



Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal

Measurements on a biofilter for treatment of exhaust air from a fattening pig house

R.W. Melse, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, T.G. van Hattum



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal

Measurements on a biofilter for treatment of exhaust air from a fattening pig house

R.W. Melse, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, T.G. van Hattum

Wageningen UR Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Stalemissies' (projectnummer BO-20-004-049)

Wageningen UR Livestock Research
Wageningen, oktober 2014 (herziene versie mei 2015)

Livestock Research Report 802

R.W. Melse, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, T.G. van Hattum, 2014. *Meting aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal*. Lelystad, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Report 802. 40 blz.

Samenvatting NL

In dit onderzoek is de emissiereductie voor ammoniak, geur en fijnstof (PM10, PM2.5) vastgesteld voor een biofilter dat de ventilatielucht van een vleesvarkensstal behandelde.

Summary UK

In this study the emission reduction of ammonia, odour and fine dust (PM10, PM2.5) was determined for a biofilter treating exhaust air from a fattening pig house.

© 2014 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

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



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

Inhoud

Inhoud	3
Woord vooraf	5
Rapport in het kort	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
2 Materiaal en methoden	15
2.1 Algemene beschrijving van het biofilter	15
2.2 Beschrijving van stallocatie en biofilter	16
2.3 Meetprogramma en tijdspad	19
2.3.1 Meetperiode 1	19
2.3.2 Aanpassing biofilter	20
2.3.3 Meetperiode 2	21
2.4 Meetpunten en meetmethoden	21
2.4.1 Locatie meetpunten	21
2.4.2 Uitgevoerde metingen	22
3 Resultaten en discussie	25
3.1 Ventilatie-debiet en drukval	25
3.2 Rendementsmetingen ammoniak	26
3.3 Rendementsmetingen geur	28
3.4 Rendementsmetingen fijn stof	29
3.5 Metingen van broeikasgassen	30
3.6 Metingen van temperatuur en relatieve vochtigheid	32
3.7 Metingen aan houtsnippers en spuiwater	33
4 Conclusies	37
5 Aanbevelingen	38
6 Literatuur	39

Woord vooraf

In dit onderzoek is de effectiviteit van de emissiereductie van een biofilter vastgesteld op een vleesvarkenbedrijf in de praktijk. De metingen hebben betrekking op ammoniak, geur, fijn stof en broeikasgassen. De metingen en ervaringen zouden gebruikt kunnen worden voor het vaststellen van emissiefactoren in het kader van regelgeving en vergunningverlening, met betrekking tot het in de praktijk toepassen van een biofilter voor de behandeling van stallucht.

Onze dank gaat uit naar de betrokken varkenshouder, Van Duijnhoven te Poortvliet (gemeente Tholen), voor zijn deelname aan het onderzoek en het beschikbaar stellen van de meetlocatie. De inzet van alle betrokkenen wordt zeer gewaardeerd.

De auteurs

Rapport in het kort

Vanuit mechanisch geventileerde stallen wordt een hoeveelheid ammoniak (NH_3), geur, fijn stof (PM10), en broeikasgassen uitgestoten. Wat betreft de broeikasgassen gaat het voornamelijk om methaan, CH_4 , en lachgas, N_2O). Eén van de mogelijkheden om deze emissies terug te dringen is de inzet van biofiltratie. Een biofilter (ook wel genoemd 'biobed') is een bak gevuld met bevochtigd organisch pakkingsmateriaal (bijvoorbeeld houtsnippers) waar de ventilatielucht van de stal doorheen wordt geleid. In en op het pakkingsmateriaal vindt microbiële afbraak plaats van de verbindingen die zich in de stallucht bevinden.

Het Ministerie van Economische Zaken (EZ) heeft, in afstemming met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), aan Wageningen UR Livestock Research opdracht de gegeven de werking van een biofilter achter een vleesvarkensstal te onderzoeken. Het biofilter had een oppervlakte van 188 m² en behandelde de lucht van een stal met 1.320 vleesvarkens (maximaal 100.000 m³ lucht per uur). Tijdens een eerste meetperiode van 3 maanden bleek dat het biofilter slecht functioneerde en is een aantal aanpassingen gedaan (aanpassing bevochtigingssysteem, vervanging biobedmateriaal en aanpassing ventilatoren). Vervolgens is gedurende een jaar de werking van het biofilter gevolgd door het uitvoeren van tweemaandelijks metingen.

Uit het onderzoek in deze tweede periode is gebleken dat de gemiddelde ammoniakverwijdering door het biofilter 42% bedroeg. Verder is gebleken dat een deel van de ammoniak wordt omgezet in lachgas: op stikstofbasis wordt gemiddeld 21% van de ingaande ammoniak-N omgezet in lachgas. De geurverwijdering door het biofilter bedroeg gemiddeld 52%. Voor fijn stof (PM10) geldt dat het verwijderingsrendement hoger dan 89% was. De drukval over het biobed was gemiddeld 19 Pa. Uit het onderzoek is daarnaast gebleken dat een aanzienlijke hoeveelheid percolaat of spuiwater werd geproduceerd. Aangezien het spuiwater stikstof bevat, dienen voorzieningen getroffen te worden om dit water op vangen en op te slaan.

Tijdens het onderzoek is gebleken dat er regelmatig sprake was van droge plekken in het biobedmateriaal wat de verwijderingsrendementen voor geur en ammoniak mogelijk negatief heeft beïnvloed. Het wordt noodzakelijk geacht dat de gebruiker (veehouder) minimaal wekelijks controleert of het bevochtigingssysteem goed functioneert en het vochtgehalte van het filterpakket goed is. Om de ammoniak- en geurrendementen te verhogen wordt tenslotte aanbevolen om na te gaan of de dikte van de laag houtsnippers (op dit moment 25 cm) kan worden vergroot. Op deze manier zou de capaciteit van het biofilter op relatief eenvoudige wijze verhoogd kunnen worden. Verder wordt aanbevolen om na te gaan of de spuiwaterproductie kan worden gereduceerd.

Samenvatting

Vanuit mechanisch geventileerde stallen wordt een hoeveelheid ammoniak (NH_3), geur, fijn stof (PM10 en PM2.5), en broeikasgassen (voornamelijk methaan, CH_4 , en lachgas, N_2O), geëmitteerd. Eén van de mogelijkheden om deze emissies terug te dringen is de inzet van biofiltratie. Een biofilter (ook wel genoemd 'biobed') is een bak gevuld met bevochtigd organisch pakkingsmateriaal waar de ventilatielucht van de stal doorheen wordt geleid. In en op het pakkingsmateriaal vindt microbiële afbraak plaats van de verbindingen die zich in de stallucht bevinden. Het Ministerie van Economische Zaken (EZ) heeft, in afstemming met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), aan Wageningen UR Livestock Research opdracht de gegeven de werking van een biofilter achter een vleesvarkensstal te onderzoeken.

Het onderzochte biofilter heeft een oppervlak van 188 m^2 en behandelt de ventilatielucht afkomstig van 1.320 dierplaatsen (maximaal luchtdebiet: ruim $100.000 \text{ m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$). Het biobed bestaat uit een laag houtsnippers van 25 cm dikte en wordt middels sproeiers een aantal malen per dag bevochtigd. Het percolaatwater wordt afgevoerd naar aan naastliggende sloot.

In een eerste meetperiode van 3 maanden bleek dat het biofilter slecht functioneerde en is een aantal aanpassingen gedaan (aanpassing bevochtigingssysteem, vervanging biobedmateriaal en aanpassing ventilatoren). Vervolgens is gedurende een jaar de werking van het biofilter gevolgd door het uitvoeren van tweemaandelijks metingen.

Uit het onderzoek in deze tweede periode is gebleken dat de gemiddelde ammoniakverwijdering door het biofilter 42% ($n=6$; $sd=31$; $p<0,025$) bedroeg. De uitgaande ammoniakconcentratie van het biofilter bleek vrij stabiel te zijn en niet sterk te worden beïnvloed door de fluctuerende ingaande concentratie. Dit heeft tot gevolg dat het gemeten rendement sterk beïnvloed wordt door de hoogte van de ingaande concentratie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en in mindere mate door de vracht ($\text{kg} \cdot \text{uur}^{-1}$). Daarnaast was de pH van het percolaat van het biofilter relatief hoog ($\text{pH} = 8$) wat mogelijk de reden is dat de uitgaande ammoniakconcentratie van het biofilter relatief hoog was in vergelijking met een biologische luchtwasser, met een negatief effect op het rendement als gevolg. Verder is gebleken dat een deel van de ammoniak wordt omgezet in lachgas, op stikstofbasis wordt gemiddeld 21% ($n=6$; $sd=24$; $p<0,05$) van de ingaande ammoniak-N omgezet in lachgas.

De geurverwijdering door het biofilter bedroeg gemiddeld 52% ($n=6$; $sd=26$; $p<0,005$), wat vergelijkbaar is met biologische luchtwassers.

Voor PM10 geldt dat het verwijderingsrendement gemiddeld $> 89\%$ ($n=6$) bedroeg. Voor PM2.5 geldt dat zowel de ingaande als uitgaande concentratie van het biofilter meestal lager was dan de detectielimiet zodat geen uitspraak kan worden gedaan over verwijderingsrendementen.

De gemiddelde luchtbelasting van het biobed tijdens het onderzoek $341 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ biofilteroppervlak per uur oftewel $49 \text{ m}^3 \cdot \text{dierplaats} \cdot \text{uur}^{-1}$. Dit resulteerde in een drukval over het biobed van gemiddeld 19 Pa.

Uit het onderzoek is gebleken dat een aanzienlijke hoeveelheid percolaat of spuiwater werd geproduceerd, omgerekend $0,77 \text{ m}^3$ per dierplaats per jaar of 0,088 liter per dierplaats per uur; dit is van dezelfde orde grootte als het minimale spuidebiet zoals dat voor biologische luchtwassers wordt gehanteerd. Aangezien het spuiwater een hoeveelheid stikstof bevat ($0,4$ tot $17 \text{ g N} \cdot \text{l}^{-1}$), dienen voorzieningen getroffen te worden om dit water op vangen en op te slaan in plaats van het te lozen op oppervlaktewater. Verder wordt aanbevolen om na te gaan of de spuiwaterproductie kan worden gereduceerd door minder water te versproeien dan wel door recirculatie van water toe te passen, zonder dat dit leidt tot een lagere ammoniakverwijdering of hogere lachgasproductie.

Tijdens het onderzoek is gebleken dat er regelmatig sprake was van droge plekken in het biobedmateriaal wat de verwijderingsrendementen voor geur en ammoniak mogelijk negatief heeft beïnvloed. Het wordt noodzakelijk geacht dat de gebruiker (veehouder) minimaal wekelijks controleert of het bevochtigingssysteem goed functioneert en het vochtgehalte van het filterpakket goed is.

Om de ammoniak- en geurrendementen te verhogen wordt tenslotte aanbevolen om na te gaan of dikte van de laag houtsnippers (op dit moment 25 cm) kan worden vergroot. Op deze manier zou de capaciteit van het biofilter op relatief eenvoudige wijze verhoogd kunnen worden.

Summary

Mechanically ventilated animal houses are a source of emissions of ammonia (NH₃), odour, fine dust (PM₁₀ and PM_{2.5}), and greenhouse gases (mainly methane, CH₄, and nitrous oxide, N₂O). One of the possibilities for emission mitigation is the use of biofiltration. A biofilter (also called 'biobed') is a container filled with moistened organic packing material. The ventilation air of the animal house is led through the packing material where microbial degradation of pollutants present in the air can take place. The Dutch Ministries of Economic Affairs and of Infrastructure and the Environment have asked Wageningen UR Livestock Research to monitor the performance of a biofilter treating ventilation air of a fattening pig house.

The biofilter had a surface area of 188 m² and contained a layer of 25 cm of wood chips; the surface was intermittently humidified by a sprinkler system. It had been designed for a maximum air flow of over 100,000 m³.hour⁻¹ (1.320 animal places). The percolate water is discharged to a nearby ditch. During the first 3 months, the biofilter did not perform well and a number of adjustments were done (replacement of wood chips, adjustment of sprinkler system and fans). Subsequently, the performance of the biofilter was monitored during 1 year by carrying out measurements every 2 months.

The results that the ammonia removal efficiency of the biofilter was on average 42% (n=6; sd=31; p<0.025). The ammonia outlet concentration of the biofilter appeared to be quite stable and did not directly depend on the fluctuating inlet concentration. As a result, the removal efficiency is strongly influenced by the inlet concentration (kg NH₃.m⁻³) and to a much lesser extent by the loading rate (kg.hour⁻¹). Besides, the pH of the percolate water of the biofilter was relatively high (pH = 8) what might be the reason that the outlet ammonia concentration was relatively high in comparison with a biotrickling filter, resulting in a lower removal efficiency. Furthermore, it was found that 21% (n=6; sd=24; p<0.05) of the inlet NH₃-N was converted to N₂O-N.

The odour removal efficiency of the biofilter was on average 52% (n=6; sd=26; p<0,005), which is comparable to biotrickling filters.

For PM₁₀, the removal efficiency was on average > 89% (n=6). For PM_{2.5}, both inlet and outlet concentrations were lower than the detection limit so no removal efficiency could be calculated.

The average air loading rate of the biofilter was 341 m³.m⁻² surface area per hour, i.e. 49 m³.(animal place).hour⁻¹. This resulted in a pressure drop over the biobed of on average 19 Pa.

It was found that a considerable amount of percolate or discharge water was produced, i.e. 0,77 m³ per animal place per year or 0,088 litre per animal place per hour; this is of the same order of magnitude as the minimum discharge amount that is assumed for biotrickling filters. Because the percolate water contains nitrogen (0,4 to 17 g N.l⁻¹) arrangements should be made in order to collect and store the water instead of discharging it to surface water. Furthermore, it is recommended to verify whether the production of percolate water can be reduced by spraying less water or by applying recirculation of the water, without leading to lower ammonia removal or higher nitrous oxide production.

During the monitoring period at times dry spots were noted at the biobed surface what might have had a negative influence on the removal efficiencies for ammonia and odour. It is considered essential that the owner of the biobed (the farmer) checks at least every week the performance of the sprinkler system and the biobed conditions.

Finally, in order to improve the removal efficiencies for ammonia and odour it is recommended to verify whether the thickness of the biobed (currently 25 cm) can be increased. In this way the capacity of the biofilter could be increased in a relatively easy way.

