



---

# Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal - locatie 2

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

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



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

---

---

# Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal - locatie 2

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

R.W. Melse, J.M.G. Hol, J.P.M. Ploegaert, 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, Augustus 2015

---

Livestock Research Rapport 896

---

R.W. Melse, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, T.G. van Hattum, 2015. *Meting aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal - locatie 2*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 896, 35 blz.

#### Samenvatting NL

In dit onderzoek is de emissiereductie voor ammoniak (NH<sub>3</sub>), geur, fijn stof (PM10, PM2.5) en broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) vastgesteld voor een biofilter (440 m<sup>2</sup>) dat de ventilatielucht van een aantal varkensstallen behandelde (totale ventilatiecapaciteit: 290.000 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>). Het gemiddelde verwijderingsrendement voor ammoniak, geur en fijn stof (PM10) bedroeg resp. 38%, 43% en > 93%. Voor CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> werd geen significant verschil tussen ingaande en uitgaande lucht van de biofilter gevonden.

#### Synopsis UK

In this study the emission reduction of ammonia (NH<sub>3</sub>), odour, fine dust (PM10, PM2.5), and greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) was determined for a biofilter (440 m<sup>2</sup>) treating exhaust air from a pig house (total ventilation capacity: 290.000 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>). The average removal for ammonia, odour and fine dust (PM10) was 38%, 43%, and > 93%, respectively. For CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>, no significant difference between inlet and outlet concentration was found for the biofilter.

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

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

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



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

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>13</b>
2.1 Algemene beschrijving van het biofilter	13
2.2 Beschrijving van stallocatie en biofilter	15
2.3 Meetprogramma en tijdspad	18
2.4 Meetstrategie en meetpunten	18
2.4.1 Zeilen om uitstroomopening biofilter (deels) af te sluiten	18
2.4.2 Uitgevoerde metingen	19
<b>3 Resultaten en discussie</b>	<b>22</b>
3.1 Ventilatie-debiet en drukval	22
3.2 Rendementsmetingen ammoniak	22
3.3 Rendementsmetingen geur	24
3.4 Rendementsmetingen fijn stof	25
3.5 Metingen van broeikasgassen	26
3.6 Metingen van temperatuur en relatieve vochtigheid	27
3.7 Metingen aan houtsnippers en (spui)water	28
<b>4 Conclusies</b>	<b>30</b>
<b>5 Aanbevelingen</b>	<b>31</b>
<b>6 Literatuur</b>	<b>32</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>34</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>35</b>

---

---

# Woord vooraf

In dit onderzoek is de effectiviteit van de emissiereductie van een biofilter vastgesteld op een vleesvarkensbedrijf 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 in het bijzonder uit naar de betrokken varkenshouder en zijn medewerkers voor deelname aan het onderzoek en het beschikbaar stellen van de meetlocatie. De inzet van alle betrokkenen wordt zeer gewaardeerd.

*De auteurs*



---

# Samenvatting

Vanuit mechanisch geventileerde stallen wordt een hoeveelheid ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), geur, fijn stof (PM10 en PM2.5), en broeikasgassen (voornamelijk methaan,  $\text{CH}_4$ , en lachgas,  $\text{N}_2\text{O}$ ), 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 varkensstal te onderzoeken.

De onderzochte biofilter heeft een oppervlak van  $440 \text{ m}^2$  en behandelt de ventilatielucht afkomstig van 3 stallen met in totaal 4.315 vleesvarkenplaatsen en 1.600 opfokbiggenplaatsen (maximaal luchtdebiet: ca.  $290.000 \text{ m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ ). Het biobed bestaat uit een laag houtsnippers van 25 cm dikte en wordt middels sproeiers een aantal malen per dag bevochtigd.

Uit het onderzoek is gebleken dat de gemiddelde verwijdering van ammoniak door het biofilter 38% bedroeg en sterk fluctueerde ( $n=6$ ;  $sd=33$ ;  $p<0,05$ ). De verwijdering van geur door het biofilter bedroeg gemiddeld 43% ( $n=6$ ;  $sd=24$ ;  $p<0,005$ ) en fluctueerde eveneens sterk. De fluctuaties van het rendement wordt mogelijk deels veroorzaakt door onvoldoende homogene bevochtiging van het biobed ('droge plekken'). De gevonden rendementen voor ammoniak en geur zijn vergelijkbaar met de resultaten van eerder onderzoek naar biofilters bij stallen (Melse en Hol, 2012; Melse et al., 2014). Opvallend is dat in het biofilter geen productie van lachgas werd gevonden, terwijl in bovengenoemd eerder onderzoek wel een significante  $\text{N}_2\text{O}$ -productie werd gevonden. Het is niet duidelijk wat hiervoor de reden is.

Voor PM10 geldt dat het verwijderingsrendement gemiddeld  $> 93\%$  was ( $n=6$ ). Voor PM2.5 geldt dat zowel de ingaande als de uitgaande concentratie van het biofilter in veel gevallen lager was dan de detectielimiet zodat geen uitspraak kan worden gedaan over verwijderingsrendementen.

De gemiddelde luchtbelasting van het biobed bedroeg  $276 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$  biofilteroppervlak per uur. Dit resulteerde in een drukval van gemiddeld 41 tot 146 Pa.

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. Daarnaast wordt aanbevolen om na te gaan of de stallucht kan worden voorbevochtigd.

Tenslotte wordt aanbevolen om al het percolaatwater van het biofilter op te vangen in een tank en niet (deels) te lozen in bodem of oppervlakte water, aangezien dit water aanzienlijke hoeveelheden stikstof bevat.





---

# Summary

Mechanically ventilated animal houses are a source of emissions of ammonia (NH<sub>3</sub>), odour, fine dust (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), and greenhouse gases (mainly methane, CH<sub>4</sub>, and nitrous oxide, N<sub>2</sub>O). 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 440 m<sup>2</sup> 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 290,000 m<sup>3</sup>.hour<sup>-1</sup>.

The results show that the ammonia removal efficiency of the biofilter was on average 38% and fluctuated strongly (n=6; sd=33; p<0.05). The odour removal efficiency of the biofilter was on average 43% (n=6; sd=24; p<0.005) and fluctuated strongly as well. These average ammonia and odour removal efficiencies are comparable to the results of previous research on biofilters at animal houses (Melse and Hol, 2012; Melse et al., 2012).

It is notable that no production of N<sub>2</sub>O was found in this study, as in the before mentioned previous studies a significant production of N<sub>2</sub>O was found. It is unclear why no production of N<sub>2</sub>O was found. For PM<sub>10</sub>, the removal efficiency was on average > 93% (n=6). For PM<sub>2.5</sub>, both inlet and outlet concentrations were lower than the detection limit in most cases so no removal efficiency could be calculated.

The average air loading rate of the biofilter was 276 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup> biofilter surface area per hour. This resulted in a pressure drop over the biobed of on average 41 - 146 Pa.

During the research 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.

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. Furthermore, the possibility of prehumidification of the air, i.e. the air is humidified prior to entering the biobed, should be explored. Finally it is recommended to collect all percolate water and store it in a tank instead of (partly) discharging the water instead to soil or surface water, as this water contains a considerable amount of nitrogen.



---

# 1 Inleiding

Vanuit diverse landbouwactiviteiten wordt een hoeveelheid ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), geur, fijn stof, en broeikasgassen (voornamelijk methaan,  $\text{CH}_4$ , en lachgas,  $\text{N}_2\text{O}$ ), 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 geur reducerende 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 verzuurd 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

