

Verificatie van het Farmer Technologies BV zeolieten filter

Pilottest ammoniak- en geurverwijdering uit varkensstallucht

E. Maasdam

Rapport 1408



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verificatie van het Farmer Technologies BV zeolieten filter

Pilottest ammoniak- en geurverwijdering uit varkensstallucht

E. Maasdam

Wageningen Livestock Research
Wageningen, februari 2023

Rapport 1408

Samenvatting NL In dit rapport worden de resultaten besproken van een pilottest met zeolieten van het bedrijf Farmer Technologies BV voor gebruik in varkensstallen. Farmer Technologies BV heeft een specifieke coating voor zeolieten ontworpen die in staat is om ammoniak en geurcomponenten te adsorberen op het oppervlak van de zeoliet. Voor een eerste pilottest is de ammoniak- en geurverwijdering gemeten bij een filtersysteem, genaamd FT-50 Zeoliet filter, waarbij in één afdeling van een varkensstal stallucht is gefilterd. Er is tijdens de testperiode een verwijderingsrendement voor ammoniak gemeten variërend van 26-49%. Hierbij lagen de ingaande concentraties tussen de 16 en 30 ppm. De geurverwijdering lag tussen de 20-73%. De ingaande geurconcentratie lag tussen de 1200 en 5300 OUE/m³. Hogere geurverwijdering (>50%) werd behaald bij lagere ingaande geurconcentraties (<2300 OUE/m³). Vergelijking van de referentiemetingen voor ammoniak met de gemeten waardes met de ammoniaksensoren varieert erg per sensor. Voor de ingaande luchtstroom is de afwijking tussen de gemeten waardes tussen de 2% en 13%. Voor de uitgaande ammoniaksensor is de afwijking hoger met een afwijking van 18-47%. Ook de absolute afwijking in ppm ligt hoger met 2,5-5 ppm in vergelijking met de 0,4-2 ppm gevonden bij de ingaande sensor. Mogelijk dat de sensor defect was of niet goed gekalibreerd. Een andere verklaring kan zijn dat de uitgaande lucht niet goed gemengd was. Bij een volgende proefopstelling kan dit worden ondervangen door de sensoren van de ingaande en uitgaande lucht halverwege de proef om te draaien of door het meetpunt verder van het filtersysteem te hangen waardoor er een homogener luchtstroom wordt bemonsterd en bemeaten. Uit de testen voor ammoniak en geurverwijdering blijkt dat het zeolietenfilter, mits goed afgesteld met de juiste dikte zeoliet, zowel geur als ammoniak met hoge verwijderingsrendementen kan filteren. Verdere testen met een praktijkschaal model zullen aantonen welke rendementen er consistent gehaald kunnen worden.

Summary UK This report discusses the results of a pilot test with zeolites for filtering air from pig houses, the zeolites were developed by the company Farmer Technologies BV. Farmer Technologies BV has developed a specific coating for zeolites that is able to adsorb ammonia and odor components on the surface of the zeolite. For a first pilot test, the ammonia and odor removal was measured with a filter system, named FT-50 Zeoliet filter, designed to filter barn air in one section of a pig house. The measured removal efficiency for ammonia ranged from 26-49% during the test period. The concentrations of the ingoing barn air were between 16 and 30 ppm. The measured odor removal efficiency was between 20-73%. The ingoing odor concentration was between 1200 and 5300 OUE/m³. Higher odor removal (>50%) was achieved at lower incoming odor concentrations (<2300 OUE/m³). Comparison of the reference measurements for ammonia with the values measured with the ammonia sensors varies greatly per sensor. For the incoming airflow, the deviation between the measured values was between 2% and 13%. The ammonia sensor in the outgoing airflow had a higher deviation with a deviation of 18-47%. The absolute deviation in ppm is also higher with 2.5-5 ppm compared to the 0.4-2 ppm found at the sensor for the incoming airflow. The sensor may have been faulty or not calibrated properly. Another explanation could be that the outgoing air was not properly mixed. In a subsequent test set-up, this can be overcome by reversing the sensors of the incoming and outgoing air halfway through the test or by placing the measuring point further from the filter system, so that a more homogeneous air flow is sampled and measured. The tests for ammonia and odor removal show that the zeolite filter, when properly adjusted with the correct thickness of zeolite, can filter both odor and ammonia with high removal efficiencies. Further tests with a practical scale model will show which returns can be achieved consistently.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/586535> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1408

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Farmer Technologies BV Zeolietenfilter	8
1.1 Pilot opstelling	8
1.1.1 Logboek locatie	9
1.2 Meetmethode	10
1.2.1 Geur	10
1.2.2 Nat-chemische referentiemethode ammoniak	10
1.2.3 IoT meetsysteem	11
1.2.4 Meetpunten	11
2 Resultaten	12
2.1 Ammoniak- en geurverwijdering	12
2.1.1 Vergelijking ammoniak referentiemethode en ammoniaksensoren	13
3 Resultaten discussie	14
4 Ontwerp adviezen	15
Literatuur	16
Bijlage 1 Ammoniak- en geurmetingen	17
Bijlage 2 vergelijking test sensoren	21

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Farmer Technologies BV. Farmer Technologies BV heeft een nieuw filtersysteem ontworpen dat gebruik maakt van zeolieten om ammoniak en geur uit stallucht te verwijderen. Zeolieten zijn breed inzetbaar en worden bijvoorbeeld ook al succesvol toegepast in de koffie industrie. Farmer Technologies BV heeft aan WLR opdracht gegeven om mee te denken aan het ontwerp van het filtersysteem en de eerste verificatie testen van hun pilotsysteem uit te voeren. Hierbij is de eerste geur- en ammoniakverwijdering van het pilotsysteem onderzocht en zijn de ammoniaksensoren in het filtersysteem vergeleken met waarden verkregen met in de veehouderij gebruikte referentiemethode.

De auteur



Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten besproken van een pilottest met zeolieten van het bedrijf Farmer Technologies BV voor gebruik in varkensstallen. Farmer Technologies BV heeft een specifieke coating voor zeolieten ontworpen die in staat is om ammoniak en geurcomponenten te adsorberen op het oppervlak van de zeoliet. Voor een eerste pilottest is de ammoniak- en geurverwijdering gemeten bij een filtersysteem ontworpen om in één afdeling van een varkensstal stallucht te kunnen filteren.