1 Inleiding

Vanuit diverse landbouwactiviteiten wordt een hoeveelheid ammoniak (NH_3), geur, fijn stof, en broeikasgassen (voornamelijk methaan, CH_4 , en lachgas, N_2O), geëmitteerd. Een deel van deze emissies is afkomstig uit stallen. Eén van de mogelijkheden om emissies uit mechanisch geventileerde stallen terug te dringen is de inzet van biofiltratie (Chen en Hoff, 2009; Arends et al., 2008; Nicolai et al., 2006; Melse en Willers, 2004; Dumont et al., 2014a; Chen et al., 2009). Een biofilter (ook wel genoemd 'biobed') is een bak gevuld met een poreus organisch pakkingsmateriaal (bijv. compost, houtsnippers, boomschors, turf, kokosvezels) waar de ventilatielucht van de stal doorheen wordt geleid. In en op het pakkingsmateriaal kan microbiële afbraak plaatsvinden van een deel van de verbindingen die zich in de stallucht bevinden. Daarnaast zal een deel van het in de lucht aanwezige stof worden ingevangen. Het pakkingsmateriaal dient regelmatig te worden bevochtigd om de biologische activiteit op gang te houden. Om te voorkomen dat het opbrengen van water een hoge drukval en het optreden van kortsluitstromen tot gevolg heeft, dient het biofilter een voldoende open structuur te hebben en gelijkmatig te worden bevochtigd. Biofilters kunnen zeer effectief zijn in geurverwijdering en worden daarom in meerdere industriële sectoren toegepast.

In de Nederlandse veehouderij zijn biofilters vanaf eind jaren tachtig van de vorige eeuw beproefd als ammoniak- en geurreducerende techniek voor de reiniging van stallucht (Scholtens et al., 1988; Asseldonk en Voermans, 1989; Eggels en Scholtens, 1989; Van de Sande-Schellekens en Backus, 1993; Demmers en Uenk, 1996; Uenk et al., 1993). Uit deze onderzoeken bleek dat het erg moeilijk is om de vochtigheid in het biofilter voldoende hoog te houden en een gelijkmatige verdeling van het vocht in het gehele biofilterbed te bereiken. Wanneer de lucht niet wordt voorbevochtigd bestaat het risico dat het biofilter uitdroogt met als gevolg dat het transport van ammoniak van de lucht- naar de waterfase slecht verloopt en dat het verwijderingsrendement afneemt. Het probleem van rechtstreekse bevochtiging van het biofilter, in plaats van voorbevochtiging van de lucht, is dat het erg moeilijk is om een gelijkmatige verdeling van het vocht te bereiken en daarmee droge en natte plekken in het biofilterbed te voorkomen. Bovendien geeft het invangen van stof in het biofiltermateriaal soms problemen. Het invangen van stof kan tot gevolg hebben dat het bed (deels) verstopt raakt waardoor de drukval over het bed oploopt (hoog energieverbruik) en er kortsluitstromen ontstaan. Als gevolg van kortsluitstromen neemt het effectieve uitwisselingsoppervlak af en als gevolg daarvan mogelijk ook het verwijderingsrendement.

In een biofilter vinden grosso modo dezelfde processen plaats als in een biologische wasser: evenals in de biologische wasser wordt ammoniak in het biofilter omgezet tot nitriet en nitraat. In het algemeen wordt aangenomen dat de gevormde afbraakproducten afgevoerd moeten worden om te voorkomen dat het biofilter verzuurt en de bacteriën geremd worden door ophoping van nitraat en/of nitriet. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door continu iets meer water toe te voegen dan in het biofilter verdampt waardoor een percolaatstroom wordt geproduceerd. Op de lange termijn zal de grootte van de percolaatstroom gelijk zijn aan de hoeveelheid opgebracht water minus de verdamping. Daarnaast is het mogelijk om een aantal malen per jaar het biofilter schoon te spoelen door gedurende bijvoorbeeld een dag het bevochtigingssysteem continu in te schakelen. Hierdoor kan het gevormde salpeter(ig)zuur met het percolaatwater wordt afgevoerd. De noodzaak van het afvoeren van afbraakproducten hangt behalve van de belasting van het filter ook af van de eigenschappen (bijvoorbeeld de pH-bufferende werking) van het gebruikte pakkingsmateriaal. Daarnaast zal het pakkingsmateriaal na enkele jaren meestal vervangen dienen te worden vanwege inklinking als gevolg van biologische afbraak. Inklinking heeft namelijk tot gevolg dat de drukopbouw over het biofilterbed te hoog wordt en kortsluitstromingen kunnen ontstaan.

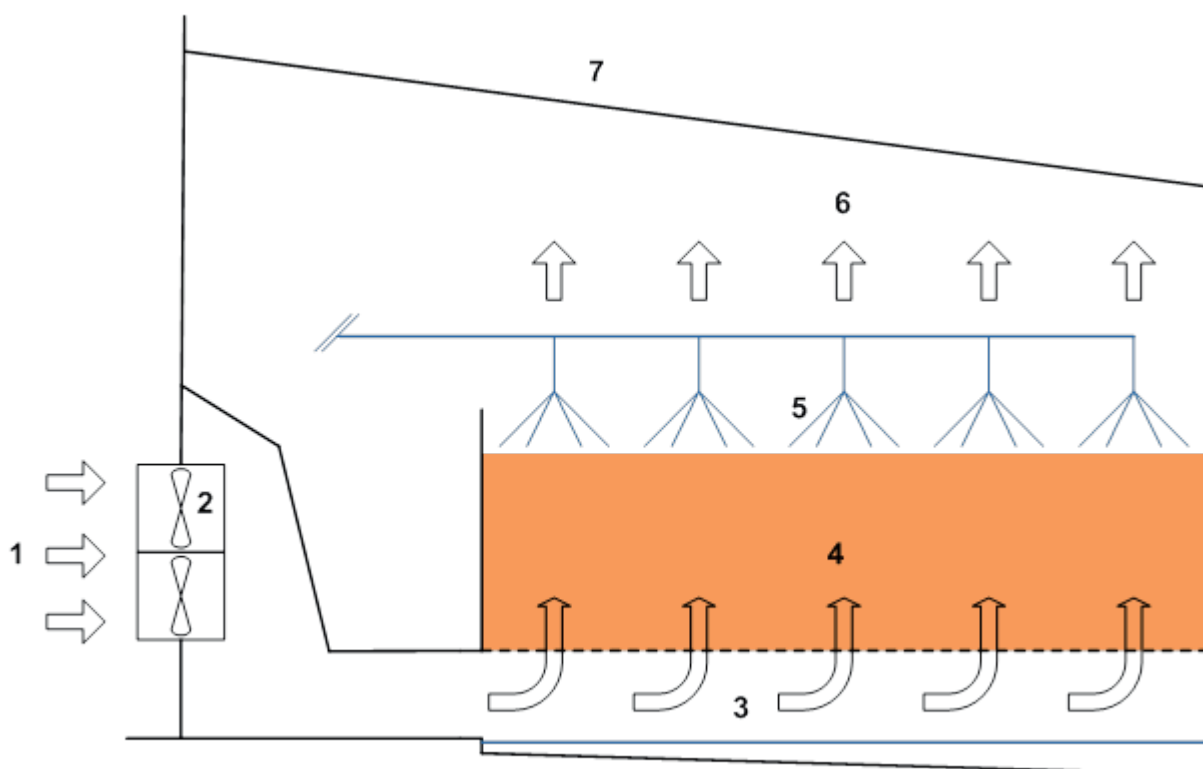
De laatste jaren is het biofilter weer meer in de belangstelling komen te staan, mede omdat in Duitsland regelmatig biofilters worden toegepast om de geuruitstoot van stallen te verminderen (Arends et al., 2008; DLG, 2007). Daarnaast bestaat de indruk dat de techniek van biofiltratie de afgelopen 15 jaar is doorontwikkeld en verbeterd waardoor de hierboven geschetste problemen voor een deel zijn ondervangen, dan wel voldoende onder controle zijn. Met deze achtergrond heeft het Ministerie van Economische Zaken (EZ) in afstemming met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) besloten om in de periode 2010-2014 de werking van een aantal biofilters te onderzoeken op

in totaal 4 veehouderijbedrijven; op 2 locaties is sprake van varkensbedrijven en op 2 locaties is er sprake van pluimveebedrijven. Het doel van het onderzoek is om op elke locatie gedurende een periode van minimaal een jaar vast te stellen welke emissiereductie gerealiseerd wordt met betrekking tot ammoniak, geur, fijn stof (PM10 en PM2.5); verder wordt de consumptie dan wel productie van broeikasgassen gemeten (lachgas en methaan). Het onderzoek op een van de pluimveelocaties is reeds afgerond en gepubliceerd (Melse en Hol, 2012). In onderliggend rapport wordt het onderzoek beschreven dat is uitgevoerd op de eerste van de twee varkenslocaties.

2 Materiaal en methoden

2.1 Algemene beschrijving van het biofilter¹

De emissie van ammoniak, geur en fijn stof uit de stal wordt beperkt door de ventilatielucht te behandelen in een biofilter. Het biofilter is een bak met een hoeveelheid houtsnippers, het pakkingsmateriaal, waar van onder naar boven lucht doorheen wordt geleid. Onder het pakkingsmateriaal bevindt zich een drukkamer, zodat de te behandelen lucht zich over het gehele oppervlak van het biofilter kan verdelen. Voor een goede werking van het biofilter dient het pakkingsmateriaal voldoende vochtig te zijn. Daarom wordt het biofilter periodiek bevochtigd met behulp van sproeiers die bovenop het bed zijn bevestigd. Om de invloed van het weer (regen, zon) te verminderen is boven het biofilter een afdak aangebracht. Het idee hierachter is dat hierdoor stabilere condities in het biobed kunnen worden gerealiseerd met betrekking tot vochtigheid en temperatuur. In Figuur 2.1 wordt een schematische voorstelling gegeven van het biofilter.



Figuur 2.1. Schematische tekening (dwarsdoorsnede) van het principe van biofiltratie met als belangrijkste onderdelen: 1: ingaande 'vuile' lucht, 2: ventilator(en) in de wand van de stal, 3: drukkamer, 4: organisch pakkingsmateriaal, 5: bevochtiging pakkingsmateriaal met sproeiers, 6: uitgaande 'gereinigde' lucht, 7: afdak.

Het pakkingsmateriaal is opgebouwd uit een laag houtsnippers (dikte: ca. 25 cm) die zijn aangebracht op een laag (dikte: ca. 35 cm) van haaks op elkaar gestapelde houten planken. Tussen de houtsnippers en het gestapelde hout bevindt zich gaasdoek. Onder het hout bevindt zich een drukkamer met een hoogte van ca. 100 cm.

¹ Bron: systeembeschrijving van BWL 2011.03v1, zie http://www.infomil.nl/publish/pages/99597/bwl_2011_03_v1.pdf.

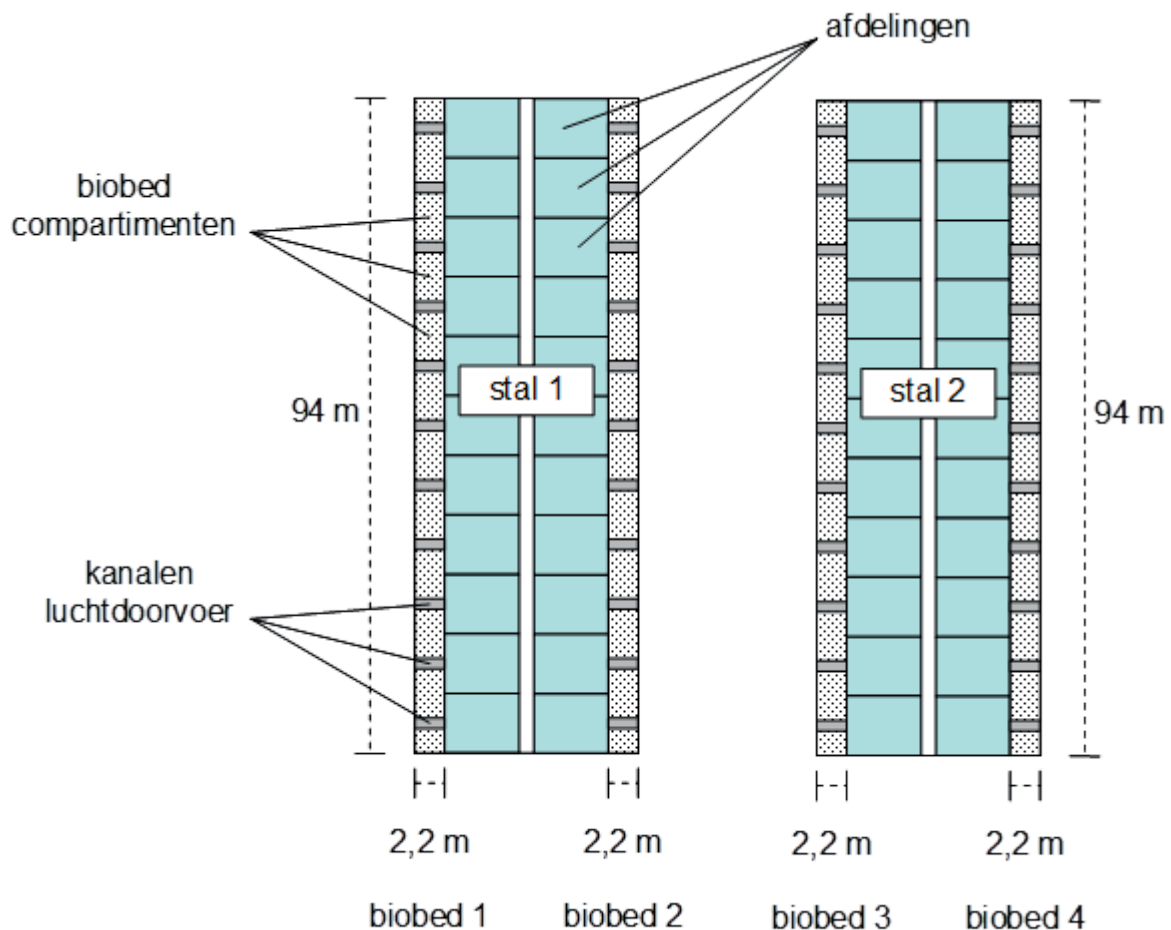
Aan de zijwanden van het biofilter bevinden zich flexibele kunststof slabben om luchtlekage te voorkomen. Op de bodem van de drukkamer bevindt zich een afvoer om eventueel lekwater ('percolaat') af te voeren.

De afvoer voert percolaat af naar een naastliggende sloot; er zijn op de meetlocatie geen voorzieningen aanwezig om dit water op te vangen.

Wanneer een biofilter in gebruik wordt genomen duurt het enige tijd voordat het naar wens functioneert. Het kost namelijk een aantal weken om voldoende bacteriemassa in en op het pakkingsmateriaal te krijgen die in staat is om de aangeboden verontreinigingen af te breken. Dit wordt de 'opstart' van het biofilter genoemd.