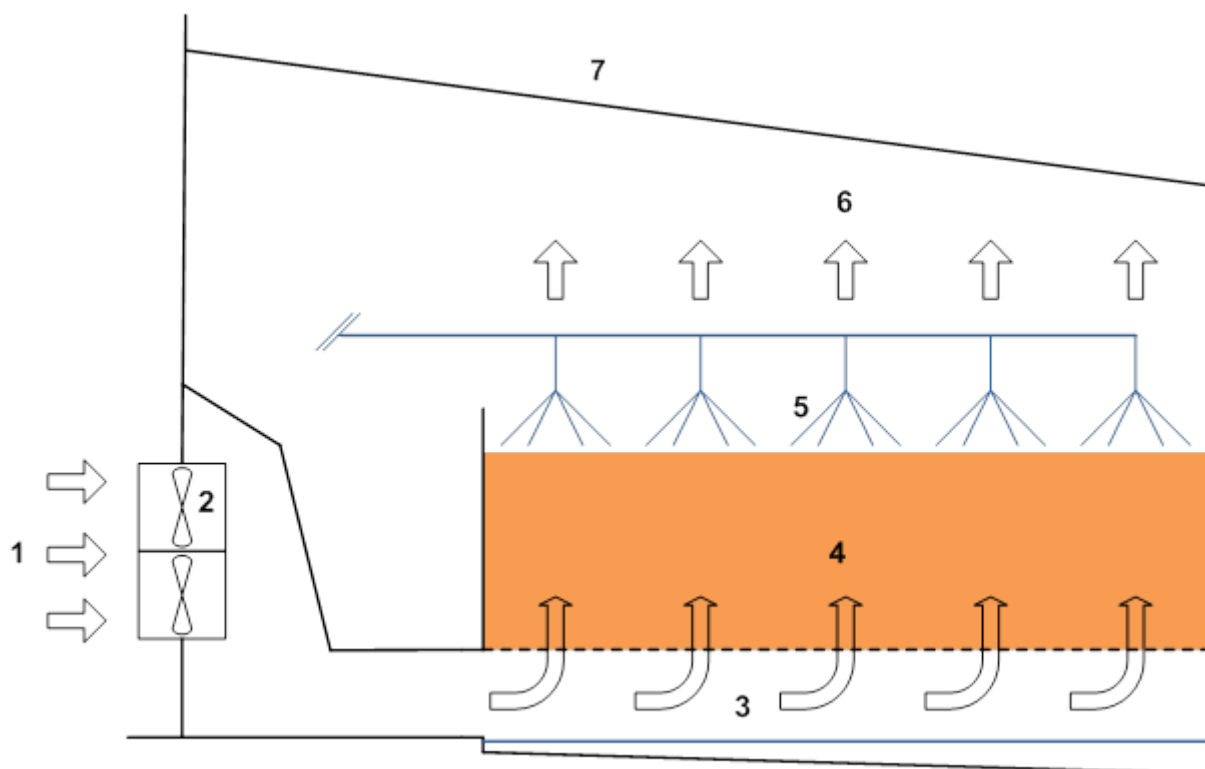
---

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 zowel varkensbedrijven als pluimveebedrijven. Binnen dit onderzoeksprogramma werd op elke locatie gedurende een periode van ca. 1 jaar vastgesteld welke emissiereductie gerealiseerd werd met betrekking tot ammoniak, geur en fijn stof (PM10 en PM2.5); verder werd de consumptie dan wel productie van broeikasgassen gemeten (lachgas en methaan). Het onderzoek op een van de pluimveelocaties (Melse en Hol, 2012) en een van de varkenslocaties is al afgerond en gepubliceerd (Melse et al., 2014). In onderliggend rapport wordt het onderzoek beschreven dat is uitgevoerd op de tweede varkenslocatie.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Algemene beschrijving van het biofilter<sup>1</sup>

De emissie van ammoniak, geur en fijn stof uit de stal wordt beperkt door de ventilatielucht van de stal te behandelen in een biofilter. Het biofilter is een bak gevuld met een organisch pakkingsmateriaal, in dit onderzoek een hoeveelheid houtsnippers, waar van onder naar boven de ventilatielucht van de stal 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 stabielere 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 houtsnippers (loofhout) van overwegend 2-3 cm breed met een lengte tot ca. 15 cm; de dikte van deze laag bedraagt ca. 25 cm). De houtsnippers zijn aangebracht op een laag van haaks op elkaar gestapelde houten planken (dikte van deze laag: ca. 35

<sup>1</sup> Bron: Melse et al., 2014.

cm) (zie Figuur 2.2). Tussen de houtsnippers en het gestapelde hout bevindt zich gaasdoek. Onder het hout bevindt zich een drukkamer met een hoogte van ca. 100 cm.



**Figuur 2.2.** Foto's van het in aanbouw zijnde biofilter. Op de bestrating staan de poten van een metalen constructie. Hierop worden de planken gestapeld. Onder de planken bevindt zich de drukkamer; bovenop de planken wordt later het biobedmateriaal (houtsnippers) aangebracht (foto's beschikbaar gesteld door Gemeente Horst aan de Maas).

---

Aan de zijwanden van het biofilter bevinden zich flexibele kunststof slabben om luchtlekkage te voorkomen.

Het gevormde percolaatwater (dat is het water dat door het bed heen sijpelt en op de vloer van de drukkamer terecht komt) loopt deels over de bodem van de drukkamer naar een pompput van waar het vervolgens wordt weggepompt naar een opslagtank. Een ander deel van het percolaatwater hoopt zich op de vloer van de ruimte waarin de ventilatoren van stal 3 zich bevinden<sup>1</sup>; het water uit deze ruimte wordt regelmatig weggepompt naar een nabijgelegen sloot. Tenslotte infiltreert een deel van het percolaat mogelijk in de bodem, aangezien de vloer van de drukkamer lijkt te bestaan uit niet-vloeistofdichte bestrating.

Wanneer een biofilter in gebruik wordt genomen duurt het enige tijd voordat het stabiel 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 'opstartperiode' van het biofilter genoemd.

## 2.2 Beschrijving van stallocatie en biofilter

Het vleesvarkensbedrijf bevindt zich in Lottum (gemeente Horst aan de Maas). Op dit bedrijf is sprake van drie stallen met in totaal 4315 vleesvarkensplaatsen (hokoppervlak: 0,80 m<sup>2</sup> per plaats) en 1600 opfokbiggenplaatsen (hokoppervlak: 0,40 m<sup>2</sup> per plaats). De stallen zijn naast elkaar gelegen en aan de kopse kant van de stallen is een biofilter geconstrueerd waar de ventilatielucht van de drie stallen doorheen wordt geleid. Het doel van de leverancier is om voor zowel ammoniak als geur een verwijderingsrendement van minimaal 70% te realiseren. In Figuur 2.3 wordt een schematisch bovenaanzicht gegeven van de stallen en het biofilter.

De lucht van elke stal wordt per stal via een centraal luchtkanaal afgezogen door horizontaal geplaatste ventilatoren, achter in de stal. Deze centrale ventilatiekanalen komen vervolgens samen uit in de drukkamer van het achter tegen de stallen aangebouwde biofilter. De drukkamer is één grote, open ruimte die zich onder het gehele biobed bevindt. In Figuur 2.4 wordt ingezoomd op het biobed en wordt aangegeven waar de ventilatiekanalen van de stallen en de ventilatoren waarmee de lucht in de drukkamer wordt gebracht, zich bevinden. Bij stal 1 bevindt het ventilatiekanaal zich in de nok van de stal; bij stal 2 en 3 bevinden de ventilatiekanalen zich als een gang langs de stal. Het oppervlak van het biobed bedraagt 440 m<sup>2</sup>; in Bijlage 1 wordt de maatvoering van het biobed in meer detail weergegeven.

De maximale ventilatiebehoefte van alle stallen is volgens opgaaf van de veehouder en leverancier als volgt:

- 4315 vleesvarkensplaatsen x maximaal 60 m<sup>3</sup>.dier<sup>-1</sup>.uur<sup>-1</sup> = 258.900 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>
- 1600 opfokbiggenplaatsen x maximaal 20 m<sup>3</sup>.dier<sup>-1</sup>.uur<sup>-1</sup> = 32.000 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>
- Totaal: 258.900 + 32.000 = 290.900 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>.

Per stal zijn de volgende ventilatoren aanwezig:

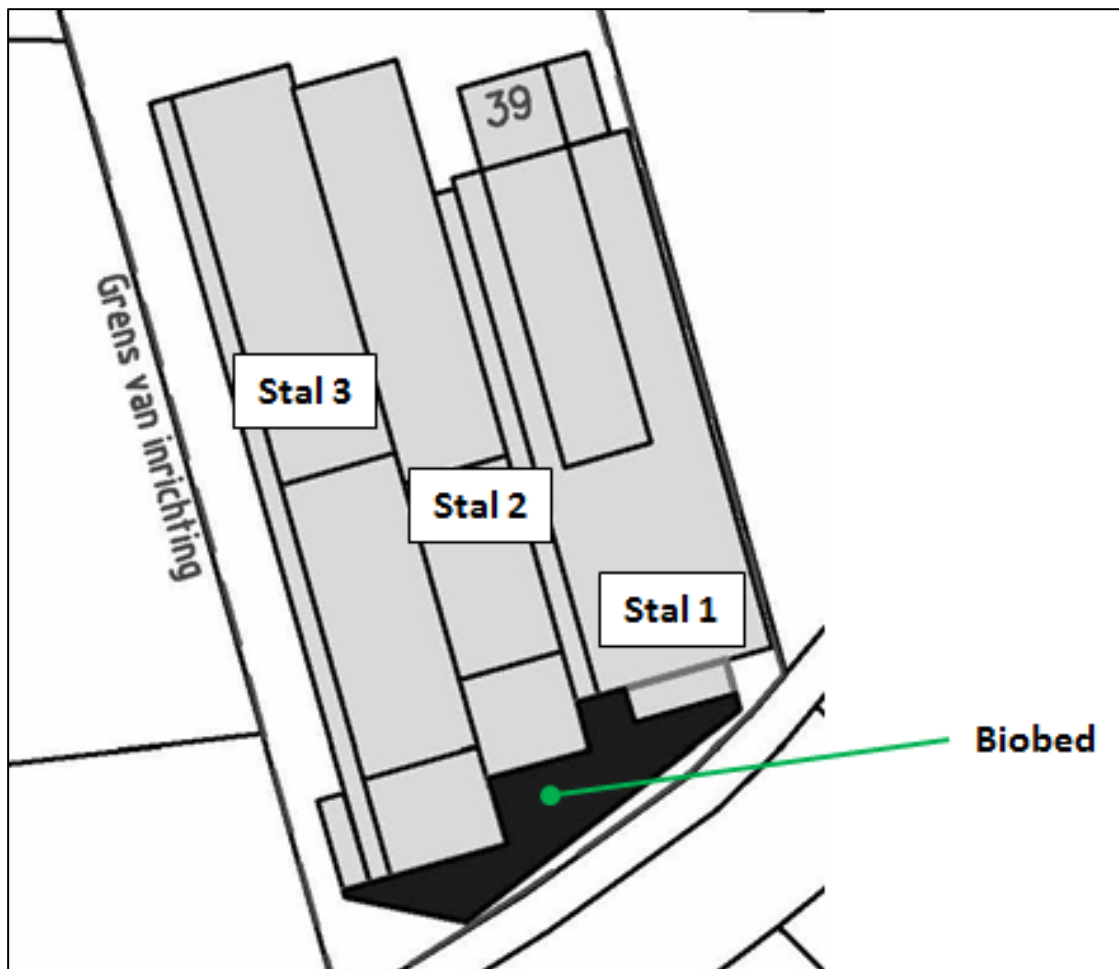
- Stal 1: 7 stuks Fancom 3480P (parallel geschakeld dus draaien altijd met hetzelfde toerental);
- Stal 2: 6 stuks Fancom 3480P (parallel geschakeld dus draaien altijd met hetzelfde toerental);
- Stal 3: 8 stuks Fancom 3480P (parallel geschakeld dus draaien altijd met hetzelfde toerental);
- Totaal: 21 ventilatoren.