Er is tijdens de testperiode een verwijderingsrendement voor ammoniak gemeten variërend van 26-49%. Hierbij lagen de ingaande concentraties tussen de 16 en 30 ppm. De geurverwijdering lag tussen de 20-73%. De ingaande geurconcentratie lag tussen de 1200 en 5300 OU_E/m^3 . Hogere geurverwijdering (>50%) werd behaald bij lagere ingaande geurconcentraties (<2300 OU_E/m^3).

Vergelijking van de referentiemetingen voor ammoniak met de gemeten waarden met de ammoniaksensoren varieert erg per sensor. Voor de ingaande luchtstroom is de afwijking tussen de gemeten waarden tussen de 2% en 13%. Voor de uitgaande ammoniaksensor is de afwijking hoger met een afwijking van 18-47%. Ook de absolute afwijking in ppm ligt hoger met 2,5-5 ppm in vergelijking met de 0,4-2 ppm gevonden bij de ingaande sensor. Mogelijk dat de sensor defect was of niet goed gekalibreerd. Een andere verklaring kan zijn dat de uitgaande lucht niet goed gemengd was. Bij een volgende proefopstelling kan dit worden ondervangen door de sensoren van de ingaande en uitgaande lucht halverwege de proef om te draaien of door het meetpunt verder van het filtersysteem te hangen waardoor er een homogener luchtstroom wordt bemonsterd en bemeten.

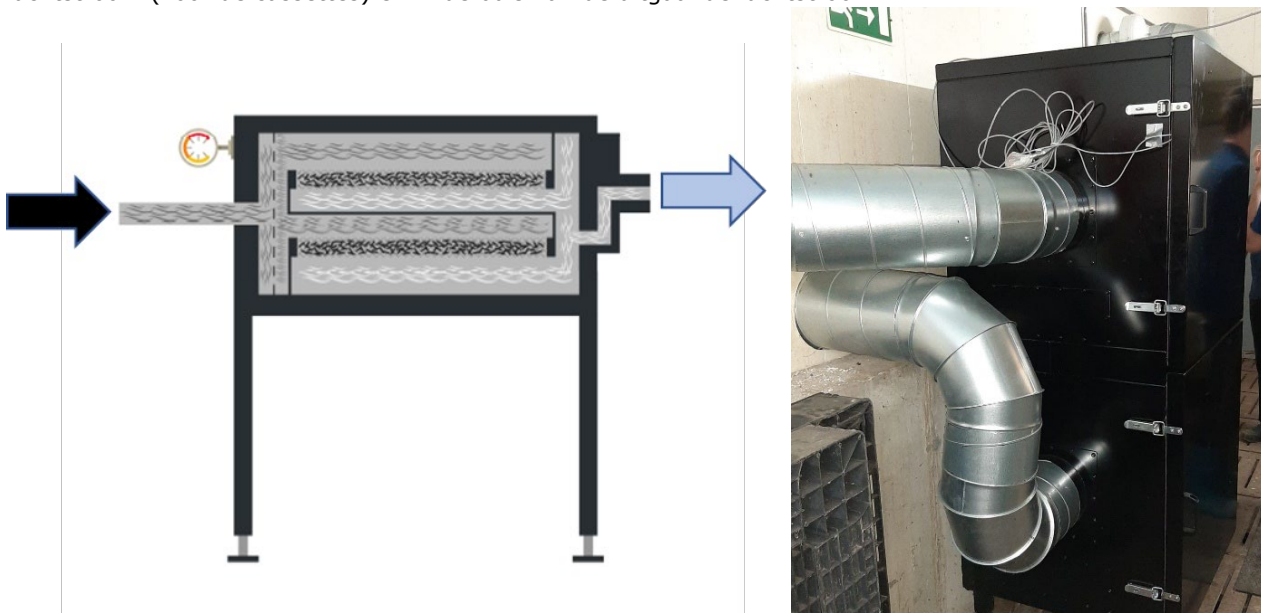
Uit de testen voor ammoniak en geurverwijdering blijkt dat het zeolietenfilter, mits goed afgesteld met de juiste dikte zeoliet, zowel geur als ammoniak met hoge verwijderingsrendementen kan filteren. Verdere testen met een praktijkschaal model zullen aantonen welke rendementen er consistent gehaald kunnen worden.

1 Farmer Technologies BV Zeolietenfilter

In dit rapport worden de resultaten besproken van een pilottest met zeolieten van het bedrijf Farmer Technologies BV voor gebruik in varkensstallen. Farmer Technologies BV heeft een specifieke coating voor zeolieten ontworpen die in staat is om ammoniak en geurcomponenten te adsorberen op het oppervlak van de zeoliet. Farmer Technologies BV wil dit zeoliet inzetten om ammoniak en geurcomponenten van stallucht van o.a. varkensstallen te kunnen filteren. Voor een eerste pilottest is een filtersysteem ontworpen om in één afdeling van een varkensstal stallucht te kunnen filteren. Hierbij is de werking van de gecoate zeoliet getest op de verwijdering van ammoniak en geur uit de stallucht en een controle uitgevoerd op het zogeheten IoT meet systeem waarbij Farmer Technologies BV zelf ammoniaksensoren plaatst in het filtersysteem voor directe inzage in het ammoniakverwijderingsrendement.

1.1 Pilot opstelling

Voor de pilotopstelling is gebruikt gemaakt van het model FT-50 Zeoliet filter. De pilotopstelling van het Farmer Technologies BV zeolietenfilter bestond uit een luchtdichte kast waarin meerdere cassettes horizontaal geplaatst waren, in de cassettes bevond zich het zeoliet (figuur 1). De cassettes kunnen zo worden ontworpen dat er een vooraf bepaalde dikte van zeoliet gebruikt kan worden, hierdoor kan de contacttijd van de stallucht met het zeoliet worden verhoogd of verlaagd. Lucht werd vanuit de stalafdeling weggezogen met een ventilatiesysteem en ingebracht aan één zijde van het filtersysteem. De lucht werd door het filter 'geduwd'. De indeling in het filtersysteem was zo ontworpen dat de ingebrachte lucht het systeem niet kon verlaten zonder dat de lucht eerst door de cassettes, en dus door het zeoliet, heen ging. In de cassettes kwam de stallucht in contact met het zeoliet en werd de ammoniak en geurcomponenten geadsorbeerd op het zeoliet. Tijdens de test was de zeoliet laag in de cassettes ongeveer 4,5 cm dik. De schonere stallucht werd opgevangen aan de andere kant van de cassettes en werd in de proef weer terug de stalafdeling ingeleid. De ammoniaksensoren van het IoT meetsysteem bevonden zich in de ingaande luchtstroom (voor de cassettes) en in de buis van de uitgaande luchtstroom.