2.2 Beschrijving van stallocatie en biofilter

Het vleesvarkensbedrijf bevindt zich in de gemeente Poortvliet/Tholen. Op dit bedrijf is sprake van twee stallen met elk 22 afdelingen met 120-130 dierplaatsen, waarvan de afgezogen lucht wordt behandeld in vier langgerekte biofilters of biobedden. De biobedden zijn geplaatst tegen de lange zijden van de stallen en hebben een totale lengte van 94 m en een breedte van 2,2 m. Het doel van de leverancier is om voor zowel ammoniak als geur een verwijderingsrendement van minimaal 70% te realiseren. In Figuur 2.2 wordt een schematisch bovenaanzicht gegeven; in Figuur 2.3 wordt een doorkijk gegeven tussen de twee stallen.

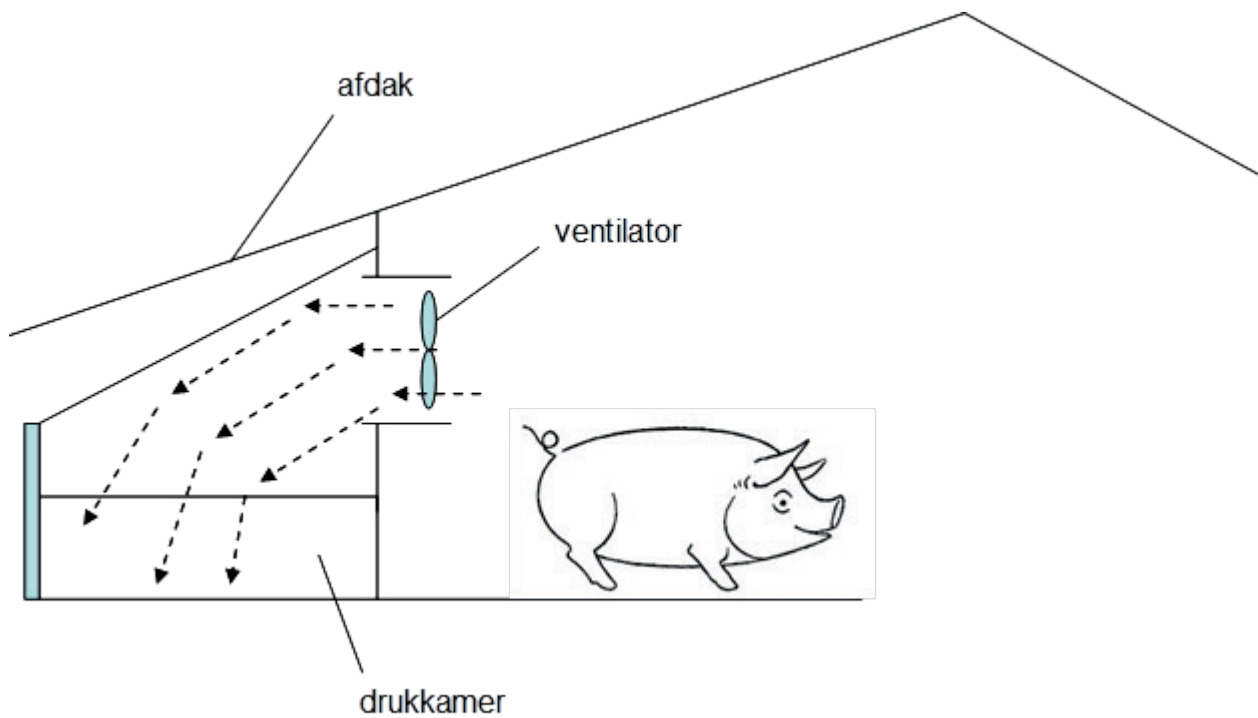


Figuur 2.2. Schematisch bovenaanzicht van beide stallen met naastgelegen biobedden.



Figuur 2.3. Doorkijk tussen beide stallen met de biobedden tegen de stal aan geplaatst; het dak van de stal loopt door boven de biobedden.

In de buitenmuur van de stal bevindt zich bij elke afdeling een ventilatiekoker met een ventilator, deze koker bevindt zich boven het biobed. Vervolgens wordt de lucht door een rechthoekig kanaal van bovenaf door het biobed geleid, zodat de lucht in de drukkamer komt. Door deze kanalen (zie bovenaanzicht in Figuur 2.2) wordt het biobed opgedeeld in 12 verschillende compartimenten, 10 grote en 2 kleine. Vanwege de aanwezigheid van deze luchtdoorvoerkanalen wordt het netto oppervlak van het biobed kleiner en bedraagt $85,5 \times 2,2 = 188 \text{ m}^2$ per biobed. De grote biobed-compartimenten hebben een netto lengte van 7,9 m en een oppervlak van $7,9 \times 2,2 = 17 \text{ m}^2$, de kleine een netto lengte van 3,1 m en een oppervlak van $3,1 \times 2,2 = 7 \text{ m}^2$. De drukkamer onder elk biobed is wel één grote ruimte en heeft een oppervlak van $94 \times 2,2 = 206 \text{ m}^2$ per biobed. In Figuur 2.4 wordt een dwarsdoorsnede van het ventilatiekanaal en de drukkamer gegeven; in Figuur 2.5 wordt een foto weergegeven van het oppervlak van het biobed.



Figuur 2.4. Dwarsdoorsnede van ventilatiekanaal; het ventilatiekanaal 'doorsnijdt' het biobedoppervlak.



Figuur 2.5. Foto van een deel van een biobedcompartiment, gevuld met houtsnippers; tevens is de zijkant van een van de luchtdoorvoerkanalen te zien (driehoekig paneel) die het biobed in compartimenten delen.

Het ventilatiesysteem en het biobed is ontworpen voor een maximale ventilatiecapaciteit van ca. 80 m³/dierplaats/uur, oftewel een totale hoeveelheid lucht 9.600 m³/uur per afdeling met 120 vleesvarkensplaatsen resp. 10.400 m³/uur per afdeling met 130 vleesvarkensplaatsen. In principe wordt per (groot) biobedcompartiment de ventilatielucht van één afdeling behandeld. Per biobed van 188 m² (11 afdelingen) bedraagt de maximale ventilatiecapaciteit dan ca. 105.000 m³/uur. Dit betekent een belasting van maximaal ca. 600 m³ ventilatielucht per uur per m² biobedoppervlak. Per afdeling is één ventilator (Ziehl-Abegg, FV56V-4DK.D7.50.P; d = 56 cm) geïnstalleerd. Bij een tegendruk van ca. 200 Pa zou deze ventilator volgens fabrieksopgave ca. 11.000 m³/uur kunnen leveren, dus ruim boven het vereiste ventilatie. Wanneer sprake is van een lagere tegendruk, bijv. 100 Pa, zal de ventilatiecapaciteit van de ventilator volgens fabrieksopgave oplopen tot 14.000 m³/uur.

2.3 Meetprogramma en tijdspad

2.3.1 Meetperiode 1

Het biofilter is in gebruik genomen in september 2010. Het biobed is gevuld met houtsnippers (loofhout) van 2-3 cm breed met een lengte tot ca. 15 cm. Tussen deze houtsnippers bevinden zich nog kleinere stukjes hout en schors. De houtsnippers rusten op een laag (dikte: ca. 35 cm) van haaks op elkaar gestapelde houten planken. Het biobedmateriaal is gelijkaardig aan het materiaal dat werd gebruikt in het eerder in dit programma onderzochte biofilter (Melse en Hol, 2012).

In de weken daarna is het bevochtigingssysteem afgeregeld. Het pakkingsmateriaal wordt van bovenaf wordt bevochtigd met sproeiers, waarbij per compartiment van het biobed (netto 7,9 m x 2,2 m = 17 m²) zes paraplu-sproeiers (Netafim Supernet, type 040-LR) aanwezig zijn met elk een capaciteit van circa 40 liter per uur. Per uur kan er dan maximaal 14 liter/m² biobedmateriaal worden versproeid.

De watervernevelling door de sproeiers wordt automatisch aangestuurd door continue registratie van de vochtigheid van het filtermateriaal (het biobed). Hiervoor wordt per biobed van 188 m² een vochtigheidssensor (diëlektrisch meetprincipe) gebruikt die middenin de laag van houtsnippers is geplaatst. In Figuur 2.6 is de vochtigheidssensor te zien. Op basis van de meting worden de sproeiers elk uur voor enige tijd ingeschakeld. Dit betekende in de praktijk dat er per biobed 5 tot 20 minuten per uur werd gesproeid, afhankelijk van de condities van de ingaande lucht (hoeveelheid, vochtigheid en temperatuur). Op basis van de eerder genoemde sproeicapaciteit betekent dit dat er gemiddeld 28 - 110 liter.m⁻².dag⁻¹ wordt gesproeid.

Na een opstartperiode van 6 maanden (september 2010 - maart 2011) is het daadwerkelijke meetprogramma gestart (maart 2011 - juli 2011). In deze periode zijn 3 metingen van elk 24 uur uitgevoerd. Tijdens meetperiode 1 bevonden zich in elke afdeling 130 vleesvarkens.



Figuur 2.6. Foto van de vochtigheidssensor (diëlektrisch meetprincipe); de sensor wordt enige centimeters onder het oppervlak tussen de houtsnippers geplaatst.

2.3.2 Aanpassing biofilter

Tijdens de uitvoering van de eerste metingen bleek dat het biofilter niet goed functioneerde. Daarom werd het meetprogramma gestopt en zijn in de periode van augustus 2011 - april 2013, dus volgend op meetperiode 1, geen metingen uitgevoerd. Onderstaand wordt beschreven op welke punten het biofilter niet goed functioneerde en welke aanpassingen zijn uitgevoerd in de periode augustus 2011 - april 2013 om deze problemen op te lossen:

1) Bevochtigingssysteem:

Het eerder geïnstalleerde bevochtigingssysteem bleek niet goed te werken: het had een te lage capaciteit (met als gevolg te droog biobedmateriaal) en een slecht sproeibeeld. Ook functioneerden de vochtigheidssensoren soms niet goed. Het gevolg was dat er droge en natte plekken aanwezig waren op het biobed.

Daarom werden de paraplu-sproeiers vervangen door sproeiers met een hogere capaciteit en een rechthoekig sproeibeeld, dit paste beter bij de vorm van het biobed. Per segment van het biobed (netto 7,9 m x 2,2 m) zijn telkens 2 sproeiers (Hunter, type SS-918) geplaatst, gemonteerd op een vaste PVC leiding. De sproeiers hebben een capaciteit van circa 390 liter per uur. Per uur kon vervolgens dus maximaal 45 liter/m² biobedmateriaal worden versproeid, wat aanzienlijk meer is dan bij het vorige sproeitype (zie paragraaf 2.3.1). Daarnaast werd het leidingsysteem vervangen door twee separate watertoevoerleidingen, elk voor de helft van het filter. Beide leidingen zijn voorzien van een drukregelaar en een luchtgestuurde klep. Verder werden de vochtigheidssensoren vervangen door een tijd klok. De kleppen in de toevoerleidingen worden onafhankelijk van elkaar op vaste tijden bediend door deze tijd klok. Er wordt 1 maal per anderhalf uur gesproeid, gedurende 4-6 minuten; deze cyclus wordt 10 maal herhaald, dus gedurende 15 uur; gedurende de nacht (de resterende 9 uur) wordt niet gesproeid. In totaal wordt dan dus 40 - 60 minuten continu gesproeid per dag. Op basis van de eerder genoemde sproeicapaciteit betekent dit dat er gemiddeld over de dag 30 tot 45

liter.m⁻².dag⁻¹ wordt gesproeid. Indien nodig wordt de sproeitijd aangepast op basis van visuele inspectie. In de praktijk betekent dit meestal één aanpassing per 3-4 maanden.

2) *Biobed-materiaal:*

Tijdens de eerste metingen bleek dat de luchtdoorlaatbaarheid van het filter sterk was afgenomen met als het gevolg een hoge drukval. Daarom is na de eerste 3 metingen is het filtermateriaal vervangen door nieuwe houtsnippers. Het vervangingsmateriaal bestond uit gezeefde houtsnippers (deelgrootte 30-40 mm without). Dit waren dus grotere snippers dan in de eerdere situatie en ook waren de kleinere stukjes hout en schors er nu uitgezeefd. De laagdikte van de houtsnippers is op 25 cm gehouden. De houtsnippers rusten op een laag (dikte: ca. 35 cm) van haaks op elkaar gestapelde houten planken.

3) *Ventilatiesysteem:*

Verder bleek dat de fabrieksspecificaties van de ventilatoren niet werden behaald. Dit had tot gevolg dat, in combinatie met de hoge drukval (zie bovenstaand), de benodigde ventilatiecapaciteit in de varkensafdelingen niet kon worden gerealiseerd. Om toch voldoende ventilatie in de stal te hebben zag de veehouder zich bij warm weer genoodzaakt om gaten in het biobedmateriaal te graven. Naar aanleiding van deze bevindingen zijn de waaiers van de ventilatoren aangepast om meer druk te kunnen leveren. Na aanpassing heeft elke ventilator de aanvankelijk beoogde capaciteit van ca. 11.000 m³/uur bij een tegendruk van 200 Pa; dit zou voldoende moeten zijn om de beoogde ventilatiecapaciteit te kunnen leveren (zie paragraaf 2.2). De nieuwe ventilatoren zijn op de bestaande motoren geplaatst.

Naast bovengenoemde verbeteringen aan het biobed werd de bedrijfsvoering in de stal zelf geoptimaliseerd wat resulteerde in een zichtbaar schonere stal.

2.3.3 Meetperiode 2

Nadat de aanpassingen en het vervangen van het biofiltermateriaal waren afgerond (februari 2013), heeft het biofilter 3 maanden gedraaid voor dat de tweede meetperiode (mei 2013 - maart 2014) werd gestart. Tijdens de tweede meetperiode zijn 6 metingen uitgevoerd. Tijdens meetperiode 2 bevonden zich in elke afdeling 120 vleesvarkens.

2.4 Meetpunten en meetmethoden

2.4.1 Locatie meetpunten

Tijdens beide meetperiodes is ervoor gekozen om de metingen te richten op één van de vier biobedden, namelijk biobed 1 (zie Figuur 2). Vervolgens is ervoor gekozen om de metingen uit te voeren in twee van de twaalf compartimenten. De bedoeling is dat de metingen een representatief beeld geven van het functioneren van het gehele biobed. De metingen aan de twee compartimenten kunnen gezien worden als een ruimtelijke duplo-meting.

