



# Meetploeg – Eindrapport

## Meetcampagne luchtwassers en biobedden

Referentietaken ILVO ten behoeve van het  
beleidsdomein Omgeving

Loes Laanen, Lorenzo Plant, Brecht De Cock,  
Ingrid Zwertvaegher en Eva Brusselman

ILVO - Eenheid Technologie & Voeding  
Referentiewerking Milieutechniek

November 2018

Auteurs en contact:

Laanen Loes  
Plant Lorenzo  
De Cock Brecht  
Zwertvaegher Ingrid  
Brusselman Eva

Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek ILVO  
*Eenheid Technologie en Voeding, Onderzoeksdomein Agrotechniek*  
Burg. Van Gansberghelaan 115, bus 1  
B-9820 Merelbeke  
Tel. +32 9 272 27 69  
Loes.Laanen@ilvo.vlaanderen.be

November 2018

© Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van het Beleidsdomein Omgeving. Alle rechten zijn voorbehouden aan ILVO. Vermenigvuldiging of overname van gegevens is toegestaan mits duidelijke bronvermelding. De gebruiker van dit rapport ziet af van elke klacht tegen het Vlaams Gewest of zijn ambtenaren, van welke aard ook, met betrekking tot het gebruik van de via dit rapport beschikbaar gestelde informatie. In geen geval zal het Vlaams Gewest of zijn ambtenaren aansprakelijk gesteld kunnen worden voor eventuele nadelige gevolgen die voortvloeien uit het gebruik van de via dit rapport beschikbaar gestelde informatie.

## Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	2
2	Materiaal en methode .....	3
3	Resultaten.....	10
3.1	Ammoniak.....	10
3.2	Geur .....	11
3.3	Waswater.....	12
3.4	Wortelhout.....	13
4	Discussie.....	15
4.1	Biobed A.....	15
4.2	Biobed B.....	16
4.3	Biobed C.....	18
4.4	Biologische luchtwasser A1.....	19
4.5	Biologische luchtwasser A2.....	20
4.6	Biologische luchtwasser B.....	22
4.7	Chemische luchtwasser A.....	23
5	Conclusie.....	26
5.1	Ammoniak.....	26
5.2	Geur .....	28
6	Referenties.....	31

## 1 Inleiding

De uitvoering van onderzoeksactiviteiten anders dan literatuuronderzoek behoorde tot 2015 niet tot de referentietaken. De voorbije jaren is gebleken dat de nood aan onderzoek dat verder gaat dan literatuuronderzoek onontbeerlijk is om specifieke kennislücken in te kunnen vullen. Om deze reden werd een bijkomende referentietask (Referentietask 3 Gericht wetenschappelijk onderzoek inzake luchtmissies bij landbouwactiviteiten en duurzame productietechnieken voor de landbouw) opgestart. Voor de uitvoering van deze task werd op ILVO in 2016 een meetploeg opgericht.

De eerste meetcampagne van de meetploeg richtte zich op het bepalen van het verwijderingsrendement voor ammoniak en geur van gecombineerde luchtwassers en biobedden aan vleesvarkensstallen in Vlaanderen. Dit document geeft een overzicht van de resultaten van deze meetcampagne.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht geboden van de gebruikte methoden en van de verschillende meetlocaties die in de studie zijn opgenomen. De resultaten worden besproken in Hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 en 5 behandelen respectievelijk de discussie en de conclusie.

## 2 Materiaal en methode

### Meetcampagne

Er werden 7 varkensstallen met een luchtbehandelingstechniek uitgemeten gedurende 1 jaar, nl. 3 locaties met een biobed, 3 locaties met een gecombineerde biologische luchtwasser en 1 locatie met een gecombineerde chemische luchtwasser. Per locatie waren er 4 meetweken, steeds 1 per seizoen (winter: januari-maart; lente: april-juni; zomer: juli-september; herfst: oktober-december). In 1 meetweek waren er 2 meetdagen: 1 voor ammoniakmetingen en 1 voor geurmetingen. Uitzonderlijk vielen deze meetdagen niet in dezelfde week of op dezelfde dag. Alle monsternamen werden uitgevoerd overdag tijdens piekbelasting. Tabel 1 geeft de data waarop de staalnamen zijn uitgevoerd weer. Tevens is er ook vermeld indien een probleem met het luchtbehandelingssysteem zich heeft voorgedaan. Aan één biobed, nl. Biobed B, werden 2 zomermetingen uitgevoerd. Dit omdat het wortelhout was opgeschud enkele dagen voor de eerste ammoniakmetingen. Waarschijnlijk heeft het opschudden het verwijderingsrendement negatief beïnvloed en een tweede meting werd uitgevoerd om het herstel nader te onderzoeken.