Figuur 1 Links is een schematische weergave van een module van het Farmer Technologies BV filter systeem. Stallucht wordt met behulp van een ventilatie systeem aan één kant van het filtersysteem ingebracht (zwarte pijl). De enige uitgang voor de stallucht bevindt zich aan de andere kant van het filtersysteem (blauwe pijl). Hierdoor moet de vieze lucht (grijs) door de zeolieten laag (zwarte korrels) gefilterd worden voordat de gefilterde lucht (wit) het systeem kan verlaten. Rechts een foto van de pilotopstelling, hierop zijn 2 modules bovenop elkaar gezet.

1.1.1 Logboek locatie

Tijdens de aanvang van de proef was in het meetprotocol voorgesteld om geen aanpassingen aan de pilot opstelling aan te brengen. Echter na de eerste meetdag met het bemonsteren van geur en ammoniak bleek er een sterke daling in het ammoniakverwijderingsrendement, deze werd waargenomen met de ammoniaksensoren. Als reactie hierop was er een technische inspectie uitgevoerd en bleken er mankementen te zijn aan de pilotopstelling. Hierop was besloten om aanpassingen uit te voeren aan de pilot opstelling. In tabel 1 is een overzicht weergegeven van de activiteiten door de tijd heen bij de pilot opstelling.

Tabel 1 Logboek pilot opstelling met de datum, de 4 WLR meetdagen met geur- en ammoniakreferentie metingen, activiteiten en toelichtende opmerkingen op de activiteiten.

Datum	WLR Meetdag	Activiteit	Opmerkingen
18-8-2022		Opbouw filter	Probleem met plaatsen cassettes, deze lijken te smal voor de filter kast. Er zijn aluminium strips geplaatst om beter aan te sluiten op de rails
22-8-2022		In bedrijfstelling	
23-8-2022		afstellen systeem	
24-8-2022		afstellen systeem	
29-8-2022		Stal inspectie	
29-8-2022		reset IoT systeem	Reset van het systeem waaraan de ammoniaksensoren zijn verbonden.
29-8-2022		Aanvang test	Nieuw granulaat geplaatst.
30-8-2022	Meetdag 1	Aanvang meting	
31-8-2022	Meetdag 1	Einde meting	
2-9-2022		Ammoniakrendement daling waarneembaar op de sensoren	Onderbreken test, probleem met cassettes, zitten scheef waardoor valse lucht langs cassettes stroomt (de cassettes waren doorgezakt). Constatering dat deur (binnenplaat) ingedeukt is bij plaatsen van cassettes / door duwen deur tegen cassettes. Nieuwe deuren en cassettes besteld. Cassettes bleken een productie fout te hebben, 8mm te smal.
15-9-2022		Filter omgebouwd	In en uitgang omgedraaid / nieuwe cassettes en deuren geplaatst.
20-9-2022		Filter opnieuw in bedrijf gesteld	
22-9-2022		Ammoniakrendement daling waarneembaar op de sensoren	Opnieuw systeem nagelopen, luchtsnelheid meting, hierna de luchtsnelheid van 4,3 m/s aangepast naar 2,3 m/s.
26-9-2022	Meetdag 2	Aanvang meting	
27-9-2022	Meetdag 2	Einde meting	
3-10-2022	Meetdag 3	Aanvang meting	
3-10-2022		Aanpassingen in stal	Er worden een aantal varkens doorgeschoven in de stal - slachthuis, stal bezetting test verandert naar 18.
4-10-2022	Meetdag 3	Einde meting	
8-10-2022		Onrust in de stallen	Er zijn verschuivingen in de stal bezetting, oudere eruit jongere dieren er in, ammoniaksensoren geven een stijging aan tot boven de normen (40-60 ppm)
17-10-2022	Meetdag 4	Aanvang meting	
18-10-2022	Meetdag 4	Einde meting	
2-11-2022		Einde test	Systeem afgesloten

1.2 Meetmethode

1.2.1 Geur

Op elke meetdag werden tegelijkertijd twee luchtmonsters van de ingaande lucht (een duplo) en twee monsters van de uitgaande lucht (eveneens een duplo) genomen (figuur 2, linker foto). De monsternameduur bedroeg telkens minimaal 60 minuten. In alle gevallen werd gebruik gemaakt van nalophaan-folie (PET) geurzakken. De monsters werden vervolgens binnen 24 uur geanalyseerd door het geurlaboratorium conform de geurnorm EN-13725 en gerapporteerd in Europese geureenheden (OU_E/m^3) (CEN, 2013). De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met n-butanol, conform EN-13725. Het geurlaboratorium van Buro Blauw werkt binnen de geurnorm volgens de bij Nederlandse laboratoria gangbare 'gedwongen keuze' analysemethode. Het geurrendement van het filter op de testdag werd voor elke meting als volgt berekend:

$$\text{Rendement (\%)} = 100 \times [(C_{in} - C_{uit}) / C_{in}]$$

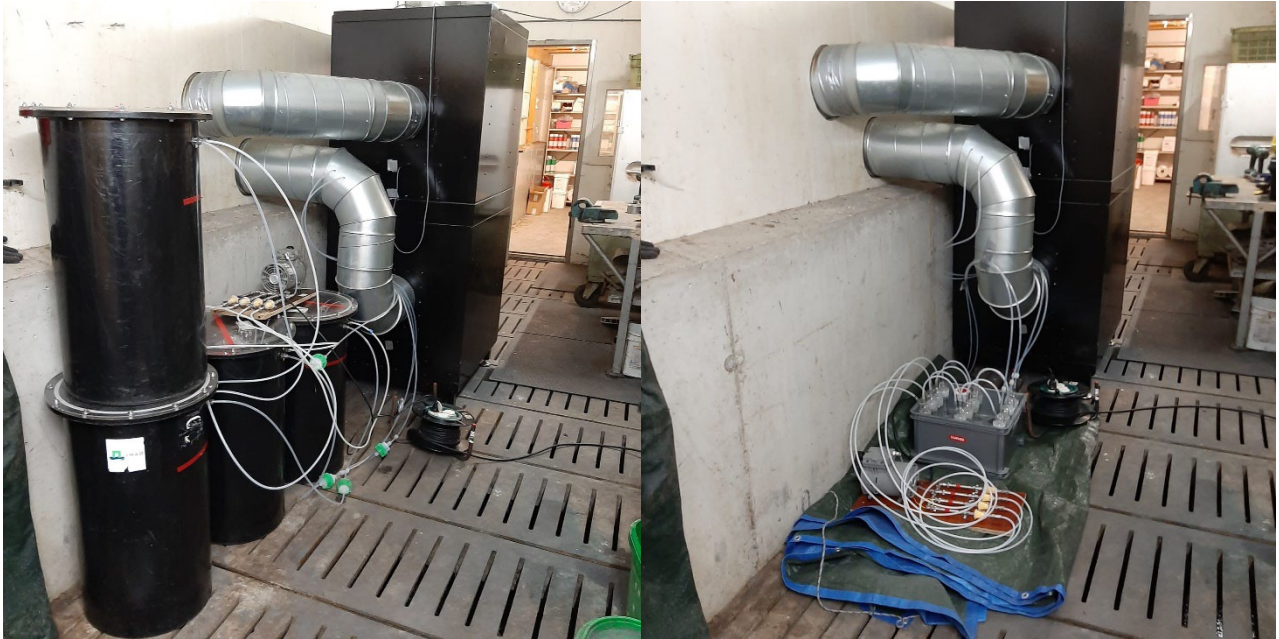
waarbij:

C_{in} = ingaande geurconcentratie, OU_E/m^3 ;

C_{uit} = uitgaande geurconcentratie, OU_E/m^3 .

1.2.2 Nat-chemische referentiemethode ammoniak

Voor het bepalen van de ammoniakconcentratie voor de ingaande en uitgaande luchtstroom werd de nat-chemische referentiemethode met gaswasflessen gebruikt, zoals beschreven door Mosquera et al., 2019. Bij deze methode wordt lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritisch capillair dat een luchtstroom geeft van ~ 1 l/min. Alle lucht werd door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH_3 in de wasvloeistof werd opgevangen (figuur 2, rechter foto). Om rekening te houden met eventuele doorslag werd een extra fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen werd de lucht, na de impingers met zuur, door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. Na bemonstering werd de concentratie van de gebonden NH_3 in de wasvloeistof spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom door de meetopstelling bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte in de wasvloeistof en de hoeveelheid wasvloeistof te verrekenen kon de gemiddelde NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Met deze methode werd een gemiddelde concentratie over een meetperiode van 24 uur bepaald voor de ingaande en uitgaande luchtstroom in het zeolietenfilter. Dit gemiddelde resultaat gaf geen inzicht in het verloop van de NH_3 concentraties tijdens de metingen, maar werd wel vergeleken met de gemiddelde concentraties gemeten door de ammoniaksensoren van Farmer Technologies BV over dezelfde periode als bemonstering.



Figuur 2 *Monsternamen van de luchtmonsters voor geur analyse (links) en ammoniak bepaling van de ingaande en uitgaande luchtstroom met de referentiemethode (rechts).*

1.2.3 IoT meetsysteem

Farmer Technologies BV heeft een eigen meetsysteem ontworpen waarbij zij ammoniaksensoren van Dräger gebruiken om de ammoniak concentratie bij de ingaande en uitgaande luchtstroom te meten. De sensoren komen uit dezelfde productie batch waarop een kalibratietest is uitgevoerd door Dräger waarbij er een afwijking van maximaal 5% kan optreden. De meetdata in dit rapport van deze sensoren is aangeleverd door Farmer Technologies BV om te kunnen vergelijken met de nat-chemische referentiemethode voor ammoniak concentratie bepaling.

1.2.4 Meetpunten

De sensor voor de ingaande luchtstroom was geplaatst in één van de ingaande luchtstroom buizen, op hetzelfde punt werd de ingaande lucht bemonsterd volgens de geur en ammoniak referentiemethode zoals hierboven beschreven. De sensor van de uitgaande luchtstroom was geplaatst in de kast met de cassettes vlak voor de uitgaande luchtstroom buizen. Bemonstering van de uitgaande luchtstroom voor de geur en de ammoniak referentiemethode vond plaats een paar meter later in één van de twee uitgaande buizen voor de uitgaande luchtstroom.

2 Resultaten

Hieronder word een overzicht gegeven van de resultaten van de geur- en ammoniakmetingen weergegeven, de volledige metingen staan in bijlage 1. Daarnaast worden de gemeten waarden van de ammoniakreferentiemeting vergeleken met de gemiddelde waarden van de ammoniaksensoren gemeten over dezelfde periode als de bemonstering van de referentiemethode voor ammoniak.

2.1 Ammoniak- en geurverwijdering

Gedurende de testperiode zijn er vier dagen geweest waarop er 24 uur lang ingaande en uitgaande lucht bemonsterd is om de ammoniakconcentratie te bepalen (Tabel 2). Gebaseerd op de verkregen concentratie in de ingaande en uitgaande luchtstroom is eveneens het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement voor de meetdag berekend.

Tabel 2 De ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie voor de pilotopstelling berekend in ppm.

Naam	Begin en eind datum en tijd monsternamen	Ingaande concentratie NH ₃ (ppm)	Uitgaande concentratie NH ₃ (ppm)	Verwijderingsrendement (%)
Meetdag 1	30-08-2022 11:32 31-08-2022 11:32	16,48	8,41	49
Meetdag 2	26-09-2022 11:53 27-09-2022 11:53	24,79	15,83	36
Meetdag 3	03-10-2022 11:32 04-10-2022 11:32	29,63	21,12	29
Meetdag 4	17-10-2022 11:35 18-10-2022 11:35	24,03	17,71	26

Er is tijdens de testperiode een verwijderingsrendement voor ammoniak gemeten variërend van 26-49%. Hierbij lagen de ingaande concentraties tussen de 16 en 30 ppm.

