met metingen conform een meetprotocol gevalideerde maatregel die opgenomen is binnen bestaande wetgeving);
- de **controleerbaarheid** van de maatregel door het bevoegd gezag;
- het **kostenniveau** van de maatregel;
- de **effectiviteit** van de maatregel t.a.v. geur, ammoniak, bioaerosolen (fijn stof, endotoxine en micro-organismen) en broeikasgassen;
- eventuele **positieve/negatieve neveneffecten** t.a.v. de luchtkwaliteit in de stal (arbeidsomstandigheden, dierwelzijn, dierprestaties), energieverbruik en arbeidslast.

In de hierna volgende paragrafen worden de maatregelengroepen besproken.

Tabel 1 Basisoverzicht van maatregelen ter vermindering van geuremissie uit stallen. Groene maatregelen: reeds bestaand. Gele maatregelen: perspectievolle nieuwe maatregelen.

| Maatregel | Type ^a | Werkingsprincipe | Toepasbaar bij ^b Bestaand/Nieuw Diercategorie | Status ^c | Controle mogelijk? | Effecten op emissie uit de stal ^d | | | | | Kosten ^d | Opmerking/toelichting | |
|---|-------------------|-------------------------------|--|---------------------|-----------------------|--|------------------|------------------|--------|------------|---------------------|-----------------------|--|
| | | | | | | Geur | NH ₃ | PM ₁₀ | Endot. | Micro-org. | | | BKG |
| Verminderen geur uit mest via voer | | | | | | | | | | | | | |
| Verlagen Re-gehalte | M | Vorming geurstoffen mest ↓ | B+N Met name: Va | 2 | Ja | ++ | ++ | 0 | 0 | 0 | 0 | ? | Met toevoeging synth. essentiële aminozuren |
| Afstemmen Re / fermenteerbare koolhydr. | M | Vorming geurstoffen mest ↓ | B+N Met name: Va | 2 | Ja | ++ | + | 0 | 0 | 0 | 0 | ? | Omzetting teveel eiwit in biomassa dikke darm |
| Zwavelarme grondstoffenkeuze | M | Vorming geurstoffen mest ↓ | B+N Met name: Va | 2 | Ja | ++ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ? | Bijv. sojameel en melasse minimaliseren |
| Toevoegmiddel (zeolieten, zuren) aan voer | M | Vorming geurstoffen mest ↓ | B+N Met name: Va | 3 | Ja | 0/+ | + | 0 | 0 | 0 | 0 | - | |
| Droogvoer i.p.v. brijvoer verstrekken | T | Vermorsing en bevulling hok ↓ | N Met name: Va | 3 | Ja | + | 0 | - | - | 0 | 0 | -/+ | |
| Verminderen mest als geurbron | | | | | | | | | | | | | |
| Stro(oisel) frequent vervangen | M | Hoeveelheid mestvervuiling ↓ | B+N Pl, Va | 4 | Moeilijk | 0 | 0/+ | 0/+ | + | 0/+ | 0 | --- | Toename strooiselkosten |
| Stro(oisel) frequent aanvullen | M | Afdekken geurbron | B+N Pl, Va | 4 | Moeilijk | + | 0 | 0/+ | + | 0/+ | 0 | --- | Toename strooiselkosten |
| Geurarm stro(oisel) gebruiken | M | Absorptie water en geur ↑ | B+N Pl, Va | 3 | Moeilijk | 0 | ++ | 0 | 0 | 0 | 0 | - | |
| Dunnere strooiselmestlaag (max. 3 cm) | M, T | Hoeveelheid strooiselmest ↓ | B+N Pl | 1 | Ja | 6-26% | 20% | 22% | + | + | 0 | - | Betreft Rav E 7.10. Minder grondeieren en arbeid |
| Frequent afdraaien mestbanden | M, T | Hoeveelheid bandenmest ↓ | B+N Pl | 3 | Ja | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | -/0 | |
| Afgescheiden strooiselruimten in stal | S | Opname geur in lucht ↓ | N Pl | 4 | Ja | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | 0 | ? | Apart ventileren, evt. end-of-pipe behandeling |
| Hygiënisch hokontw. / varkenstoilet | S | Hoeveelheid mestvervuiling ↓ | N Va | 4 | Ja | + | + | + | + | + | + | - | Bijv. rooster met goede doorlaat, varkenstoilet |
| Coating (TiO ₂ + UV) op wanden | T, S | Katalyse geurcomponenten ↓ | B+N Va | 4 | Ja | 0/+ | 0/+ | 0 | 0 | 0 | 0 | - | |
| Verwijderen mest uit hok | M | Hoeveelheid mestvervuiling ↓ | B+N Met name: Va | 3 | Moeilijk | + | + | + | + | + | 0 | --- | Arbeidsintensief |
| Nat reinigen tussen rondes | M | Hoeveelheid geurbronnen ↓ | B+N Met name: Va | 3 | Moeilijk | 0/+ | 0/+ | 0/+ | 0/+ | 0/+ | 0 | - | Is reeds voorschrift in IKB |
| Kelders reinigen tussen rondes | M | Hoeveelheid mestvervuiling ↓ | B+N Met name: Va | 3 | Moeilijk | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | --- | Arbeidsintensief |
| Roosters met goede doorlaat toepassen | T, S | Hoeveelheid mestvervuiling ↓ | B+N Met name: Va | 1 | Ja | 22% ^{*)} | + | + | + | + | 0 | - | ^{*)} Diverse Rav-codes D, o.a. metalen driekantroosters |
| Verkleind emitterend oppervlak kelder | S | Emissie geur uit drijfmest ↓ | N Met name: Va | 1 | Ja | 22% ^{*)} | ++ ^{*)} | 0 | 0 | 0 | 0 | - | ^{*)} Diverse Rav-codes D, o.a. stankafsluiters en schuine putwanden |
| Toplaag mengmest in kelder koelen | S | Emissie geur uit drijfmest ↓ | N Met name: Va | 1 | Ja | 22% | 43-60% | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Betreft Koeldeksysteem, o.a. Rav D 3.2.3 |
| Mestbanden onder roostervloer | T, S | Scheiding + afvoer mest/urine | N Va | 1 | Ja | 22% | 63% | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Betreft Kempfarmstelsysteem, Rav D 3.2.16 |
| Drijvende ballen in mest in kelder | T | Emissie geur uit drijfmest ↓ | B+N Met name: Va | 1 | Ja | + | 29% | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Betreft Balansballensysteem, Rav D 4.1 |
| Mestopvang in water | T | Emissie geur uit drijfmest ↓ | B+N Met name: Va | 1 | Ja | 22% | 57% | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Betreft Cavardosysteem, Rav D 3.2.5 |
| Mest in kelder aanzuren | T | Emissie geur uit drijfmest ↓ | N Met name: Va | 1 | Ja | 22% | 47% | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Betreft o.a. Rav D 3.2.2 |
| Toevoegmiddelen aan mest in kelder | M | Emissie geur uit drijfmest ↓ | B+N Met name: Va | 4 | Ja | 0/+ | 0/+ | 0 | 0 | 0 | 0 | - | |
| Toevoegmiddelen aan stro(oisel) | M | Absorptie geur in middel | B+N Pl, Va, Gei | 4 | Ja | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | --- | Grote hoeveelheden nodig, bijv. Zeolieten |
| Sprayen probiotica in dierverblijf | T, M | Onbekend | B+N Va | 3 | Ja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | |
| Ventilatie en end-of-pipe beh. | | | | | | | | | | | | | |
| Verlagen debiet door luchtconditionering | T, S | Ventilatievolume ↓ | N MGS: Pl, Va | 1-3 | Ja | + | + | + | + | + | + | - | Tijdens hitte en tweede helft groeiperiode |
| Biofilter (=biobed) | T, S | Microb. omz. | B+N MGS: Pl | 1 | Ja | 45% | 70% | 80% | ++ | ? | 0 | --- | Mogelijk kiememissies, operationeel risicovol |
| Chemische luchtwassers | T, S | Wash-out + chem. omz. | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 1 | Ja | 30% | 70-95% | 35% | + | + | 0 | --- | % geurverwijdering volgens wijziging Rgv van juli 2018 |
| Biologische luchtwassers | T, S | Wash-out + microb. omz. | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 1 | Ja | 45% | 70-85% | 60-75% | ++ | ? | 0 | --- | Mogelijk kiememissies % geurverwijdering volgens wijziging Rgv van juli 2018 |
| Gecombineerde luchtwassers | T, S | Combinatie voorgaande | B+N MGS: Va, Vka | 1 | Ja | 30 45% | 70-90% | 80% | +++ | ++ | 0 | --- | % geurverwijdering volgens wijziging Rgv van juli 2018 |
| Luchtwassen met ozon | T, S | Chem. oxidatie | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 2-3 | Ja | + | + | + | + | ++ | 0 | --- | Verder onderzoek nodig |
| Luchtwassen met peroxide | T, S | Chem. oxidatie | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 2-3 | Ja | + | + | + | + | ++ | 0 | --- | Verder onderzoek nodig |
| Luchtwassen met peroxone | T, S | Chem. oxidatie | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 2-3 | Ja | + | + | + | + | +++ | 0 | --- | Verder onderzoek nodig |
| Luchtwassen met EOW | T, S | Chem. oxidatie | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 2-3 | Ja | + | + | + | + | +++ | 0 | - | Verder onderzoek nodig |
| Nabehandeling met koude plasma | T, S | Vergaande ionisatie | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 3 | Ja | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | ? | --- | Verder onderzoek nodig |
| Fotokatalytische nabeh. (TiO ₂ + UV) | T, S | Fotokatalyse | B+N MGS: Pl, Va, Vka | 3 | Ja | ++ | + | ? | ? | +++ | 0 | --- | Verder onderzoek nodig |
| Maatregelen 'out of pipe' | | | | | | | | | | | | | |
| Uitstroom ombuigen naar verticaal | T, S | Verdunning atm. ↑ | B+N MGS: Pl, Va, Vka | - | Ja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Emissie blijft gelijk, hinder vermindert |
| Verticale uitstroomsnelheid ↑ | T, S | Verdunning atm. ↑ | B+N MGS: Pl, Va, Vka | - | Moeilijk | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Emissie blijft gelijk, hinder vermindert |
| Emissiepunt verhogen | T, S | Verdunning atm. ↑ | B+N MGS: Pl, Va, Vka | - | Ja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Emissie blijft gelijk, hinder vermindert |
| Verplaatsen emissiepunt | T, S | Vergroten afstand | B+N MGS: Pl, Va, Vka | - | Ja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Emissie blijft gelijk, hinder vermindert |
| Groenelementen rond stal | B | Verdunning atm. ↑ | B+N Alle | 2 | Ja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | Emissie blijft gelijk, hinder vermindert |
| Maatregelengroep beleid | | | | | | | | | | | | | |
| Afstandsgrenzen | B | Verdunning atm. ↑ | B+N Alle | 2 | Ja | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | n.v.t. | Deels bestaand beleid |
| Limiteren bedrijfsomvang met x% | B | Limiteren bronsterkte | B+N Alle | n.v.t. | Ja | x% | x% | x% | x% | x% | x% | n.v.t. | Bronsterkte reduceert evenredig met inperking |

a M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op het reguliere houderijsysteem van stal; B = maatregel buiten het veehouderijbedrijf

b B = bestaande stal en/of N = nieuw bouw/renovatie | Pl = pluimvee; Va = varkens; Vka = vleeskalveren; | MGS = mechanisch geventileerde stallen

c 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 onuitgevoerde maatregel, maar aannemelijk vanuit een berekend of gemodelleerd werkingsprincipe

5 = maatregel waarover niets bekend is

d ---- 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

3.1 Verminderen geurvorming in mest via voer

- *Verlagen Re-gehalte*
- *Afstemmen Re / fermenteerbare koolhydr.*
- *Zwavelarme grondstoffenkeuze*

Uit onderzoek naar het verminderen van ammoniakemissies uit stallen is gebleken dat het verlagen van het eiwitgehalte in de voeding de ammoniakemissie reduceert: circa 10% reductie van de ammoniakemissie per procentpunt (10 g/kg) verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer (Aarnink & Verstegen, 2007; Sutton et al., 1999; Webb et al., 2014). Deze maatregel is als één van de voer- en managementmaatregelen opgenomen in Bijlage 2 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav)⁴. Tussen 2004 en 2009 is in een promotieonderzoek door Le Dinh Phung aan Wageningen Universiteit onderzocht of dergelijke voermaatregelen ook effectief kunnen zijn om geuremissies uit varkensmest te verminderen, waarvan de resultaten in een proefschrift (Le, 2006) met zeven wetenschappelijke artikelen zijn gepubliceerd. In totaal zijn 23 wetenschappelijke studies of overzichtsartikelen gevonden die ingaan op voedingsinterventies om geuremissies uit stallen te reduceren. Uit het genoemde promotieonderzoek bleek dat met een verlaging van het ruw-eiwitgehalte van 18% naar 12% (met toevoeging van synthetische essentiële aminozuren om tekorten te voorkomen) de geuremissie uit de mest met 80% kon worden verlaagd; het grootste deel van deze reductie (60%) werd bereikt in de stap van een hoog (18%) naar een gemiddeld (15%) ruweiwitgehalte (Le et al., 2007a). Een verdere verlaging van het ruweiwitgehalte naar waarden tot 12% levert in voedingsexperimenten bij varkens slechts een beperkte of geen verdere reductie van de geuremissie op (Clark et al., 2005; Le et al., 2009; Obrock et al., 1997). In de tweede plaats werd een wisselwerking gevonden tussen het ruweiwitgehalte en het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten (koolhydraten die de dikke darm bereiken) in varkensvoer: bij een hoog ruweiwitgehalte (18%) kon een eveneens hoog (19,6%) gehalte aan fermenteerbare koolhydraten de geuremissie met ca. 50% verlagen terwijl dit in combinatie met een laag ruweiwitgehalte (12%) de geuremissie met ca. 25 tot 50% verhoogde (Le et al., 2008). Bij de beschikbaarheid van voldoende fermenteerbare koolhydraten in de dikke darm kunnen eiwitten die in de dunne darm onbenut zijn gebleven waarschijnlijk vastgelegd worden als microbieel eiwit; daarmee wordt voorkomen dat ze gefermenteerd worden tot geurstoffen. In de derde plaats bleek geur bevorderd te worden door de zwavelbevattende aminozuren methionine en cystine: het t.o.v. de behoefte verdubbelen of verdrievoudigen van deze aminozuren in het varkensvoer leidde tot respectievelijk een factor 1,2 en 8,2 grotere emissie van geur en een afname van de hedonische waarde (toename van de hinderlijkheid) van de geur. Dit werd overigens niet gevonden voor de aminozuren tryptofaan, fenylalanine en tyrosine welke precursors zijn van fenolen en indolen (Le et al., 2007b).