### Beschrijving meetlocaties

Alle deelnemende locaties kregen een code. Voor de 3 locaties met een biobed waren dit 'Biobed A', 'Biobed B' en 'Biobed C'. De gecombineerde biologische luchtwassers werden 'Bio LW A1', 'Bio LW A2' en 'Bio LW B'. Bio LW A1 en Bio LW A2 waren van hetzelfde type en hadden dus dezelfde opbouw. De gecombineerde chemische luchtwasser kreeg de code 'Chem LW A'. Tabel 2 en 3 geven de belangrijkste kenmerken van de verschillende locaties.

Biobed B werd in oktober 2015 volledig opgevuld met nieuw wortelhout. In november 2017 werd het biobed bijgevuld. Enkele dagen voor de meting Zomer 1 (26/07/2017) werd het biobed opgeschud. Het biobed produceert weinig tot geen spuiwater. Indien dit wel het geval zou zijn, zal het op het land worden uitgevoerd. Biobed C is in gebruik vanaf 2013. In januari 2016 en november 2018 is het biobed gezeefd en aangevuld. Verder wordt het biobed ongeveer 1x/jaar opgeschud. De laatste keer dateert van november 2017 (na meting Herfst). Het biobed produceert ongeveer 220 m<sup>3</sup> spuiwater per jaar. Ook hier wordt het spuiwater op het land uitgevoerd. Voor Biobed A waren geen gegevens beschikbaar over de leeftijd of het onderhoud van het wortelhout. Hier wordt weinig tot geen spuiwater gevormd.

Alle luchtwassers in deze meetcampagne waren gecombineerde luchtwassers. Dit betekent dat ze uit verschillende trappen bestaan. Bio LW A1 en A2 hadden elk 2 trappen (watergordijn en biosectie), terwijl Bio LW B 3 trappen heeft (stofsectie, biosectie en geursectie). Ook Chem LW A bestaat uit 3 trappen (zuurtrap, watertrap en wand met wortelhout). Figuren 1 en 2 geven een schematisch overzicht van de algemene opbouw van een biobed en luchtwasser.

Tabel 1: Data van staalnamen en eventuele problemen aan het luchtbehandelingssysteem die zich voor hebben gedaan.

Locatie	Seizoen	Datum NH <sub>3</sub> -metingen	Datum geurmetingen	Opmerkingen
Biobed A	Winter	14/02/2017	16/02/2017	Geen voorbevochtiger
	Lente	16/05/2017	18/05/2017	Geen voorbevochtiger
	Zomer	26/09/2017	28/09/2017	Geen voorbevochtiger
	Herfst	06/12/2017	07/12/2017	Geen voorbevochtiger
Biobed B	Winter	30/01/2017	24/01/2017	
	Lente	19/04/2017	13/04/2017	
	Zomer 1	26/07/2017	27/07/2017	Biobed opgeschud enkele dagen voor NH <sub>3</sub> -metingen
	Zomer 2	28/08/2017	NG	Biobed opgeschud enkele weken voor NH <sub>3</sub> -metingen
Biobed C	Winter	18/01/2017	19/01/2017	
	Lente	10/04/2017	06/04/2017	
	Zomer	18/07/2017	13/07/2017	Pomp voorbevochtiger kapot
	Herfst	25/10/2017	26/10/2017	Pomp voorbevochtiger kapot
Bio LW A1	Winter	21/02/2017	09/03/2017	
	Lente	23/05/2017	01/06/2017	Sproeiers biosectie verstopt
	Zomer	09/08/2017	10/08/2017	
	Herfst	29/11/2017	30/11/2017	
Bio LW A2	Winter	07/03/2017	09/03/2017	
	Lente	21/06/2017	22/06/2017	Leidingen waswater in biosectie niet goed aangesloten
	Zomer	01/09/2017	NG	Wasser door storing 2 dagen gespuid en nadien wasser opgevuld met ontsmet putwater
	Herfst	20/12/2017	21/12/2017	
Bio LW B	Winter	15/03/2017	16/03/2017	
	Lente	16/06/2017	15/06/2017	
	Zomer	16/08/2017	17/08/2017	
	Herfst	10/10/2017	12/10/2017	
Chem LW A	Winter	01/03/2017	23/03/2017	
	Lente	02/05/2017	04/05/2017	Aanzuigdarm niet diep genoeg in zuurvast
	Zomer	04/08/2017	03/08/2017	
	Herfst	16/11/2017	16/11/2017	