De toegepaste ventilatoren (Fancom, Panningen, type 3480P, maximale capaciteit: 22.000 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>) worden toegepast in situaties met hogere drukval. Voor de ventilatoren geldt volgens de specificaties een maximale tegendruk van 270 Pa, het debiet bedraagt dan nog 17.000 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>. Gezien de ventilatiebehoefte en het aantal ventilatoren, bedraagt de vereiste ventilatiecapaciteit 290.900 / 21 = 14.000 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup> per ventilator.

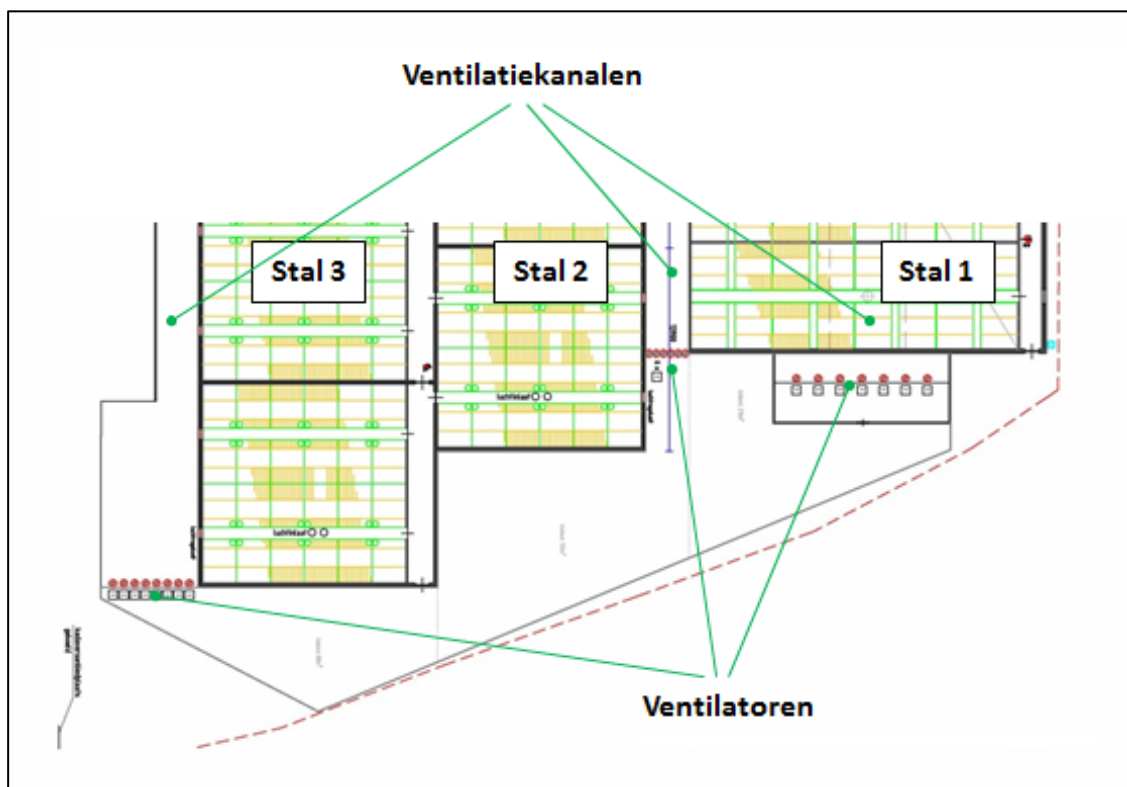
---

<sup>1</sup> Aanvankelijk was onduidelijk of het water in deze ruimte percolaat of regenwater was. Uit analyses van dit water blijkt dat het 0,5 - 1,5 g N per liter bevat; op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het percolaatwater betreft.





**Figuur 2.3.** Schematisch bovenaanzicht van de stallen en het biobed.



**Figuur 2.4.** Locatie van ventilatoren en ventilatiekanalen.



**Figuur 2.5.** Buitenaanzicht van het biofilter.



**Figuur 2.6.** Bovenaanzicht van het biobed. Tussen de houtsnippers bevinden zich sproeiërs voor reguliere bevochtiging van het bed.

---

In Figuur 2.5 en Figuur 2.6 worden twee foto's weergegeven van het in gebruik zijnde biofilter. Achter de betonnen muur (Figuur 2.5) bevindt zich de drukkamer met daarboven het biobedmateriaal. De gereinigde lucht verlaat het biofilter en stroomt naar buiten via de opening tussen het dak en de betonnen muur (Figuur 2.5). Op de foto is waterdamp te zien als gevolg van afkoeling van de bevochtigde lucht. In Figuur 2.6 is het biobedmateriaal van bovenaf te zien; de sproeiers zijn in het biobed geprikt en besproeien het bed van bovenaf.

Het pakkingsmateriaal (totaal oppervlak: 440 m<sup>2</sup>) wordt van bovenaf bevochtigd met paraplu-sproeiers (Netafim, Supernet LRD); voor een deel betreft type 040 (met een capaciteit van 40 liter.uur<sup>-1</sup>) en voor een deel betreft het type 020 (met een capaciteit van 20 liter.uur<sup>-1</sup>). Het aantal sproeiers bedraagt ca. 1 sproeier per m<sup>2</sup> biobedoppervlakte. De sproeiers zijn verdeeld in 3 secties die na elkaar worden ingeschakeld. Met behulp van een tijd klok wordt elk uur de bevochtiging ingeschakeld en worden de secties na elkaar besproeid gedurende enige minuten. De tijd dat een sectie wordt besproeid ('sproeitijd') varieerde tijdens de onderzoeksperiode tussen 4 en 6 minuten. Ongeveer elke twee weken werd het bed visueel geïnspecteerd en werd, indien nodig geacht, de sproeitijd langer of korter gemaakt.

## 2.3 Meetprogramma en tijdspad

Het biofilter is in gebruik genomen in juli 2012. Na een opstartperiode werd door de leverancier in september 2012 aangegeven dat het biofilter meetklaar was en het meetprogramma kon starten. Tijdens een inspectiebezoek in oktober 2012 bleek echter dat de druk over de ventilatoren met gemiddeld 310 Pa hoger was dan de maximale toelaatbare druk; hierdoor bestond het gevaar dat tijdens warme dagen niet voldoende geventileerd kon worden. Verder bleek dat delen van het biobed niet goed werden bevochtigd ('droge plekken'); hierdoor bestaat het risico op kortsluitstromingen en als gevolg hiervan een slecht rendement. Daarom werd een aantal aanpassingen aan het ventilatiesysteem en aan het bevochtigingssysteem gedaan.

Tijdens een tweede inspectiebezoek (februari 2013) werd geconcludeerd dat de bevochtiging nu goed functioneerde, maar dat de druk over de ventilatoren nog steeds te hoog was om voldoende ventilatie te kunnen garanderen tijdens warm weer. Daarom werd besloten om de houtsnippers, waartussen zich ook kleinere stukjes hout en schors bevonden, te vervangen door gezeefde houtsnippers waar de fijne fractie uit is verwijderd.

In juli 2013 is het biofilter met het nieuwe biobedmateriaal in gebruik genomen (dit zijn de houtsnippers die in paragraaf 2.1. worden beschreven). Het nieuwe biobedmateriaal is gelijk aan het materiaal dat uiteindelijk werd gebruikt in het biofilter dat eerder binnen dit onderzoeksprogramma werd onderzocht (Melse et al., 2014, meetperiode 2). Aangezien de drukval na deze aanpassing beduidend lager was, is besloten om met het meetprogramma te starten.

Het meetprogramma had de duur van ca. 1 jaar en heeft gelopen van december 2013 tot en met november 2014. In deze periode zijn 6 metingen van elk 24 uur uitgevoerd.

## 2.4 Meetstrategie en meetpunten

### 2.4.1 Zeilen om uitstroomopening biofilter (deels) af te sluiten

Om representatieve metingen te kunnen uitvoeren aan de lucht die het biofilter verlaat, is het van belang om te voorkomen de te bemonsteren lucht verdund wordt door intredende buitenlucht. Daarom werden langs de gehele uitstroomopening van het biofilter (dus de opening tussen dak en betonnen muur) zeilen gemonteerd die naar beneden gelaten konden worden. Tijdens de eerste meting werd ongeveer 3/4 van de uitstroomopening van het biofilter op deze wijze dichtgemaakt. Enerzijds wordt zo voorkomen dat de meting door intredende buitenlucht (wind) wordt verstoord; afhankelijk van de windrichting wordt een aantal zeilen gesloten, zodat de wind niet over het bed kan blazen tijdens de meting. Anderzijds wordt op deze manier de lucht die afkomstig is van het gehele biofilteroppervlak in enige mate opgemengd, zodat een meting aan deze lucht een beeld geeft van het functioneren van het gehele biobed en niet alleen van de werking op de plaats waar de lucht wordt bemonsterd (de

ruimte achter de zeilen functioneert zo als een drukkamer). Op de foto in Figuur 2.7 is te zien dat de zeilen zijn neergelaten (vergelijk met Figuur 2.5 waar de zeilen nog niet aanwezig zijn).

Na het uitvoeren van de eerste meting werd besloten om bij vervolgmetingen geen 3/4 maar de gehele uitstroomopening af te sluiten, zodat de meting in nog mindere mate verstoord kan worden door intredende buitenlucht. Aangezien er nog voldoende spleten en kieren aanwezig zijn, wordt drukopbouw achter het zeildoek voorkomen, zelfs wanneer alle zeilen zijn neergelaten. Het sluiten van de zeilen heeft dan ook geen significant effect op de hoeveelheid lucht die door het biobed stroomt.