Naast de ammoniak is op elke meetdag ook lucht bemonsterd voor geurmetingen. De resultaten van de geurmetingen zijn weergegeven in tabel 3. De geurverwijdering lag tussen de 20-73%. De ingaande geurconcentratie lag tussen de 1200 en 5300 OU_E/m³. Hogere geurverwijdering (>50%) werd behaald bij lagere ingaande geurconcentraties (<2300 OU_E/m³).

Tabel 3 De ingaande en uitgaande concentratie geur voor de pilotopstelling vastgesteld in OU_E/m³.

Naam	Datum monsternamen	Ingaande concentratie geur (OU _E /m ³)	Uitgaande concentratie geur (OU _E /m ³)	Verwijderingsrendement (%)
Meetdag 1	30-08-2022	1196	515	57
Meetdag 2	26-09-2022	5318	4260	20
Meetdag 3	04-10-2022	4018	2655	34
Meetdag 4	18-10-2022	2291	617	73

2.1.1 Vergelijking ammoniak referentiemethode en ammoniaksensoren

Tijdens de gehele proefperiode is de ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie ook gemeten met ammoniaksensoren geïnstalleerd door Farmer Technologies BV in het filtersysteem. In tabel 4 zijn de ammoniakconcentraties gemeten met de referentiemethode vergeleken met de gemiddelde waardes gemeten met de ammoniaksensoren over dezelfde periode (24 uur).

Tabel 4 *Vergelijking van de gemeten ammoniakconcentraties in de ingaande en uitgaande luchtstroom met de referentiemethode (gemeten door WLR) en de gemiddelde waardes gemeten met Dräger ammoniaksensoren (gemeten door Farmer Technologies BV).*

Monsterdag	Luchtstroom (NH ₃)	Gemeten NH ₃ referentiemethode (ppm)	Gemeten NH ₃ Dräger sensoren (ppm)	Absolute afwijking (ppm)	Afwijking
Meetdag 1	Ingaand	16,48	14,6	1,87	13%
	Uitgaand	8,41	6,0	2,45	41%
Meetdag 2	Ingaand	24,79	24,4	0,41	2%
	Uitgaand	15,83	10,8	5,04	47%
Meetdag 3	Ingaand	29,63	28,7	0,95	3%
	Uitgaand	21,12	17,9	3,27	18%
Meetdag 4	Ingaand	24,03	22,1	1,93	9%
	Uitgaand	17,71	12,7	4,97	39%

Vergelijking van de metingen geeft een afwijking van 0,4 tot 2 ppm voor de ingaande luchtstroom wat overeenkomt met een procentuele afwijking variërend van 2-13%. Bij de uitgaande luchtstroom ligt dit hoger met een afwijking van 2,5 tot 5 ppm wat overeenkomt met een procentuele afwijking variërend van 18-47%.

3 Resultaten discussie

Uit de resultaten blijkt dat het Farmer Technologies BV zeolietenfilter zowel ammoniak als geur kan filteren uit varkens stallucht. De daadwerkelijke verwijdering varieert voor zowel ammoniak als geur sterk. De hoogste ammoniakverwijdering werd behaald bij de eerste meetdag. Dit komt overeen met een lagere ingaande concentratie. Dit doet vermoeden dat de contacttijd met het zeoliet te laag was. Het gebruik van een dikkere zeoliet laag of een lagere luchtstroom zou mogelijk tot een beter ammoniakverwijderingsrendement kunnen leiden. Voor de meetdagen 2 tot en met 4 was er al een verlaging van de luchtstroom ingezet, desondanks was er geen verbetering in het ammoniakverwijderingsrendement op deze meetdagen. Waarschijnlijk was de hoeveelheid zeoliet de limiterende factor en niet de contacttijd in deze pilotopstelling.

De geurverwijdering was het hoogste op meetdagen 1 en 4 (57% en 73% respectievelijk), dit lijkt samen te hangen met de lagere ingaande geurconcentraties. Dit kan betekenen dat ook voor geurverwijdering de hoeveelheid zeoliet of de contacttijd limiterend was. Bij hogere geurconcentraties was er mogelijk een te lage contacttijd om een groot gedeelte van de geurcomponenten te kunnen adsorberen. Daarnaast is een andere mogelijkheid dat bepaalde geurcomponenten niet worden geadsorbeerd door het zeoliet. Omdat de geursamenstelling niet chemisch-analytisch is aangetoond kan dit niet met zekerheid worden vastgesteld.

Vergelijking van de referentiemetingen voor ammoniak met de gemeten waarden met de ammoniaksensoren varieert erg per sensor. Voor de ingaande luchtstroom is de afwijking tussen de gemeten waarden tussen de 2% en 13%. Dit komt overeen met gevonden waarden bij een vergelijking tussen de inzet van vergelijkbare Dräger sensoren bij luchtwassers en het gebruik van de nat-chemische methode (Maasdam et al., 2021). Echter voor de uitgaande ammoniaksensor is de afwijking hoger met een afwijking van 18-47%. Ook de absolute afwijking in ppm ligt hoger met 2,5-5 ppm in vergelijking met de 0,4-2 ppm gevonden bij de ingaande sensor. Mogelijk dat de sensor defect was of niet goed gekalibreerd. Maar een waarschijnlijke verklaring is dat de uitgaande lucht niet goed gemengd was.

Het filtersysteem bestaat uit meerdere cassettes met daarin het zeoliet, als de luchtverdeling over de cassettes niet gelijk verdeeld is kan dit in deelstromen lucht resulteren met verschillende ammoniakconcentraties. De sensor zelf was geplaatst in het filtersysteem terwijl de bemonstering van de uitgaande lucht met de referentiemethode plaats vond in de buis van de uitgaande luchtstroom. De ingaande lucht werd op exacte dezelfde positie bemonsterd. Het is daardoor mogelijk dat de nat-chemische methode een andere concentraties uitgaande lucht bemonsterde dan dat de sensor mat. Het is aannemelijk dat dit heeft plaats gevonden, voor aanvang van de test waren de sensoren vergeleken in het systeem zonder dat er zeoliet aanwezig was (bijlage 2). Tijdens deze 'droge' test was de gemiddelde afwijking tussen de sensoren over een periode van 15 uur slechts 4%. Na afronding van de referentie- en de geurmetingen is het zeoliet naderhand ook verwijderd en zijn de sensoren ook vergeleken (bijlage 2), ook bij deze test was de afwijking ook binnen de 5%. Het verschil tussen de gemeten waarden met de referentiemethode en met de sensor tijdens het testen met zeoliet is dus zeer waarschijnlijk het gevolg van onvolledige menging van de uitgaande luchtstroom.