Voor de uitvoering van de metingen aan de lucht die het biofilter verlaat, was het noodzakelijk om een duidelijke uitgaande luchtstroming te creëren waarin de monsternameapparatuur kon worden geplaatst. Hiervoor werden bij elk van de twee compartimenten de open zijden (voorkant en zijkant) van het biofilter afgesloten met zeil, zodat de lucht gedwongen werd door de enig overgebleven opening in het midden naar buiten te bewegen. Hiermee werd bereikt dat er geen of nauwelijks buitenlucht werd opgemengd met de lucht die uit het biofilter trad. Met behulp van een rookmachine en metingen van de windrichting werd de meetopstelling bij elk meetbezoek gecontroleerd. In de foto's in Figuur 2.7 en 2.8 wordt een ander toegelicht.

De ingaande lucht van het biofilter werd bemonsterd in de ventilatiekanalen voor wat betreft de meting van ammoniak, geur en broeikasgassen (zie Figuur 2.4 en 2.5), en in de afdelingen voor wat betreft de fijn stof meting.

2.4.2 Uitgevoerde metingen

Lucht

Gedurende de onderzoeksperiode is tijdens elk bezoek het verwijderingsrendement van het biofilter bepaald voor ammoniak, geur en fijn stof; daarnaast is de productie dan wel consumptie van broeikasgassen gemeten (methaan, lachgas en kooldioxide). In Tabel 1 wordt een en ander kort samengevat.

Tabel 1

Toelichting metingen aan in- en uitgaande lucht biofilter

Type meting	Korte omschrijving meetstrategie
Fijn stof (PM10 en PM2.5)	tijdsgemiddelde meting over 24 uur
Ammoniak	idem
Methaan	idem
Lachgas	idem
Kooldioxide	idem
Geur	tijdsgemiddelde meting over 2 uur



Figuur 2.7. Eén van de twee met zeil afgesloten compartimenten waar de metingen aan biofilter 1 plaatsvonden. In het midden bevindt zich de uitstroomopening waar de meetapparatuur wordt geplaatst (zie Figuur 2.8 voor een detailfoto). Op de achtergrond is het tweede compartiment te zien.

De gebruikte meetmethoden voor fijn stof, ammoniak, methaan, lachgas, kooldioxide en geur zijn overgenomen uit de protocollen zoals die zijn opgesteld door Ogink et al. (2011, 2013), Ogink (2011), Groenestein et al. (2011) en Mosquera et al. (2011). De metingen van ammoniak werden in duplo uitgevoerd en de overige metingen (geur, fijn stof en broeikasgassen) in enkelvoud. Bij de fijn stof metingen werd voldaan aan de voorwaarden voor isokinetische bemonstering, aangezien de luchtsnelheid in alle gevallen kleiner dan 2 m/s bleek te zijn.

Het verwijderingsrendement (%) voor deze componenten wordt berekend uit de concentratie van de betreffende component in de behandelde lucht ($C_{uitgaand}$) en de concentratie van de betreffende component in de ingaande lucht van het biofilter ($C_{ingaand}$). Hierbij werd de volgende formule gebruikt:

$$\text{Verwijderingsrendement} = \frac{C_{ingaand} - C_{uitgaand}}{C_{ingaand}} \times 100\%$$

Voor elke meetdag werd het verwijderingsrendement voor een component berekend als het gemiddelde van het verwijderingsrendement voor compartiment A en voor compartiment B. Tevens werd op basis van de metingen in beide meetperioden de ruimtelijke duplo-variatie berekend en weergegeven als 'ruimtelijk variatie coëfficiënt'.

Middels de Student-t-toets werd nagegaan of het gevonden gemiddelde rendement significant afweek van 0 ($p < 0,10$).



Figuur 2.8. Detailopname van de uitstroomopening in het midden van een van twee meetcompartimenten. Op de foto's zijn de monsternametekoppen (op statieven) te zien voor de fijn stofmetingen (zie Figuur 2.7 voor een overzichtsfoto).

Daarnaast werd met behulp van meetventilatoren het luchtdebiet door het biofilter gemeten en werden de meetgegevens in een datalogger opgeslagen; ook werd de drukval over het biofilterbed bepaald.

De temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande en uitgaande luchtstroom van het biofilter werden gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren.

Biobedmateriaal, watertoevoer en percolaat

Tijdens de uitvoering van bovengenoemde rendementmetingen werden tevens monsters genomen van het percolaat en het pakkingsmateriaal (houtsnippers) van het biofilter ten behoeve van de bepaling van pH, EC (elektrische geleidbaarheid), droge stof, asrest, ammonium en het stikstof-totaal gehalte.

De percolaatmonsters werden opgevangen in de drukkamer, onder het bed, door daar een opvangbak te plaatsen gedurende 24 uur. De monsters van het pakkingsmateriaal betroffen mengmonsters die werden verzameld door materiaal te nemen verspreid over het oppervlakte van de betreffende biobedcompartimenten; deze mengmonsters werden genomen op twee dieptes: toplaag en onderin het bed.

Daarnaast werd de hoeveelheid water gemeten die over het bed werd verspreid met behulp van een watermeter die in de toevoerleiding was gemonteerd. Tijdens de tweede meetperiode werd eveneens de hoeveelheid geproduceerd percolaat of lekwater gemeten. Dit werd gedaan door de waterafvoer van de drukkamer aan het begin van elke meting af te sluiten en na 24 uur de toename van het waterniveau in de drukkamer te meten. Door de niveautoename te vermenigvuldigen met het oppervlak van de drukkamer (206 m²), is de hoeveelheid percolaatwater bekend die gedurende deze 24 uur is geproduceerd.

3 Resultaten en discussie

3.1 Ventilatie-debiet en drukval

In Tabel 2 wordt weergegeven op welke data de rendementsmetingen aan het biofilter zijn uitgevoerd en wat de leeftijd van de dieren was. Daarnaast worden in Tabel 2 de luchtdebieten en drukval vermeld, als gemiddelde van de twee meetcompartimenten. In sommige gevallen was er sprake van technische storingen waardoor geen betrouwbare waarden konden worden geregistreerd (in de tabel aangegeven met 'n.b.').

Tabel 2

Metingen van luchtdebiet en drukval van een biofilter bij een vleesvarkensstal; gemiddelde van 2 compartimenten; n.b. = niet bekend.

Meting	Datum	Leeftijd dieren (dag) ⁽¹⁾	Luchtdebiet meetsectie, 24-uurs gem. ($m^3 \cdot \text{uur}^{-1}$) ⁽²⁾	Luchtdebiet meetsectie, 2-uurs gem. ($m^3 \cdot \text{uur}^{-1}$) ⁽³⁾	Drukval over biofilter, 24-uurs gem. (maximum). (Pa)
<i>Meetperiode 1:</i>					
1	24-mrt-11	20	2.885	2.770	21 (39)
2	16-mei-11	73	n.b.	8.330	n.b.
3	04-juli-11	117	n.b.	n.b.	n.b.
3	04-juli-11	117	n.b.	n.b.	n.b.
<i>Meetperiode 2:</i>					
1	14-mei-13	7	2.066	2.015	4 (8)
2	08-juli-13	62	10.356	9.818	32 (46)
3	19-aug-13	104	10.967	10.959	44 (61)
4	15-okt-13	36	3.815	4.002	n.b.
5	09-dec-13	91	4.389	4.019	18 (34)
6	25-mrt-14	64	3.953	4.096	14 (22)
<i>Gemiddeld:</i>			5924	5818	22

⁽¹⁾ Met "leeftijd dieren" wordt het aantal dagen sinds de oplegdatum bedoeld. Na ongeveer 16 weken worden de dieren afgevoerd.

⁽²⁾ Het 24-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van ammoniak en fijn stof.

⁽³⁾ Het 2-uurs gemiddelde debiet betreft de luchtstroom tijdens de geurmonsternamen.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2, was er in meetperiode 1 sprake van een technisch onvoldoende werkend biofilter. Omdat er onvoldoende geventileerd kon worden in de stal en omdat de rendementen voor ammoniak en geur laag waren (zie de resultaten in Tabel 3 en 4), werd besloten het meetprogramma af te breken en aan aantal verbeteringen aan het biofilter door te voeren. Daarnaast werd de bedrijfsvoering in de stal zelf geoptimaliseerd wat resulteerde in een zichtbaar schonere stal; ook het aantal dieren werd teruggebracht van 130 naar 120 dieren per afdeling.

Voor wat betreft meetperiode 2, die vervolgens werd gestart, volgt uit Tabel 2 dat het gemiddelde luchtdebiet door het biobed ca. $5.900 m^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ bedroeg per meetsectie; dit is ongeveer 65% van het eerder berekende benodigde maximum van $9.600 m^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ per afdeling van 120 dieren. De gemiddelde luchtbelasting bedroeg $341 m^3 \cdot m^{-2}$ biofilteroppervlak per uur (het totale biofilteroppervlak bedroeg $188 m^2$ en van een meetsectie $17,4 m^2$) oftewel $49 m^3 \cdot \text{dierplaats} \cdot \text{uur}^{-1}$. Dit resulteerde in een relatief lage drukval van gemiddeld 19 Pa. De gemiddelde luchtverblijftijd (op basis van lege ruimte) in het biofilterbed bedroeg, uitgaande van een biobeddiepte van 25 cm houtsnippers, ca. 2,6 s.

Zowel de oppervlakte belasting als de drukval waren aanzienlijk lager dan bij het biofilter dat eerder in het programma werd getest; in dat geval was de gemiddelde luchtbelasting $657 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ biofilteroppervlak per uur en de drukval gemiddeld ca. 287 Pa (Melse en Hol, 2012).

Bij het dimensioneren van een biofilter en het ventilatiesysteem van de stal moet bedacht worden dat de drukval over het biobed in principe kwadratisch toeneemt met de lichtsnelheid door het bed. Dit betekent dat het biobed voldoende groot dient te worden gedimensioneerd om bij pieken in het ventilatiedebiet nog steeds in staat te zijn om voldoende te ventileren in de stal.

3.2 Rendementsmetingen ammoniak

In Tabel 3 worden de resultaten van de ammoniakmetingen weergegeven.

Tabel 3

Metingen van de ammoniakverwijdering door een biofilter bij een vleesvarkenstal; gemiddelde van 2 compartimenten.

Datum	Ammoniak-in ⁽¹⁾ (ppm)	Ammoniak-uit ⁽¹⁾ (ppm)	Rendement (%) ⁽¹⁾
<i>Meetperiode 1:</i>			
24-mrt-11	30	5,2	83
16-mei-11	20	17	16
04-juli-11	27	25	6,7
<i>Gemiddeld:</i>	26	16	35 (sd=41) (2)
<i>Meetperiode 2:</i>			
14-mei-13	16	4,4	72
08-juli-13	6,7	3,0	55
19-aug-13	7,2	5,8	19
15-okt-13	7,1	6,3	10
09-dec-13	7,3	6,2	16
25-mrt-14	18	3,5	81
<i>Gemiddeld</i>	10	4,9	42 (sd=31) (3)

⁽¹⁾ De ruimtelijk variatie coëfficiënt, berekend op basis van beide meetperiodes, bedraagt voor NH₃-in, NH₃-uit en het berekende rendement resp. 0,20, 0,18 en 0,61.

⁽²⁾ Rendement wijkt niet significant af van 0 ($p > 0,1$).

⁽³⁾ Rendement wijkt significant af van 0 ($p < 0,025$).

Uit Tabel 3 blijkt dat de gemiddelde ammoniakverwijdering over meetperiode 1 relatief laag was en niet significant afweek van 0 ($p > 0,1$). Zoals eerder vermeld, was dit mede de reden om het meetprogramma af te breken en aan aantal verbeteringen aan het biofilter door te voeren. Verder valt op dat de ingaande concentraties in meetperiode 1 veel hoger zijn dan in meetperiode 2. Dit wordt mogelijk mede veroorzaakt door het lage ventilatiedebiet in meetperiode 1 als gevolg van problemen met de ventilatoren en de lage porositeit van het biobed (zie paragraaf 2.3.2), waardoor een hogere concentratie kan worden verwacht. Daarnaast werd tussen meetperiode 1 en 2 de bedrijfsvoering in de stal zelf geoptimaliseerd wat resulteerde in een zichtbaar schonere stal en een vermindering van het aantal dieren; mogelijk dat dit ook geleid heeft tot een lagere ammoniakemissie.

Uit de resultaten van de tweede meetperiode is te zien dat het ammoniakverwijderingsrendement aanvankelijk aanzienlijk hoger was (eerste twee metingen lieten een rendement van 72 resp. 55% zien), maar dat het rendement vervolgens toch weer sterk daalde (meting 3 t/m 5); tenslotte laat de laatste meting weer een veel hoger rendement zien. Het is niet duidelijk waarom de uitgaande concentratie voor meting 2 veel lager is dan voor meting 3 t/m 5. Het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement voor meetperiode 2 bedroeg 42% (sd=31; $p < 0,025$). Uit Tabel 2 en 3 kan berekend worden dat de hoeveelheid ammoniak in de stallucht, dus de ingaande lucht van

het biofilter, gemiddeld 2,8 kg NH₃ per dierplaats per jaar bedroeg voor de tweede meetperiode. Ter vergelijking: in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav; IenM, 2013a) wordt voor vleesvarkens voor "overige huisvestingssystemen" een emissiefactor aangehouden van 2,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar bij een hokoppervlak kleiner of gelijk aan 0,8 m² (D 3.100.1).

Opvallend in meetperiode 2 is dat de twee metingen met het hoogste rendement (14-mei-12 en 25-mrt-13) tegelijk ook de metingen zijn met de hoogste ingangconcentratie. De concentratie van de uitgaande lucht lijkt vrij constant te zijn en niet af te hangen van de ingaande concentratie. Voor een biologische luchtwasser, die voor een groot deel dezelfde werking heeft als een biofilter, is hetzelfde fenomeen aangetoond (Melse et al., 2012a). Uit dat onderzoek bleek dat de ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht in evenwicht is met de ammoniakconcentratie in de waterfase, welke kan berekend worden op basis van de ammoniumconcentratie en de heersende pH, en in veel mindere mate door de ingaande ammoniakconcentratie. De aanwezige hoeveelheid water fungeert op deze manier als een buffer die fluctuaties in de ingaande ammoniakconcentratie opvangt. Het is aannemelijk dat dit ook voor het biofilter geldt. Bovenstaande wordt ook ondersteund door de ervaringen van het in de inleiding genoemde onderzoek van Melse en Hol (2012), waarin een vergelijkbaar biofilter van dezelfde leverancier werd getest. In dat onderzoek werd bij de meeste metingen een veel hoger rendement gevonden dan de waarden in Tabel 3, maar ook was de ingaande ammoniakconcentratie als gevolg van de aanwezigheid van een mestdrooginstallatie veel hoger (gemiddeld 66 ppm) dan het geval is in Tabel 3.