Recent is door Wageningen Livestock Research dierexperimenteel onderzoek gedaan naar voer- en strooiselmaatregelen bij vleeskuikens in kleine grondhokken (Ellen et al., 2017; in afronding). Hierbij is onderzocht of "geurarm vleeskuikenvoer" (een voer met een grondstoffen- en additievenkeuze gericht op een betere eiwitvertering en drogere mest) de geuremissie kan reduceren. De resultaten geven een eerste aanwijzing dat dit mogelijk is: de geuremissie aan het eind van de ronde was bij het geuremissiearme voer eenderde lager dan bij het controlevoer. Daarentegen was de ammoniakemissie van het geuremissiearme voer circa driemaal hoger dan die van het conventionele controlevoer. Deze negatieve koppeling vraagt de aandacht bij de eventuele verdere ontwikkeling van geuremissiearm voer voor vleeskuikens.

⁴ Online beschikbaar op: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2017-04-12#Bijlage2>

Resumé: de geuremissie van varkensmest kan worden gereduceerd door het verlagen van het ruweiwitgehalte in varkensvoer, het afstemmen van het gehalte fermenteerbare koolhydraten op het gehalte ruweiwit en het vermijden van zwavelrijke grondstoffen in de voersamenstelling. Het vermijden van zwavelrijke grondstoffen verbetert ook de hedonische waarde van de geur. Nadere afstemming met de veevoedingsindustrie is nodig om te bepalen in welke mate deze mogelijkheden werkelijk kunnen worden benut bij het samenstellen van voeders, gezien de (reeds lage) ruweiwitgehalte in hedendaagse voeders, actuele grondstoffenprijzen en andere nutritionele eisen die aan voeders worden gesteld. Daarna kunnen ook de (meer)kosten voor varkensvoeders worden ingeschat. Bij vleeskuikens zijn er eerste aanwijzingen voor mogelijkheden om geuremissies te verminderen via het voer. Aandachtspunt is de koppeling met ammoniakemissies. Ook hier geldt dat nadere afstemming met de veevoedingsindustrie nodig is. Pas daarna kunnen ook kosten worden ingeschat: in Tabel 1 is dit beoordelingsaspect nu van een vraagteken voorzien. Op basis van bovenstaande aspecten worden deze maatregelen als perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

- *Toevoegmiddel (zeolieten, zuren) aan voer*

De zeolieten betreft een groep mineralen, zowel van natuurlijke als synthetische oorsprong, met een zeer poreuze microstructuur. Door deze structuur kunnen de mineralen in potentie diverse stoffen, zoals water, toxinen, ammonium (NH_4^+) of geurstoffen, adsorberen en met name absorberen (Mumpton, 1999; Ramesh et al., 2011). Binnen deze mineralengroep is clinoptiloliet door de Europese Unie voor onbeperkte periode toegestaan als diervoederadditief (nr. E 568) voor vleesvarkens, vleeskuikens, vleeskalkoenen, runderen en zalm in doseringen van maximaal 20.000 mg/kg (2%) op productbasis (EU, 2005; bijlage II). Er zijn twee studies gevonden naar effecten van het toevoegen van clinoptiloliet aan voeders op geuremissies. In een eerste studie onderzochten Amon et al. (1997) de toevoeging van 2% clinoptiloliet aan vleeskuikenvoer tezamen met het uitstrooien van 1,6 kg/m² clinoptiloliet over de strooiselvloer (0,7 kg in week 1, en 0,3 kg in elk van de weken 4, 5 en 6) van een proefafdeling met 8000 vleeskuikens. Een identieke afdeling diende als controle. Er werd geen reducerend effect van clinoptiloliet gevonden: emissies van zowel ammoniak als geur waren juist consistent hoger voor de clinoptiloliet afdeling. De studie concentreerde zich echter slechts op één groeironde, bevatte geen fysieke herhaling of herhaling in de tijd, en wisselde behandelingen niet tussen afdelingen om afdelingseffecten uit te sluiten. In een tweede studie onderzochten Islam et al. (2014) de toevoeging van 0,5% clinoptiloliet aan varkensvoer in een dierproef met vleesvarkens. De auteurs rapporteren lagere concentraties van ammoniak (NH_3) en waterstofsulfide (H_2S) voor de proefhokken t.o.v. de referentiehokken, terwijl variabelen als voeropname, groei en karkaskwaliteit niet beïnvloed werden. Het artikel geeft echter geen informatie t.a.v. klimaatgescheidenheid van proefhokken, ventilatiedebieten en emissies om deze resultaten op waarde te kunnen schatten. Daarnaast zijn geen olfactometrische waarnemingen gedaan, de waarnemingen beperkten zich tot de twee genoemde gassen. Opmerkelijk waren de bijzonder hoge gasconcentraties in de controlehokken (61 ppm NH_3). Tot slot is een studie voorhanden naar de effecten van het toevoegen van 1% benzoëzuur aan varkensvoer op emissies van ammoniak en geur (Aarnink et al., 2008). De studie werd uitgevoerd door in elk van vier vleesvarkensbedrijven een controleafdeling en een proefafdeling te gebruiken waarvan de emissies verspreid over een jaar werd bepaald. De proefbehandeling verlaagde de ammoniakemissie significant met 16%, maar er werd geen effect gevonden op de geuremissie.

Resumé: er zijn slechts twee studies gevonden naar effecten van clinoptiloliet in het voer op de emissie van geur. De studies zijn matig van opzet en laten geen overtuigende reductie van de geuremissie zien. Een derde studie naar benzoëzuur in varkensvoer laat eveneens geen reductie van de geuremissie zien. Op basis van de huidige kennis kunnen voeradditieven (nog) niet als effectieve maatregel tegen geuremissies worden aangewezen.

- *Droogvoer i.p.v. brijvoer verstrekken*

Er zijn aanwijzingen dat brijvoerverstrekking (i.p.v. droogvoer) in vleesvarkensstallen indirect kan bijdragen aan geuremissie via mechanismen van vermorsing en hokbevuiling. Ellen et al. (2014) merken hierover op: "Met name bij het voeren van brijvoer is het voorkomen van voervermorsing een aandachtspunt. Vermorsing kan, naast een eigen geurbron, aanleiding zijn voor het ontstaan van hokbevuiling. Hokbevuiling bij met name vleesvarkens, is één van de belangrijkste bronnen van geur (en ammoniak). Het voorkomen er van kan dus een belangrijke rol spelen bij het beperken van de geuremissie. Behalve voervermorsing spelen hokbezetting, hokindeling, aandeel dichte vloer, temperatuur en luchtstroming een rol bij het wel of niet optreden van hokbevuiling." Hobbs et al. (1997) bestudeerden de geuremissies uit drijfmestmonsters van varkens die droogvoer of twee typen brijvoer (voerwaterverhoudingen 3:1 en 4:1) voorgeschoteld kregen en vonden dat deze directe emissies groter waren voor mest uit droogvoer. Tevens konden de auteurs dit verschil herleiden tot verschillen in stoffen die uit de drijfmestsoorten emitterden. Timmerman et al. (2004) vergeleken in een laboratoriumproef de geurconcentraties en de hedonische waarde van in potten opgeslagen mest afkomstig van varkens gevoerd met droogvoer of verschillende combinaties van vochtrijke bijproducten. Metingen in de headspace van de pot werden op dag 1, 8 en 15 na start opslag uitgevoerd. De geurconcentratie van droogvoer was alleen op dag 1 significant lager dan de combinaties van vochtrijke bijproducten. De geurconcentratie waarbij de lucht als licht onaangenaam werd ervaren (hedonische waarde -1) was op alle dagen significant hoger voor het droogvoer t.o.v. de vochtrijke producten, d.w.z. dat de geurkwaliteit van droogvoerders bij gelijke geurconcentratie als beter werd ervaren. Bij een hierop volgende praktijkproef werd geen verschil in geuremissie gevonden tussen vier vleesvarkensafdelingen waarvan een afdeling met droogvoer en drie met combinaties van vochtrijke bijproducten. Deze vergelijking werd echter niet herhaald met een wisseling van behandeling en afdeling.

Resumé: er zijn slechts twee studies gevonden naar effecten van droogvoer- versus brijvoerverstrekking op de emissie van geur en de hedonische waarde. Deze kennisbasis is te smal om conclusies te kunnen trekken. Op basis van de huidige kennis kan brij- of droogvoeding niet als effectieve maatregel tegen geuremissies worden aangewezen. Er bestaan echter praktijkaanwijzingen dat met name de hinderlijkheid van geur verkleind kan worden door het voorkomen van bepaalde ingrediënten. Verder onderzoek kan inzicht geven in het perspectief hiervan.

3.2 Verminderen mest als geurbron

- *Stro(oisel) frequent vervangen*
- *Stro(oisel) frequent aanvullen*
- *Geurarm stro(oisel) gebruiken*

Met het frequent vervangen van stro(oisel) in stro(oisel)stallen wordt de belangrijkste geurbron uit de stal verwijderd. Met het frequent aanvullen van stro(oisel) in stro(oisel)stallen worden mest en urine als geurbronnen toegedekt door vers stro(oisel). Deze maatregelen zouden geuremissies kunnen reduceren. Echter, onderzoek naar deze maatregelen is nog nauwelijks uitgevoerd. Recent is door Wageningen Livestock Research dierexperimenteel gedaan naar voer- en strooiselmaatregelen bij vleeskuikens in kleine grondhokken (Ellen et al., 2017). Hierbij is onderzocht of het éénmaal aanvullen van strooisel (op dag 17 in ronde), tweemaal aanvullen (op dag 17 en 23 in ronde) of vervangen van het strooisel (op dag 23 in ronde) de geuremissie bij vleeskuikens kan reduceren. Het één of twee keer aanbrengen van een extra laag strooisel, of het halverwege de groeiperiode volledig vervangen van het strooisel, had geen effect op het verloop van de geur- of ammoniakemissie.

Er bestaat enig onderzoek naar verschillen in geuremissie tussen verschillende stro(oisel)soorten, bijvoorbeeld ten gevolge van verschillen in absorptievermogen of structuur. Ngwabie et al. (2010) bestudeerden de geuremissie uit drijfmest van varkens en melkkoeien waaraan al dan niet ca. 8% houtkrullen werd toegevoegd, maar vonden geen effect op de geuremissie. Spiëhs et al. (2013) bestudeerden de geuremissie uit acht verschillende strooiselmaterialen (maïstro, sojastro, tarwestro, maïskolven, vingergrasstro, houtsnippers, zaagsel en papiersnippers) vermengd met representatieve hoeveelheden rundermest en urine, gedurende perioden van 6 weken. De laagste geuremissie werd gevonden voor zaagsel, de hoogste geuremissies voor maïskolven en papiersnippers. Als de resultaten van deze labstudie generaliseerbaar zijn naar de situatie in Nederlandse stallen, lijkt de winst ervan nog steeds beperkt omdat zaagsel en houtkrullen al veel worden gebruikt om stalvloeren of ligboxen in te strooien.