Bij een volgende proefopstelling kan het meten van deelstromen voorkomen worden door het meetpunt van de uitgaande lucht verder van het filtersysteem te hangen waardoor er een homogener luchtstroom wordt bemonsterd en bemeten.

Uit de testen voor ammoniak en geurverwijdering blijkt dat het zeolietenfilter, mits goed afgesteld met de juiste dikte zeoliet, zowel geur als ammoniak met hoge verwijderingsrendementen kan filteren. Verdere testen met een praktijkschaal model zullen aantonen welke rendementen er consistent gehaald kunnen worden.

4 Ontwerp adviezen

Uit de metingen bij de pilot opstelling blijkt dat het Farmer Technologies BV zeolieten filter zowel ammoniak als geur kan filteren. Aan de hand van de metingen aan de pilotopstelling worden hieronder enkele adviezen meegegeven voor verder ontwerp en verificatie van een praktijkstelsel.

De ammoniaksensor bij de ingaande luchtstroom van het IoT meetsysteem kwam overeen met de gemeten data met de referentiemethode voor ammoniak. Bij de ammoniaksensor bij de uitgaande luchtstroom waren er afwijking die waarschijnlijk kunnen worden verklaard met turbulente (deel)luchtstrom(en). Voor inzet van het IoT meetsysteem wordt geadviseerd om de ammoniaksensor voor de uitgaande luchtstroom zo te plaatsen dat er weinig turbulentie plaats vindt rond de sensor. Verder zal er bij een uiteindelijk filtersysteem voor een volledige stal nagedacht moeten worden over een periodieke kalibratie of controle om het verloop van de sensoren in de gaten te houden. Dit zou kunnen worden ondervangen door een onderhoudsservice aan te bieden bij verkoop van een compleet systeem.

Voor het uiteindelijke ontwerp voor een filtersysteem wordt geadviseerd om de benodigde contacttijd tussen de stallucht en het zeoliet bij verschillende diktes, luchtsnelheden en ammoniakconcentraties experimenteel te bepalen. Hieruit kan een gebruiksnorm worden afgeleid waarmee een veehouder, gebaseerd op zijn ventilatiesysteem een aantal dieren, een minimale benodigde hoeveelheid zeoliet(dikte) kan terug rekenen. Voor het toekennen van een vergunning om het filtersysteem te gebruiken kan deze experimenteel bepaalde dikte een voorwaarde worden voor gebruik en controle, net zoals nu bijvoorbeeld minimale waswater hoeveelheid en filteroppervlakte bij luchtwassers een vooraf bepaalde voorwaarde is.

Tijdens de pilottest is geen duurttest uitgevoerd. Het filter werkt op het principe van adsorptie aan de zeolieten. Dit betekent dat de zeolieten op een nader te bepalen moment verzadigd zal raken, met als gevolg dat er geen ammoniak en geur meer opgenomen zal worden. Voor invoering in de praktijk zal de maximale levensduur van een batch zeoliet ook bepaald moeten worden, dit kan mogelijk ondervangen worden met de ingebouwde ammoniaksensoren. Bij een rendementsverlies kunnen deze een automatisch signaal afgeven dat het zeoliet vervangen dient te worden.

Als laatste moeten de afvoer en/of gebruiksnormen voor het zeoliet vastgesteld worden. Voor toepassing van de zeolieten als ammoniakfilter materiaal zullen er richtlijnen voor afvoer en gebruik moeten worden vastgesteld, zoals dat ook gedaan is voor het spuiwater van luchtwassers. Het is nog onduidelijk of de zeolieten herbruikbaar zijn en/of gebruikt kunnen worden als bodem verbeteraar. Farmer Technologies BV geeft aan hiervoor in begin 2023 een onderzoeksrapport af te ronden waarin de inzetbaarheid als bodemverbeteraar wordt besproken.

Verder geeft Farmer Technologies BV aan dat hergebruik van het zeoliet mogelijk is met een was proces. Voor hergebruik van het zeoliet kan Farmer Technologies BV nadenken over een leverings- en onderhoudscontract tussen Farmer Technologies BV en de veehouder zodat de kringloop van het zeoliet zelf gesloten blijft en niet als afvalproduct wordt afgevoerd. Het gebruik van een leverings- en onderhoudscontract voorkomt ook misstanden waarbij het systeem na aanschaf niet goed wordt onderhouden en als gevolg van oververzadigd zeoliet er als nog ammoniakemissie plaats vindt vanuit de stal.

Als laatste wordt geadviseerd om een verwisselbaar of reinigbaar voorfilter te plaatsen om stof uit de stallucht te reinigen. In stallucht is er een grote hoeveelheid stof aanwezig die zich zal hechten aan het zeoliet mits er geen voorfilter aanwezig is. De plaatsing van een voorfilter voor stof zal dus de maximale capaciteit van het filter waarborgen.

Literatuur

Maasdam, E., Melse, R. W., & Ogink, N. W. M. (2021). *Verbetering luchtwassers in de praktijk* (No. 1337). Wageningen Livestock Research.

Mosquera, J., Ploegaert, J. P. M., & Kupers, G. C. C. (2019). Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems: Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research (No. 1187). Wageningen Livestock Research.

Bijlage 1 Ammoniak- en geurmetingen

Voor alle 4 de meetdagen zijn de resultaten van de geur- en ammoniakmetingen weergegeven.

Tabel 5 Meetdag 1 ammoniak: overzicht van de bemonstering van ammoniak uit stallucht voor de ingaande en uitgaande lucht in het filter. Buizen 1 en 2 zijn in serie geschakeld voor eventuele doorslag. De berekende gemiddelde concentratie van de bemonsterde lucht is gebaseerd op de ammoniak opgelost in beiden buizen.