Vanwege het genoemde evenwicht zal een hogere ammoniumconcentratie of, in nog veel sterkere mate, een hogere pH leiden tot een hogere ammoniakconcentratie in de lucht. Een verdubbeling van de ammoniumconcentratie zal tot een verdubbeling van de evenwichtconcentratie van ammoniak in de lucht: een toename van de pH met een waarde van 1 leidt in principe tot een vertienvoudiging van de ammoniakconcentratie. Verder is het zo dat het evenwicht beïnvloed wordt door de temperatuur: hoe hoger de temperatuur van de uitgaande lucht, hoe hoger de ammoniakconcentratie zal zijn. Berekend kan worden dat bij een temperatuursverhoging van 5°C de ammoniakconcentratie met ca. 25% zal toenemen. Uit de metingen blijkt dat zowel de gemiddelde temperatuur van de uitgaande lucht (Tabel 8: gemiddeld 20°C) als de pH van het percolaatwater (Tabel 11: gemiddeld 8,0) hoog zijn in vergelijking met de waarden die in onderzoeken naar de werking van biologische luchtwassers worden gerapporteerd (zie bijvoorbeeld Melse et al. (2012a) met een gemiddelde pH van 6,6 en gemiddelde temperatuur van de uitgaande lucht van 16°C). Dit zou de reden kunnen zijn dat de ammoniakconcentratie na het biofilter relatief hoog is (zie Tabel 3) wat vervolgens leidt tot een relatief laag ammoniakverwijderingsrendement (voor biologische luchtwassers wordt meestal een gemiddeld rendement van 70% aangenomen; Melse et al. (2012a) vonden zelfs een gemiddeld rendement van 82%).

Tenslotte is het mogelijk dat de relatief lage rendementen van de twee laatste metingen van meetperiode 1 en van meting 3 t/m 5 van meetperiode 2 mede werden veroorzaakt door een onvoldoende goed werkend bevochtigingssysteem. Tijdens de bezoeken bleek regelmatig dat er relatief droge plekken en relatief natte plekken op het biobed aanwezig waren, ook al is de gemiddelde relatieve vochtigheid van de uitgaande lucht > 95% (zie Tabel 8). In sommige gevallen waren de droge plekken vanaf boven zichtbaar, in sommige gevallen leken de plekken vochtig genoeg maar bleek bij nadere inspectie dat bijvoorbeeld alleen de bovenste een of twee centimeter van de houtsnippers vochtig was (de dikte van het houtsnipperpakket bedraagt 25 cm).

Droge plekken hebben tot gevolg dat er kortsluitstromingen ontstaan van ongereinigde lucht, omdat deze plekken een relatief lage luchtweerstand hebben en de ammoniak uit de lucht op deze plaatsen slecht zal oplossen in de waterfase van het biobed vanwege de lage vochtigheid. Daarnaast zal ook de bacterie-activiteit kunnen worden geremd als gevolg van de lage vochtigheid. Vanwege de hoge luchtdoorstroom bestaat de kans dat de droge plekken in het biobed nog verder uitdrogen. Verder kan onvoldoende bevochtiging ertoe leiden dat de ammoniumconcentratie in de waterfase van het biobed toeneemt, met als gevolg dat, zoals eerder aangegeven, de ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht toeneemt.

Omdat de droge plekken een relatief lage luchtweerstand hebben, zal door deze plekken per m² veel meer lucht ontwijken dan per m² vochtig biobed. Hierdoor kan een relatief klein droog oppervlak het gemiddelde rendement van het totale biobedoppervlak sterk doen afnemen.

3.3 Rendementsmetingen geur

In Tabel 4 worden de resultaten van de geurmetingen weergegeven.

Tabel 4

Metingen van de geurverwijdering door een biofilter bij een vleesvarkensstal; gemiddelde van 2 compartimenten.

Datum	Geur-in ⁽¹⁾ (OU _E ·m ⁻³)	Geur-uit ⁽¹⁾ (OU _E ·m ⁻³)	Rendement ⁽¹⁾ (%)
<i>Meetperiode 1:</i>			
24-mrt-11	2405	653	73
16-mei-11	1822	1717	5,7
04-juli-11	2050	1456	29
<i>Gemiddeld:</i>	<i>2092</i>	<i>1275</i>	<i>36 (sd=33) ⁽²⁾</i>
<i>Meetperiode 2:</i>			
14-mei-13	2452	801	67
08-juli-13	2640	1420	46
19-aug-13	1074	502	53
15-okt-13	3022	2704	11
09-dec-13	5452	1850	66
25-mrt-14	8032	2308	71
<i>Gemiddeld:</i>	<i>3779</i>	<i>1597</i>	<i>52 (sd=26) ⁽³⁾</i>

⁽¹⁾ De ruimtelijk variatie coëfficiënt, berekend op basis van beide meetperiodes, bedraagt voor geur-in, geur-uit en het berekende rendement resp. 0,25, 0,17 en 23.

⁽²⁾ Rendement wijkt niet significant af van 0 ($p > 0,1$).

⁽³⁾ Rendement wijkt significant af van 0 ($p < 0,005$).

Zoals eerder vermeld (Tabel 3) blijkt dat de gemiddelde ammoniakverwijdering over meetperiode 1 relatief laag was en niet significant afweek van 0. Uit Tabel 4 volgt dat het zelfde geldt voor de gemiddelde geurverwijdering over meetperiode 1. Zoals reeds opgemerkt was dit mede de reden om het meetprogramma af te breken en aan aantal verbeteringen aan het biofilter door te voeren.

Uit de resultaten van de tweede meetperiode blijkt dat het rendement in de tweede meetperiode hoger lag, met een gemiddelde van 52% ($sd=26$; $p < 0,005$). Dit is vergelijkbaar met de geurverwijdering die gevonden wordt voor biologische luchtwassystemen (Melse en Ogink, 2005). Wel is het rendement lager dan het door de leverancier beoogde rendement van minimaal 70%. Opgemerkt dient te worden dat een van de zes metingen (de meting van 15-okt-13) een relatief grote invloed heeft op het gemiddelde rendement van alle metingen. De oorzaak van de lage waarde op deze datum is het negatieve geurrendement dat op die datum werd gevonden voor een van de twee meetpunten (de waarden in Tabel 4 zijn het gemiddelde van 2 meetpunten). Het is niet duidelijk waarom dit zeer lage rendement werd gevonden. Wanneer de meting van 15-okt-13 wordt weggelaten zou het gemiddelde rendement van de vijf resterende meetdagen 58% bedragen ($sd=10$; $p < 0,0005$). Uit Tabel 2 en 4 kan tenslotte berekend worden dat de geuremissie uit de stal, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld 42 OU_E·s⁻¹ per dier bedraagt voor meetperiode 2. Ter vergelijking: in de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv; IenM, 2013b) wordt voor vleesvarkens voor "overige huisvestingssystemen" een emissiefactor aangehouden van 23,0 OU_E·s⁻¹ per dier.

Evenals voor ammoniak geldt ook voor de verwijdering van geurcomponenten dat een beter werkend bevochtigingssysteem naar verwachting een positieve werking zal hebben op het rendement. Dat zou de reden kunnen zijn dat het gemiddeld verwijderingsrendement in meetperiode 2 hoger was dan in meetperiode 1. Uit vergelijking van Tabel 3 en 4 lijkt te volgen dat het al dan niet goed werken van het bevochtigingssysteem een sterkere invloed heeft gehad het verwijderingsrendement voor ammoniak dan voor geur. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door verschillen in wateroplosbaarheid en

biologische afbraakcapaciteit van de verschillende verbindingen, die tezamen een belangrijke invloed hebben op het daadwerkelijk gerealiseerde rendement (Melse en Mol, 2004). Tenslotte dient opgemerkt te worden dat een toename van de luchtverblijftijd in een biofilter, bijv. door de laag van houtsnippers dikker te maken, in de regel zal resulteren in een hoger geurverwijderingsrendement.

3.4 Rendementsmetingen fijn stof

In Tabel 5 worden de resultaten van de PM10 metingen weergegeven. Wanneer de uitgaande PM10 concentratie lager was dan de detectielimiet; wordt het rendementen gepresenteerd als "hoger dan".

Tabel 5

Metingen van de PM10-verwijdering door een biofilter bij een vleesvarkensstal; gemiddelde van 2 compartimenten; n.b. = niet bekend ⁽¹⁾.

Datum	PM10-in (mg.m ⁻³)	PM10-uit (mg.m ⁻³)	Rendement (%)
<i>Meetperiode 1:</i>			
24-mrt-11	0,44	0,031	93
16-mei-11	0,28	0,011	96
04-juli-11	0,33	0,033	90
<i>Gemiddeld:</i>	<i>0,35</i>	<i>0,025</i>	<i>93</i>
<i>Meetperiode 2:</i>			
14-mei-13	0,19	0,021	89
08-juli-13	0,019	< 0,010	> 77
19-aug-13	0,12	< 0,010	> 92
15-okt-13	0,088	< 0,010	> 88
09-dec-13	0,14	0,010	93
25-mrt-14	0,31	0,018	94
<i>Gemiddeld:</i>	<i>0,15</i>	<i>< 0,013</i>	<i>> 89</i>

⁽¹⁾ De detectielimiet voor PM10 metingen bedraagt 0,010 mg.m⁻³.

Uit Tabel 5 blijkt dat de PM10 verwijdering, in tegenstelling tot de ammoniak- en geurverwijdering (Tabel 3 en 4), gedurende de eerste meetperiode hoog was, namelijk gemiddeld 93%. Blijkbaar hebben eventuele problemen met drukval en homogene bevochtiging een minder sterke invloed op het rendement van de fijn stofverwijdering. De reden hiervoor is dat het verwijderen van PM10 grotendeels berust op fysieke filtering van de stofdeeltjes in het biobedmateriaal (Melse et al., 2012b), terwijl voor de verwijdering van ammoniak en geur ook de vochtigheid en biologische afbraak een grote rol spelen.

Ook voor meetperiode 2 is een hoog PM10 verwijderingsrendement gemeten, namelijk gemiddeld > 89%. De PM10 concentraties in de ingaande lucht (dat wil zeggen de stallucht) zijn in meetperiode 2 lager dan in meetperiode 1; de reden hiervoor is niet bekend. Uit Tabel 2 en 5 kan tenslotte berekend worden dat de fijn stof emissie uit de stal, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld 50-60 g PM10.jaar⁻¹ per dier bedraagt voor meetperiode 2. Ter vergelijking: in lijst Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij (IenM, 2014) wordt voor vleesvarkens voor "overige huisvestingssystemen" een emissiefactor aangehouden van 153 g PM10.jaar⁻¹ per dier.

In Tabel 6 worden de resultaten van de PM2.5 metingen weergegeven. Uit Tabel 6 volgt dat de PM2.5 concentraties van zowel de ingaande als de uitgaande lucht in (bijna) alle gevallen lager waren dan de detectielimiet; in de meeste gevallen kan dan ook geen verwijderingsrendement worden berekend. Wanneer zich wel enige PM2.5 in de lucht bevond (zie meetperiode 1), werd dit in het biofilter verwijderd tot een concentratie lager dan de detectielimiet, net zoals het geval was bij de PM10 verwijdering (zie Tabel 5). In het rapport met adviezen over vast te stellen emissiefactoren voor o.a. PM2.5 (Mosquera en Hol, 2012) wordt een emissiefactor aangehouden van 7,2 g PM2.5.jaar⁻¹ per

dierplaats. Bij de heersende luchtdebieten door het biofilter zou dit overeenkomen met een concentratie in de stallucht, dus de ingaande lucht van het biofilter, van ca. 0,02 mg PM2.5.m⁻³. Aangezien lagere concentraties worden gemeten kan geconcludeerd worden dat de PM2.5 emissie uit deze stal lager is dan bovengenoemde emissiefactor.

Tabel 6

Metingen van de PM2,5-verwijdering door een biofilter bij een vleesvarkensstal; gemiddelde van 2 compartimenten; n.b. = niet bekend ⁽¹⁾.

Datum	PM2.5-in (mg.m ⁻³) ⁽¹⁾	PM2.5-uit (mg.m ⁻³) ⁽¹⁾	Rendement (%)
<i>Meetperiode 1:</i>			
24-mrt-11	0,030	< 0,010	> 66
16-mei-11	0,13	< 0,010	> 96
04-juli-11	< 0,010	< 0,010	n.b.
<i>Meetperiode 2:</i>			
14-mei-13	< 0,010	< 0,010	n.b.
08-juli-13	< 0,010	< 0,010	n.b.
19-aug-13	< 0,010	< 0,010	n.b.
15-okt-13	< 0,010	< 0,010	n.b.
09-dec-13	< 0,010	< 0,010	n.b.
25-mrt-14	0,018	< 0,01	> 66

⁽¹⁾ De detectielimiet voor PM2,5 metingen bedraagt 0,010 mg.m⁻³.

3.5 Metingen van broeikasgassen

In Tabel 7 zijn de resultaten van de metingen van de broeikasgassen weergegeven.

Tabel 7

Broeikasgasmetingen bij een biofilter bij een vleesvarkensstal (gemiddelde waarden van 2 meetpunten) ⁽¹⁾.

Datum	CH ₄ -in (ppm) ⁽²⁾	CH ₄ -uit (ppm) ⁽²⁾	N ₂ O-in (ppm) ⁽³⁾	N ₂ O-uit (ppm) ⁽³⁾	CO ₂ -in (ppm) ⁽²⁾	CO ₂ -uit (ppm) ⁽²⁾
<i>Meetperiode 1:</i>						
24-mrt-11	114	83	1,4	2,6	2315	1965
16-mei-11	35	50	0,57	0,84	1192	1660
04-juli-11	57	59	0,53	0,46	1275	1350
<i>Gemiddeld:</i>	69	64	0,82	1,3	1594	1658
	(sd=41)	(sd=17)	(sd=0,47)	(sd=1,1)	(sd=626)	(sd=308)
<i>Meetperiode 2:</i>						
14-mei-13	15	8,8	1,4	1,8	2370	1545
08-juli-13	2,6	2,1	0,46	0,53	832	678
19-aug-13	7,6	8,9	0,55	0,87	1130	1190
15-okt-13	50	113	0,50	2,5	1089	1675
09-dec-13	58	48	1,2	2,2	2200	2290
25-mrt-14	51	51	1,0	1,5	1915	1990
<i>Gemiddeld:</i>	31	38	0,84	1,7	1589	1561
	(sd=25)	(sd=41)	(sd=0,39)	(sd=0,65)	(sd=652)	(sd=574)

⁽¹⁾ De ruimtelijk variatie coëfficiënt, berekend op basis van beide meetperioden, bedraagt voor:

CH₄-in: 0,33 / CH₄-uit: 0,23 / N₂O-in: 0,30 / N₂O-uit: 0,49 / CO₂-in: 0,19 / CO₂-uit: 0,13. De achtergrondconcentratie van lachgas en kooldioxide in de atmosfeer bedragen resp. 0,3 ppm en 400 ppm.