**Figuur 2.7.** Door de zeilen neer te laten kan de opening tussen dak en biobed afgesloten worden.

## 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.

De ingaande lucht van het biofilter (oftewel de lucht afkomstig uit de stallen) werd op drie plekken bemonsterd, apart voor stal 1, voor stal 2 en voor stal 3; de monsters werden genomen in de ventilatiekanalen van de stallen juist voor de ventilatoren (zie Figuur 2.4). De uitgaande lucht werd op twee plekken boven het biobedoppervlak bemonsterd. De ene monsterplek bevond zich tussen stal 1 en 2; aangenomen wordt dat dit monster een mengsel is van lucht die hoofdzakelijk afkomstig is van deze twee stallen (dit monsterpunt wordt aangeduid als 'Stal 1/2'). De andere monsterplek bevond zich dicht bij stal 3; aangenomen wordt dat deze lucht hoofdzakelijk afkomstig is van stal 3 (dit monsterpunt wordt aangeduid als 'Stal 3'). Op deze twee monsterplekken werd ook de drukval over het biobed gemeten. Op de foto in Figuur 2.8 is de monsternameapparatuur te zien voor de metingen van de uitgaande lucht van het biofilter, geplaatst in de ruimte tussen het biobedoppervlak en het dak.

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 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> De meting wordt uitgevoerd tussen 10:00 en 12:00.

De gebruikte meetmethoden voor fijn stof, ammoniak, methaan, lachgas, kooldioxide en geur zijn conform 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 op elk meetpunt in duplo uitgevoerd en de overige metingen (geur, fijn stof en broeikasgassen) in enkelvoud.

Het verwijderingsrendement (%) voor deze componenten wordt berekend uit de concentratie van de betreffende component in de behandelde lucht ( $C_{\text{uitgaand}}$ ) en de concentratie van de betreffende component in de ingaande lucht van het biofilter ( $C_{\text{ingaand}}$ ). Hierbij wordt  $C_{\text{ingaand}}$  berekend als het gemiddelde van de metingen op 3 plaatsen en  $C_{\text{uitgaand}}$  als het gemiddelde van de metingen op 2 plaatsen. Voor het berekenen van het rendement wordt de volgende formule gebruikt:

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

Middels de Student-t-toets werd nagegaan of het gevonden gemiddelde rendement significant afweek van 0.

Daarnaast werd met behulp van meetventilatoren het luchtdebiet door het biofilter continu gemeten tijdens de meting met behulp van drie meetventilatoren, één voor elke stal (zie Figuur 2.4); de meetgegevens werden in een datalogger opgeslagen.

De temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande en uitgaande luchtstroom van het biofilter werden gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren.



**Figuur 2.8.** *Op deze foto zijn de monsternamekoppen (op statieven) te zien voor de fijn stofmetingen en de monsterleidingen voor de overige luchtmetingen. Aan de rechterzijde zijn (vaag) de zeilen te zien die de opening tussen dak en biobed afsluiten.*

#### *Biobedmateriaal, watertoevoer en percolaat*

Tijdens de uitvoering van bovengenoemde rendementsmetingen werden tevens monsters genomen van het percolaat en het pakkingsmateriaal (houtsnippen) 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), uit de pompput en uit de eerder genoemde ruimte bij de ventilatoren van stal 3. 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. De pH en EC van het pakkingsmateriaal worden gemeten nadat het monster is verdund met demi-water in een massaverhouding 1 : 4, even geroerd is, een half uur heeft gestaan en nogmaals even is geroerd; de pH en EC van het percolaat worden rechtstreeks in het monster gemeten zonder dat dit verdund wordt. Daarnaast werd de hoeveelheid water gemeten die over het bed werd verspreid met behulp van een watermeter die in de toevoerleiding was gemonteerd.

## 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 het totale luchtdebiet door het biofilter was. Daarnaast wordt de gemeten drukval over het biobed gegeven; in sommige gevallen was sprake van technische storingen waardoor niet alle drukwaarden konden worden geregistreerd (in de tabel aangegeven met voetnoot). Terwijl in Tabel 2 de gemiddelde waarden voor het gehele bed worden gepresenteerd, worden in Bijlage 2 de metingen apart weergegeven voor de verschillende meetpunten en stallen.

Tabel 2

*Metingen van totaal luchtdebiet en drukval van een biofilter bij een vleesvarkensstal; n.b. = niet bekend <sup>(1)</sup>.*

Meting	Datum	Luchtdebiet, 24-uurs gem. (m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	Luchtdebiet, 2-uurs gem. (m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	Drukval over biofilter, 24-uurs gem. (maximum). (Pa)
1	17-dec-2013	83.315	102.497	41 (75)
2	10-feb-2014	81.289	100.708	( <sup>4</sup> )
3	14-apr-2014	86.331	96.247	65 (76) <sup>(5)</sup>
4	08-juli-2014	154.720	174.816	97 (125)
5	08-sep-2014	168.009	191.339	146 (184) <sup>(5)</sup>
6	03-nov-2014	154.925	175.167	108 (200) <sup>(5)</sup>
<i>Gemiddeld:</i>		<i>121.432</i>	<i>140.129</i>	

<sup>(1)</sup> In Tabel 2 wordt het totale luchtdebiet en het de gemiddelde drukval weergegeven; in Bijlage 2 worden de debietsmetingen en drukvalmetingen apart weergegeven voor stal 1, stal 2 en stal 3.

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

<sup>(3)</sup> Het 2-uurs gemiddelde debiet betreft de luchtstroom tijdens de geurmonsternamen.

<sup>(4)</sup> Geen data beschikbaar.

<sup>(5)</sup> Niet alle data waren beschikbaar, zie Bijlage 2 voor nadere details.

Uit Tabel 2 volgt dat het gemiddelde luchtdebiet door het biobed 121.432 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup> bedroeg; dit is 48% van de het eerder berekende maximum ventilatiebehoefte van 290.900 m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup> (zie paragraaf 2.2). De gemiddelde luchtbelasting bedroeg 276 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup> biofilteroppervlak per uur. Dit resulteerde in een gemiddelde drukval variërend tussen 41 en 146 Pa. De maximaal gemeten drukval bedroeg 200 Pa; de capaciteit vande ventilatoren is dusdanig (zie paragraaf 2.2) dat verwacht mag worden dat ook bij deze drukval voldoende kan worden geventileerd. De gemiddelde luchtverblijftijd (op basis van lege ruimte) in het biofilterbed bedroeg, uitgaande van een biobeddikte van 25 cm houtsnippers, ca. 3,3 sec.

### 3.2 Rendementsmetingen ammoniak

In Tabel 3 worden de resultaten van de ammoniakmetingen weergegeven. In de eerste kolommen worden de gemeten ingaande ammoniakconcentraties gegeven voor de verschillende stallen en in de kolommen daarnaast de uitgaande concentraties na het biobed. Vervolgens is met behulp van de gemeten ventilatie-debiets (zie Bijlage 2) de totale hoeveelheid ammoniak voor en na het biofilter berekend. Tenslotte is op basis daarvan het verwijderingsrendement berekend ('Gewogen rendement').

Tabel 3

Metingen van de ammoniakverwijdering door een biofilter bij een vleesvarkenstal.

Datum	Ammoniak-in (ppm)			Ammoniak-uit (ppm)		Gewogen rendement (%) <sup>(3)</sup>
	Stal 1	Stal 2	Stal 3	Stal 1/2 <sup>(1)</sup>	Stal 3 <sup>(2)</sup>	
17-dec-2013	24	18	22	15	3,0	42
10-feb-2014	14	18	20	4,5	6,6	70
14-apr-2014	19	13	19	18	8,0	4
08-juli-2014	8,5	7,2	8,9	9,8	5,5	-8
08-sep-2014	16	10	10	13	4,8	54
03-nov-2014	14	13	15	3,2	6,5	69
<i>Gemiddelde:</i>						38 <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Het meetpunt bevond zich tussen stal 1 en 2 en aangenomen wordt dat dit monster een mengsel is van de lucht afkomstig van stal 1 en stal 2

<sup>(2)</sup> Het meetpunt bevond zich dicht bij stal 3 en aangenomen wordt dat deze lucht afkomstig is van stal 3.

<sup>(3)</sup> Berekend op basis van vergelijking van de totale in- en uitgaande ammoniakvracht, dus het product van de verschillende luchtdebieten (zie Bijlage 2) en ammoniakconcentraties.

<sup>(4)</sup> Rendement wijkt significant af van 0 ( $p < 0,05$ );  $sd = 33$ .

Uit Tabel 3 blijkt dat de gemiddelde ammoniakverwijdering over de meetperiode 38% bedroeg en dat er sprake is van grote fluctuaties ( $sd = 33$ ). Het gevonden gemiddelde rendement is vergelijkbaar met de rendementen die gevonden zijn bij de eerder doorgemeten biofilters binnen dit onderzoeksprogramma (Melse en Hol, 2012; Melse et al., 2014) maar lager dan de rendementen die in de regel bij biologische wassers worden gevonden (Melse en Ogink, 2005). Verder valt op dat de rendementen van de derde en vierde meting relatief laag zijn en dat de pH van het biobedmateriaal eveneens relatief laag is (Tabel 9a en 9b).