NG = niet gemeten

Tabel 2: Belangrijkste kenmerken van de locaties met een biobed

Parameter	Biobed A	Biobed B	Biobed C
Oppervlakte biobed (m <sup>2</sup> )	210	638	600
Dikte wortelhout (m)	0,3-0,5	0,8	0,8
Minimale EBRT (s) op basis van gegevens landbouwer	10,4	21,4	10,8
Minimale EBRT (s) theoretisch <sup>§</sup>	3,4	11,7	10,0
Bemonsterde oppervlakte uitlaat	Tent: 2x10 m	Tent: 2x30 m	Tent: 2x30 m
Voorbevochtiger	Nee	Ja	Ja
Sproeieregime	4-6 liter/m <sup>2</sup> , 5x/dag	7 liter/m <sup>2</sup> /dag: 1x/dag	12 liter/m <sup>2</sup> /dag: 4x/dag
Aantal dierplaatsen	1100 vleesvarkens	2616 vleesvarkens	720 biggen 2700 vleesvarkens
Type ventilatie	Kanaalventilatie	Combiventilatie met ondergrondse luchtinlaat	Kanaalventilatie
Type vloer	Volle roostervloer	Volle roostervloer	Volle roostervloer
Aantal voederfasen (VV)	2	4	3
Ruw eiwit gehalte voeder (%)	16,2-16,5	14,6-17,4	BB: 18 VV: 15,1-16,6
Gemiddelde groei (g/dag)	790	620	740
Andere NH <sub>3</sub> -reducerende technieken	-	96/2616 varkens op schuine putwanden	Benzoëzuur in voeder

BB = biggen VV = vleesvarkens

EBRT = Empty Bed Residence Time = 'lege pakking' verblijftijd

<sup>§</sup> EBRT theoretisch = EBRT op basis van maximale ventilatie volgens klimaatplatform: biggen 15 m<sup>3</sup>/uur per dier; vleesvarkens 100 kg 60 m<sup>3</sup>/uur per dier (Klimaatplatform Varkenshouderij, 2014)

Tabel 3: Belangrijkste kenmerken van de locaties met een gecombineerde luchtwasser

Parameter	Bio LW A1	Bio LW A2	Bio LW B	Chem LW A
Grootte emitterend oppervlak (m <sup>2</sup> )	23	60	9	93
Minimale EBRT (s) op basis van gegevens landbouwer	4,1 <sup>#</sup>	4,1 <sup>#</sup>	1,8 <sup>*</sup>	0,6 <sup>*</sup>
Minimale EBRT (s) theoretisch <sup>§</sup>	4,0 <sup>#</sup>	4,4 <sup>#</sup>	2,3 <sup>*</sup>	0,9 <sup>*</sup>
Bemonsterde oppervlakte uitlaat	Kappen: 2 x 1 m <sup>2</sup>	Kappen: 2 x 1 m <sup>2</sup> (per meting werden kappen verplaatst)	Kappen: 2 x 1 m <sup>2</sup>	Tent: 9 m <sup>2</sup>
Sproeieregime	Continu	Continu	Continu	Zuurtrap en watertrap continu, wortelhout bij >25°C
Aantal dierplaatsen	2100 biggen 3920 vleesvarkens	2500 biggen 5400 vleesvarkens	384 vleesvarkens	76 zeugen 2200 biggen 960 vleesvarkens
Type ventilatie	BB: kanaalventilatie VV: combiventilatie	Kanaalventilatie	Kanaalventilatie	BB: kanaalventilatie VV + zeugen: combiventilatie
Type vloer	Volle roostervloer	Volle roostervloer	4 afdelingen: volle roostervloer 4 afdelingen: gedeeltelijke roostervloer (50%)	Volle roostervloer
Aantal voederfasen (VV)	3	3	Variabel	3
Ruw eiwit gehalte voeder (%)	14,4–17,2	14,4-17,2	14,5-16,5	14-18
Gemiddelde groei (g/dag)	736	736	800	-
Andere NH <sub>3</sub> -reducerende technieken	-	-	4 afdelingen met schuine putwanden	-

BB = biggen VV = vleesvarkens

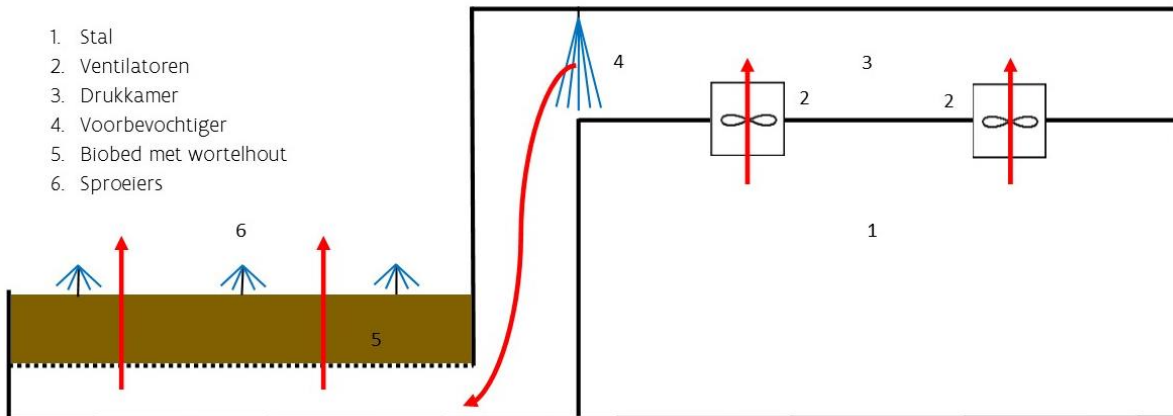
EBRT = Empty Bed Residence Time = 'lege pakking' verblijftijd