In Nederland is recent in drie identieke stallen op een vleeskuikenbedrijf op praktijkschaal onderzocht of het gebruik van gedroogde snijmaïssilage als strooisel voor vleeskuikens emissies van ammoniak, fijn stof en geur kan reduceren t.o.v. standaard houtkrullen (Van Harn et al., 2015). Het praktijkonderzoek werd uitgevoerd als follow-up van een eerdere studie waarin op semi-praktijkschaal, in afdelingen van een experimentele vleeskuikenstal, een ammoniakreductie van 36% werd gevonden t.o.v. houtkrullen (Van Harn et al., 2012). In het praktijkonderzoek werden de drie stallen gedurende 7 groeirondes ingestrooid met ofwel witte houtkrullen (referentie; 0,8 kg/m²), ofwel verse snijmaïssilage (1,75 kg/m²) of gedroogde snijmaïssilage (0,8 kg/m²), waarbij de behandelingen tussen de stallen werd gewisseld om staleffecten uit te sluiten. Uit dit onderzoek bleek snijmaïssilage de ammoniakemissie met 37% te verminderen ($P < 0,05$) terwijl een statistische tendens ($0,05 < P < 0,10$) werd gevonden voor een 23% lagere geuremissie. Naast de statistische significantie van de reductie is het belangrijk of er bij het effect een plausibel werkingsmechanisme kan worden gegeven. Dat mechanisme is op dit moment niet duidelijk. De gevonden reductie zou daarmee een toevalsbevinding kunnen zijn. In het experimentele onderzoek (Van Harn et al., 2012) zijn geen effecten op geuremissies bepaald. Op basis van het praktijkonderzoek is het instrooien van vleeskuikenstallen met snijmaïssilage opgenomen als één van de voer- en managementmaatregelen in Bijlage 2 van de Regeling ammoniak en veehouderij⁵. De jaarkosten van deze maatregel zijn gepubliceerd door Van Harn & De Jong (2012) en bedragen netto EUR 0,004 per dierplaats. Dit netto bedrag is het saldo van een goedkoper strooiselproduct (EUR 42,50 per ton voor snijmaïssilage versus EUR 190,- per ton voor houtkrullen; een besparing van EUR 0,005 per dierplaats per jaar) en ca. 20% hogere stookkosten om de snijmaïssilage droog te stoken na aanbrengen op de vloer (een kostenpost van EUR 0,009 per dierplaats per jaar).

Resumé: er bestaan enkele studies naar effecten van strooiselsoorten en het strooiselmanagement (het aanvullen of vervangen van strooisel bij vleeskuikens) op de emissie van geur. Deze emissies laten echter geen aanknopingspunten zien om emissies te reduceren. Op basis van de huidige kennis kunnen geen effectieve strooiselmaatregel tegen geuremissies worden aangewezen.

⁵ Online beschikbaar op: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2017-04-12#Bijlage2>

- *Dunnere strooiselmestlaag*

De vloeren van stallen voor leghennen (alle niet-kooihuisvestingssystemen: volièresystemen en systemen met verhoogde beun en strooiselvloer; te vinden in scharrelstallen, vrije-uitloopstallen en biologische stallen) worden doorgaans ingestrooid voordat de jonge hennen arriveren, bijvoorbeeld met houtkrullen. Dit strooisel dient als basisstrooisel waarin dieren kunnen scharrelen en stofbaden en dient ter absorptie van de eerste vochtige mest die geproduceerd wordt. Binnen enkele weken na opzet van de dieren bestaat het strooisel grotendeels uit ingedroogde en vergruisde veer- en mestpartikels. Deze zogenaamde “strooiselmestlaag” is in deze huisvestingssystemen de belangrijkste bron van stofdeeltjes, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geur (Aarnink et al., 2011; Cambra-López et al., 2011; Groot Koerkamp, 1994; Seedorf et al., 1998). Gedurende de legronde neemt de dikte van de meststrooisellaag toe door mestproductie van de dieren, hetgeen het leggen van eieren op het strooisel (ongewenste buitennesteieren) bevordert, de luchtkwaliteit verslechtert en arbeid vergt voor het tussentijds uitscheppen van strooisel. Het verminderen van de strooisellaagdikte tot 2-3 cm, bijvoorbeeld door het inzetten van strooiselschuiven die overtollig strooisel verwijderen, kan zo meerdere doelen dienen. Mosquera et al. (2016) hebben recent de effecten bepaald van strooiselverwijdering (range: van 0,9–9,4 cm naar 0,5–4 cm strooisellaagdikte, gemiddeld ca. 4 cm verlaging) op de emissies van o.a. fijn stof, ammoniak en geur in vijf praktijkstallen. Het effect werd bepaald door emissiemetingen uit te voeren kort voor en kort na het verwijderen van strooisel, hetgeen twee tot driemaal per bedrijf werd herhaald in de tijd. De auteurs vonden zwak significante reducties voor fijn stof (22%) en ammoniak (20%) en een niet-significante reductie voor geur (6%). Voor geur werden negen gepaarde emissiemetingen uitgevoerd (voor/na het verwijderen van strooisel) met twee hogere geuremissies na verwijdering van strooisel. Bij weglating van deze twee waarden bestond er een significante geurreductie van 26%. Naast de statistische significantie van het effect is belangrijk dat er een plausibel werkingsmechanisme gegeven kan worden: de hoeveelheid geurbron wordt geminimaliseerd. Dit maakt een werkelijke geurreductie mogelijk. Op basis van dit onderzoek is de strooiselschuif op 15 maart 2017 opgenomen als emissiereducerende techniek voor zowel fijn stof als ammoniak (beide: 20% reductie) onder Rav-code E 7.10. De techniek is toegestaan voor volièrehuisvesting in diercategorie E 2 (Legkippen en (groot-) ouderdieren van legrassen) van de Rav-codering. De strooiselschuif is reeds commercieel beschikbaar bij diverse stalinrichters. In een eerdere studie naar maatregelen om bioaerosolen te verminderen (Winkel et al., 2016b; Bijlage A2) zijn de jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) van deze techniek ingeschat op EUR 0,08 per dierplaats voor een standaard leghennenstal met 40.000 dieren (stal conform KWIN, 2014-2015) en op EUR 0,19 per dierplaats voor een standaard ouderdierenstal met 21.000 moederdieren en 9% hanen (stal conform KWIN, 2014-2015).

Resumé: de strooiselmestlaag in leghennenstallen is de belangrijkste bron van stofdeeltjes, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geur. Het maximaliseren van de laagdikte tot 2-3 cm kan – naast reducties van ammoniak (20%) en fijn stof (20%) – mogelijk ook een beperkte geurreductie (6-26%) geven t.o.v. het verder laten toenemen van de laagdikte van de strooiselmest. De maatregel is in een deugdelijke studie onderzocht. Er werd echter slechts een statistische tendens gevonden voor een effect: voor een grotere mate van zekerheid over het effect zijn aanvullende metingen nodig. De strooiselschuif is voor pluimveehouders daarnaast een aantrekkelijke techniek omdat deze arbeid bespaart en het leggen van buitennesteieren vermindert. De jaarkosten bedragen naar schatting EUR 0,08 per dierplaats voor een leghennenstal en EUR 0,19 per dierplaats voor een ouderdierenstal. Deze maatregel wordt als perspectiefvol beoordeeld in Tabel 1.

- *Frequent afdraaien mestbanden*

In leghennenstallen met kooihuisvesting vormt de mest op de mestbanden onder de roostervloeren van de kooien de belangrijkste bron van ammoniak en geur. In voliëresystemen vormt de strooiselmest op de vloer de belangrijkste bron van ammoniak en geur, met daarnaast een bijdrage van de mest op de mestbanden onder de roostervloeren in de voliërestellingen. In Winkel et al. (2014) is middels een literatuurstudie en berekeningen op basis van de emissiecijfers uit die literatuur ingeschat dat het zeer frequent (tenminste dagelijks, mogelijk vaker) afdraaien van alle mestbanden in het houderijsysteem de emissie van ammoniak kan reduceren (t.o.v. het wekelijks of twee maal per week afdraaien) met circa 40 tot 65% voor kooihuisvesting en 15 tot 45% voor voliërehuisvesting. Diverse studies tonen emissieverlagingen van ammoniak direct na het afdraaien van mestbanden, maar geen van de studies heeft voor deze maatregel een reductiecijfer bepaald. Het is waarschijnlijk dat deze maatregel tevens een bijdrage levert aan het verminderen van de geuremissie omdat de hoeveelheid geurbron wordt verminderd. De kosten van deze maatregel beperken zich tot een versnelde slijtage aan mestbanden, draaiende delen en motoren en een toename van elektrakosten. Daar staat een besparing tegenover van elektrakosten voor beluchting van de mest op de mestbanden, hetgeen dan niet meer effectief en nodig is. Daarom zijn de kosten van deze maatregel kwalitatief met “-/0” ingeschat in Tabel 1.

Resumé: op basis van Winkel et al. (2014) wordt verwacht dat het frequent afdraaien van mestbanden de emissies van ammoniak en mogelijk ook geur uit leghennenstallen kan verminderen. De kosten van deze maatregel zijn beperkt. De reductie in ammoniak- en geuremissie van deze maatregel t.o.v. twee maal per week en wekelijks afdraaien van mestbanden kan vastgesteld worden volgens een adequaat onderzoeksontwerp in voor de Nederlandse situatie representatieve en modern uitgeruste stallen voor voliërehuisvesting. De verkregen relatieve reducties kunnen dan worden toegepast op de absolute (ammoniak en) geuremissies van stalsystemen met twee maal per week of wekelijkse ontmesting.

- *Afgescheiden strooiselruimten in stal*

Zoals bij de maatregel “Dunnere strooiselmestlaag” is besproken, vormt de strooiselmestlaag de belangrijkste bron van stofdeeltjes, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geur in leghennenstallen. In deze stallen bevindt de strooiselmestlaag, aanwezig ten behoeve van de sterke intrinsieke behoefte van de kip tot stofbaden en scharrelen, zich in dezelfde ruimte als waar het eten, drinken, leggen en rusten plaatsvindt. Dit leidt tot een slechte luchtkwaliteit in de stal. Stallen voor leghennen worden geventileerd op niveaus van 2 tot 10 m³/uur per kip om warmte, vocht en koolstofdioxide van de dieren af te voeren, waardoor tevens forse emissies optreden. Dit proces kan doorbroken worden door stalontwerpen waarin het “vuile gedrag” (stofbaden en scharrelen op een met mest bevulde strooiselvloer) fysiek gescheiden wordt van de hoofdruimte waarin het eten, drinken, leggen en rusten plaatsvindt. Door de fysiek gescheiden strooiselruimten apart te ventileren bij een minimaal benodigd niveau, deze luchtgescheiden te houden van de hoofdruimte en in deze ruimte emissiereducerende principes toe te passen, kan een huisvestingssysteem ontstaan met een lagere emissie van alle emissiecomponenten. Het betreft hier niet een maatregel, maar een oplossingsrichting/concept die verder uitgewerkt moet worden. Een belangrijke vraag daarbij is in welke mate dit concept ook in bestaande stallen kan worden toegepast. Voor meer informatie over dit concept wordt verwezen naar het proefschrift van Winkel (2016; p. 240-243), Van Weeghel et al. (2011) en Van Weeghel et al. (2016).

Resumé: met van de hoofdruimte afgescheiden strooiselruimten kunnen emissies van leghennenstallen vermoedelijk belangrijk worden gereduceerd. Verdere uitwerking van deze oplossingsrichting vereist samenwerking tussen onderzoekers (m.b.t. ontwerpprocessen, emissieprocessen, dierwelzijn en gedrag), bedrijfsleven (stalinrichters, ventilatiefirma's) en sector (pluimveehouders). Deze oplossingsrichting wordt als perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

- *Hygiënisch hokontw. / varkenstoilet*

Zoals in par. 2.2.1 en bij de maatregel "Droogvoer i.p.v. brijvoer verstrekken" is besproken, vormt hokbevuiling (de versmering van het hok met mestresten) bij vleesvarkens een belangrijke bron van geur. Hokbevuiling kan o.a. worden voorkomen door gebruik te maken van het zindelijke gedrag van varkens via het aanbieden van een zogenaamd "varkenstoilet". Ook hier gaat het niet om een maatregel, maar om een oplossingsrichting/stalontwerp om het mestgedrag van varkens op specifieke plekken te laten plaatsvinden. Van 2011 t/m 2015 is er aan dit concept gewerkt in het project "Toiletstal" op Varkens Innovatie Centrum (VIC) Sterksel. Meer informatie over dit concept kan worden gevonden op de website van het project ⁶. Verwacht wordt dat een hygiënisch hokontwerp kan bijdragen aan lagere emissies van ammoniak, geur en fijn stof. In het project zijn echter geen emissiemetingen verricht. In een eerdere studie naar maatregelen om bioaerosolen te verminderen (Winkel et al., 2016b; Bijlage A2) zijn de jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) van de toiletstal ingeschat op EUR 10,- per dierplaats voor een standaard vleesvarkensstal met 4200 dieren (stal conform KWIN, 2014-2015).