Voor de derde meting (14-apr-2014) geldt dat het relatief lage rendement grotendeels wordt veroorzaakt door de gemeten hoge ammoniakconcentratie bij het meetpunt 'Stal 1/2'. Dit wijst er op dat in dit deel van het filter waarschijnlijk sprake was van kortsluitstromingen, zoals die optreden wanneer er sprake is van lokale uitdroging van het biobed. Ook al was de gemiddelde relatieve vochtigheid van de uitgaande lucht  $> 95\%$  (zie Tabel 8), toch bleek tijdens de bezoeken dat soms relatief droge en relatief natte plekken op het biobed aanwezig waren. Als gevolg van kortsluitstromingen kan het verwijderingsrendement sterk afnemen. Omdat de droge plekken een relatief lage luchtweerstand hebben, zal door deze plekken per  $m^2$  bedoppervlak veel meer lucht ontwijken dan door een  $m^2$  vochtig biobedoppervlak. Hierdoor kan een relatief klein droog oppervlak het gemiddelde rendement van het totale biobedoppervlak sterk doen afnemen. Uit Tabel 9a en 9b blijkt in elk geval dat het biobedmateriaal relatief droog was tijdens de eerste 3 metingen. Verwacht mag worden dat een beter werkend bevochtigingssysteem een positieve werking zal hebben op het rendement.

Voor de vierde meting geldt dat sprake was van relatief lage ingaande ammoniakconcentraties. Zoals besproken in Melse et al. (2014) kunnen onder dergelijke condities relatief lage rendementen worden verwacht. De reden hiervoor is dat de ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht voor een groot deel wordt bepaald door het evenwicht met de ammoniumconcentratie in de waterfase, en in veel mindere mate door de ingaande ammoniakconcentratie. Een andere mogelijke verklaring is ook hier dat er sprake was van kortsluitstromingen ('leklucht'), zoals die optreden wanneer er sprake is van lokale uitdroging van het biobed, ook al was het vochtiger dan de eerdere metingen (Tabel 9a en 9b). Er is geen verband gevonden tussen het rendement en de belasting van het filter ( $kg\ NH_3 \cdot m^{-2} \cdot uur^{-1}$ ) of tussen het rendement en het ammoniumgehalte van het biobedmateriaal (Tabel 9a en 9b).

Uit de metingen kan berekend worden dat de hoeveelheid ammoniak in de stallucht, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld over de gehele meetperiode 1,2  $kg\ NH_3$  per uur bedraagt. Ter vergelijking: op basis van het aantal dierplaatsen en de emissiefactoren uit de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) (IenM, 2013a), kan eveneens een inschatting gemaakt worden van de hoeveelheid



ammoniak in de stallucht. In de Rav wordt voor "overige huisvestingssystemen" een emissiefactor aangehouden van 2,5 kg NH<sub>3</sub> per vleesvarkensplaats per jaar bij een hokoppervlak van maximaal 0,8 m<sup>2</sup> (D 3.100.1) en 0,75 kg NH<sub>3</sub> per biggenplaats per jaar bij een hokoppervlak groter dan 0,35 m<sup>2</sup> (D 1.1.100.2). Op basis van deze Rav waarden kan dan worden berekend dat de emissie van de stal gemiddeld 1,4 kg NH<sub>3</sub> per uur zou bedragen, een waarde die vergelijkbaar is met de gemeten 1,2 kg NH<sub>3</sub> per uur.

### 3.3 Rendementsmetingen geur

In Tabel 4 worden de resultaten van de geurmetingen weergegeven. Op een vergelijkbare wijze als voor ammoniak, wordt ook voor de geurverwijdering het gewogen rendement berekend.

Tabel 4

*Metingen van de geurverwijdering door een biofilter bij een vleesvarkensstal.*

Datum	Geur-in (OU <sub>E</sub> .m <sup>-3</sup> )			Geur-uit (OU <sub>E</sub> .m <sup>-3</sup> )		Gewogen rendement (%) <sup>(3)</sup>
	Stal 1	Stal 2	Stal 3	Stal 1/2 <sup>(1)</sup>	Stal 3 <sup>(2)</sup>	
17-dec-2013	6285	3556	3158	1873	2132	57
10-feb-2014	4406	7782	5805	1528	2232	71
14-apr-2014	5468	29698	20466	11022	6754	43
08-juli-2014	9473	4687	7956	7911	4284	-1
08-sep-2014	3947	3340	4696	1903	3937	35
03-nov-2014	5984	4212	2473	2653	1235	49
<i>Gemiddelde:</i>						43 <sup>4</sup>

<sup>(1)</sup> Het meetpunt bevond zich tussen stal 1 en 2 en aangenomen wordt dat dit monster een mengsel is van de lucht afkomstig van stal 1 en stal 2

<sup>(2)</sup> Het meetpunt bevond zich dicht bij stal 3 en aangenomen wordt dat deze lucht afkomstig is van stal 3.

<sup>(3)</sup> Berekend op basis van vergelijking van de totale in- en uitgaande geurvracht, dus het product van de verschillende luchtdebieten (zie Bijlage 2) en geurconcentraties.

<sup>(4)</sup> Rendement wijkt significant af van 0 (p<0,005); sd=24.

Uit Tabel 4 blijkt dat de gemiddelde geurverwijdering over de meetperiode 43% bedroeg; net als bij de ammoniakverwijdering (Tabel 3) is ook hier sprake van grote fluctuaties (sd=24). Het gevonden gemiddelde rendement is vergelijkbaar met de rendementen die gevonden zijn bij de eerder doorgemeten biofilters binnen dit onderzoeksprogramma (Melse en Hol, 2012; Melse et al., 2014). Het gevonden rendement is eveneens vergelijkbaar met het geurrendement van biologische wassers (Melse en Ogink, 2005).

Verder valt op dat het geurrendement van de vierde meting, net als het ammoniakrendement (zie Tabel 3), relatief laag is. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de relatief lage pH van het biobed tijdens deze meting (zie Tabel 9a en 9b). In het algemeen wordt aangenomen dat de bacteriën die verantwoordelijk zijn voor de geurverwijdering slecht functioneren bij een pH lager dan ca. 6. Daarnaast zou de lagere geurverwijdering het gevolg kunnen zijn van het optreden van kortsluitstromingen. 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. Een hoger dosering van water zal eveneens tot gevolg hebben dat (zure) afbraakproducten worden afgevoerd uit het biobed waardoor het pH weer zal kunnen stijgen. Verder zal een toename van de luchtverblijftijd in een biofilter, bijv. door de laag van houtsnippers dikker te maken, in de regel resulteren in een hoger geurverwijderingsrendement.

Er is geen verband gevonden tussen het rendement en de belasting van het filter (OU<sub>E</sub>.m<sup>-2</sup> biobed.s<sup>-1</sup>)

Uit de metingen kan berekend worden dat de geuremissie uit de stal zelf, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld over de gehele meetperiode 223.000 OU<sub>E</sub>.s<sup>-1</sup> bedraagt. Ter vergelijking: op

basis van het aantal dierplaatsen en de emissiefactoren uit de Regeling geur en veehouderij (Rgv) (IenM, 2013a), kan eveneens een inschatting gemaakt worden van de geuremissie. In de Rgv wordt voor "overige huisvestingssystemen" voor vleesvarkens een emissiefactor aangehouden van 23,0  $\text{OU}_E \cdot \text{s}^{-1}$  per dier (D 3.100) en voor opfokbiggen een emissiefactor van 7,8  $\text{OU}_E \cdot \text{s}^{-1}$  per dier (D 1.1.100). Op basis van deze waarden kan dan worden berekend dat de emissie van de stal gemiddeld 112.000  $\text{OU}_E \cdot \text{s}^{-1}$  zou bedragen, die tweemaal zo laag is als de gemeten geuremissie.

### 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 (d.w.z.  $< 0,010 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ); wordt het rendement gepresenteerd als "hoger dan" (>).

Tabel 5

*Metingen van de PM10-verwijdering door een biofilter bij een vleesvarkensstal.*

Datum	PM10-in ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )			PM10-uit ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		Gewogen rendement (%) <sup>(1)</sup>
	Stal 1	Stal 2	Stal 3	Stal 1/2	Stal 3	
17-dec-2013	0,346	1,133	0,398	0,045	0,013	94
10-feb-2014	0,160	0,319	0,398	0,014	0,011	95
14-apr-2014	0,277	0,272	0,295	0,021	0,022	92
08-juli-2014	0,079	0,066	0,106	< 0,010	< 0,010	>88
08-sep-2014	0,149	0,103	0,182	< 0,010	0,012	> 93
03-nov-2014	0,122	0,091	0,220	< 0,010	< 0,010	> 93
<i>Gemiddelde:</i>						> 93

<sup>(1)</sup> Het meetpunt bevond zich tussen stal 1 en 2 en aangenomen wordt dat dit monster een mengsel is van de lucht afkomstig van stal 1 en stal 2

<sup>(2)</sup> Het meetpunt bevond zich dicht bij stal 3 en aangenomen wordt dat deze lucht afkomstig is van stal 3.

<sup>(3)</sup> Berekend op basis van vergelijking van de totale in- en uitgaande PM10-vracht, dus het product van de verschillende luchtdebieten (zie Bijlage 2) en PM10-concentraties.

Uit Tabel 5 blijkt dat de PM10 verwijdering hoog is, gemiddeld  $> 93\%$ . Eventuele problemen met niet-homogene bevochtiging (zie de discussie n.a.v. Tabel 3 en 4) lijken een minder sterke invloed op het rendement van de fijn stofverwijdering lijken te hebben; ook het eerder uitgevoerde onderzoek wees hier al op (zie Melse et al., 2014). De reden hiervoor is dat het verwijderen van PM10 grotendeels berust op fysieke filtering van de stofdeeltjes door impactie in het biobedmateriaal (Melse et al., 2012b), terwijl voor de verwijdering van ammoniak en geur ook de biologische afbraak en de vochtigheid van het biobed een grote rol spelen.