⁽²⁾ De ingaande en uitgaande concentraties zijn niet significant verschillend (p>0,20).

⁽³⁾ Meetperiode 1: geen significante toename (p>0,10); meetperiode 2: wel significante toename (p<0,05).

Voor zowel CH₄ en CO₂ geldt voor beide meetperioden dat de gemiddelde concentraties van de ingaande en uitgaande lucht van het biofilter niet statistisch significant van elkaar verschillen ($p > 0,20$). In een zuurstofrijk systeem als een biofilter wordt in het algemeen nauwelijks productie van methaan verwacht (wat onder anaerobe condities zou kunnen ontstaan als gevolg van afbraak van organisch materiaal), behalve wanneer het filterbed erg vochtig is en er weinig lucht doorheen gaat. Daarnaast is de oplosbaarheid van methaan zo laag dat niet of nauwelijks aerobe afbraak van methaan in het biofilter wordt verwacht (Melse en Van der Werf, 2005). Wanneer naar de individuele meetdagen wordt gekeken, is in twee gevallen (24-mrt-11 en 15-okt-13) wel sprake van zeer grote verschillen tussen de ingaande en uitgaande concentratie van methaan; het is niet duidelijk waardoor dit werd veroorzaakt, maar een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat er in (een deel van) het filter toch anaerobe condities zijn ontstaan. Uit Tabel 2 en 7 kan berekend worden dat de methaanemissie uit de stal, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld 6,45 kg.jaar⁻¹ per dierplaats bedraagt voor meetperiode 2. Ter vergelijking: in het rapport met adviezen over vast te stellen emissiefactoren voor o.a. CH₄ (Mosquera en Hol, 2012) wordt een emissiefactor aangehouden van 15,7 kg CH₄.jaar⁻¹ per dierplaats. Voor CO₂ geldt dat in principe wel enige CO₂ productie kan optreden in het biofilter als gevolg van afbraak van de houtsnippers; de ingaande concentratie is echter zo hoog is dat het niet waarschijnlijk is dat deze productie zou leiden tot een significante toename van de concentratie. Ook voor de CO₂ metingen geldt dat wanneer gekeken wordt naar individuele meetdagen, er soms toch sprake is van grote verschillen in ingaande en uitgaande concentratie; het is niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt.

Voor lachgas wordt in meetperiode 2 wel een significante toename van de concentratie gevonden ($p < 0,05$): de lachgasconcentratie in de lucht neemt met een factor 2 toe van gemiddeld 0,84 ppm ($sd = 0,39$) in de ingaande lucht naar 1,7 ppm ($sd = 0,65$) in de uitgaande lucht. Een dergelijke verhoging van de lachgasconcentratie wordt meestal gevonden in biologische luchtbehandelingssystemen waarbij ammoniakhoudende lucht wordt behandeld (zie bijv. Melse en Hol, 2012; Melse en Mosquera, 2014; Dumont et al., 2014b). Lachgas kan gevormd worden als bijproduct van zowel het nitrificatieproces (de omzetting van ammoniak naar nitriet en nitraat) als van het denitrificatieproces (de omzetting van nitriet en nitraat naar distikstof, oftewel N₂). Uit Tabel 2 en 7 kan ook voor lachgas berekend worden hoe hoog de emissie uit de stal is; deze emissie, dit betreft de de ingaande lucht van het biofilter, bedraagt gemiddeld 0,47 kg.jaar⁻¹ per dierplaats voor meetperiode 2. Dit is ca. 50 maal zo hoog als de emissiefactor van 0,008 kg N₂O.jaar⁻¹ per dierplaats die door Mosquera en Hol (2012) wordt geadviseerd voor alle vleesvarken categorieën.

Om na te gaan hoe de hoeveelheid geproduceerd lachgas zich verhoudt tot de hoeveelheid ammoniak in de stallucht, kunnen de metingen uit Tabel 3 voor ammoniak en Tabel 7 voor lachgas voor elke meetdag in meetperiode 2 met elkaar vergeleken worden. Opgemerkt dient te worden dat de ammoniakmetingen 24-uurs gemiddelde waarden zijn en de lachgasmetingen 2-uursgemiddelde waarden, zodat eventuele fluctuaties in de tijd de berekende omzettingsgraad van ammoniak in lachgas zullen beïnvloeden. Wanneer de concentraties op basis van de hoeveelheid stikstof met elkaar vergeleken worden, blijkt dat in meetperiode 2 gemiddeld 21% ($p < 0,05$) van de ingaande NH₃-N wordt omgezet in N₂O-N⁽¹⁾.

Daarnaast blijkt dat de berekende percentage van meting tot meting sterk verschillen ($sd = 24$; minimum: 5%; maximum: 69%). Deze omzettingpercentages komen qua orde van grootte overeen met de waarden die uit eerder onderzoek bekend zijn. In onderzoek aan biologische luchtwassers is gebleken dat ongeveer 1-5% van de hoeveelheid NH₃-N wordt omgezet naar N₂O-N (Hahne & Vorlop, 2004; Melse et al., 2011, 2012a); in onderzoek bij biologische luchtwassers met toegevoegde denitrificatie-stap werden hogere hoeveelheden lachgas gevonden (17-66% werd omgezet naar N₂O-N) en ook hier fluctueerde de N₂O productie sterk (Melse en Mosquera, 2014). Uit het in de inleiding vermelde biofilteronderzoek bij een pluimveeststal met een mestdrooginstallatie (Melse en Hol, 2012) kan berekend worden dat gemiddeld 2% van de ingaande NH₃-N werd omgezet in N₂O-N; in een ander onderzoek naar biofiltratie van stallucht van een varkensstal werd een omzetting van 10-40% gevonden (Dumont et al., 2014b).

⁽¹⁾ Om de concentraties in ppm van lachgas en ammoniak met elkaar te kunnen vergelijken op stikstofbasis, dient de concentratie van lachgas met twee te worden vermenigvuldigd aangezien een lachgasmolecuul twee stikstofatomen bevat en ammoniak slechts één.

De belangrijkste factoren die de productie van N₂O beïnvloeden zijn waarschijnlijk zuurstofgehalte, nitrietconcentratie en, in het geval van denitrificatie, de COD/N verhouding (Kampschreur et al., 2009). Binnen de opzet van dit onderzoek was het niet mogelijk om na te gaan waardoor sommige meetdagen een hogere en andere meetdagen een lagere lachgasproductie lieten zien. Wel blijkt uit eerder onderzoek (Maia et al., 2012; Yang et al., 2014a) dat een hoge vochtigheid van het biobedmateriaal wordt geassocieerd met een hogere lachgasproductie, waarschijnlijk doordat hier (lokaal) anaerobe zones ontstaan. Uit Tabel 10 volgt dat het droge stof gehalte gemiddeld 32% (320 g/kg) bedroeg, oftewel een vochtgehalte van 68%. Verlaging van het vochtgehalte zal mogelijk leiden tot een verlaging van de lachgasproductie (Yang et al., 2014a). De ammoniakoxiderende bacteriën lijken minder direct beïnvloed te worden door veranderingen in het vochtgehalte. Op basis van voorgaande adviezen Maia et al. (2012) om te streven naar een vochtgehalte van rond de 50% om op deze manier N₂O productie te minimaliseren en tegelijkertijd een voldoende vochtig medium te hebben voor een hoog ammoniakverwijderingsrendement. Opgemerkt moet worden dat ook de pH de productie van N₂O kan beïnvloeden: een verlaging van de pH kan leiden tot een verhoging van de lachgasproductie (Yang et al., 2014b).

3.6 Metingen van temperatuur en relatieve vochtigheid

In Tabel 8 worden de resultaten van de luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid gegeven voor de ingaande lucht van het biofilter, gemeten in het ventilatiekanaal (zie Figuur 2.4), en de uitgaande lucht van het biofilter, gemeten direct boven het biobed.

Tabel 8

Metingen luchttemperatuur en relatieve vochtigheid (RV) aan een biofilter bij een vleesvarkensstal; gemiddelde van 2 compartimenten; n.b. = niet bekend.

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	RV-in (%)	RV-uit (%)
<i>Meetperiode 1:</i>				
24-mrt-11	n.b.	18	n.b.	> 95
16-mei-11	26	21	70	> 95
04-juli-11	26	22	61	> 95
<i>Meetperiode 2:</i>				
14-mei-13	23	17	83	> 95
08-juli-13	25	20	61	> 95
19-aug-13	24	20	71	> 95
15-okt-13	23	20	72	> 95
09-dec-13	23	22	73	> 95
25-mrt-14	n.b.	n.b.	n.b.	> 95

Vaak wordt gesteld dat de temperatuur minimaal 15°C dient te bedragen om de biologische activiteit veilig te stellen, aangezien de activiteit van nitrificerende bacteriën sterk afneemt onder deze temperatuur. De temperatuurswaarden in Tabel 8 geven aan dat er bij alle metingen sprake was voor goede procescondities, aangezien de gemiddelde temperatuur van het biobed altijd ruim boven de richtwaarde van 15°C is gebleven; ook tijdens de nacht was de temperatuur altijd > 15°C. Uit de metingen van de relatieve vochtigheid na het biofilter volgt dat de vochtigheid van de lucht hoog genoeg is; dit sluit echter niet uit dat het biofilterbed op bepaalde plekken te droog of te nat kan zijn, zoals eerder besproken (zie o.a. paragraaf 3.2). Zoals reeds in paragraaf 3.2 werd besproken, was de gemiddelde temperatuur van zowel de stallucht als de lucht na het biofilter relatief hoog in vergelijking met eerder onderzoek naar biologische luchtwassers. Zo werd in Melse et al. (2012a) een gemiddelde stalluchttemperatuur gevonden van 20°C; vervolgens werd deze lucht in een biologische luchtwasser afgekoeld tot gemiddeld 16°C. Zoals besproken heeft dit mogelijk een negatief effect op het ammoniakverwijderingsrendement gehad.

3.7 Metingen aan houtsnippers en spuiwater

In Tabel 9 worden de resultaten van de analyses van het biofiltermateriaal en percolaat weergegeven voor het beperkt aantal metingen binnen meetperiode 1. In Tabel 10a, 10b en 11 worden de resultaten van de analyses van het biofiltermateriaal en het percolaat weergegeven voor de metingen die binnen meetperiode 2 zijn uitgevoerd. In Tabel 12 worden tenslotte het waterverbruik en de spuiwaterproductie vermeld.

Tabel 9

Analyse van pakkingmateriaal van toplaag en onderste laag van biobed (houtsnippers) en van percolaat bij een biofilter bij een vleesvarkensstal ⁽¹⁾, meetperiode 1, n.b. = niet bekend.

Component	23-mrt-11	23-mrt-11	16-mei-11
	houtsnippers toplaag ⁽¹⁾	houtsnippers onderste laag ⁽¹⁾	percolaat
ammonium-N (g.kg ⁻¹)	0,022	1,19	0,392
nitriet-N (g.kg ⁻¹)	< 0,010	< 0,010	< 0,010
nitraat-N (g.kg ⁻¹)	0,050	0,728	0,128
totaal-N (g.kg ⁻¹)	2,95	5,11	0,554
droge stof (g.kg ⁻¹)	266	273	1,19
as (g.kg ⁻¹)	18	27,6	0,47
pH (-) ⁽²⁾	n.b.	n.b.	8,5
EC (mS.cm ⁻¹)	n.b.	n.b.	3,68

⁽¹⁾ De gepresenteerde waarden zijn het gemiddelde van twee mengmonsters.

Tabel 10a

Analyse pakkingmateriaal van toplaag van biofilter (houtsnippers) bij een vleesvarkensstal ⁽¹⁾, meetperiode 2; n.b. = niet bekend.

Component	14-mei- 13	08-juli- 13	19-aug- 13	15-okt- 13	09-dec- 13	25-mrt- 14
ammonium-N (g.kg ⁻¹)	0,037	0,35	0,69	< 0,10	0,27	0,17
nitriet-N (g.kg ⁻¹)	< 0,010	< 0,0110	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
nitraat-N (g.kg ⁻¹)	< 0,010	0,173	< 0,010	< 0,013	< 0,010	< 0,010
totaal-N (g.kg ⁻¹)	1,67	2,46	2,92	2,21	2,50	2,58
droge stof (g.kg ⁻¹)	295	317	360	266	271	237
as (g.kg ⁻¹)	8,8	10,4	12,9	9,5	8,3	8,9
pH (-) ⁽²⁾	6,7	6,8	6,6	7,3	7,2	6,8
EC (mS.cm ⁻¹)	n.b.	0,38	0,88	0,24	1,72	0,44

⁽¹⁾ De gepresenteerde waarden zijn het gemiddelde van twee mengmonsters.

⁽²⁾ De pH wordt gemeten nadat het monster is verdund met demi-water in een massaverhouding 1 : 4, even geroerd, een half uur heeft gestaan en nogmaals even is geroerd.

Tabel 10b

Analyse pakkingmateriaal van onderste laag van biofilter (houtsnippers) bij een vleesvarkensstal ⁽¹⁾, meetperiode 2; n.b. = niet bekend.

Component	14-mei-13	08-juli-13	19-aug-13	15-okt-13	09-dec-13	25-mrt-14
ammonium-N (g.kg ⁻¹)	0,028	5,41	3,78	2,49	3,94	0,72
nitriet-N (g.kg ⁻¹)	< 0,010	0,1	0,09	< 0,010	< 0,010	< 0,010
nitraat-N (g.kg ⁻¹)	0,042	0,338	1,18	0,26	0,42	0,34
totaal-N (g.kg ⁻¹)	1,50	10,53	8,93	5,29	7,78	4,14
droge stof (g.kg ⁻¹)	275	493	418	308	308	247
as (g.kg ⁻¹)	6,0	12,8	14,7	9,5	10,9	8,8
pH (-) ⁽²⁾	6,1	6,7	7,5	6,2	8,0	7,0
EC (mS.cm ⁻¹)	n.b.	2,4	6,8	4,3	5,3	1,5

⁽¹⁾ De gepresenteerde waarden zijn het gemiddelde van twee mengmonsters.