Resumé: in vleesvarkenstallen met een zogenaamd varkenstoilet kan hokbevuiling en de daaraan verbonden (geur)emissies vermoedelijk worden gereduceerd. De jaarkosten bedragen naar schatting EUR 10,- per dierplaats. Deze oplossingsrichting wordt als perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

- *Coating (TiO₂ + UV) op wanden*

Titaniumdioxide (TiO₂) is een natuurlijk voorkomend oxide van titanium met een zeer witte kleur dat vrijwel al het licht in het zichtbare spectrum weerkaatst. Het wordt gebruikt als pigment in verven en cosmetica (CI nummer 77891), als zonwerende component in zonnebrandcrèmes en als additief in voedingsmiddelen (E-nummer E171). Het is mogelijk geurcomponenten in stallucht af te breken door ze in contact te brengen met TiO₂ dat wordt bestraald met ultraviolet licht. Dit proces wordt ook wel 'fotokatalyse', 'fotolyse' of 'foto-oxidatie' genoemd. Door TiO₂ te bestralen met licht uit het UV-spectrum (100-400 nm golflengte) ontstaan er op atomair niveau positief geladen 'gaten' in het TiO₂ en worden, in aanwezigheid van watermoleculen, hydroxylradicalen (OH*) gevormd die snel en aselectief reageren met een brede range van stoffen. Beide processen kunnen leiden tot het kraken van geurcomponenten tot minder sterke, aangenerender ruikende of geurloze stoffen (Hashimoto et al., 2005). Er is en wordt veel onderzoek gedaan naar toepassingen van TiO₂, o.a. als zelfreinigende coating op wanden. Binnen de veehouderij zijn slechts twee studies gevonden (Costa et al., 2012; Guarino et al., 2008). Beide onderzochten of het coaten van de wanden van een varkensstal met TiO₂, in combinatie met het toepassen van UV-lampen (UV-A van 315-400 nm golflengte), de emissies van een aantal gassen (NH₃, CH₄, CO₂ en N₂O) kon reduceren. De eerstgenoemde studie werd uitgevoerd in een kraamafdeling voor zeugen gedurende een kraamperiode van 27 dagen, de tweede in een afdeling met vleesvarkens gedurende één groeironde. In beide studies werd een vergelijkbare afdeling zonder TiO₂ coating als referentie genomen. Beide studies hebben de sterke tekortkoming dat er geen fysieke herhaling of tijdsherhaling werd toegepast, zodat behandelingseffecten niet kunnen worden onderscheiden van versturende/verstrengelde effecten zoals afdelingseffecten. Er werden geen olfactometrische geurmetingen verricht, wel werd ammoniak gemeten, één van de (overigens vele) componenten in geur. In de eerste studie werd een 30% lagere emissie van ammoniak gevonden, in de tweede studie werd geen wezenlijk verschil gevonden in de emissie van ammoniak. Gezien de opzet van de studies kunnen hieruit geen betrouwbare conclusies worden getrokken.

Resumé: titanium dioxide (TiO₂) coatings die worden bestraald met UV-licht zijn in staat stoffen af te breken via het proces van fotokatalyse. Er bestaat geen deugdelijk onderzoek naar de effecten van TiO₂ coatings op de emissie van geur uit stallen. Op basis van de huidige kennis kan deze maatregel niet als effectief worden aangewezen. Om inzicht te krijgen in het perspectief van TiO₂ coatings dient daarnaar deugdelijk onderzoek te worden uitgevoerd.

⁶ Website van het project Toiletstal op VIC Sterksel: <http://www.wur.nl/nl/show/Toiletstal-varkens.htm>

- *Verwijderen mest uit hok*
- *Nat reinigen tussen rondes*
- *Kelders reinigen tussen rondes*

Zoals eerder beschreven zijn mest en urine (drijfmest) in kelders en hokbevuiling met mest belangrijke bronnen van geur. De genoemde maatregelen kunnen de aanwezigheid van deze geurbronnen verminderen. Het reinigen van kelders tussen rondes kan microbiologische processen die leiden tot de vorming van geurcomponenten uit drijfmest vertragen. Het reinigen van afdelingen is ten dele reeds verplicht in IKB voorschriften met de codes VH6.01a ("Kraamstal en biggenstal worden na het leegkomen gereinigd"), VH6.01b ("Ziekenboeg wordt na het leegkomen gereinigd en gedesinfecteerd") en VH6.01d ("Andere stallen worden tenminste 1x per jaar gereinigd") (IKB, 2006).

Resumé: het verwijderen van mest uit hokken, het nat reinigen tussen rondes en het reinigen van kelders tussen rondes kan de aanwezigheid van mest en hokbevuiling met mest – en daarmee de emissie van geur – verminderen. Echter, de maatregelen zijn arbeidsintensief, de verwachte reductie is beperkt en de maatregelen zijn niet of moeilijk controleerbaar. Daarmee zijn deze maatregelen binnen de context van dit rapport als niet perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

- *Roosters met goede doorlaat toepassen (metalen driekantroosters)*
- *Verkleind emitterend oppervlak kelder (stankafsluiters en schuine putwanden)*
- *Toplaag mengmest in kelder koelen (Koeldekstelsysteem)*
- *Mestbanden onder roostervloer (Kempfarmstelsysteem)*
- *Drijvende ballen in mest in kelder (Balansballensysteem)*
- *Mestopvang in water (Cavardosysteem)*
- *Mest in kelder aanzuren*

De hierboven genoemde zeven maatregelen zijn op dit moment reeds onderdeel van bestaande huisvestingssystemen met een Rav-code binnen de hoofdcategorie D (varkens; zie ⁷). Deze systemen zijn primair gericht op het reduceren van de emissie van ammoniak: ze hebben een lagere ammoniakemissiefactor dan de conventionele huisvesting (aangegeven in de Rav codes x.100). Vanaf de in voetnoot 6 genoemde website kunnen de systeembeschrijvingen van de Rav-codes worden geraadpleegd. Daarin zijn tevens bronvermeldingen van de onderzoeksrapporten opgenomen waarop het ammoniakemissiecijfer is gebaseerd. Bij geen van deze rapporten is de emissie van geur bepaald. Desondanks hebben deze huisvestingssystemen (met uitzondering van Rav D 4.1: Drijvende ballen in de mest) generiek een 22% lagere geuremissiefactor (17,9 OUE/s per dier in Rav D 3, vleesvarkens) dan het conventionele huisvestingssysteem (23,0 OUE/s per dier, Rav D 3.100). Deze geurreductie is gebaseerd op latere geuremissiemetingen aan deze systemen (Hol et al., 2004; Mol & Ogink, 2002; Ogink & Lens, 2001), waarbij op grond van het beperkte onderscheidend vermogen van geuremissieonderzoek bij de vaststelling van geuremissiefactoren voor de Rgv in 2005 gekozen voor een generiek reductiepercentage van 22% voor alle onderzochte systemen. Deze generieke geurreductie is toegepast voor ammoniakemissiearme systemen voor biggen en vleesvarkens, niet bij zeugen. Voor zeugen kunnen extra maatregelen ter vermindering van de geuremissie beschikbaar komen door ook voor die diercategorie een reductie vast te stellen.

- *Toevoegmiddelen aan drijfmest in kelder*
- *Toevoegmiddelen aan strooiselmest*
- *Sprayen probiotica in dierverblijf*

Er bestaan vele middelen die toegevoegd kunnen worden aan drijfmest van varkens of rundvee in kelders/opslagen met als claim dat daarmee de emissie van ammoniak en/of geur wordt verminderd, zoals plantenextracten, micro-organismen of chemische stoffen. Werkingsprincipes lopen uiteen van doding van micro-organismen (disinfectie), inhibitie van enzymen, verlaging van de pH van mest en

⁷ <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/>

oxidatie, enzymatische afbraak, absorptie of maskering van geurcomponenten. Een overzichtsartikel van McCrory & Hobbs (2001) bespreekt de opzet en uitkomsten van 14 lab- en veldstudies naar bioactieve toevoegmiddelen (micro-organismen, enzymen) aan drijfmest van varkens en rundvee om emissies van ammoniak en/of geur te verminderen. Negen van de 14 studies bestudeerden effecten op geur van in totaal 35 middelen. Bij 30 middelen werd geen effect gevonden. Eén middel verminderde de geuremissie gedurende 5 dagen, één middel verminderde alleen de onaangenaamheid van de geur en slechts 3 middelen waren effectief. De auteurs geven aan dat bioactieve toevoegmiddelen in het algemeen niet of kort werken. Belangrijk is dat leveranciers afdoende gebruik maken van kennis over microbiële en chemische processen in mest en kennis van het werkingsmechanisme van het middel. Zo verschuift bijvoorbeeld bij het aanzuren van mest (pH-verlaging) het evenwicht tussen ammonium (NH_4^+) en ammoniak (NH_3) in de mest richting ammonium waardoor de emissie van ammoniak vanuit de mest wordt gereduceerd. Naast een doordacht werkingsmechanisme dat aangrijpt op processen in mest, is aandacht nodig voor de praktische en financiële aspecten van de hoeveelheid middel dat nodig is om het effect te verkrijgen, de veiligheid van het middel voor mens en dier, en de eindigheid/tijdsduur van de werkzaamheid van het middel.

Onder de maatregel "Toevoegmiddel (zeolieten, zuren) aan voer" zijn de zeolieten (clinoptiloliet) reeds besproken als voeradditief. Deze mineralen kunnen echter ook worden aangebracht in stro(oisel) om de geuremissie hieruit te reduceren nadat de mest reeds is geproduceerd en in het stro(oisel) gedeponneerd. Naast de reeds besproken studie van Amon et al. (1997), welke geen effecten vond van het aanbrengen van 1,6 kg/m² clinoptiloliet, zijn er geen studies gevonden die het perspectief van deze maatregel verder inzichtelijk maken.

In Nederland is recent het sprayen van probiotica over het leefoppervlak van varkens onderzocht in twee afdelingen met vleesvarkens waarbij in één afdeling tijdens het reinigen, vervolgens dagelijks (in de eerste week na opleg) en vervolgens drie keer per week (in de daaropvolgende weken) een commercieel beschikbaar probioticum werd verneveld (Ellen et al., 2015). De proefperiode werd herhaald waarbij proefbehandeling en controle van afdelingen werden gewisseld om verstrengeling van afdelingseffecten op te heffen. Er werden geen effecten gevonden van de proefbehandeling op emissies van ammoniak, fijn stof, endotoxinen en geur.

Resumé: er bestaan vele middelen die kunnen worden toegevoegd aan drijfmest in kelders, uitgestrooid over strooisel of verneveld in de stal waarvan geclaimd wordt dat deze emissies van geur reduceren. Werkingsmechanismen zijn vaak onduidelijk, marketingclaims blijven in wetenschappelijk onderzoek niet overeind of het effect is kortdurend. Daarmee is deze maatregel binnen de context van dit rapport als niet perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

3.3 Maatregelen m.b.t. ventilatie en luchtbehandeling

- *Verlagen debiet door luchtconditionering*

De emissie van een bepaalde component uit stallen bestaat uit het ventilatiedebiet vermenigvuldigd met de concentratie van de component in die lucht verminderd met de achtergrondconcentratie in de buitenlucht. Daarmee is ook het verlagen van het ventilatiedebiet een oplossingsrichting voor het verminderen van emissies, mits concentraties niet (te zeer) oplopen door een kleiner verdunningsvoud. Aangezien het benodigde ventilatiedebiet vooral wordt gestuurd door de behoefte tot het afvoeren van de warmteproductie van de dieren, is het conditioneren/koelen van de binnenkomende lucht een manier om debietverlaging te realiseren. Bijvangst van een debietverlaging is dat een eventuele end-of-pipe behandeling van de ventilatielucht kleiner, en daarmee goedkoper, gedimensioneerd kan worden. Deze principes zijn nu reeds verwerkt in stalconcepten als Terra Sea (luchtconditionering + luchtwasser) en SunBro (luchtconditionering + chemische luchtwasser) en in pad cooling voor pluimveestallen (zie ook: Winkel et al., 2016b; blz. 25-26). Vermoedelijk wordt een verlaging van het debiet deels gecompenseerd door een hogere concentratie in dat debiet. Echter, door een lagere luchtsnelheid door de stal zullen stofdeeltjes meer sedimenteren en vervluchtiging van ammoniak en geurcomponenten worden verminderd. Verwacht wordt dat door het verlagen van het ventilatiedebiet per saldo een beperkte emissiereductie wordt verkregen.

Resumé: door luchtconditionering kan het ventilatiedebiet worden verminderd en – ten dele – vermoedelijk ook de emissies (als product van debiet maal concentratie) door minder gunstige condities voor vervluchtiging van geurcomponenten. Deze maatregel wordt als perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

- *Biofilter (=biobed)*
- *Chemische luchtwassers*
- *Biologische luchtwassers*
- *Gecombineerde luchtwassers*

Bovengenoemde vier zogenaamde 'end-of-pipe' technieken zijn effectief tegen geuremissies en als zodanig opgenomen in bestaande regelgeving onder diverse Rav-codes in diverse hoofdcategorieën in combinatie met diverse huisvestingssystemen. Daarbij zijn de gecombineerde luchtwassers op dit moment alleen inzetbaar bij varkens en vleeskalveren, niet bij pluimvee. Het biofilter is alleen inzetbaar gesteld voor pluimvee, als resultaat van recent onderzoek (Melse & Hol, 2017; Melse & Hol, 2012; Melse et al., 2014; Melse et al., 2015) en de grote behoefte aan stofreductietechnieken in deze sector. Het onderzoek naar geurreductie heeft zich in de afgelopen decennia voor een belangrijk deel gericht op deze end-of-pipe technieken en hierover zijn dan ook enkele tientallen wetenschappelijke artikelen en rapporten beschikbaar. Voor de onderliggende onderzoeksrapporten bij de diverse systemen wordt verwezen naar de systeembeschrijvingen voor deze systemen ⁸. Het in de praktijk technisch juist functioneren van end-of-pipe technieken is een zorgpunt, en dan met name voor de gecombineerde luchtwassers en de biofilters. Uit recent onderzoek is gebleken dat gecombineerde luchtwassers een lager rendement hebben dan eerder opgenomen in de Rgv (Melse et al., 2018a en 2018b).