Verder kan uit Tabel 5 berekend worden dat de PM10-emissie uit de stal, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld 27 g PM10 per uur bedraagt. Ter vergelijking: op basis van het aantal dierplaatsen en de emissiefactoren in de lijst Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij (IenM, 2014) kan eveneens een inschatting gemaakt worden van de hoeveelheid PM10 in de stallucht. In deze lijst wordt voor "overige huisvestingssystemen" een emissiefactor aangehouden van 153 g PM10 per jaar per vleesvarken (D 3.100) en 74 g PM10 g per jaar per opfokbig (D 1.1.100). Op basis van deze waarden kan dan worden berekend dat de emissie van de stal gemiddeld 89 g PM10 per uur zou bedragen, die driemaal zo hoog is als de gemeten PM10-emissie.

In Tabel 6 worden de resultaten van de PM2.5 metingen weergegeven. Uit Tabel 6 volgt dat de PM2.5 concentraties in veel gevallen lager waren dan de detectielimiet, d.w.z.  $< 0,010 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; daarom kan geen uitspraak worden gedaan over de effectiviteit van de PM2.5-verwijdering van het biofilter. In het rapport met adviezen over vast te stellen emissiefactoren voor o.a. PM2.5 (Mosquera en Hol, 2011) wordt een emissiefactor aangehouden voor 'overige huisvestingssystemen' van 7,2 g PM2.5 per jaar

per vleesvarken (D 3.100) en 1,9 g PM2.5 per jaar per opfokbig (D 1.1.100). 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. 0,03 mg PM2.5.m<sup>-3</sup>. Aangezien lagere concentraties worden gemeten (zie Tabel 6) 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; n.b. = niet bekend.

Datum	PM10-in (mg.m <sup>-3</sup> )			PM10-uit (mg.m <sup>-3</sup> )	
	Stal 1	Stal 2	Stal 3	Stal 1/2 <sup>(1)</sup>	Stal 3 <sup>(2)</sup>
17-dec-2013	n.b.	0,0275	0,0224	< 0,010	< 0,010
10-feb-2014	< 0,010	0,0205	< 0,010	< 0,010	< 0,010
14-apr-2014	0,017	n.b.	< 0,010	< 0,010	< 0,010
08-juli-2014	< 0,010	< 0,010	0,0312	< 0,010	< 0,010
08-sep-2014	< 0,010	< 0,010	0,0113	< 0,010	< 0,010
03-nov-2014	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010

<sup>(1)</sup> Het meetpunt bevond zich tussen stal 1 en 2 en aangenomen wordt dat dit monster een mengsel is van de lucht afkomstig van stal 1 en stal 2

<sup>(2)</sup> Het meetpunt bevond zich dicht bij stal 3 en aangenomen wordt dat deze lucht afkomstig is van stal 3.

### 3.5 Metingen van broeikasgassen

In Tabel 7 zijn de resultaten van de metingen van de broeikasgassen weergegeven. De in de tabel gegeven waarden zijn de gemiddelde concentraties van de ingaande en uitgaande lucht van het biofilter.

Tabel 7

Broeikasgasmetingen bij een biofilter bij een vleesvarkensstal; de waarden in de tabel zijn het gewogen gemiddelde van respectievelijk 3 en 2 meetpunten voor ingaande en uitgaande lucht <sup>(1,2)</sup>.

Datum	CH <sub>4</sub> -in (ppm)	CH <sub>4</sub> -uit (ppm)	N <sub>2</sub> O-in (ppm)	N <sub>2</sub> O-uit (ppm)	CO <sub>2</sub> -in (ppm)	CO <sub>2</sub> -uit (ppm)
17-dec-2013	156	155	1,2	1,4	2.276	2.149
10-feb-2014	127	120	0,9	0,9	2.023	1.835
14-apr-2014	120	107	1,1	1,1	1.812	1.764
08-juli-2014	73	54	1,0	0,9	1.299	1.009
08-sep-2014	68	73	1,1	1,2	1.305	1.396
03-nov-2014	156	143	0,7	1,1	1.672	1.519
Gemiddeld:	117 <sup>(3)</sup> (sd=39)	109 <sup>(3)</sup> (sd=39)	1,0 <sup>(3)</sup> (sd=0,2)	1,1 <sup>(3)</sup> (sd=0,2)	1.731 <sup>(3)</sup> (sd=390)	1.612 <sup>(3)</sup> (sd=395)

<sup>(1)</sup> De gewogen gemiddelde concentratie voor de ingaande en uitgaande lucht van het biofilter zijn berekend op basis van de gemeten concentraties en luchtedebieten van de drie stallen.

De achtergrondconcentratie van lachgas, methaan en kooldioxide in de atmosfeer bedragen resp. 0,3 ppm, 1,8 ppm en 400 ppm.

<sup>(3)</sup> De ingaande en uitgaande concentraties zijn niet significant verschillend (p>0,065).

Uit Tabel 7 volgt dat de gemiddelde concentraties van de ingaande en uitgaande lucht van het biofilter niet statische significant van elkaar verschillen voor zowel CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O als CO<sub>2</sub>.

Voor methaan geldt dat in een zuurstofrijk systeem als een biofilter in het algemeen dan ook niet of nauwelijks productie van methaan verwacht wordt (wat onder anaerobe condities wel 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).

Uit Tabel 7 kan berekend worden dat de methaanemissie uit de stal, dus de ingaande lucht van het biofilter, gemiddeld 9,0 kg CH<sub>4</sub> per uur bedraagt. Ter vergelijking: in het rapport met adviezen over vast te stellen emissiefactoren voor o.a. CH<sub>4</sub> (Mosquera en Hol, 2012) wordt een emissiefactor aangehouden voor 'overige huisvestingssystemen' van 15,7 kg CH<sub>4</sub> per jaar per vleesvarken (D 3.100) en 1,8 kg CH<sub>4</sub> per jaar per opfokbig (D 1.1.100). Op basis van deze waarden kan dan worden berekend dat de emissie van de stal gemiddeld 8,1 kg CH<sub>4</sub> per uur zou bedragen, een waarde die vergelijkbaar is met de gemeten 9,0 kg CH<sub>4</sub> per uur.

Voor CO<sub>2</sub> geldt dat in principe wel enige CO<sub>2</sub> 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 lachgas is geen toename gevonden, wat opvallend is omdat in de meeste biologische luchtbehandelingssystemen waarbij ammonia houdende lucht wordt behandeld wél een significante productie van lachgas wordt gevonden. Zo werd in het eerder uitgevoerde onderzoek aan vergelijkbare biofilters op twee andere locaties (Melse en Hol, 2012; Melse et al., 2014) wel productie van lachgas gevonden; ook bij andere biofilters (Dumont et al., 2014b) en biologische luchtwassers (Hahne en Vorlop, 2004; Melse et al., 2011, 2012a; Melse en Mosquera, 2014) werd productie van lachgas gevonden. Dit lachgas kan worden gevormd 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 N<sub>2</sub>). Het is bekend dat procescondities zoals vochtigheid, zuurstofgehalte, pH en COD/N verhouding de productie van N<sub>2</sub>O beïnvloeden (Kampschreur et al., 2009; Maia et al., 2012; Yang et al., 2014a, 2014b). Toch is niet duidelijk waarom in dit onderzoek geen lachgas wordt gevormd; er zijn geen aanwijzingen voor sterk afwijkende procesparameters die dit fenomeen zouden kunnen verklaren.

Uit Tabel 7 kan ook voor lachgas berekend worden hoe hoog de emissie uit de stal is. De lachgasemissie uit de stal, dus de ingaande lucht van het biofilter, bedraagt gemiddeld 84 g N<sub>2</sub>O per uur. Ter vergelijking: in het rapport met adviezen over vast te stellen emissiefactoren voor o.a. N<sub>2</sub>O (Mosquera en Hol, 2012) wordt een emissiefactor aangehouden voor 'overige huisvestingssystemen' van 0,008 kg N<sub>2</sub>O per jaar per vleesvarken (D 3.100) en 0,003 kg N<sub>2</sub>O per jaar per opfokbig (D 1.1.100). Op basis van deze waarden kan dan worden berekend dat de emissie van de stal gemiddeld 4 g N<sub>2</sub>O per uur zou bedragen, terwijl in werkelijkheid een waarde is gemeten die ca. 20 maal zo hoog is.

### 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 de ventilatiekanalen (zie Figuur 2.4), en de uitgaande lucht van het biofilter, gemeten direct boven het biobed.

Tabel 8

*Metingen luchttemperatuur en relatieve vochtigheid (RV) van een biofilter bij een vleesvarkenstal; de waarden in de tabel zijn het gemiddelde van respectievelijk 3 en 2 meetpunten voor ingaande en uitgaande lucht; n.b. = niet bekend.*

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	RV-in (%)	RV-uit (%)
17-dec-2013	22,4	17,8	72	> 95
10-feb-2014	22,6	16,0	72	> 95
14-apr-2014	22,0	17,7	67	> 95
08-juli-2014	22,2	20,1	78	> 95
08-sep-2014	22,7	21,6	69	> 95
03-nov-2014	22,0	19,2	75	> 95

Aangenomen wordt dat de temperatuur van de uitgaande lucht 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 temperatuur waarden 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. De temperatuur van de uitgaande lucht is gemiddeld ca. 4°C lager, dit is het gevolg van adiabatische koeling. Uit de metingen van de relatieve vochtigheid na het biofilter volgt dat de vochtigheid van de lucht gemiddeld gezien hoog genoeg is (RV > 95%), dit sluit echter niet uit dat het biofilterbed op bepaalde plekken te droog of te nat kan zijn, zoals besproken in paragraaf 3.2.