⁽²⁾ De pH wordt gemeten nadat het monster is verdund met demi-water in een massaverhouding 1 : 4, even geroerd, een half uur heeft gestaan en nogmaals even is geroerd.

Uit Tabel 9, 10a en 10b blijkt dat er verschillen zijn tussen de gehalten in de onderste laag en de bovenste laag van het biobed. Aan de bovenzijde van het bed wordt schoon water gesproeid wat vervolgens door het bed heen druppelt. Het gevolg hiervan is dat het bed aan de bovenzijde enigszins wordt schoongespoeld en het gehalte aan opgeloste zouten lager is dan in de onderlaag. Dit blijkt uit de hogere gehalten van ammonium, nitriet en nitraat (en zo ook N-totaal) in de onderlaag en een hogere waarde voor de EC. Daarnaast is het vochtgehalte in het algemeen hoger in de bovenlaag, als gevolg van de toediening van water vanaf de bovenzijde en de toevoer van relatief droge stallucht aan de onderzijde, waardoor eventuele uitdroging vooral aan de onderzijde zal plaatsvinden. Uit aanvullende metingen blijkt dat de bulkdichtheid van het biobedmateriaal ca. 600 kg.m⁻³ bedraagt.

Over meetperiode 1 (Tabel 9) zijn te weinig gegevens beschikbaar om een nadere analyse te kunnen maken. Uit de resultaten van het biofiltermateriaal van meetperiode 2 (Tabel 10a en 10b) valt op dat de eigenschappen van het biobed enigszins fluctueren; dit zal enerzijds kunnen worden veroorzaakt door meetfouten (zowel in monsternamen als analyse), anderzijds zal dit het gevolg kunnen zijn van fluctuaties in de procescondities van het biofilter (variatie in stikstofaanbod, biologische afbraak en 'waterhuishouding'). Het stikstofaanbod wordt bepaald door het luchtdebiet en de concentratie van ammoniak in de stallucht. Met de waterhuishouding van het biofilter worden alle factoren bedoeld die de aan- en afvoer van water bepalen en tezamen de vochtigheidscondities van (en gehalten van stikstofverbindingen in) het biobed bepalen. Hierbij spelen de volgende factoren een rol: hoeveel sproeiwater per m², luchtdebiet, temperatuur en relatieve vochtigheid van de stallucht, waterhoudend vermogen van het biobed en de hoeveelheid spuiwater die wordt geproduceerd.

Uit Tabel 10a en 10b blijkt dat er over de gehele meetperiode gezien geen duidelijke dalende of stijgende trend is van de gehalten van de verschillende stikstofverbindingen, pH of EC waarde. Ook de waarde van de pH en het gehalte van ammonium en nitriet zijn geen aanleiding tot zorgen over de biologische activiteit en de werking van het biofilter. Dit duidt erop dat er sprake is van een stabiel werkend systeem; ook al is het rendement voor zowel ammoniak als geur nog steeds lager dan het door de leverancier voor beide componenten beoogde rendement van minimaal 70% (zie Tabel 3 en 4). Zoals in paragraaf 3.2 reeds besproken is, fungeert de aanwezige waterfase waarschijnlijk als een buffer die fluctuaties in de ingaande ammoniakconcentratie opvangt.

Op basis van de analyses in Tabel 9 en 10 kan een inschatting gemaakt worden van de hoeveelheid water die zich in het biobed bevindt en als buffer kan optreden. Op basis van de bulkdichtheid van de vochtige houtsnippers ca. 600 kg.m⁻³, een gemiddeld droge stof gehalte van 325 g.kg⁻¹ en een laagdikte van 0,25 cm kan berekend worden dat het vochtgehalte van het biobed 100 kg.m⁻² bedraagt. Verder volgt uit Tabel 12 dat er ook nog eens een hoeveelheid spuiwater van ca. 0,6 kg.m⁻².uur⁻¹ wordt afgevoerd. Dit betekent dus dat er per m² biobed een 'waterbuffer' is van ongeveer 100 liter. Stel dat de ingaande concentratie van ammoniak gedurende een tijdsperiode van

een uur verdubbelt van 10 ppm (7 mg.m⁻³) naar 20 ppm (14 mg.m⁻³). Dit zou, uitgaande van een hoeveelheid lucht van 341 m³.m⁻².uur⁻¹ (Tabel 2) een toename van de ammoniakbelasting betekenen van 2,4 g.m⁻².uur⁻¹. Uitgezet tegen de waterbuffer van 100 liter zou dit kunnen resulteren in een toename van het ammoniumgehalte van de waterfase van 24 mg.l⁻¹. In vergelijking met de ammoniumconcentraties zoals deze worden gevonden in het biobedmateriaal (Tabel 10) is dit een zeer lage hoeveelheid. Deze berekening onderstreept dat de aanwezige waterbuffer in staat is om vrij grote fluctuaties in de ingaande ammoniakconcentratie op te vangen zonder dat dit leidt tot significant hogere ammoniakconcentraties in de waterfase. Hierdoor zal dan ook nauwelijks of geen effect op de uitgaande ammoniakconcentratie van de lucht te zien zijn.

Tabel 11

Analyse percolaat (spuiwater) van biofilter bij een vleesvarkensstal, meetperiode 2; n.b. = niet bekend.

Component	14-mei-13 (¹)	08-juli-13	19-aug-13	15-okt-13	09-dec-13	25-mrt-14
ammonium-N (g.kg ⁻¹)	8,69	9,58	0,33	1,72	1,94	2,33
nitriet-N (g.kg ⁻¹)	0,116	0,468	< 0,010	0,25	< 0,010	0,024
nitraat-N (g.kg ⁻¹)	4,85	4,53	< 0,010	0,51	0,89	1,25
totaal-N (g.kg ⁻¹)	13,5	17,3	0,38	2,68	2,95	3,92
droge stof (g.kg ⁻¹)	46,6	n.b.	1,5	6,6	7,2	9,9
as (g.kg ⁻¹)	2,7	n.b.	0,7	1,0	0,9	1,0
pH (-) (²)	8,3	7,6	7,3	8,2	8,7	8,0
EC (mS.cm ⁻¹)	58	70	3,3	14	15	19

(¹) Gemiddelde van twee monsters, genomen aan het begin en het eind van de 24-uurs meting.

(²) De pH wordt gemeten nadat het monster is verdund met demi-water in een massaverhouding 1 : 4, even geroerd, een half uur heeft gestaan en nogmaals even is geroerd.

Tabel 12

Metingen waterverbruik en spuiwaterproductie van een biofilter (188 m²) bij een vleesvarkensstal; n.b. = niet bekend.

Datum	Waterverbruik sproeiers		Spuiwaterproductie (¹)		
	m ³ .dag ⁻¹	l.dag ⁻¹ .m ² biobed	m ³ .dag ⁻¹	l.dag ⁻¹ .m ² biobed	% (⁴)
<i>Meetperiode 1:</i>					
24-mrt-11	n.b. (²)	n.b. (²)	n.b.	n.b.	n.b.
16-mei-11	5,08	27,0	n.b.	n.b.	n.b.
04-juli-11	4,17	22,2	n.b.	n.b.	n.b.
<i>Gemiddeld:</i>	<i>5,48</i> (³)	<i>29,2</i> (³)	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>
<i>Meetperiode 2:</i>					
14-mei-13	3,97	21,1	n.b.	n.b.	n.b.
08-juli-13	5,99	31,9	2,3	12	39
19-aug-13	6,59	35,0	n.b.	n.b.	n.b.
15-okt-13	3,70	19,7	3,2	17	87
09-dec-13	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-mrt-14	4,01	21,3	2,8	15	70
<i>Gemiddeld:</i>	<i>4,33</i> (³)	<i>23,1</i> (³)	<i>2,8</i>	<i>15</i>	<i>65</i>

(¹) De metingen van de hoeveelheid spuiwater zijn pas tijdens de tweede meetperiode gestart.

(²) Alleen beginstand aanwezig, geen eindstand.

(³) Berekend op basis van het totale waterverbruik gedurende de meetperiode.

(⁴) Dit percentage geeft aan welk deel van het versproeide water als spuiwater wordt afgevoerd.

In Tabel 11 worden de resultaten van de analyse van het percolaatwater gegeven voor meetperiode 2. Het valt op de tijdens de eerste twee metingen de stikstofgehalten (en EC) veel hoger zijn dan tijdens de latere metingen. Deze hoge stikstofgehalten zouden veroorzaakt kunnen zijn door een lagere sproeihoeveelheid in de periode voorafgaand aan meetperiode 2, waardoor zich stikstofverbindingen hebben opgehoopt die vervolgens weer worden weggespoeld. Tabel 12 zien dat het gemeten waterverbruik tijdens meetperiode 2 varieerde tussen 3,7 en 6,6 m³.dag⁻¹. Het gemiddelde over meetperiode 2 (een periode van 1 jaar) bedroeg 4,3 m³.dag⁻¹ of 23 l.m⁻².dag⁻¹; dit is lager dan de door de leverancier opgegeven sproeihoeveelheid van 30 - 45 l.m⁻².dag⁻¹ (zie paragraaf 2.3.2) en wordt mogelijk veroorzaakt door lagere druk in de leidingen en/of andere instellingen van de tijdschakelklok. Verder laat Tabel 12 zien dat het gemiddelde waterverbruik tijdens meetperiode 1 (een periode van slechts van 3 maanden) 5,5 m³.dag⁻¹ of 29 l.m⁻².dag⁻¹; dit is juist het minimum van de range van 28 - 110 liter.m⁻².dag⁻¹ die door de leverancier was opgegeven (zie paragraaf 2.3.2).

In een nitrificerend biofilter zal de ammoniak die uit stallucht wordt verwijderd zich deels ophopen in het biobed en deels afgevoerd worden met het spuiwater. Zoals reeds opgemerkt blijkt dat er over de gehele meetperiode gezien geen duidelijke dalende of stijgende trend is van de gehalten van de verschillende stikstofverbindingen in het biobedmateriaal. Dit zou betekenen dat de uit de lucht verwijderde stikstof met het spuiwater zal worden afgevoerd. Er is geen aanwijzing dat denitrificatie een grote rol zou spelen in het biofiltersysteem, wat zou kunnen leiden tot een lagere stikstofafvoer met het spuiwater. Zoals reeds in paragraaf 3.2 werd besproken, was de pH van het percolaatwater met een gemiddelde waarde van 8,0 relatief hoog in vergelijking met de range die als gangbaar wordt gehouden voor een biologische luchtwasser (pH range 6,5 - 7,5; Melse en Ogink, 2005). Zoals besproken heeft dit mogelijk een negatief effect op het ammoniakverwijderingsrendement gehad.

In Tabel 12 wordt de spuiwaterproductie weergegeven zoals die gedurende drie 24-uursmetingen in meetperiode 2 is vastgesteld. Gemiddeld werd er 2,8 m³ spuiwater per dag geproduceerd terwijl er gemiddeld 4,4 m³ water per dag over het bed werd versproeid; dit betekent dat ca. 35% van het toegevoegde water verdampt en dat ca. 65% van het water als spuiwater wordt afgevoerd. Uitgedrukt per dierplaats betekent dit een spuiwaterproductie van gemiddelde 0,77 m³ per dierplaats per jaar oftewel 0,088 liter per dierplaats per uur; dit is van dezelfde orde van grootte als het minimale spuidebiet zoals dat in het Informatiedocument Luchtwassers wordt gehanteerd voor biowassers (InfoMil, 2011).

Het is niet duidelijk of verhoging of verlaging van de spuiwaterhoeveelheid van het biofilter (bijv. door vermindering van de sproeitijd met vers water of door toepassing van recirculatie) meteen een effect zal hebben op het ammoniakverwijderingsrendement. Wel kan worden gesteld dat wanneer de hoeveelheid spuiwater wordt verminderd, de stikstofgehalten van het biobedmateriaal en het spuiwater omhoog zullen gaan doordat er ophoping van stikstofverbindingen in het biobed optreedt. Op den duur zal dit enerzijds kunnen leiden tot hogere ammoniakconcentraties van de uitgaande lucht (als gevolg van het evenwicht met de waterfase), anderzijds tot remming van de nitrificatie als gevolg van remming door ammonium en mogelijk nitriet.

4 Conclusies

In het onderzoek is de werking van een biofilter achter een vleesvarkensstal gevolgd gedurende een periode van 3 maanden (meetperiode 1) respectievelijk 1 jaar (meetperiode 2). In de periode tussen meetperiode 1 en 2 is het ontwerp van ventilatiesysteem en biofilter geoptimaliseerd. De resultaten van meetperiode 1 worden buiten beschouwing gelaten omdat er gedurende deze periode geen sprake was van een normaal werkend biofilter. De gemiddelde luchtbelasting van het biobed bedroeg in de tweede meetperiode $341 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ biofilteroppervlak per uur, dat is gelijk aan een ventilatiedebiet van $49 \text{ m}^3 \cdot \text{vleesvarkensplaats} \cdot \text{uur}^{-1}$. Dit resulteerde in een drukval van gemiddeld 19 Pa.

Uit het onderzoek is verder gebleken dat de gemiddelde ammoniakverwijdering door het biofilter 42% ($n=6$; $sd=31$; $p<0,025$) bedroeg. De uitgaande ammoniakconcentratie van het biofilter blijkt vrij stabiel te zijn en niet sterk te worden beïnvloed door de fluctuerende ingaande concentratie. Dit heeft tot gevolg dat een hoge ingaande concentratie tot een hoger berekend rendement leidt en dat een lage ingaande concentratie tot een lager berekend rendement leidt. Het gemeten rendement wordt dan dus niet zozeer beïnvloed door de vracht ($\text{kg NH}_3 \cdot \text{uur}^{-3}$) maar door de concentratie ($\text{kg NH}_3 \cdot \text{m}^{-3}$). Verder was de pH van het percolaat van het biofilter relatief hoog ($\text{pH} = 8$) in vergelijking met biologische luchtwassers ($\text{pH} = 6,5 - 7,5$); dit is mogelijk de reden dat de uitgaande ammoniakconcentratie van het biofilter relatief hoog is met als gevolg een negatief effect op het rendement. Daarnaast wordt een deel van de ammoniak wordt omgezet in lachgas, op stikstofbasis wordt gemiddeld 21% ($n=6$; $sd=24$; $p<0,05$) van de ingaande ammoniak-N omgezet in lachgas-N. De geurverwijdering door het biofilter bedroeg gemiddeld 52% ($n=6$; $sd=26$; $p<0,005$), wat vergelijkbaar is met biologische luchtwassers.

Voor PM10 geldt dat het verwijderingsrendement gemiddeld $> 89\%$ ($n=6$) bedroeg. Voor PM2.5 geldt dat zowel de ingaande als uitgaande concentratie van het biofilter meestal lager was dan de detectielimiet zodat geen uitspraak kan worden gedaan over verwijderingsrendementen.