- *Luchtwassening met ozon*
- *Luchtwassening met peroxide*
- *Luchtwassening met peroxone*
- *Luchtwassening met EOW (electrolyzed oxidizing water)*

In twee eerdere studies (Aarnink et al., 2004; Aarnink et al., 2015) is met het oog op risico's van kiememissies bestudeerd welke chemische stoffen – naast zwavelzuur dat thans gebruikt wordt in chemische en gecombineerde luchtwassers – in aanmerking zouden kunnen komen om micro-organismen te doden/af te breken in luchtwassersystemen. Van bovenstaande vier chemische oxidatiemiddelen is ingeschat dat zij tevens geurcomponenten kunnen oxideren. De genoemde rapporten geven toelichtingen op de werkingsprincipes en geven – waar mogelijk – ruwe kostenindicaties. Voor alle middelen geldt dat zij niet in de veehouderij worden toegepast en dat een praktische toepassing nog verder onderzoek en ontwikkeling vergt.

- *Nabehandeling met koude plasma*

In het veehouderijonderzoek, zowel in Nederland als daarbuiten, is veel onderzoek verricht naar het reduceren van emissies van stofdeeltjes door deze te ioniseren (elektrisch te laden) middels een hoge spanning, vervolgens te verzamelen op een geaard collectoroppervlak en tot slot te verwijderen van dit oppervlak. Dergelijke ionisatietechnieken zijn ontwikkeld voor stofdeeltjes in de stallucht in de diervverblijven (zie bijv. Cambra-Lopez et al., 2009 en Winkel et al., 2016a) en als end-of-pipe toepassing (Winkel et al., 2015). In dergelijke ionisatiesystemen is het energieniveau echter te laag om geurcomponenten afdoende af te breken. Een verdergaande vorm van ionisatie is de koude plasmatechnologie, welke eveneens besproken wordt in het rapport van Aarnink et al., (2015): "*koude plasmatechnologie is in feite een vergaande vorm van ionisatie van de lucht. Plasma wordt ook wel de vierde aggregatietoestand genoemd (vast → vloeibaar → gas → plasma). Een plasma is een (gedeeltelijk) geïoniseerd gas dat vooral bestaat uit elektronen, ionen en radicalen. Deze kunnen gegenereerd worden door het aanbrengen van sterke elektrische velden*". Over deze vorm van luchtreiniging bestaat nog slechts weinig kennis in een veehouderijcontext. Deense onderzoekers hebben in de afgelopen jaren een drietal labstudies verricht naar koude plasmatechnologie ter reductie van geurcomponenten uit varkensstallen. In een eerste studie werden hoge reducties van

⁸ <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/>

varkensgeur gevonden op basis van enkele indicatieve metingen aan een kleine experimentele reactor (capaciteit:

138 m³/h; spanning: 42 kV) (Andersen et al., 2010). Dezelfde reactor, uitgebreid met een nabehandeling met UV-straling, bleek in een tweede studie effectiever dan de koude plasma reactor alleen. De geurreducties varieerden tussen 70 en 90% (Andersen et al., 2012). In een derde studie met alleen de reactor werden wisselende instellingen bestudeerd (capaciteit: 67-270 m³/h; luchtsnelheid: ~2,4 m/s bij 135 m³/h; verblijfstijd lucht in reactor: ~0,4 seconden; spanning: 10-45 kV; energieconsumptie: 118-179 W) en de effecten daarvan op uiteenlopende geurcomponenten. Naast afbraak van geurcomponenten (o.a. indolen) werden er ook componenten gevormd. Ook vond er productie van ozon plaats en dat meer bij een negatieve dan een positieve elektrische spanning. Stofdeeltjes werden met een hoge efficiëntie verwijderd (Andersen et al., 2013). In Nederland is een experimentele koude plasma reactor ontwikkeld door de TU Eindhoven i.s.m. Hannover Milieu- en Veiligheidstechniek B.V. (HMVT) te Ede (capaciteit: 15.000 m³/h; reactorvolume: 0,4 m³; energieconsumptie: 10 kW) (HMVT, 2017). Deze reactor is echter nog niet beproefd voor emissiereductie bij stallen. Markrijpe reactoren voor toepassing in stallen bestaan op dit moment nog niet. De hierboven weergegeven energieconsumpties en luchtdebieten geven aan dat een hoog energieniveau nodig is per eenheid te behandelen lucht. Opschaling van experimentele reactoren met bovenstaande specificaties naar systemen die ventilatiedebieten in een range van tienduizend tot enkele honderdduizenden kuubs lucht per uur (zoals door stallen voor respectievelijk varkens en pluimvee worden geventileerd) kunnen behandelen, zullen nu nog zeer hoge energieconsumpties (wattages) vergen.

Resumé: koude plasmatechnologie is in staat zowel stofdeeltjes af te vangen als geurcomponenten af te breken. Op dit moment bestaan er nog geen praktijkrijpe reactoren voor toepassing in de veehouderij. Daarvoor is verder onderzoek en doorontwikkeling noodzakelijk. Voor de langere termijn wordt deze maatregel als perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

- *Fotokatalytische nabeh. (TiO₂ + UV)*

Onder de maatregel "Coating (TiO₂ + UV) op wanden" is reeds besproken dat het mogelijk is geurcomponenten in stallucht af te breken door ze in contact te brengen met titanium dioxide (TiO₂) dat wordt bestraald met ultraviolet licht (UV, 100-400 nm golflengte). Dit principe kan ook als end-of-pipe techniek worden ingezet. Hierbij worden geurcomponenten in de ventilatielucht van stallen door een reactor geleid met daarin filterstructuren of platen gecoat met TiO₂ die worden bestraald met ultraviolet licht. Zoals ook voor koude plasmatechnologie geldt, staat een dergelijke techniek voor veehouderijtoepassingen nog in de kinderschoenen. Belangrijke vragen bestaan bijvoorbeeld nog rondom de benodigde UV-intensiteit en verblijfstijd van de lucht in de reactor (bepalen samen de dosis), de optimale UV-golflengte(n), tegendrukken die ontstaan, effectiviteit, kosten en praktische inpassing in ventilatiesystemen van stallen. In de literatuur zijn hiernaar slechts twee studies op labschaal gevonden. Koziel et al. (2010) gebruikten een kleine experimentele fotokatalytische reactor met een TiO₂ coating op glasoppervlakken en twee 10 W UV-lampen met spectrale pieken rond 185 en 254 nm golflengte. De reactor werd gevoed met luchtmonsters met varkensgeurcomponenten. De auteurs rapporten reducties voor individuele geurcomponenten tussen circa 50 en 90% en deze reducties namen lineair toe met de UV-dosis (behandelingstijd × UV-intensiteit). Ook in met dynamische olfactometrie bepaalde concentraties geureenheden werden reducties gevonden, van maximaal 50 tot 70% voor de hoogste UV-dosis. Weglating van TiO₂ als katalysator, waarbij alleen de UV₁₈₅ en UV₂₅₄-straling resteerde, leidde tot lagere reducties of zelfs een netto productie van azijnzuur in de reactor. Weglating van de UV₁₈₅-straling leidde eveneens tot lagere reducties. Yao & Feilberg (2015) gebruikten eveneens een kleine experimentele fotokatalytische reactor met een TiO₂ coating op drie in serie geplaatste keramische filters (10 cm tussenafstand; elk 88,5 × 73,5 cm) en een set van 14 UV-buizen (315-400 nm golflengte, spectrale piek op 368 nm; 8,1 W output per buis) op 5 cm voor elk filter. De reactor werd gevoed met 9 verschillende geurcomponenten via een aanvoerend en afvoerend luchtkanaal. Voor bijna alle geurcomponenten konden reducties boven 80% worden bereikt wanneer het luchtdebiet laag was (<200 m³/h). Het verwijderen van de helft van de lampen had geen effect op de reducties. Binnen de (voor stallucht representatieve) range van 40-80% relatieve luchtvochtigheid werd geen effect op reducties gevonden.

Resumé: geurcomponenten in de ventilatielucht van stallen kunnen worden afgebroken door deze door een reactor leiden met daarin structuren met titanium dioxide (TiO₂) die worden bestraald met ultraviolet licht. Binnen de context van de veehouderij zijn nog maar enkele studies verricht. Deze oplossingsrichting vergt verder onderzoek en ontwikkeling om te komen tot praktijkrijpe toepassingen. Voor de langere termijn wordt deze maatregel als perspectiefvol beoordeeld (zie Tabel 1).

3.4 Maatregelen 'out-of-pipe'

- *Uitstroom ombuigen naar verticaal*
- *Verticale uitstroomsnelheid ↑*
- *Emissiepunt verhogen*
- *Verplaatsen emissiepunt*
- *Groenelementen rond stal*

Alle hierboven genoemde maatregelen spelen zich af buiten het dierverblijf van de stal en veranderen de emissievracht uit het stalgebouw niet. De maatregelen zorgen ervoor dat de ventilatielucht met geurcomponenten, maar ook stofdeeltjes, beter opmengt in de atmosfeer voordat het omliggende leefgebied wordt bereikt. De eerste vier maatregelen zijn nu reeds toepasbaar: in verspreidingsmodellen (V-STACKS vergunningen voor geur, ISL3a voor fijn stof) kan nu reeds met deze vier maatregelen worden gevarieerd om tot een zo klein mogelijke belasting voor de omgeving te komen. Voor geurcomponenten, waarvan geen toxische effecten te verwachten zijn, is het verminderen van hinder via atmosferische verdunning effectief en veilig. Echter, voor stofdeeltjes met endotoxinen en micro-organismen ("bioaerosolen"), waar effecten niet via de reuk en hinder maar via fysiologische mechanismen tot stand komen, is dit niet zonder meer te concluderen (Winkel et al., 2016b). Groenelementen rondom stallen worden ook wel windsingels, "vegetative buffers" of "shelterbelts" (Engelstalige literatuur) genoemd. Er is vrij veel onderzoek gedaan naar de afvangst van stofdeeltjes door groenelementen (zie de literatuurbespreking in Winkel et al., 2016b, par. 2.13). Ook naar de afvangst en atmosferische opmenging van gasvormige componenten/geurcomponenten zijn enkele studies verricht (Hernandez et al., 2012; Tyndall & Colletti, 2007; Tyndall & Grala, 2009; Van Dijk et al., 2005). Er kunnen drie mogelijke werkingsprincipes worden onderscheiden: 1) het afvangen van stofdeeltjes met geurcomponenten, 2) het absorberen van gasvormige geurcomponenten, en 3) het vergroten van atmosferische verdunning van ventilatielucht door opstuwung door het groenelement. De effecten van werkingsprincipes 1) en 2) zijn zeer beperkt. Gedacht moet worden aan 0 tot 25% reductie onder ideale omstandigheden van loofdichtheid/porositeit, hoogte, afstand tussen stal en groenelement, enzovoort. De jaarkosten van deze maatregel wordt eveneens gegeven in de rapportage van Winkel et al., 2016b.

Resumé: door de ventilatielucht van stallen verticaal uit te werpen, de uitstroomsnelheid te verhogen, het emissiepunt te verhogen en het emissiepunt te verplaatsen wordt atmosferische verdunning van de ventilatielucht vergroot. Voor geurcomponenten is dit veilig en effectief. Voor andere componenten, zoals stofdeeltjes met daarin endotoxinen en micro-organismen, geldt dat lokale concentratiepieken benedenwinds van stallen worden 'uitgesmeerd' over de dalen tussen de stallen. Het ruimtelijke concentratieprofiel wordt afgeplat waarmee gemiddelde achtergrondconcentraties toenemen. Voor stofdeeltjes is op dit moment onzeker of dit een verstandige aanpak is. Echter, als de ventilatielucht door een bepaalde techniek reeds ontdaan is van stofdeeltjes, kan deze aanpak de geurbelasting in de omgeving verminderen.

3.5 Geurreductie door stofreductie?

De in de voorgaande paragrafen besproken maatregelen zijn gericht op het reduceren van emissies van geur als gasvormige (vervluchtigde) componenten in lucht. Wie echter wel eens aan een stoflaagje op een bemonsteringsfilter uit een varkens- of pluimveestal heeft geroken, weet dat ook uit stofdeeltjes geurcomponenten vrijkomen. Kan de emissie van geur worden verminderd door de emissie van stofdeeltjes te verminderen?

Day et al. (1965) waren, voor zover bekend, de eerste auteurs die rapporteerden dat stof verzameld in varkensstallen geur produceert. Deze auteurs probeerden de gassen en geurcomponenten in de lucht van varkensstallen met en zonder rioleringsstelsel te kwantificeren door stallucht door achtereenvolgens een glasvezelfilter en een koude wasfles te zuigen (om vluchtige componenten te kunnen vasthouden). Ook het verzamelde stof op het glasvezelfilter bleek geurcomponenten te produceren, maar deze konden slechts ten dele en zeer ruw worden geïdentificeerd.