# : berekend op volledige volume luchtwasser

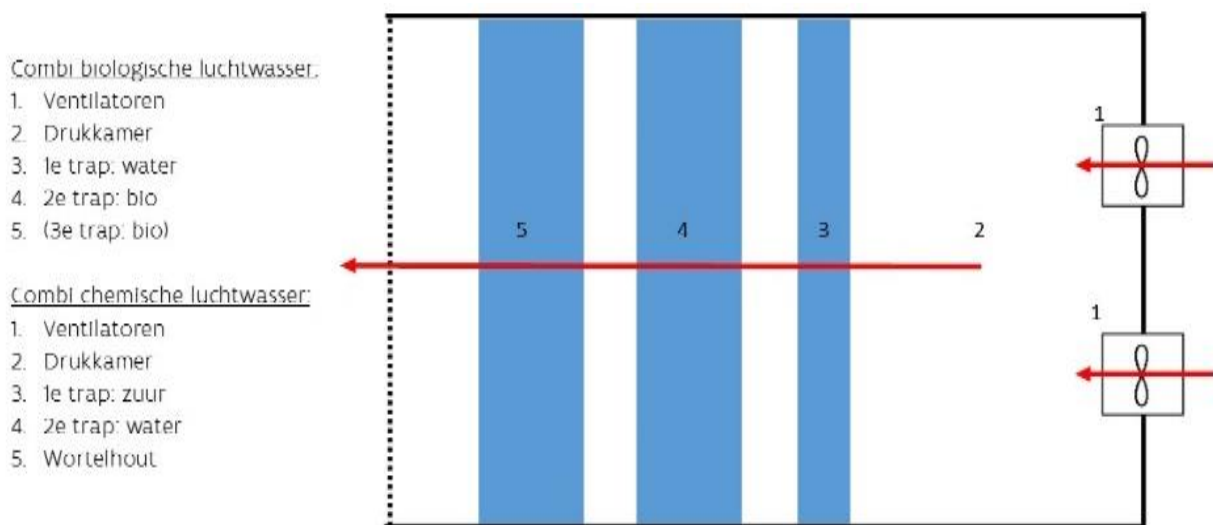
\*: berekend op volume pakking

§ EBRT theoretisch = EBRT op basis van maximale ventilatie volgens klimaatplatform: biggen 15 m<sup>3</sup>/uur per dier; vleesvarkens 100 kg 60 m<sup>3</sup>/uur per dier; zeugen 120 m<sup>3</sup>/uur per dier (Klimaatplatform Varkenshouderij, 2014)





Figuur 1: Schematische weergave van de algemene opbouw van een biobed.



Figuur 2: Schematische weergave van de algemene opbouw van een gecombineerde luchtwasser.

## Ammoniakmetingen

Voor de ammoniakmetingen werd het Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van lucht *LUC/VII/001: NH<sub>3</sub> rendementsbepaling van luchtwassers bij stalsystemen* gevolgd. Deze procedure is van toepassing voor de technieken die de uitgaande stallucht zuiveren, opgenomen in Bijlage I van het Ministerieel Besluit van 31 mei 2011 (S-lijst). De procedure is gebaseerd op de natchemische methode.

Op de volgende punten werd afgeweken van of werden aanvullingen gedaan op de procedure volgens het compendium:

- Voor de uitvoering van de eigenlijke metingen werden indicatieve metingen met gasdetectiebuisjes uitgevoerd. Op 3 plaatsen in de drukkamer en op 6 plaatsen aan de uitlaat werd de NH<sub>3</sub>-concentratie bepaald om zo een indicatie te krijgen van de werking van de luchtbehandlingstechniek. Op deze manier konden problemen aan de installatie opgemerkt worden voor de eigenlijke rendementsmetingen.
- De ingaande ventilatielucht werd gelijktijdig op 4 plaatsen, verspreid in de drukkamer, bemonsterd i.p.v. de voorgeschreven minimum 3 plaatsen. Daarbij werd gebruik gemaakt van een verdeelstuk dat voldeed aan de voorschriften (onderling maximaal 20% verschil in debiet doorheen de verschillende aanzuigleidingen naar het verdeelstuk).
- Er werd steeds in duplo bemonsterd, zowel bij de ingaande als uitgaande lucht, hoewel dit niet gevraagd wordt in het compendium.