Tenslotte blijkt uit het onderzoek dat er een aanzienlijke hoeveelheid percolaat of spuiwater werd geproduceerd, omgerekend $0,77 \text{ m}^3$ per dierplaats per jaar of $0,088$ liter per dierplaats per uur; dit is van dezelfde orde grootte als het minimale spuidebiet zoals dat voor biologische luchtwassers wordt gehanteerd. Het spuiwater bevatte een wisselende hoeveelheid stikstofverbindingen in een bandbreedte van $0,4$ tot $17 \text{ g N} \cdot \text{l}^{-1}$.

5 Aanbevelingen

Voor een goede en betrouwbare werking van het biofilter dient er enerzijds sprake te zijn van een goede verdeling van het water over het gehele biofilteroppervlak (egale bevochtiging zodat te droge of te natte plekken worden voorkomen), anderzijds dient de hoeveelheid water die op het biofilter wordt gebracht dusdanig te zijn dat een optimale vochtigheid van het bed wordt bereikt. Wanneer de bevochtiging niet goed functioneert kan een negatief effect verwacht worden op de verwijdering van in het bijzonder ammoniak en/of geur.

Het wordt daarom noodzakelijk geacht dat door de gebruiker (veehouder) minimaal wekelijks wordt bepaald of het bevochtigingssysteem goed werkt en het vochtgehalte van het filterpakket goed is; indien nodig moet het bevochtigingsprogramma vervolgens worden bijgesteld.

Aangezien de afvoer van spuiwater in de regel een kostenpost betekend, wordt aanbevolen om na te gaan of de spuiwaterproductie kan worden gereduceerd door minder water te versproeien dan wel door recirculatie van water toe te passen, zonder dat dit leidt tot een lagere ammoniakverwijdering. Een vermindering van de mate van besproeiing zal een lager vochtgehalte van het biobed tot gevolg hebben, wat mogelijk zal leiden tot een vermindering van de lachgasproductie. Wat betreft recirculatie van sproeiwater dient voorkomen te worden dit zou leiden tot een hogere pH in het systeem wat op zijn beurt zou kunnen leiden tot een hogere ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht. Indien nodig, zou recirculatie van spuiwater kunnen gecombineerd worden met een lichte aanzuring van het water, bijvoorbeeld om de pH rond een waarde van 6,5 te houden. Verwacht wordt dat de ammoniakverwijdering dan sterk zal kunnen toenemen; wel zal moeten worden nagegaan of dit niet leidt tot een verhoging van de lachgasproductie in het biofilter.

Verder wordt aanbevolen om het percolaatwater van het biofilter op te vangen in een tank; hierdoor wordt ongecontroleerde lozing voorkomen en wordt tevens voor de gebruiker duidelijk hoe veel spuiwater wordt geproduceerd. Ook wordt hierdoor eventuele recirculatie van water mogelijk gemaakt.

Met betrekking tot de meettechniek kan worden opgemerkt dat het vanwege de ruimtelijke variatie van de bedcondities (droge en natte plekken) van groot belang is om een representatief monster te nemen van de gehele luchtstroom die het biofilter verlaat. De bedcondities kunnen namelijk een direct effect hebben op de te meten verwijderingsefficiëntie. Daarom wordt het voor dergelijke metingen aan een biofilter noodzakelijk geacht om de gehele luchtstroom samen te brengen naar één duidelijk gedefinieerd emissiepunt (bijvoorbeeld met behulp van een tentconstructie, zoals in onderliggend onderzoek) en de lucht op dat punt vervolgens te bemonsteren.

Om de ammoniak- en geurrendementen te verhogen wordt aanbevolen om na te gaan of het mogelijk is een dikker filterpakket toe te passen (huidig ontwerp: laag van 25 cm houtsnippers). Op deze manier zou de capaciteit van het biofilter relatief eenvoudig kunnen worden vergroot. De lage drukval van gemiddeld 19 Pa geeft aan dat de dikte van de laag houtsnippers bijvoorbeeld verdubbeld kan worden, zonder dat dit problemen zal geven voor het ventilatiesysteem. Een groter biobed volume zal naar verwachting resulteren in hogere verwijderingsrendementen voor ammoniak en geur. Mogelijk zal ook het risico op kortsluitstromingen als gevolg van (lokale) uitdroging worden verminderd. De lucht moet namelijk een langere weg afdiggen door het vochtige filterpakket, waardoor de lucht mogelijk reeds met water is verzadigd op het moment dat deze de bovenste laag van het filterpakket bereikt.

6 Literatuur

- Arends, F.; G. Franke; E. Grimm; W. Gramatte; S. Häuser; J. Hahne (2008). Exhaust Air Treatment Systems for Animal Housing Facilities, Techniques - Performance - Costs. KTBL-Schrift 464, KTBL, Darmstadt, Deutschland; ISBN 978-3-939371-60-1.
- Asseldonk, M.M.L.; J.A.M. Voermans (1989). Toepassing van de biobedden in de varkenshouderij. Proefverslag nr. 1.47 Rosmalen, Proefstation voor de Varkenshouderij.
- Chen, L.; S.J. Hoff (2009). Mitigating odors from agricultural facilities: a review of literature concerning biofilters. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(5): 751-766.
- Chen, L.; S. Hoff; L. Cai; J. Koziel; B. Zelle (2009). Evaluation of wood chip-based biofilters to reduce odor, hydrogen sulphide, and ammonia from swine barn ventilation air. *J. Air Waste Manage* 59(5), 520-530.
- Demmers, T.G.M.; G.H. Uenk (1996). Experimenten met een biofilter op kleine schaal. IMAG-DLO. Nota P 96-37. Wageningen.
- DLG (2007). Abluftreinigungssystem für die Schweinehaltung. Hagola Biofilter GmbH. DLG-Prüfbericht 5699. Web: <http://www.dlg-test.de/pbdocs/5699.pdf>. DLG e.V., Groß-Umstadt, Germany.
- Dumont, E.; L. Hamon; S. Lagadec; P. Landrain; B. Landrain; Y. Andrès (2014a). NH₃ biofiltration of piggery air. *Journal of Environmental Management* 140, 26-32.
- Dumont, E.; S. Lagadec; P. Landrain; B. Landrain; Y. Andrès (2014b). N₂O generation resulting from piggery air biofiltration. *Chemical Engineering Journal* 248, 337-341.
- Eggels, P.G.; R. Scholtens (1989). Biofiltratie van NH₃-bevattende stallucht bij de intensieve veehouder. Fase 3: Onderzoek aan een biofilter op praktijkschaal alsmede consequenties voor biofiltratie in de praktijk. Ref. 89-107. Wageningen/Apeldoorn: Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) / TNO Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie (MT-TNO).
- Groenestein, C.M. ; J. Mosquera Losada; N.W.M. Ogink (2011). Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research, Rapport 493.
- Hahne, J.; K.-D. Vorlop (2004). Are scrubbers suitable for reduction of ammonia emission? *Landtechnik* 59 (2), 106-107.
- InfoMil (2011). Technisch Informatiedocument 'Luchtwassystemen voor de Veehouderij'; Eisen aan en richtlijnen voor de uitvoering en het gebruik van luchtwassystemen in dierenverblijven. Versie 1.1, februari 2011, vervangt versie 1 van december 2008.
- IenM (2013a). Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 13 december 2013, nr. IENM/BSK-2013/297848, tot wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij. *Staatscourant* jaargang 2013, nr. 35932.
- IenM (2013b). Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 13 december 2013, nr. IENM/BSK-2013/297853, tot wijziging van de Regeling geurhinder en veehouderij. *Staatscourant* jaargang 2013, nr. 35929.
- IenM (2014)Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij, versie maart 2014. Internet: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/publicaties/2014/03/15/emissiefactoren-fijn-stof-voor-veehouderij.html>.
- Kampschreur, M. J.; H. Temmink; R. Kleerebezem; M.S.M. Jetten; M.C. van Loosdrecht (2009). Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Water Res.* 43, 4093-4103.
- Maia, G.D.N.; G.B. Day V; R.S. Gates; J.L. Taraba; M.S. Coyne (2012). Moisture effects on greenhouse gases generation in nitrifying gas-phase compost biofilters. *Water Res.* 46(9), 3023-3031.
- Melse, R.W.; G. Mol (2004). Odour and ammonia removal from pig house exhaust air using a biotrickling filter. *Water Science & Technology* 50 (4), 275-282.
- Melse, R.W.; H.C. Willers (2004). Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 1: Techniek en kosten. Rapport 029, januari 2004. *Agrotechnology & Food Innovations*, Wageningen UR, Wageningen. ISBN 90-6754-739-5.
- Melse, R.W.; A.W. van der Werf (2005). Biofiltration for mitigation of methane emission from animal husbandry. *Environmental Science & Technology* 39 (14), 5460-5468.

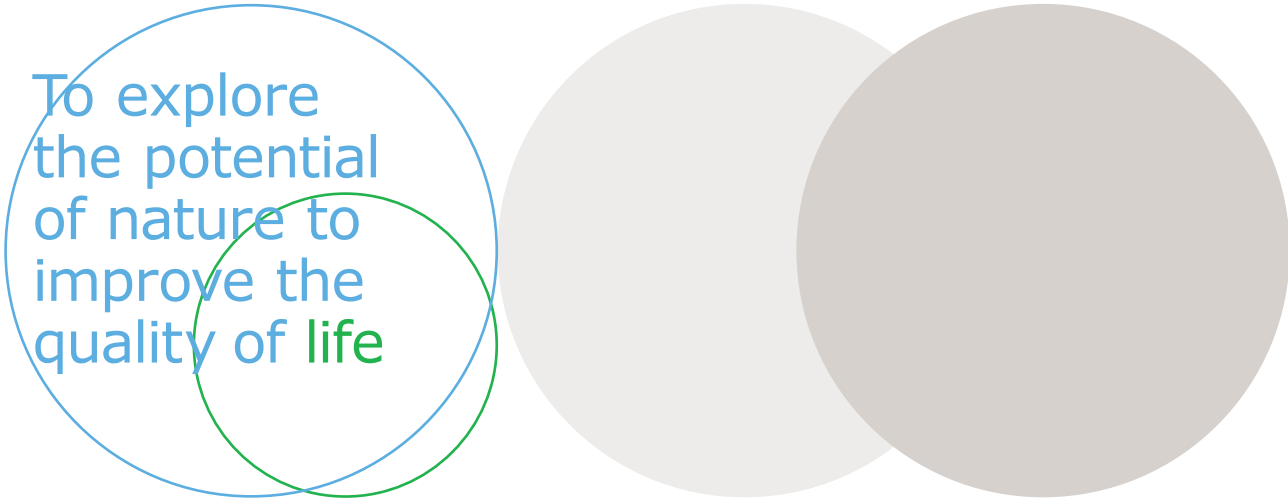
-
- Melse, R.W.; N.W.M. Ogink (2005). Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE*, 48 (6), 2303-2313.
- Melse, R.W.; J.M.G. Hol; J. Mosquera; G.M. Nijeboer; J.W. Huis in't Veld; T.G. van Hattum; R.K. Kwikkel; F. Dousma; N.W.M. Ogink (2011). Monitoringsprogramma experimentele gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven. Rapport 380. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Melse, R.W.; J.P.M. Ploegaert (2011). Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid. Rapport 435. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Melse, R.W.; J.P.M. Ploegaert; N.W.M. Ogink (2012a). Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammonia removal performance and its fluctuations. *Biosyst. Eng.* 113 (3), 242-252.
- Melse, R.W.; P. Hofschreuder; N.W.M. Ogink (2012b). Removal of particulate matter (PM10) by air scrubbers at livestock facilities: results of an on-farm monitoring program. *T. ASABE* 55(2), 689-698.
- Melse, R.W.; J.M.G. Hol (2012). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: biofiltratie van ventilatielucht uit een mestdroogstelsel bij een leghennenstal. Rapport 498. Web: <http://edepot.wur.nl/211579>. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Melse, R.W.; J. Mosquera (2014). Nitrous oxide (N₂O) emissions from biotrickling filters used for ammonia removal at livestock facilities. *Water Sci. Tech.* Vol 69 No 5 pp 994 - 1003.
- Mosquera Losada, J. ; Groenestein, C.M. ; Ogink, N.W.M. (2011). Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research, Rapport 494.
- Mosquera, J.; J.M.G. Hol (2012). Emissiefactoren methaan, lachgas en PM_{2,5} voor stalsystemen, inclusief toelichting. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research, Rapport 496.
- Nicolai, R.E.; C.J. Clanton; K.A. Janni; G.L. Malzer (2006). Ammonia removal during biofiltration as affected by inlet air temperature and media moisture content. *Trans. ASABE* 49(4): 1125-1138.
- Ogink, N.W.M. (2011). Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research, Rapport 491.
- Ogink, N.W.M.; P. Hofschreuder; A.J.A. Aarnink (2011). Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research, Rapport 492.
- Ogink, N.W.M.; J. Mosquera Losada; J.M.G. Hol (2013). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research, Rapport 726.
- Sande-Schellekens, van de, A.L.P.; G.B.C. Backus (1993). Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO. Proefverslag P 1.99. Rosmalen, Proefstation voor de Varkenshouderij.
- Scholtens, R.; J.V. Klarenbeek; M.A. Bruins (1988). Control of ammonia emissions with biofilters and bioscrubbers. In *Volatile emissions from livestock farming and sewage operations*, 196-208. V.C. Nielsen, J.H. Voorburg and P. L'Hermite, eds. Barking, Essex, U.K.: Elsevier Applied Science. ISBN 1-85166-277-8.
- Uenk, G.H.; G.J. Monteny; T.G.M. Demmers; M.G. Hissink (1993). Vermindering ammoniakemissie door gebruik van biofilters. PROPRO-project Luchtzuivering vleesvarkensstallen. Rapport 93-28. Wageningen, Netherlands: DLO Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO). ISBN 90-5406-059-X.
- Yang, L.; A.D. Kent; X. Wang; T.L. Funk; R.S. Gates; Y. Zhang (2014a). Moisture effects on gas-phase biofilter ammonia removal efficiency, nitrous oxide generation, and microbial communities. *J. Hazard. Mater.* 271, 292-301.
- Yang, L.; X. Wang; T.L. Funk (2014b). Strong influence of medium pH condition on gas-phase biofilter ammonia removal, nitrous oxide generation and microbial communities. *Bioresource Technology* 152, 74-79

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
info.livestockresearch@wur.nl
<http://www.livestockresearch.wur.nl>
Livestock Research Report 802

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

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





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

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 480 10 77
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 802



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

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