Geïnspireerd door de voornoemde publicatie, verzamelde Burnett (1969) zwevend stof in de lucht van een leghennenstal (op filters) en gesedimenteerd stof van oppervlakken in de stal, mengde dit met gedestilleerd water en stripte vluchtige componenten uit de stof-watersuspensie door er (kleurloos, reukloos, smaakloos en inert) stikstofgas doorheen te voeren. Het gas werd zowel door een gaschromatograaf geanalyseerd als door een geurpaneel gekarakteriseerd. Het geurpaneel beoordeelde de lucht als een "typische kippenlucht". Met gaschromatografie werden meerdere geurcomponenten gevonden. Filters met kippenstof die werden verhit tot 100 °C, of gedurende 12 uur bij kamertemperatuur werden gehouden, verloren hun kippenlucht volledig, wat op een rol van vluchtige componenten wijst. De auteurs concluderen dat stofdeeltjes geurcomponenten kunnen bevatten en transporteren naar de buitenlucht en stellen dat onderzoek moet uitwijzen welke rol dit fenomeen speelt bij geuremissie naar de atmosfeer. Na deze twee studies hebben diverse andere studies geurcomponenten uit stofdeeltjes geïdentificeerd of gewerkt aan verbeterde analysemethoden van geurcomponenten uit stofdeeltjes (Hammond et al., 1979; Hammond et al., 1981; Hartung, 1985; Wang et al., 1998; Oehrl et al., 2001; Das et al., 2004; Razote et al., 2004; Cai et al., 2006; Yang et al., 2014).

Over de rol van stofdeeltjes in het transport van geurcomponenten bestaan wisselende onderzoeksresultaten. Hammond et al. (1979) bijvoorbeeld, rapporteerden dat sterk ruikende varkenslucht zijn geur geheel verloor wanneer het door een fijn millipore filter (0.8 µm poriëgrootte) werd gehaald. Dit lijkt echter onwaarschijnlijk. Luchtmonsters die worden geanalyseerd met geurpanelen zijn veelal bij het bemonsteren d.m.v. filters op het aanzuigpunt van de monsternamleiding ontdaan van stof om vervuiling van apparatuur te voorkomen. Verder bleek uit een studie door Williams (1989) aan drie typen monsternamlezakken (Tedlar/polyvinylfluoride, Teflon/polytetrafluoretheen en aluminiumfolie) dat concentraties van zwevend stof in de zakken binnen circa 20 minuten halveerden en binnen een uur tot dichtbij nul waren gereduceerd door sedimentatie en elektrostatische precipitatie. De geurnorm EN 17325 (CEN, 2003) schrijft voor dat geurmonsters binnen 30 uur na monsternam door een geurlab worden geanalyseerd. Deze tijd is ruim voldoende om concentraties van zwevend stof tot dichtbij nul te reduceren, zelfs als geen stoffilters op monsternamleidingen worden toegepast. Daarnaast zal stofafzetting plaats vinden in de monsternamleiding tussen de monsternamleplek en geurzak en in het olfactometrische apparaat. Dit alles betekent dat de bemonsterde lucht die aangeboden wordt aan panelleden bij olfactometrie in de praktijk nagenoeg stofvrij zal zijn (Bottcher, 2001). In deze luchtmonsters worden echter wel degelijk (hoge) geurconcentraties gevonden. In een vervolgstudie vonden Hammond et al. (1981) dan ook wel degelijk "doorslag" van geurcomponenten door een millipore filter (welke geadsorbeerd werden door een in serie geplaatste tweede filter). De auteurs stellen in hun tweede studie dat de hoeveelheid gasvormige geurcomponenten in varkenslucht vier tot vijf keer groter was dan de hoeveelheid geurcomponenten geadsorbeerd aan de zwevende stofdeeltjes. Williams (1989) vond geen verschil in geurconcentratie (bepaald d.m.v. olfactometrie) van vleeskuikenlucht dat wel of niet door meerdere filters (grof naar fijn) werd gehaald, en dat bij zowel directe olfactometrie als olfactometrie van lucht uit monsternamlezakken. In een review artikel van Hartung (1986) vergelijkt deze concentraties van vluchtige vetzuren, fenolen en indolen in varkensstof (µg/m³) uit eigen onderzoek (Hartung, 1985) met die in varkenslucht (µg/m³) uit onderzoek van Logtenberg & Stork (1976): op basis van die vergelijking zouden fenolen/indolen in het varkensstof minder dan eentiende, en vluchtige vetzuren minder dan een procent, uitmaken van het totaal aan geurcomponenten in varkenslucht. Een iets grondiger vergelijking, zij het nog steeds indirect, is recent uitgevoerd door Yang et al. (2014): zij vergeleken de in eigen werk gevonden luchtconcentraties van geurcomponenten uit stofdeeltjes (milligrammen geurcomponenten per m³ lucht) met luchtconcentraties van geurcomponenten in de gasfase (eveneens in mg/m³) uit vijf andere studies. In deze vergelijking bedroeg het aandeel geurcomponenten uit stofdeeltjes 0,002 tot 4% van het totaal aan geurcomponenten in stallucht.

Na emissie van gasvormige geurcomponenten en geurcomponenten in stofdeeltjes spelen nog twee aspecten nog een rol. In de eerste plaats moet bedacht worden dat na emissie een belangrijk deel van de stofmassa uit stallucht sedimenteert in de omgeving van stallen, binnen tientallen tot enkele honderden meters. Geurcomponenten in de gasfase, echter, sedimenteren in het geheel niet. Bij de geurbelasting op enige afstand van een stal zal een (mogelijke) bijdrage van stofdeeltjes in het totaal van geur in de lucht daarom kleiner zijn dan bij het emissiepunt. Een tweede aspect, met een tegengesteld effect, is dat een stofdeeltjes die een receptor bereikt en wordt ingeademd via de neus relatief veel geurcomponenten in de neusholte kan afleveren.

Resumé: Geurcomponenten komen in stallucht voor in de gasfase en als (vluchtige) onderdelen van stofdeeltjes. Door filtratie bij monsternamen, afzetting van stof in monsternamenameidingen, geurzakken en olfactometer, is de lucht die aangeboden wordt aan panelleden grotendeels stofvrij. Olfactometrisch bepaalde geurconcentraties weerspiegelen daarom concentraties van gasvormige geurcomponenten. Ondanks enig onderzoek op dit gebied is onzeker welke bijdrage stofdeeltjes precies leveren aan geurconcentraties in stallucht. Theoretisch gezien zal van het reduceren van stofemissies enig geurreducerend effect uitgaan omdat geurcomponenten in stofdeeltjes worden gereduceerd. De paar studies die voorhanden zijn suggereren dat de bijdrage van stofdeeltjes aan het totaal aan geurcomponenten in stallucht hooguit enkele procenten bedraagt. Met de huidige stand van kennis lijkt stofreductie op dit moment geen wezenlijke bijdrage te leveren aan geurreductie.

3.6 Geurreductie door combinatie van maatregelen

Een relevante vraag is of de geuremissie uit diervverblijven van stallen gereduceerd kan worden door maatregelen te combineren. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de maatregelen in de vijf subgroepen van Tabel 1 veelal gecombineerd ingezet kunnen worden. In principe zijn zo vele combinaties mogelijk. Een aandachtspunt bij deze aanpak is wel dat in sommige gevallen waar maatregelen op achtereenvolgende stappen in het emissieproces ingrijpen, de extra vermindering van de geuremissie kleiner wordt met elke maatregel die wordt toegevoegd (elke volgende maatregel grijpt slechts nog aan op het restant van de vorige maatregel) zodat de kostenefficiëntie afneemt. Hierdoor maakt bijvoorbeeld het inzetten van een end-of-pipe techniek met een hoge verwijdering van geur (bijv. een luchtwasser) elke andere maatregel die vóór dit punt in het emissieproces wordt toegepast (bijv. in het houderijsysteem) minder effectief en relatief duur. Soms zijn maatregelen ook additief: een strooiselmestschuif bijvoorbeeld, kan de hoeveelheid strooiselmest op de vloer van een leghennenstal verminderen terwijl het frequent afdraaien van mestbanden de hoeveelheid bandenmest kan verminderen. Beide mestsoorten zijn geurbronnen die worden verminderd en de twee maatregelen werken hier additief. Per combinatiemogelijkheid moet beoordeeld worden of de combinatie praktisch inpasbaar is, welke gezamenlijke geurreductie verkregen wordt, welke kosten ermee gemoeid zijn en of deze kosten in verhouding staan tot de verkregen geurreductie.

3.7 Geurreductie bij enkele andere bronnen

Zoals in de inleiding genoemd, richt dit rapport zich op het reduceren van geuremissies uit de diervverblijven van stallen in de intensieve veehouderij. Enkele andere bronnen van geur zijn o.a. de opslag van voercomponenten voor het bereiden van brijvoer op varkensbedrijven en het verwijderen van strooiselmest uit de stal na het afleveren van de dieren bij pluimveebedrijven. Er zijn nauwelijks mogelijkheden om de geuremissie uit voeropslagen en/of voerkeuken te voorkomen of te reduceren. Veel zal afhangen van de aanwezige voercomponenten en de dagelijkse werkwijze van de veehouder, zoals bijvoorbeeld het afdekken van sleufsilos en het schoonmaken van lege voorraadbakken. Eventueel kan een inpandige opslag van voedercomponenten worden aangesloten op een chemische luchtwasser. Biologische luchtwassers kunnen gevoelig zijn voor bij fermentatieprocessen vrijkomende stoffen.

Het verwijderen van strooiselmest uit pluimveestallen (en de eventueel aanwezige overdekte uitloop) wordt zo snel mogelijk gedaan na het afleveren van de dieren. De mate van geuremissie (en hinder) is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de strooiselmest (zie ook eerder) en de werkwijze van de veehouder. Eenvoudige oplossingen zijn niet voorhanden. Een mogelijke is te zorgen voor maximale ventilatie waarbij de lucht verticaal wordt uitgeblazen. Zoals aangegeven in paragraaf 3.4 kan hiermee hinder in de directe omgeving worden beperkt.

Bij leghennenbedrijven (en ook opfokleghennen) wordt regelmatig mest opgeslagen in een loods of nagedroogd in een droogtunnel. Bij beide activiteiten komt in meer of mindere mate geur vrij. In de Rgv zijn hiervoor echter geen emissiefactoren opgenomen. Wel zijn er metingen gedaan naar de (extra)geuremissie bij droogtunnels, welke aanzienlijk is (een bespreking van alle literatuur rondom emissies uit droogtunnels kan gevonden worden in het rapport door Winkel et al. (2004). Mogelijkheden om de geuremissie te beperken zijn er alleen door de lucht uit de droogtunnel te behandelen met een luchtwastechniek.

4 Conclusies

4.1 Bestaande maatregelen

Bronmaatregelen

Op dit moment kunnen geuremissies uit varkensstallen worden gereduceerd door de volgende bronmaatregelen in de stal:

- Roosters met goede doorlaat toepassen (o.a. metalen driekantroosters; diverse Rav-codes D)
- Verkleind emitterend oppervlak kelder (o.a. stankafsluiters en schuine putwanden; diverse Rav-codes D)
- Toplaag mengmest in kelder koelen (betreft Koeldekstelsysteem, o.a. Rav D 3.2.3)
- Mestbanden onder roostervloer (betreft Kempfarmstelsysteem, Rav D 3.2.16)
- Drijvende ballen in mest in kelder (betreft Balansballensysteem, Rav D 4.1)
- Mestopvang in water (betreft Cavardosysteem, Rav D 3.2.5)
- Mest in kelder aanzuren (betreft o.a. Rav D 3.2.2)

Met uitzondering van de drijvende ballen, hebben bovenstaande maatregelen een geuremissiefactor die 22% lager is dan die van conventionele vleesvarkensstallen (Rav D 3.100).

End-of-pipe maatregelen

Op dit moment kunnen geuremissies uit de intensieve veehouderij worden gereduceerd door de volgende end-of-pipe maatregelen:

- Biofilter (alleen pluimvee), met een reductie van 45%
- Chemische luchtwassers (pluimvee, varkens en vleeskalveren), met reducties van 30%
- Biologische luchtwassers (pluimvee, varkens en vleeskalveren), met reducties van 45%
- Gecombineerde luchtwassers (varkens en vleeskalveren), met reducties van 30 en 45%

Het operationeel/technisch goed blijven werken van biofilters is een zorgpunt. Uit recent onderzoek is gebleken dat gecombineerde luchtwassers een lager rendement hebben dan eerder opgenomen in de Rgv (Melse et al., 2018a en 2018b).

Out-of-pipe maatregelen

Op dit moment kan de geurhinder (niet de geuremissie) t.g.v. intensieve veehouderijen worden gereduceerd door de volgende out-of-pipe maatregelen:

- Het ombuigen van de ventilatiestroom; van horizontaal naar verticaal
- Het vergroten van de uitstroomsnelheid
- Het verhogen van het emissiepunt (schoorsteenvorming)
- Het verplaatsen van het emissiepunt (verder verwijderd van geurgevoelige receptoren)

Deze maatregelen zijn geen onderdeel van regelingen (Rav, Rgv). Het zijn aanpassingen aan stallen waarmee in de verspreidingsmodellering met V-STACKS vergunningen in de praktijk kan worden gevarieerd om (via atmosferische verdunning) tot een zo klein mogelijke geurbelasting voor de omgeving te komen. Voor geurcomponenten, waarvan geen toxische effecten te verwachten zijn, is het verminderen van hinder via atmosferische verdunning effectief en veilig. Bedacht moet worden dat met deze aanpak mogelijk het verspreidingsgedrag van stofdeeltjes en het endotoxine daarin eveneens verandert: lokale pieken in belasting nabij stallen worden uitgesmeerd over een groter gebied, zodat regionale achtergrondconcentraties mogelijk toenemen. De (gunstige en/of ongunstige) gezondheidseffecten daarvan zijn op dit moment niet bekend.