- Per bemonsteringstrein werden 2 gaswasflessen met 100 ml 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gebruikt.
- Voor bemonstering van de uitgaande ventilatielucht werd steeds de methode voor niet homogene emitterende oppervlaktes gebruikt. Via een tent of kap werd telkens ongeveer 10% van het emitterend oppervlak bemonsterd (zie Tabel 2 en 3 en Figuur 3 en 4).
- Tijdens de monsterneming werd, naast de temperatuur en de relatieve vochtigheid, ook de CO<sub>2</sub>-concentratie gemeten en dit zowel in de drukkamer als in de tent of kap aan de uitgang van de luchtbehandelingstechniek. De meting van de CO<sub>2</sub>-concentratie is ter controle op windinslag. Indien de CO<sub>2</sub>-concentratie in de meetopstelling aan de uitlaat lager zou zijn dan in de drukkamer, kan er sprake zijn van windinslag. Dit kan erop duiden dat lucht niet afkomstig van de luchtwasser/het biobed in de meetopstelling is terecht gekomen. In dit geval zou het verwijderingsrendement overschat worden.
- Het compendium geeft verschillende methoden voor analyse van ammonium of ammonium-stikstof in de absorptie-oplossing. In deze meetcampagne werden de monsters geanalyseerd door middel van bepaling van ammonium-stikstof met doorstroomanalyse (Flow Injectie Analyse (FIA)) en spectrometrische detectie volgens het compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water WAC/III/E/021: Bepaling van het gehalte aan ammonium stikstof met behulp van doorstroomanalyse.



Figuur 3: Opstelling met tent voor NH<sub>3</sub>-metingen op een biobed.



Figuur 4: Opstelling met kappen voor NH<sub>3</sub>-metingen op een luchtwasser.

## Geurmetingen

Geurconcentraties werden bepaald met behulp van olfactometrie volgens de Europese norm EN 13725:2003. Geurstalen werden genomen volgens het longprincipe (Figuur 5). Voor de analyse van de geurstalen is Forced Choice Olfactometrie gebruikt (Figuur 6). Per meetdag zijn 3 monsternamen van telkens minimaal 30 minuten uitgevoerd. Per monsternamen werden tegelijkertijd stalen genomen van de ingaande lucht in de drukkamer en van de uitgaande lucht uit de luchtwasser/het biobed. Aan de uitlaat werd gebruik gemaakt van dezelfde meetopstelling als voor de ammoniakmetingen (tent/kap). De monsternamen en de analyse vonden op dezelfde dag plaats. Voor de analyses d.m.v. olfactometrie werd een panel gebruikt dat uit 4 leden bestond. Alle panelleden waren op voorhand getest en geschikt bevonden volgens de norm. Telkens voor analyse van de geurstalen werden de panelleden opnieuw getest met n-butanol ter controle van hun gevoeligheid. Elk geurstaal werd door ieder panellid 2 keer beoordeeld, waarna een geometrisch gemiddelde geurdrempel over alle waarnemingen (4 panelleden, elk 2 rondes) werd bepaald.

Aangezien het principe van olfactometrie gebaseerd is op het herkennen van lucht anders dan geurvrije lucht, zegt dit weinig over het type geur dat waargenomen wordt na de luchtbehandelingstechniek. Dit kan varkensgeur zijn, maar evengoed een gewijzigde geur door de werking van de luchtbehandelingstechniek (bv. compostgeur). Daarom werd vanaf mei 2017 ook de aanwezigheid van varkensgeur op het bedrijf geregistreerd. Bij aankomst op het bedrijf werd

direct ter hoogte van de luchtbehandelingstechniek geroken en genoteerd of al dan niet een varkensgeur aanwezig was en zo ja, in welke mate.

Dit werd telkens door dezelfde persoon gescoord volgens volgende richtlijnen:

- ++ varkensgeur duidelijk aanwezig
- + varkensgeur aanwezig
- ± varkensgeur licht aanwezig
- varkensgeur afwezig



Figuur 5: Opstelling voor geurstaalname volgens het longprincipe.



Figuur 6: Olfactometer gebruikt voor Forced Choice olfactometrie

### Waswater

Bij de luchtwassers zijn op dezelfde dag als de ammoniakmetingen ook stalen van het waswater genomen. Op deze stalen werden de pH, de geleidbaarheid (EC) en de concentraties van ammonium (NH<sub>4</sub>-N), nitriet (NO<sub>2</sub>-N) en nitraat (NO<sub>3</sub>-N) bepaald.