### 3.7 Metingen aan houtsnippers en (spui)water

In Tabel 9a en 9b worden de resultaten van de analyses van het pakkingmateriaal van het biofilter weergegeven. In Tabel 10 wordt het waterverbruik van het biofilter gegeven, dus de hoeveelheid water die over het bed werd verspreid. Tenslotte worden in Tabel 11 de resultaten van de analyses van het percolaatwater en het water uit de nabijgelegen sloot.

Tabel 9a: Biobed bij Stal 1/2

*Analyse pakkingmateriaal van biobed (houtsnippers) bij een vleesvarkensstal; de waarden zijn het gemiddelde van een mengmonster van de toplaag en een mengmonster van de onderste laag van het biobed.*

Component	17-dec- 2013	10-feb- 2014	14-apr- 2014	08-jul- 2014	08-sep- 2014	03-nov- 2014
ammonium-N (g.kg <sup>-1</sup> )	2,47	2,23	3,57	0,32	0,10	0,03
nitriet-N (g.kg <sup>-1</sup> )	< 0,010	< 0,0110	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
nitraat-N (g.kg <sup>-1</sup> )	< 0,010	< 0,044	0,692	0,311	< 0,010	< 0,010
totaal-N (g.kg <sup>-1</sup> )	5,37	5,68	7,82	3,46	2,39	2,89
droge stof (g.kg <sup>-1</sup> )	448	449	453	313	252	269
as (g.kg <sup>-1</sup> )	23,8	23,8	17,1	12,3	12,7	16,5
pH (-) ( <sup>1</sup> )	7,1	7,8	5,9	5,0	7,3	7,2
EC (mS.cm <sup>-1</sup> )	3,5	2,7	4,7	1,3	1,1	0,7

Tabel 9b: Biobed bij Stal 3

*Analyse pakkingmateriaal van biobed (houtsnippers) bij een vleesvarkensstal; de waarden zijn het gemiddelde van een mengmonster van de toplaag en een mengmonster van de onderste laag van het biobed.*

Component	17-dec- 2013	10-feb- 2014	14-apr- 2014	08-jul- 2014	08-sep- 2014	03-nov- 2014
ammonium-N (g.kg <sup>-1</sup> )	0,34	1,16	1,03	0,35	0,53	0,03
nitriet-N (g.kg <sup>-1</sup> )	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
nitraat-N (g.kg <sup>-1</sup> )	< 0,060	< 0,010	< 0,193	0,342	< 0,010	< 0,010
totaal-N (g.kg <sup>-1</sup> )	2,26	3,88	3,66	3,37	3,31	2,48
droge stof (g.kg <sup>-1</sup> )	311	332	288	278	307	261
as (g.kg <sup>-1</sup> )	14,4	11,8	14,7	11,9	36,2	22,5
pH (-) ( <sup>1</sup> )	6,4	7,6	6,5	4,7	7,1	7,1
EC (mS.cm <sup>-1</sup> )	0,5	1,3	1,1	1,0	1,5	0,4

**Tabel 10**

*Waterverbruik van geheel biobed ("sproeiwater"); de weergegeven waarden geven het verbruik aan sinds de vorige meting.*

Waterverbruik	17-dec-2013	10-feb-2014	14-apr-2014	08-jul-2014	08-sep-2014	03-nov-2014
m <sup>3</sup> .dag <sup>-1</sup>	n.v.t.	12	14	22	35	25
l.m <sup>-2</sup> .dag <sup>-1</sup> (1)	n.v.t.	27	32	50	79	56

(1) Het oppervlak van het biobed bedraagt 440 m<sup>2</sup>.

**Tabel 11**

*Analyses van spuiwater (percolaatwater) en water uit nabijgelegen sloot; n.b. = niet bekend.*

Component	08-jul-2014		08-sep-2014		03-nov-2014	
	Spui	Sloot	Spui (1)	Sloot	Spui (2)	Sloot
ammonium-N (g.kg <sup>-1</sup> )	4,16	n.b.	1,02	0,25	0,84	0,35
nitriet-N (g.kg <sup>-1</sup> )	0,187	n.b.	0,04	< 0,010	0,04	< 0,010
nitraat-N (g.kg <sup>-1</sup> )	1,430	n.b.	0,609	0,039	0,339	0,110
totaal-N (g.kg <sup>-1</sup> )	5,66	n.b.	1,77	0,31	1,36	0,57
droge stof (g.kg <sup>-1</sup> )	19,8	n.b.	4,4	0,9	2,7	1,1
as (g.kg <sup>-1</sup> )	2,4	n.b.	1,1	0,6		0,3
pH (-) (1)	7,6	n.b.	8,0	7,5	7,9	7,6
EC (mS.cm <sup>-1</sup> )	27,3	n.b.	9,5	2,4	7,0	3,3

(1) Gemiddelde van 2 monsters op verschillende plaatsen opgevangen.

(2) Gemiddelde van 3 monsters op verschillende plaatsen opgevangen.

Uit Tabel 9a en 9b volgt dat het droge stof gehalte tijdens de laatste drie metingen een stuk lager was dan tijdens de eerste drie metingen. De oorzaak hiervoor was dat in de tweede helft van het onderzoek de hoeveelheid sproeiwater is verhoogd (zie Tabel 10), om optredende uitdroging van het bed zo veel mogelijk te voorkomen. De grotere hoeveelheid sproeiwater is waarschijnlijk ook de reden dat het gehalte ammonium-N (zie Tabel 9a en 9b) bij de laatste 3 metingen een stuk lager is dan bij de eerdere metingen.

Zoals eerder besproken dient het pakkingmateriaal voldoende vochtig te zijn om een goed rendement voor verwijdering van ammoniak en geur te kunnen realiseren. Daarnaast is het van belang om dusdanig veel spuiwater te produceren dat ophoping van (remmende) afbraakproducten wordt voorkomen (het nitrificatieproces kan geremd worden als gevolg van ophoping van ammonium en/of nitriet). De ammonium- en nitrietgehalten van het biobedmateriaal en het spuiwater zijn tijdens de tweede helft van het onderzoek dusdanig laag dat hiervan geen remmende werking wordt verwacht.

Zoals opgemerkt in paragraaf 2.1 wordt een deel van het percolaatwater weggepompt naar een opslagtank en zal een deel van het percolaatwater vanuit de drukkamer mogelijk naar de bodem weglekken. Tenslotte wordt een deel van het percolaatwater weggepompt naar een bijgelegen sloot. Van deze sloot zijn tijdens de laatste twee metingen watermonsters genomen en geanalyseerd (Tabel 11). Uit deze metingen volgt een ammonium-N gehalte van 250 - 350 mg N.l<sup>-1</sup> en een totaal-N gehalte van 310 - 570 mg N.l<sup>-1</sup>, terwijl de norm 2,2 mg N.l<sup>-1</sup> bedraagt (RIVM, 2015). Gezien de hoge stikstofconcentraties van het percolaat- en het slootwater lijkt het raadzaam om ook dit deel van het percolaatwater af te voeren naar de eerder genoemde opslagtank en niet in de sloot te lozen.

---

## 4 Conclusies

In het onderzoek is de werking van een biofilter achter een vleesvarkensstal gevolgd gedurende een periode van 1 jaar. De gemiddelde luchtbelasting van het biobed bedroeg  $276 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$  biofilteroppervlak per uur. Dit resulteerde in een drukval van gemiddeld 41 tot 146 Pa.

Uit het onderzoek is gebleken dat de gemiddelde verwijdering van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) door het biofilter 38% bedroeg en sterk fluctueerde ( $n=6$ ;  $sd=33$ ;  $p<0,05$ ) bedroeg. De verwijdering van geur door het biofilter bedroeg gemiddeld 43% ( $n=6$ ;  $sd=24$ ;  $p<0,005$ ) en fluctueerde eveneens sterk. De fluctuaties van het rendement wordt mogelijk deels veroorzaakt door onvoldoende homogene bevochtiging van het biobed ('droge plekken'). De gevonden rendementen voor ammoniak en geur zijn vergelijkbaar met de resultaten van eerder onderzoek naar biofilters bij stallen (Melse en Hol, 2012; Melse et al., 2014).

Opvallend is dat in het biofilter geen productie van lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) werd gevonden, terwijl in bovengenoemd eerder onderzoek wel een significante  $\text{N}_2\text{O}$ -productie werd gevonden. Het is niet duidelijk wat hiervoor de reden is.

Voor  $\text{PM}_{10}$  geldt dat het verwijderingsrendement gemiddeld  $> 93\%$  was ( $n=6$ ). Voor  $\text{PM}_{2.5}$  geldt dat de ingaande als uitgaande concentratie van het biofilter in veel gevallen lager waren dan de detectielimiet zodat geen uitspraak kan worden gedaan over verwijderingsrendementen.

---

## 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.

Daarnaast wordt aanbevolen om na te gaan of de stallucht kan worden voorbevochtigd voordat deze door het biobedmateriaal wordt geleid; dit zal naar verwachting leiden tot homogenere bevochtiging van het biobed en droge plekken tegengaan.

Verder wordt aanbevolen om al 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 of behandeling van het percolaatwater mogelijk gemaakt. Tevens wordt aanbevolen na te gaan in hoeverre percolaatwater door de vloer van de drukkamer in de bodem kan terecht komen.

Om de ammoniak- en geurrendementen te verhogen en fluctuaties te voorkomen wordt aanbevolen om 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. Een groter biobed volume zal naar verwachting namelijk resulteren in hogere verwijderingsrendementen voor ammoniak en geur. Mogelijk zal hierdoor ook het risico op kortsluitstromingen als gevolg van (lokale) uitdroging worden verminderd. De lucht moet namelijk een langere weg afliggen door het vochtige filterpakket, waardoor de lucht mogelijk al met water is verzadigd op het moment dat deze de bovenste laag van het filterpakket bereikt.