4.2 Perspectievolle nieuwe maatregelen

Bronmaatregelen: varkensvoerders

De volgende bronmaatregelen in relatie tot voeders voor vleesvarkens zijn als perspectievolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Verlagen van het ruweiwitgehalte
- Afstemmen van het ruweiwitgehalte en het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten
- Het minimaliseren van het gebruik van zwavelrijke grondstoffen.

Nadere afstemming met de veevoedingsindustrie is nodig om te bepalen in welke mate deze mogelijkheden werkelijk kunnen worden benut bij het samenstellen van voeders, gezien de (reeds lage) ruweiwitgehalte in hedendaagse voeders, actuele grondstoffenprijzen en andere nutritionele eisen die aan voeders worden gesteld. Daarna kunnen ook de (meer)kosten voor voeders worden geschat.

Bronmaatregelen: bestaande pluimveestallen

De volgende bronmaatregelen voor bestaande pluimveestallen zijn als perspectievolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Dunnere meststrooisellaag d.m.v. strooiselmestschuiven. In recent onderzoek is vastgesteld dat het dun houden van de strooiselmestlaag in volièrestallen voor leghennen (max. 2-3 cm) in emissiereducties resulteert van circa 20% voor fijn stof en ammoniak. De techniek is per 15 maart 2017 opgenomen in de Rav en de lijst 'Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij' onder Rav-code E 7.10. Mogelijk reduceert deze techniek ook geur door het verminderen van de hoeveelheid geurbron. De jaarkosten worden geschat op EUR 0,08 per dierplaats voor een standaard leghennenstal en EUR 0,19 per dierplaats voor een standaard ouderdierenstal. De techniek vermindert het leggen van ongewenste 'buitennesteieren' en verkleint de arbeidsbehoefte voor het uitscheppen van strooiselmest. Vanwege deze nevenvoordelen is de bereidheid van legpluimveehouders om deze maatregel te implementeren groot. Een geurreductiepercentage kan worden vastgesteld op basis van voornoemde onderzoek. Wanneer de wens bestaat het geurreductiepercentage met een grotere mate van betrouwbaarheid vast te stellen, zijn aanvullende geurmetingen nodig.
- Frequent afdraaien mestbanden (dagelijks of vaker i.p.v. wekelijks of twee maal per week). Deze maatregel vermindert de aanwezigheid van bandenmest in pluimveestallen als bron van geur. De maatregel is toepasbaar in alle huisvestingssystemen voor pluimvee met mestbanden en in zowel bestaande als nieuwe stallen. De kosten beperken zich tot een mogelijk verhoogde slijtage van transportbanden en draaiende delen en hogere elektrakosten. De maatregel reduceert tevens de emissie van ammoniak, maar niet die van fijn stof of endotoxine. De reductie in ammoniak- en geuremissie van deze maatregel t.o.v. twee maal per week en wekelijks afdraaien van mestbanden kan vastgesteld worden volgens een adequaat onderzoeksontwerp in voor de Nederlandse situatie representatieve en modern uitgeruste stallen voor grond- en volièrehuisvesting. De verkregen relatieve reducties kunnen dan worden toegepast op de absolute (ammoniak en) geuremissies van stalsystemen met twee maal per week of wekelijkse ontmesting. Voor meer informatie over deze maatregel wordt verwezen naar de rapportage van Winkel et al. (2014).

Bronmaatregelen: emissiearme stalontwerpen

De volgende maatregelen m.b.t. emissiearme stalontwerpen zijn als perspectievolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Afscheiden strooiselruimten in de stal. De strooiselmestlaag vormt in pluimveestallen de belangrijkste bron van stofdeeltjes, endotoxinen, micro-organismen, ammoniak en geur. Door strooiselruimten voor "vuil gedrag" (stofbaden, scharrelen) te scheiden van "schoon gedrag" (eten, drinken, leggen en rusten) kunnen emissies van leghennenstallen vermoedelijk belangrijk worden gereduceerd. Verdere uitwerking van deze oplossingsrichting voor nieuwe stalontwerpen en mogelijk tevens bestaande stallen, vereist samenwerking tussen onderzoekers (m.b.t. ontwerpprocessen, emissieprocessen, dierwelzijn en gedrag), bedrijfsleven (stalinrichters, ventilatiefirma's) en sector (pluimveehouders). Het is een oplossingsrichting voor de langere termijn. Er kan geen kostenberekening worden gegeven.

-
- Varkenstoilet. In vleesvarkenstallen met een zogenaamd varkenstoilet kunnen hokbevuiling en de daaraan verbonden (geur)emissies vermoedelijk worden gereduceerd door gebruik te maken van het zindelijke gedrag van varkens. De jaarkosten bedragen naar schatting EUR 10,- per dierplaats. Voor het beschikbaar komen van reductiepercentages voor ammoniak en geur is emissieonderzoek op vleesvarkensbedrijven noodzakelijk.
 - Verlagen debiet (en emissies) door luchtconditionering. Door luchtconditionering kan het ventilatiedebiet worden verminderd en – ten dele – vermoedelijk ook de emissies (als product van debiet maal concentratie) door minder gunstige condities voor vervluchting van geurcomponenten en ammoniak en gunstiger condities voor sedimentatie van stofdeeltjes. Daarnaast maakt een kleiner luchtdebiet kleiner gedimensioneerde en goedkopere end-of-pipe oplossingen mogelijk. Deze oplossingsrichting wordt reeds toegepast in sommige pluimveestallen maar kan uitgebreid worden naar meer diercategorieën. Het is een oplossingsrichting voor de langere termijn. Er kan geen kostenberekening worden gegeven.

End-of-pipe maatregelen

De volgende end-of-pipe maatregelen zijn als perspectiefvolle nieuwe maatregelen beoordeeld:

- Nabehandeling met koude plasmatechnologie
- Fotokatalytische nabehandeling

Voor beide technieken geldt dat er internationaal slechts enkele studies uitgevoerd zijn naar de effectiviteit en toepassing in de veehouderij. Verder onderzoek en doorontwikkeling is noodzakelijk om deze technieken te optimaliseren en inpasbaar te maken voor veehouderijbedrijven. Het zijn beide oplossingsrichtingen voor de langere termijn. Er kan geen kostenberekening worden gegeven.

Literatuur

- Aarnink, A. J. A., W. J. M. Landman, R. W. Melse, P. Gijssels de, A. H. T. Thuy, & 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., & M. W. A. Verstegen. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science* 109:194-203.
- Aarnink, A. J. A., M. Cambra-López, T. L. H. Lai, & N. W. M. Ogink. 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Rapport 452. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Aarnink, A. J. A., T. J. Hagenaars, & N. W. M. Ogink. 2015. Technieken voor reductie van bio-aerosol emissies uit stallen. Rapport 828. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Amon, M., M. Dobeic, R. W. Sneath, V. R. Phillips, T. H. Misselbrook, & B. F. Pain. 1997. A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-Odorase® for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresource Technology* 61:229-237.
- Andersen, K. B., A. Feilberg, & J. A. Beukes. 2010. Abating odour nuisance from pig production units by the use of a non-thermal plasma system. *Chemical Engineering Transactions* 23:351-356.
- Andersen, K. B., A. Feilberg, & J. A. Beukes. 2012. Use of non-thermal plasma and UV-light for removal of odour from sludge treatment. *Water Science and Technology* 66:1656-1662.
- Andersen, K. B., J. A. Beukes, & A. Feilberg. 2013. Non-thermal plasma for odour reduction from pig houses - A pilot scale investigation. *Chemical Engineering Journal* 223:638-646.
- Bibbiani, C., & C. Russo. 2012. Odour emission from intensive livestock production system: Approaches for emission abatement and evaluation of their effectiveness. *Large Animal Review* 18:135-138.
- Bottcher, R. W. 2001. An environmental nuisance: Odor concentrated and transported by dust. *Chemical Senses* 26:327-331.
- Burnett, W. E. 1969. Odor transport by particulate matter in high density poultry houses. *Poultry Science* 48:182-185.
- Cai, L., J. A. Koziel, Y. C. Lo, & S. J. Hoff. 2006. Characterization of volatile organic compounds and odorants associated with swine barn particulate matter using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry. *Journal of Chromatography A* 1102:60-72.
- Cambra-López, M., A. Winkel, J. Van Harn, N. W. M. Ogink, & A. J. A. Aarnink. 2009. Ionization for reducing particulate matter emissions from poultry houses. *Transactions of the ASABE* 52:1757-1771.
- Cambra-López, M., T. Hermosilla, H. T. L. Lai, A. J. A. Aarnink, & N. W. M. Ogink. 2011. Particulate matter emitted from poultry and pig houses: Source identification and quantification. *Transactions of the ASABE* 54:629-642.
- Carey, J. B., R. E. Lacey, & S. Mukhtar. 2004. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 2. Flock and house management factors. *Journal of Applied Poultry Research* 13:509-513.
- CBS. 2012. Milieuhinder, -gedrag en -besef van personen, 1997-2011. Online beschikbaar op <http://statline.cbs.nl> (geraadpleegd mei 2017). Den Haag, Nederland: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CEN. 2003. EN 13725:2003. Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- Clark, O. G., S. Moehn, I. Edeogu, J. Price, & J. Leonard. 2005. Manipulation of dietary protein and nonstarch polysaccharide to control swine manure emissions. *Journal of Environmental Quality* 34:1461-1466.
- Costa, A., G. L. Chiarello, E. Selli, & M. Guarino. 2012. Effects of TiO₂ based photocatalytic paint on concentrations and emissions of pollutants and on animal performance in a swine weaning unit. *Journal of Environmental Management* 96:86-90.
- Das, K. C., J. C. Kastner, & S. M. Hassan. 2004. Potential of particulate matter as a pathway for odor dispersion. In: *ASAE/CSAE Annual International Meeting (August 1-4, 2004)*. Ottawa, Ontario, Canada.

-
- Day, L., E. L. Hansen, & S. Andersen. 1965. Gases and odors in swine confinement buildings. *Transactions of the ASABE* 8:118-121.
- Ellen, H. H., J. Van Harn, & J. W. H. Huis in't Veld. 2014. Handvatten voor vermindering geuroverlast bij varkens- en pluimveebedrijven. Rapport 789. Lelystad, the Netherlands: Wageningen Livestock Research.
- Ellen, H. H., K. Groenestein, J. M. G. Hol, N. W. M. Ogink, & L. Van der Pas. 2015. Emissiereductie door verneveling van probiotica over leefoppervlak: literatuurstudie en metingen bij vleesvarkens. Rapport 809. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ellen, H., J. v. Harn, J. Mosquera, & N. Ogink. 2017. Geurreductie bij vleeskuikens: indicatief onderzoek naar de effecten van voersamenstelling en strooiselmanagement op de geuremissie bij vleeskuikens. Rapport 1030. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Livestock Research.
- EU. 2005. Commission regulation (EC) No 1810/2005 of 4 November 2005 concerning a new authorisation for 10 years of an additive in feedingstuffs, the permanent authorisation of certain additives in feedingstuffs and the provisional authorisation of new uses of certain additives already authorised in feedingstuffs. *Official Journal of the European Union* L291:5-11.
- Geelen, L., D. Boers, B. Brunekreef, & I. M. Wouters. 2015. Geurhinder van veehouderij nader onderzocht: meer hinder dan Handreiking Wgv doet vermoeden? Actualisatie blootstellingresponsrelatie tussen gemodelleerde cumulatieve geurbelasting en geurhinder in Noord-Brabant en Limburg-Noord. Rapportnummer INT-14108200. Tilburg, Nederland: Bureau Gezondheid, Milieu & Veiligheid (GMV) van de GGD'en Brabant/Zeeland en het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht.
- Groot Koerkamp, P. W. G. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural and Engineering Research* 59:73-87.
- Guarino, M., A. Costa, & M. Porro. 2008. Photocatalytic TiO₂ coating-to reduce ammonia and greenhouse gases concentration and emission from animal husbandries. *Bioresource Technology* 99:2650-2658.
- Hammond, E. G., C. Fedler, & C. Junk. 1979. Identification of dust-born odors in swine confinement facilities. *Transactions of the ASAE* 22:1168-1190.
- Hammond, E. G., C. Fedler, & R. J. Smith. 1981. Analysis of particle-borne swine house odors. *Agriculture and Environment* 6:395-401.
- Hamon, L., Y. Andrès, & E. Dumont. 2012. Aerial pollutants in swine buildings: A review of their characterization and methods to reduce them. *Environmental Science and Technology* 46:12287-12301.
- Hartung, J. 1985. Gas chromatographic analysis of volatile fatty acids and phenolic indolic compounds in pig house dust ethanolic extraction. *Environmental Technology Letters* 6:21-30.
- Hashimoto, K., H. Irie, & A. Fujishima. 2005. TiO₂ photocatalysis: A historical overview and future prospects. *Japanese Journal of Applied Physics* 44:8269-8285.
- Hernandez, G., S. Trabue, T. Sauer, R. Pfeiffer, & J. Tyndall. 2012. Odor mitigation with tree buffers: Swine production case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 149:154-163.
- HMVT. 2017. Gepulste Corona Technologie (website). Online beschikbaar op: <http://www.hmvt.nl/hmvtwiki/corona>. Geraadpeegd mei 2017. Ede, the Netherlands: Hannover Milieu- en Veiligheidstechniek B.V. (HMVT).
- Hobbs, P. J., T. H. Misselbrook, & B. F. Pain. 1997. Characterisation of odorous compounds and emissions from slurries produced from weaner pigs fed dry feed and liquid diets. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 73:437-445.
- Hol, J. M. G., C. t. Beek, G. M. Nijeboer, L. Simonse, G. Mol, & N. W. M. Ogink. 2004. Geuremissie uit de veehouderij III: technische rapportage varkenshouderij. Rapport 294. Wageningen, the Netherlands: Agrotechnology & Food Sciences Group.
- IKB. 2006. IKB Varken. Werkboek versie 6.0. De controlepunten van IKB Varken op een rij. Online beschikbaar op: <http://www.ikbvarken.nl/Downloads/Werkboek.aspx>. Zeist, the Netherlands: CBD B.V.
- Islam, M. M., S. T. Ahmed, S. G. Kim, H. S. Mun, & C. J. Yang. 2014. Dietary effect of artificial zeolite on performance, immunity, faecal microflora concentration and noxious gas emissions in pigs. *Italian Journal of Animal Science* 13:830-835.