Meetbuis	Start meting	Eind meting	Lucht flow start	Lucht flow eind	Gemeten conc NH ₄ -N	Gewicht vloeistof	Concentratie bemonsterde lucht
	(dd-mm-yyyy hh:mm)	(dd-mm-yyyy hh:mm)	(ml/min)	(ml/min)	(mg/l)	(g)	(ppm)
filter in 1 buis 1	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32	1029	1024	137,33	101,96	16,55
filter in 1 buis 2	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32			0,09	104,98	
filter in 2 buis 1	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32	992	982	132,72	102,4	16,41
filter in 2 buis 2	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32			0,11	106,04	
filter uit 1 buis 1	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32	1026	1014	68,39	103,56	8,28
filter uit 1 buis 2	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32			0,07	108,17	
filter uit 2 buis 1	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32	1031	1020	72,02	102,12	8,55
filter uit 2 buis 2	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32			0,09	105,6	
blanco	30-08-22 11:32	31-08-22 11:32			0,07	98,37	

Tabel 6 meetdag 1 geur: overzicht van de gemeten geurwaardes van de bemonsterde lucht van de ingaande en uitgaande luchtstroom van het filter systeem.

Monsternaam	Vat	zak	Datum	Tijdstip	Meetduur	Geurconcentratie	Gemiddeld
					min	Oue/m ³	Oue/m ³
Ingaand 1	101	193	30-8-2022	10:30	60	831	1196
Ingaand 2	113	112	30-8-2022	10:30	60	1561	
Uitgaand 1	2A	140	30-8-2022	10:30	60	655	515
Uitgaand 2	18	97	30-8-2022	10:30	60	374	

Tabel 7 Meetdag 2 ammoniak: overzicht van de bemonstering van ammoniak uit stallucht voor de ingaande en uitgaande lucht in het filter. Buizen 1 en 2 zijn in serie geschakeld voor eventuele doorslag. De berekende gemiddelde concentratie van de bemonsterde lucht is gebaseerd op de ammoniak opgelost in beiden buizen.

Meetbuis	Start meting	Eind meting	Lucht flow start	Lucht flow eind	Gemeten conc NH ₄ -N	Gewicht vloeistof	Concentratie bemonsterde lucht
	(dd-mm-yyyy hh:mm)	(dd-mm-yyyy hh:mm)	(ml/min)	(ml/min)	(mg/l)	(g)	(ppm)
filter in 1 buis 1	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53	998	952	182,70	110,81	24,74
filter in 1 buis 2	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53			0,12	109,87	
filter in 2 buis 1	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53	1006	993	180,33	115,61	24,84
filter in 2 buis 2	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53			0,10	110,8	
filter uit 1 buis 1	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53	1007	972	121,15	107,99	15,75
filter uit 1 buis 2	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53			0,07	112,84	
filter uit 2 buis 1	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53	949	910	108,52	113,74	15,92
filter uit 2 buis 2	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53			0,76	109,7	
blanco	26-09-22 11:53	27-09-22 11:53			0,06	98,61	

Tabel 8 meetdag 2 geur: overzicht van de gemeten geurwaardes van de bemonsterde lucht van de ingaande en uitgaande luchtstroom van het filter systeem.

Monsternaam	Vat	zak	Datum	Tijdstip	Meetduur	Geurconcentratie	Gemiddeld
					min	Oue/m3	Oue/m3
Ingaand 1	101	195	26-9-2022	10:47	60	4918	5318
Ingaand 2	18	49	26-9-2022	10:47	60	5718	
Uitgaand 1	113	176	26-9-2022	10:47	60	3948	4260
Uitgaand 2	2A	3	26-9-2022	10:47	60	4571	

Tabel 9 Meetdag 3 ammoniak: overzicht van de bemonstering van ammoniak uit stallucht voor de ingaande en uitgaande lucht in het filter. Buizen 1 en 2 zijn in serie geschakeld voor eventuele doorslag. De berekende gemiddelde concentratie van de bemonsterde lucht is gebaseerd op de ammoniak opgelost in beiden buizen.

Meetbuis	Start meting (dd-mm-yyyy hh:mm)	Eind meting (dd-mm-yyyy hh:mm)	Lucht flow start (ml/min)	Lucht flow eind (ml/min)	Gemeten conc NH ₄ -N (mg/l)	Gewicht vloeistof (g)	Concentratie bemonsterde lucht (ppm)
filter in 1 buis 1	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32	965	925	212,92	109,88	29,48
filter in 1 buis 2	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32			0,08	110,38	
filter in 2 buis 1	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32	1017	980	227,21	109,84	29,77
filter in 2 buis 2	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32			0,12	111,98	
filter uit 1 buis 1	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32	991	961	156,18	110,76	21,18
filter uit 1 buis 2	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32			0,61	110,62	
filter uit 2 buis 1	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32	920	880	145,86	108,66	21,06
filter uit 2 buis 2	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32			0,64	111,06	
blanco	3-10-22 11:32	4-10-22 11:32			0,06	98,89	

Tabel 10 meetdag 3 geur: overzicht van de gemeten geurwaardes van de bemonsterde lucht van de ingaande en uitgaande luchtstroom van het filter systeem.

Monsternaam	Vat	zak	Datum	Tijdstip	Meetduur <i>min</i>	Geurconcentratie <i>Oue/m3</i>	Gemiddeld <i>Oue/m3</i>
Ingaand 1	12	147	4-10-2022	10:25	60	3629	4018
Ingaand 2	113	14	4-10-2022	10:25	60	4407	
Uitgaand 1	2A	43	4-10-2022	10:25	60	2758	2655
Uitgaand 2	52	77	4-10-2022	10:25	60	2551	

Tabel 11 Meetdag 4 ammoniak: overzicht van de bemonstering van ammoniak uit stallucht voor de ingaande en uitgaande lucht in het filter. Buizen 1 en 2 zijn in serie geschakeld voor eventuele doorslag. De berekende gemiddelde concentratie van de bemonsterde lucht is gebaseerd op de ammoniak opgelost in beiden buizen.

Meetbuis	Start meting (dd-mm-yyyy hh:mm)	Eind meting (dd-mm-yyyy hh:mm)	Lucht flow start (ml/min)	Lucht flow eind (ml/min)	Gemeten conc NH ₄ -N (mg/l)	Gewicht vloeistof (g)	Concentratie bemonsterde lucht (ppm)
filter in 1 buis 1	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35	978	961	172,59	113,53	24,07
filter in 1 buis 2	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35			0,08	111,84	
filter in 2 buis 1	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35	1011	986	182,87	109,98	23,99
filter in 2 buis 2	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35			0,10	112,47	
filter uit 1 buis 1	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35	952	936	127,92	108,32	17,48
filter uit 1 buis 2	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35			0,08	109,63	
filter uit 2 buis 1	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35	927	917	125,94	110,21	17,93
filter uit 2 buis 2	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35			0,08	109,53	
blanco	17-10-22 11:35	18-10-22 11:35			0,08	98,74	

Tabel 12 meetdag 4 geur: overzicht van de gemeten geurwaardes van de bemonsterde lucht van de ingaande en uitgaande luchtstroom van het filter systeem.