### Wortelhout

Tijdens elke monstername voor ammoniak zijn bij de biobedden en de gecombineerde chemische luchtwasser ook stalen van het wortelhout meegenomen om het gehalte aan droge stof te bepalen. Uit het droge stof gehalte werd het vochtgehalte bepaald. Op 3 verschillende plaatsen werd een staal wortelhout genomen van de toplaag (gehele meetperiode) én van op 30-50cm diepte (lente, zomer en herfst).

### Verwerking van de gegevens

Om het verwijderingsrendement van de luchtbehandelingstechnieken te bepalen werd de volgende formule gebruikt:

$$\text{verwijderingsrendement (\%)} = \frac{C_{\text{ingaaand}} - C_{\text{uitgaand}}}{C_{\text{ingaaand}}} \times 100$$

Met:  $C_{\text{ingaaand}}$ : concentratie van de component in de ingaande lucht  
 $C_{\text{uitgaand}}$ : concentratie van de component in de uitgaande lucht

### 3 Resultaten

#### 3.1 Ammoniak

Tabel 4 geeft de resultaten van de ammoniakmetingen weer voor de verschillende locaties over de verschillende seizoenen, evenals de drukval, indien beschikbaar.

Tabel 4: NH<sub>3</sub>-concentratie van in- en uitgaande lucht, het NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement en de drukval op de verschillende locaties.

Locatie	Seizoen	NH <sub>3</sub> -concentratie drukkamer gemiddelde ± SD (mg/Nm <sup>3</sup> )	NH <sub>3</sub> -concentratie uitlaat gemiddelde ± SD (mg/Nm <sup>3</sup> )	NH <sub>3</sub> -verwijderings- rendement gemiddelde ± SD (%)	Drukval (Pa)
Biobed A	Winter	24,3 ± 2,1	5,0 ± 0,5	80 ± 2	NG
	Lente	17,2 ± 1,1	14,6 ± 1,4	15 ± 8	NG
	Zomer	17,1 ± 1,1	19,8 ± 0,7	-16 ± 11	NG
	Herfst	25,6 ± 2,8	14,4 ± 0,5	43 ± 8	NG
Biobed B	Winter	19,6 ± 6,1	<0,4 ± 0,2	>98 ± 2	5
	Lente	17,5 ± 3,0	1,1 ± 0,2	94 ± 0,4	NG
	Zomer 1	10,5 ± 1,3	8,3 ± 0,7	20 ± 12	<1
	Zomer 2	8,2 ± 0,5	5,6 ± 0,8	32 ± 11	<1
	Herfst	15,4 ± 2,8	7,8 ± 1,4	50 ± 0,4	4
Biobed C	Winter	9,2 ± 1,6	<0,2 ± 0,0	>98 ± 1	15
	Lente	10,9 ± 2,5	<0,4 ± 0,1	>97 ± 1	16
	Zomer	6,3 ± 0,7	1,3 ± 0,1	79 ± 4	15
	Herfst	6,8 ± 2,0	2,1 ± 0,0	67 ± 11	270
Bio LW A1	Winter	37,0 ± 1,7	<0,5 ± 0,2	>99 ± 1	NG
	Lente	18,9 ± 1,2	11,5 ± 0,4	39 ± 5	14
	Zomer	19,3 ± 1,7	1,5 ± 0,1	92 ± 1	17
	Herfst	31,6 ± 2,9	3,4 ± 0,3	89 ± 0,3	5
Bio LW A2	Winter	21,0 ± 0,9	4,3 ± 3,5	79 ± 17	NG
	Lente	10,6 ± 1,7	9,5 ± 0,6	8 ± 21	70
	Zomer	NG	NG	NG	NG
	Herfst	23,0 ± 0,6	<0,4 ± 0,0	>98 ± 0,1	5
Bio LW B	Winter	11,6 ± 0,6	2,1 ± 0,5	82 ± 5	NG
	Lente	7,0 ± 1,5	<0,4 ± 0,0	>94 ± 1	NG
	Zomer	6,1 ± 0,4	<0,4 ± 0,1	>93 ± 1	NG
	Herfst	6,3 ± 0,2	<0,4 ± 0,0	>94 ± 1	NG
Chem LW A	Winter	31,8 ± 14,3	<0,2 ± 0,0	>99 ± 0,3	1
	Lente	22,9 ± 1,0	3,1 ± 2,4	87 ± 10	3
	Zomer	15,4 ± 1,8	1,5 ± 0,0	90 ± 1	13
	Herfst	22,3 ± 2,6	<0,3 ± 0,0	>99 ± 0,1	7

NG = niet gemeten

## 3.2 Geur

Tabel 5 geeft de resultaten van de geurmetingen voor de verschillende locaties over de verschillende seizoenen weer.