-
- Koziel, J. A., X. Yang, H. Van Leeuwen, W. Jenks, & Y. Laor. 2010. Treatment of odorous VOCs with ultraviolet light. *Chemical Engineering Transactions* 23: 363-368.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink, N. W. M. Ogink, P. M. Becker, & M. W. A. Verstegen. 2005. Odour from animal production facilities: Its relationship to diet. *Nutrition Research Reviews* 18: 3-30.
- Le, P. D. 2006. Odor from pig production: its relation to diet. Proefschrift/Dissertation. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink, A. W. Jongbloed, C. M. C. Van Der Peet-Schwering, N. W. M. Ogink, & M. W. A. Verstegen. 2007a. Effects of dietary crude protein level on odour from pig manure. *Animal* 1: 734-744.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink, A. W. Jongbloed, C. M. C. Van Der Peet-Schwering, N. W. M. Ogink, & M. W. A. Verstegen. 2007b. Effects of crystalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig manure. *Journal of Animal Science* 85: 791-801.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink, A. W. Jongbloed, C. M. C. van der Peet-Schwering, N. W. M. Ogink, & M. W. A. Verstegen. 2008. Interactive effects of dietary crude protein and fermentable carbohydrate levels on odour from pig manure. *Livestock Science* 114: 48-61.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink, & A. W. Jongbloed. 2009. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science* 121: 267-274.
- Liu, Z., W. Powers, & S. Mukhtar. 2014. A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities. *Applied Engineering in Agriculture* 30: 477-492.
- McCrary, D. F., & P. J. Hobbs. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review. *Journal of Environmental Quality* 30: 345-355.
- Melse, R. W., & J. M. G. Hol. 2012. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: biofiltratie van ventilatielucht uit een mestdroogsysteem bij een leghennenstal. Rapport 498. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Melse, R. W., J. M. G. Hol, G. M. Nijeboer, & T. G. Van Hattum. 2014. Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal. Rapport 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, & T. G. Van Hattum. 2015. Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal - locatie 2. Rapport 896. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Melse, R. W., & A. Hol. 2017. Biofiltration of exhaust air from animal houses: Evaluation of removal efficiencies and practical experiences with biobeds at three field sites. *Biosystems Engineering* 159: 59-69.
- Mol, G., & N. W. M. Ogink. 2002. Geuremissies uit de veehouderij II: overzichtsrapportage 2000-2002. IMAG Rapport 2002-09. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Mosquera, J., R. Van Emous, T. Van Hattum, G. Nijeboer, J. M. G. Hol, H. J. Van Dooren, & N. W. M. Ogink. 2016. Effect van strooiselverwijdering bij leghennen in volièrehuisvesting op de emissie van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijnstof. Rapport 995. Wageningen Livestock Research. Wageningen, the Netherlands.
- Mumpton, F. A. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96: 3463-3470.
- Nahm, K. H. 2003. Current pollution and odor control technologies for poultry production. *Avian and Poultry Biology Reviews* 14: 151-174.
- Ngwabie, N. M., Jeppsson, K.-H., G. Gustafsson, & S. Nimmermark. 2010. Influence of environmental factors and the addition of wood shavings on ammonia and odour emissions from fresh livestock manure. *Agric. Eng. Int.: CIGR Journal* 12: 68-81.
- O'Neill, D. H., & V. R. Phillips. 1991. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 1, influence of the techniques for managing waste within the building. *Journal of Agricultural and Engineering Research* 50(C): 1-10.
- O'Neill, D. H., I. W. Stewart, & V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 2, The costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. *Journal of Agricultural and Engineering Research* 51(C): 157-165.
- Obrock, H. C., P. S. Miller, & A. J. Lewis. 1997. The effect of reducing dietary crude protein concentration on odour in swine facilities. *Nebraska Swine Report*. Lincoln, NB: University of Nebraska-Lincoln.
- Oehrl, L. L., K. M. Keener, R. W. Bottcher, R. D. Munilla, & K. M. Connelly. 2001. Characterization of odor components from swine housing dust using gas chromatography. *Applied Engineering in Agriculture* 17: 659-661.

-
- Ogink, N. W. M., & P. N. Lens. 2001. Geuremissies uit de veehouderij: overzichtsrapportage 1996-1999. IMAG rapport 2001-14. Wageningen, the Netherlands: IMAG.
- Ogink, N. W. M. 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 491. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ramesh, K., D. D. Reddy, A. K. Biswas, & A. S. Rao. 2011. Zeolites and their potential uses in agriculture. In *Advances in Agronomy* 113:215-236.
- Razote, E. B., R. G. Maghirang, L. M. Seitz, & I. J. Jeon. 2004. Characterization of volatile organic compounds on airborne dust in a swine finishing barn. *Transactions of the ASAE* 47:1231-1238.
- Rijksoverheid. 2006. Wet geurhinder en veehouderij, geldend vanaf 1-1-2013. Online beschikbaar op: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0020396/2013-01-01> (geraadpleegd mei 2017). Den Haag, Nederland: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Rijksoverheid. 2017. Regeling geurhinder en veehouderij, geldend vanaf 11-04-2017. Online beschikbaar op: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0020711/2017-04-11> (geraadpleegd mei 2017). Den Haag, Nederland: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- 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, & C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural and Engineering Research* 70:97-109.
- Timmerman, M., J.W. van Riel, M.A.H.H. Smolders, & E.M.A.M. Bruininx. Vochtrijke diervoeders en geuremissie uit vleesvarkenstallen. *PraktijkRapport Varkens* 31. Wageningen, the Netherlands: Animal Sciences Group.
- Spiehs, M. J., T. M. Brown-Brandl, D. B. Parker, D. N. Miller, E. D. Berry, & J. E. Wells. 2013. Effect of bedding materials on concentration of odorous compounds and *Escherichia coli* in beef cattle bedded manure packs. *Journal of Environmental Quality* 42:65-75.
- Sutton, A. L., K. B. Kephart, M. W. A. Verstegen, T. T. Canh, & P. J. Hobbs. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science* 77:430-439.
- Tyndall, J., & J. Colletti. 2007. Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: A review. *Agroforestry Systems* 69:45-65.
- Tyndall, J. C., & R. K. Grala. 2009. Financial feasibility of using shelterbelts for swine odor mitigation. *Agroforestry Systems* 76:237-250.
- Ubeda, Y., P. A. Lopez-Jimenez, J. Nicolas, & S. Calvet. 2013. Strategies to control odours in livestock facilities: A critical review. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11:1004-1015.
- Ullman, J. L., S. Mukhtar, R. E. Lacey, & J. B. Carey. 2004. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 4. Remedial management practices. *Journal of Applied Poultry Research* 13:521-531.
- Van Dijk, C. J., T. A. Dueck, G. W. W. Wamelink, & J. Mosquera. 2005. Invloed van een landschapselement (windsingel) op de verspreiding van ammoniak uit een varkenshouderij: eindrapport. Nota 333. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Plant Research International.
- Van Harn, J., A. J. A. Aarnink, J. Mosquera, J. W. Van Riel, & N. W. M. Ogink. 2012. Effect of bedding material on dust and ammonia emission from broiler houses. *Transactions of the ASABE* 55:219-226.
- Van Harn, J., & I. C. De Jong. 2012. Geen effect op laesies. *De Pluimveehouderij* 42(3):24-25.
- Van Harn, J., G. M. Nijeboer, & N. W. M. Ogink. 2015. Effect van snijmaissilage als strooiselmateriaal in vleeskuikenstallen op de emissies van ammoniak, geur en fijnstof. Rapport 845. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Van Weeghel, H. J. E., P. W. G. Groot Koerkamp, & A. Winkel. 2011. Stofbad van hennen doet stof opwaaien. *V-focus* 8(5A):44-45.
- Van Weeghel, H. J. E., A. P. B. Bos, S. F. Spoelstra, & P. W. G. Groot Koerkamp. 2016. Involving the animal as a contributor in design to overcome animal welfare related trade-offs: The dust bath unit as an example. *Biosystems Engineering* 145:76-92.
- Verdaas, C. 2016. Resultaten van de bestuurlijke werkgroep evaluatie regelgeving geurhinder door veehouderijen. Brief aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van oktober 2016.

-
- Wang, X., P. G. Stroot, Y. Zhang, & G. L. Riskowski. 1998. Odor carrying characteristics of dust from swine facilities. In: ASAE Annual International Meeting (July 12-16, 1998). Orlando, Florida.
- Webb, J., M. Broomfield, S. Jones, & B. Donovan. 2014. Ammonia and odour emissions from UK pig farms and nitrogen leaching from outdoor pig production. A review. *Science of the Total Environment* 470-471:865-875.
- Williams, C. M. 2001. Technologies to address air quality issues impacting animal agriculture. In *Water Science and Technology* 44:233-236.
- Winkel, A., H. H. Ellen, & N. W. M. Ogink. 2014. Mogelijkheden voor het vaststellen van emissies van leghennenstallen met een nageschakeld mestdroogsysteem. Rapport 803. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, A. J. A. Aarnink, P. W. G. Groot Koerkamp, & N. W. M. Ogink. 2015. Evaluation of a dry filter and an electrostatic precipitator for exhaust air cleaning at commercial non-cage laying hen houses. *Biosystems Engineering* 129:212-225.
- Winkel, A. 2016. Particulate matter emission from livestock houses: measurement methods, emission levels and abatement systems. Proefschrift/Dissertation. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University.
- Winkel, A., J. Mosquera, A. J. A. Aarnink, P. W. G. Groot Koerkamp, & N. W. M. Ogink. 2016a. Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. *Biosystems Engineering* 150:104-122.
- Winkel, A., I. M. Wouters, T. J. Hagenaars, D. J. J. Heederik, N. W. M. Ogink, & I. Vermeij. 2016b. Additionele maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen: verkenning van opties, kosten en effecten op de gezondheidslast van omwonenden. Rapport 949. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Yang, X., Y. Lorjaroenphon, K. R. Cadwallader, X. Wang, Y. Zhang, & J. Lee. 2014. Analysis of particle-borne odorants emitted from concentrated animal feeding operations. *Science of the Total Environment* 490:322-333.
- Yao, H., & A. Feilberg. 2015. Characterisation of photocatalytic degradation of odorous compounds associated with livestock facilities by means of PTR-MS. *Chemical Engineering Journal* 277:341-351.
- Zhu, J. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 78:93-106.

Bijlage A: samenstelling klankbordgroep

| | |
|-------------------------|--|
| Peter Demeijer | Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO) |
| Gert Eshuis | Rijkswaterstaat, InfoMil |
| Jinke Hesterman | Max 5 odeur |
| Henk Hoving | Ministerie van Infrastructuur en Milieu |
| Erwin van Kessel | ForFarmers |
| Herman Litjens | Zuidelijke Land- en Tuinbouw Organisatie (ZLTO) |
| Wouter Moonen | Gemeente Boxtel en Sint Michielsgestel |
| Marc Pijnenburg | Omgevingsdienst Brabant Noord (ODBN) |
| Rob Scholtens | Provincie Noord-Brabant |
| Fred Stouthart | Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant (ODZOB) |
| Frank Toemen | Omgevingsdienst De Vallei (ODDV) |
| Annelies Uijtdewilligen | InfoMil |
| Henk Ullenbroeck | Poederoyen |
| Paul Wouters | Nederlandse Vakbond Varkenshouders (NVV) |

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



Wageningen Livestock Research Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen 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 University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research 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, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research 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.