Monsternaam	Vat	zak	Datum	Tijdstip	Meetduur <i>min</i>	Geurconcentratie <i>Oue/m3</i>	Gemiddeld <i>Oue/m3</i>
Ingaand 1	3	134	18-10-2022	10:35	60	1671	2291
Ingaand 2	101	167	18-10-2022	10:35	60	2911	
Uitgaand 1	1	39	18-10-2022	10:35	60	579	617
Uitgaand 2	18	99	18-10-2022	10:35	60	655	

Bijlage 2 vergelijking test sensoren

Tabel 13 Metingen van de ingaande en uitgaande sensoren zonder zeoliet in de pilotopstelling, uitgevoerd voor aanvang van de metingen voor geur- en ammoniakverwijdering.

Datum	Ingaand	uitgaand	afwijking
	ppm	ppm	
29-8-2022 02:00	27,4	25,6	7%
29-8-2022 02:15	26,5	25,8	3%
29-8-2022 02:30	26,7	25,7	4%
29-8-2022 02:45	27,5	26,4	4%
29-8-2022 03:00	27,3	26	5%
29-8-2022 03:15	26,9	26,4	2%
29-8-2022 03:30	27,5	26,3	4%
29-8-2022 03:45	28,1	27,9	1%
29-8-2022 04:00	27	27,5	-2%
29-8-2022 04:15	27,4	26,3	4%
29-8-2022 04:30	30,4	29,2	4%
29-8-2022 04:45	31,2	29,6	5%
29-8-2022 05:00	31,8	29,8	6%
29-8-2022 05:15	32	30,6	4%
29-8-2022 05:30	33,8	32,2	5%
29-8-2022 05:45	33,1	31,1	6%
29-8-2022 06:00	34,5	33,2	4%
29-8-2022 06:15	32,5	31,4	3%
29-8-2022 06:30	33	31,9	3%
29-8-2022 06:45	34,2	33,5	2%
29-8-2022 07:00	35,2	34,3	3%
29-8-2022 07:15	36,1	34,5	4%
29-8-2022 07:30	31,2	29,7	5%
29-8-2022 07:45	30,4	28,9	5%
29-8-2022 08:00	30,8	29,8	3%
29-8-2022 08:15	32,9	31,1	5%
29-8-2022 08:30	32,9	30,1	9%
29-8-2022 08:45	29,9	28,2	6%
29-8-2022 09:00	30,9	29,8	4%
29-8-2022 09:15	29,4	27,9	5%
29-8-2022 09:30	27,4	26,3	4%
29-8-2022 09:45	26,7	25,6	4%
29-8-2022 10:00	27,1	26,3	3%
29-8-2022 10:15	27,1	26,1	4%
29-8-2022 10:30	25,2	23,1	8%
29-8-2022 10:45	27,1	25,7	5%

Datum	Ingaand	uitgaand	afwijking
29-8-2022 11:00	26,7	25,6	4%
29-8-2022 11:15	24,3	23,1	5%
29-8-2022 11:30	23,7	22,7	4%
29-8-2022 11:45	23,2	22	5%
29-8-2022 12:00	21,8	20,9	4%
29-8-2022 12:15	21,2	21,5	-1%
29-8-2022 12:30	16,1	16,9	-5%
29-8-2022 12:45	17,6	16,4	7%
29-8-2022 13:00	16,8	15,8	6%
29-8-2022 13:15	16,7	15,9	5%
29-8-2022 13:30	20	19,3	4%
29-8-2022 13:45	17,3	16,4	5%
29-8-2022 14:00	17,6	16,2	8%
29-8-2022 14:15	14,8	13,9	6%
29-8-2022 14:30	13,9	13,5	3%
29-8-2022 14:45	13,4	12,9	4%
29-8-2022 15:00	12,5	12,4	1%
29-8-2022 15:15	11	11,3	-3%
29-8-2022 15:30	9,1	9,7	-7%
29-8-2022 15:45	12,3	11,9	3%
29-8-2022 16:00	11,1	10,9	2%
29-8-2022 16:15	9,4	8,8	6%
29-8-2022 16:30	9	8,4	7%
29-8-2022 16:45	7,3	7,1	3%
29-8-2022 17:00	7,6	7,3	4%
Gemiddelde	24,2	23,2	4%

Tabel 14 Metingen van de ingaande en uitgaande sensoren zonder zeoliet in de pilotopstelling, uitgevoerd na afronding van de metingen voor geur- en ammoniakverwijdering.

Datum	Ingaand	uitgaand	afwijking
	ppm	ppm	
8-11-2022 09:00	23,7	24,0	-1%
8-11-2022 09:15	23,7	24,1	-2%
8-11-2022 09:30	25,3	24,9	2%
8-11-2022 09:45	24,6	24,7	0%
8-11-2022 10:00	23,8	24,9	-5%
8-11-2022 10:15	23,4	23,2	1%
8-11-2022 10:30	22,6	22,4	1%
8-11-2022 10:45	23,0	22,9	0%
8-11-2022 11:00	22,0	21,4	3%
8-11-2022 11:15	21,1	20,7	2%
8-11-2022 11:30	21,4	20,9	2%
8-11-2022 11:45	21,7	21,6	0%
8-11-2022 12:00	18,8	18,2	3%
8-11-2022 12:15	19,6	19,0	3%
8-11-2022 12:30	21,2	21,0	1%
8-11-2022 12:45	18,8	18,3	3%
8-11-2022 13:00	20,1	19,9	1%
8-11-2022 13:15	21,1	20,7	2%
8-11-2022 13:30	21,9	22,2	-1%
8-11-2022 13:45	23,2	23,9	-3%
8-11-2022 14:00	23,8	23,4	2%
Gemiddelde	22,1	22,0	1%

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



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

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

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