Tabel 5: Geurconcentratie van in- en uitgaande lucht, het geurverwijderingsrendement en de score van de aanwezigheid van varkensgeur aan de uitlaat van de luchtbehandelingstechniek op de verschillende locaties.

Locatie	Seizoen	Geur-concentratie drukkamer gemiddelde $\pm$ SD ( $\text{OU}_E/\text{m}^3$ )	Geur-concentratie uitlaat gemiddelde $\pm$ SD ( $\text{OU}_E/\text{m}^3$ )	Geur- verwijderings- rendement gemiddelde $\pm$ SD (%)	Aanwezigheid van varkensgeur
Biobed A	Winter	2850 $\pm$ 669	898 $\pm$ 50	68 $\pm$ 6	NG
	Lente	2108 $\pm$ 210	1068 $\pm$ 53	49 $\pm$ 7	++
	Zomer	3283 $\pm$ 188	1533 $\pm$ 289	54 $\pm$ 6	++
	Herfst	3899 $\pm$ 908	829 $\pm$ 158	79 $\pm$ 1	+
Biobed B	Winter	1270 $\pm$ 459	105 $\pm$ 16	90 $\pm$ 5	NG
	Lente	951 $\pm$ 94	150 $\pm$ 32	84 $\pm$ 2	NG
	Zomer 1	1101 $\pm$ 99	278 $\pm$ 99	75 $\pm$ 7	$\pm$
	Herfst	3671 $\pm$ 646	253 $\pm$ 30	93 $\pm$ 1	-
Biobed C	Winter	3015 $\pm$ 912	397 $\pm$ 106	86 $\pm$ 7	NG
	Lente	1614 $\pm$ 161	289 $\pm$ 14	82 $\pm$ 2	NG
	Zomer	2235 $\pm$ 198	838 $\pm$ 410	63 $\pm$ 15	+
	Herfst	3339 $\pm$ 589	973 $\pm$ 107	69 $\pm$ 17	+
Bio LW A1	Winter	880 $\pm$ 186	256 $\pm$ 80	69 $\pm$ 14	NG
	Lente	1556 $\pm$ 407	744 $\pm$ 188	48 $\pm$ 28	$\pm$
	Zomer	842 $\pm$ 0	853 $\pm$ 311	-1 $\pm$ 37	-
	Herfst	3687 $\pm$ 807	875 $\pm$ 41	76 $\pm$ 5	-
Bio LW A2	Winter	636 $\pm$ 78	387 $\pm$ 72	39 $\pm$ 6	NG
	Lente	1535 $\pm$ 292	1026 $\pm$ 253	30 $\pm$ 28	+
	Zomer	NG	NG	NG	++
	Herfst	1241 $\pm$ 171	659 $\pm$ 100	46 $\pm$ 15	-
Bio LW B	Winter	1117 $\pm$ 274	450 $\pm$ 182	57 $\pm$ 22	NG
	Lente	978 $\pm$ 105	448 $\pm$ 83	53 $\pm$ 13	+
	Zomer	1517 $\pm$ 645	798 $\pm$ 78	42 $\pm$ 19	$\pm$
	Herfst	3582 $\pm$ 287	1619 $\pm$ 224	55 $\pm$ 8	-
Chem LW A	Winter	1490 $\pm$ 328	668 $\pm$ 179	55 $\pm$ 8	NG
	Lente	2178 $\pm$ 401	1425 $\pm$ 396	33 $\pm$ 22	$\pm$
	Zomer	2724 $\pm$ 165	2934 $\pm$ 620	-8 $\pm$ 24	$\pm$
	Herfst	2407 $\pm$ 636	1396 $\pm$ 185	40 $\pm$ 16	$\pm$

++ = varkensgeur duidelijk aanwezig + = varkensgeur aanwezig  $\pm$  = varkensgeur licht aanwezig  
 - = varkensgeur afwezig NG = niet gemeten

### 3.3 Waswater

De analyseresultaten van het waswater van de luchtwassers staan vermeld in Tabel 6.

Tabel 6: Analyseresultaten van de waswaterstalen genomen bij de verschillende luchtwassers.