---

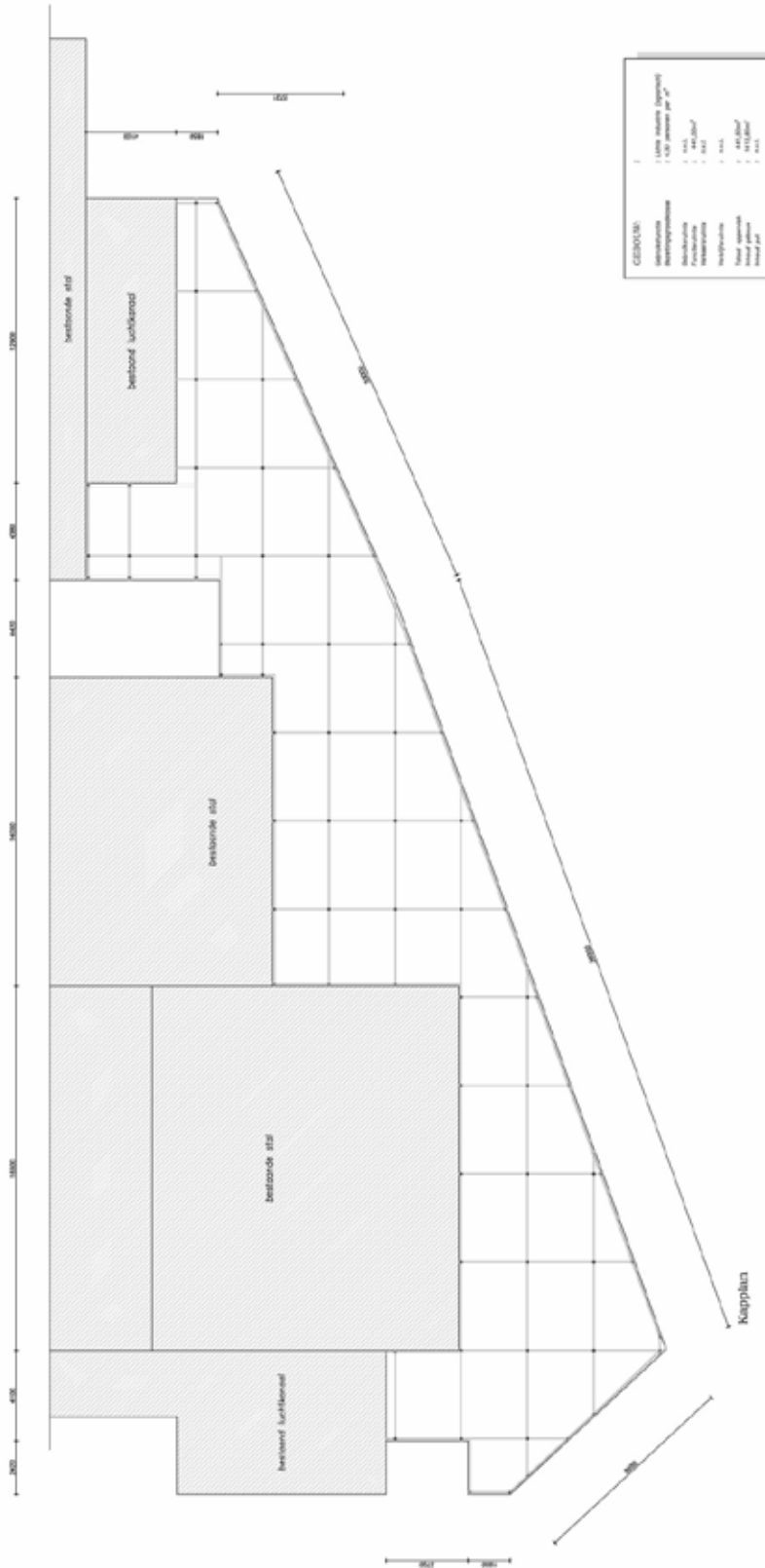
## 6 Literatuur

- 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). NH<sub>3</sub> biofiltration of piggery air. *Journal of Environmental Management* 140, 26-32.
- Dumont, E.; S. Lagadec; P. Landrain; B. Landrain; Y. Andrès (2014b). N<sub>2</sub>O generation resulting from piggery air biofiltration. *Chemical Engineering Journal* 248, 337-341.
- Eggels, P.G.; R. Scholtens (1989). Biofiltratie van NH<sub>3</sub>-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.
- 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 30 maart 2015. Internet: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/publicaties/2015/03/16/emissiefactoren-fijn-stof-voor-veehouderij-2015.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.; 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; 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 (N<sub>2</sub>O) emissions from biotrickling filters used for ammonia removal at livestock facilities. *Water Sci. Tech.* Vol 69 No 5 pp 994 - 1003.
- Melse, R.W.; J.M.G. Hol; G.M. Nijeboer; T.G. van Hattum (2014). Metingen aan een biofilter voor de behandeling van ventilatielucht van een vleesvarkensstal. Rapport 802. Web: <http://edepot.wur.nl/317758>. Wageningen UR Livestock Research, Wageningen.
- 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 (2011). Emissiefactoren methaan, lachgas en PM<sub>2,5</sub> 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 contact. *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.
- RIVM (2015). Stikstof in slootwater naar grondsoort, per bedrijfstype. Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. Internet: [http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk\\_Meetnet\\_effecten\\_Mestbeleid/Resultaten/Basismeetnet/Trends\\_in\\_de\\_nutri%20concentraties/Stikstof\\_in\\_slootwater/Stikstof\\_in\\_slootwater\\_naar\\_grondsoort\\_per\\_bedrijfstype](http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid/Resultaten/Basismeetnet/Trends_in_de_nutri%20concentraties/Stikstof_in_slootwater/Stikstof_in_slootwater_naar_grondsoort_per_bedrijfstype)
- 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.

# Bijlage 1

Bovenaanzicht biofilter (gemarkeerd met rechthoekjes)



## Bijlage 2

Tabel B1

Metingen van luchtdebiet voor individuele meetpunten.

Meting	Luchtdebiet, 24-uurs gem. (m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> )			Luchtdebiet, 2-uurs gem. (m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>		
	Stal 1	Stal 2	Stal3	Stal 1	Stal 2	Stal 3
1	30.299	34.819	18.197	30.588	49.234	22.675
2	27.947	29.649	23.693	25.156	45.730	29.821
3	35.209	32.396	18.727	35.428	39.760	21.058
4	46.233	69.035	39.452	45.534	89.695	39.587
5	63.574	44.535	59.900	62.628	58.195	70.516
6	55.679	45.789	53.457	48.979	61.256	64.933
Gemiddeld:	43.157	42.704	35.571	41.386	57.312	41.432

Tabel B2

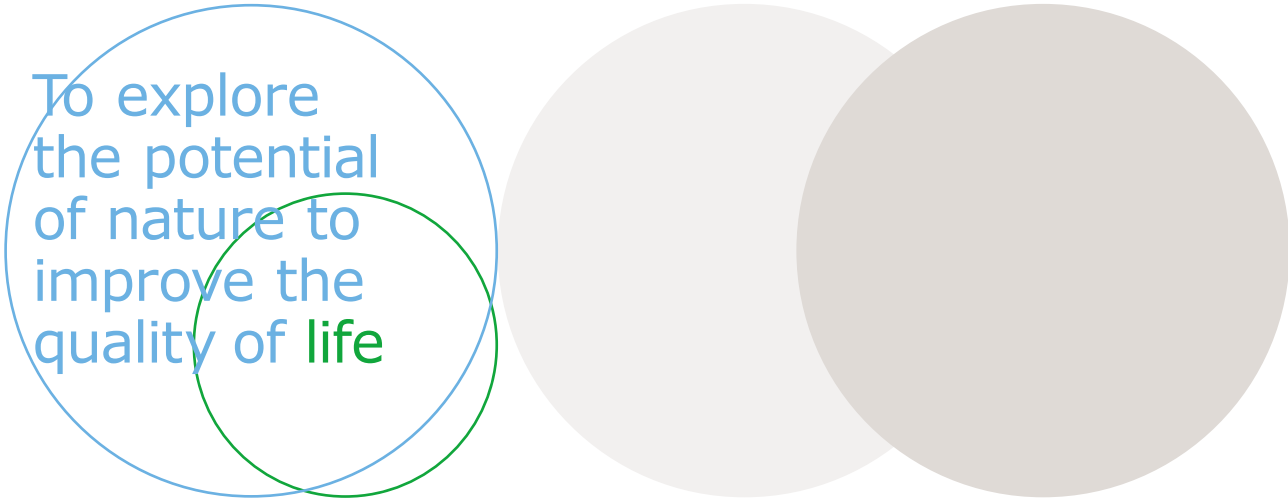
Metingen van drukval voor individuele meetpunten.

Meting	Drukval, 24-uursmeting, (Pa)	
	Stal 1/2 gem. (max)	Stal 3 gem. (max)
1	29 (58)	53 (75)
2	<sup>(1)</sup>	<sup>(1)</sup>
3	<sup>(1)</sup>	65 (76) <sup>(2)</sup>
4	98 (124)	96 (125)
5	128 (171)	163 (184) <sup>(3)</sup>
6	<sup>(1)</sup>	108 (200)

<sup>(1)</sup> Geen metingen beschikbaar.

<sup>(2)</sup> Drukval is slechts gemeten gedurende ruim 1 uur (van 11:40 tot 13:10).

<sup>(3)</sup> Drukval is slechts gemeten gedurende 12 uur (van 13:00 tot 1:00).



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

---

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

Livestock Research Rapport 896

---

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.