Locatie	Seizoen	Trap	pH	EC (mS/cm)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)
Bio LW A1	Winter	Biosectie	6,8	18,3	43,9	54,7	1,4
	Lente	Biosectie	7,2	20,7	46,2	51,6	2,2
	Zomer	Biosectie	6,7	27,0	48,0	48,9	3,0
	Herfst	Biosectie	7,2	27,2	52,0	46,7	1,3
Bio LW A2	Winter	Biosectie	6,8	29,5	48,7	49,4	2,0
	Lente	Biosectie	7,2	23,1	40,3	58,1	1,5
	Zomer	Biosectie	7,4	19,1	41,8	55,7	2,5
	Herfst	Biosectie	7,4	24,5	48,9	50,1	1,0
Bio LW B	Winter	Stofsectie	7,1	24,3	47,6	48,1	4,3
		Biosectie	6,9	18,2	48,6	46,9	4,5
		Geursectie	6,6	8,1	50,1	45,2	4,7
	Lente	Stofsectie	7,3	40,6	48,3	21,5	30,2
		Biosectie	6,9	32,3	48,5	22,2	29,4
		Geursectie	4,6	4,2	47,9	4,6	47,5
	Zomer	Stofsectie	6,8	60,0	46,2	24,7	29,1
		Biosectie	6,5	44,3	46,4	24,8	28,8
		Geursectie	3,5	3,5	62,0	2,4	35,6
	Herfst	Stofsectie	7,0	2,9	41,7	49,8	8,6
		Biosectie	6,0	2,3	41,2	49,7	9,2
		Geursectie	4,6	1,4	25,0	56,3	18,8
Chem LW A	Winter	Zuurtrap	3,4	132,6	94,1	0,0	5,9
	Lente	Zuurtrap	3,5	12,5	95,2	0,0	4,8
	Zomer	Zuurtrap	3,8	105,0	87,8	0,2	12,0
	Herfst	Zuurtrap	3,5	136,0	88,4	0,0	11,6



### 3.4 Wortelhout

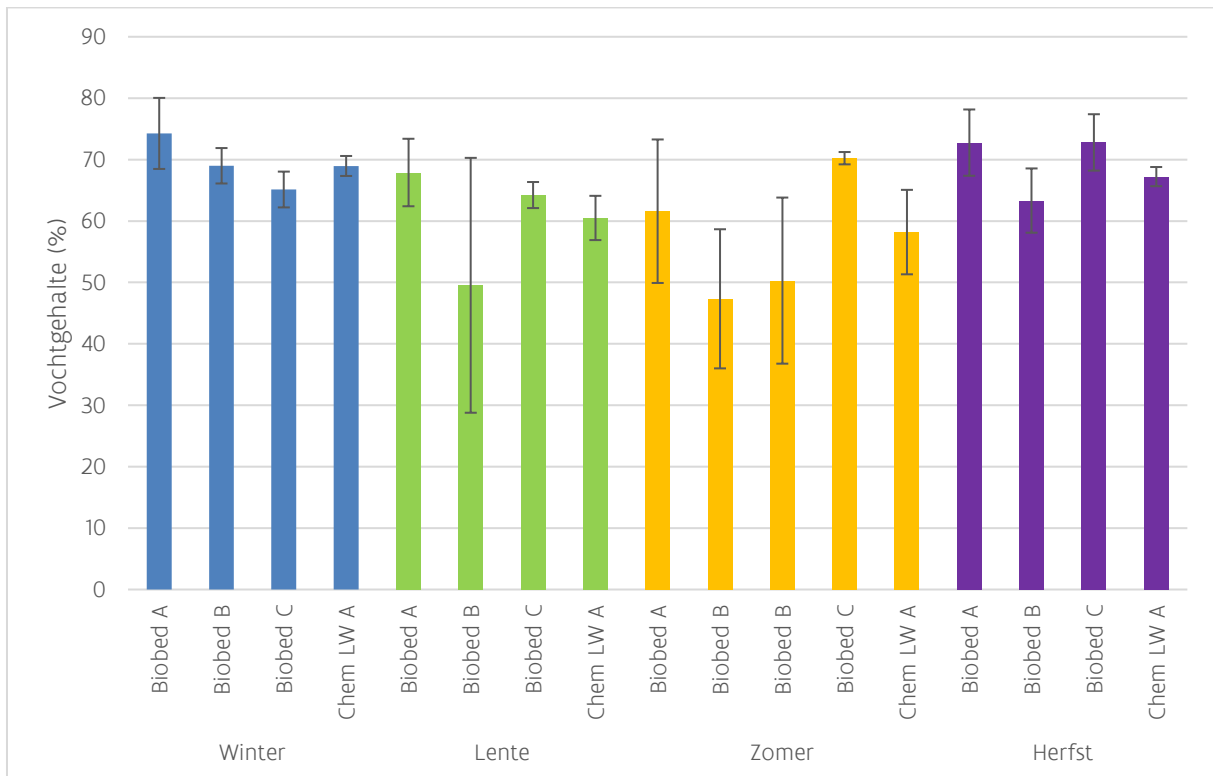
Tabel 7 toont de resultaten van het vochtgehalte van de genomen wortelhoutstalen aan de oppervlakte en op 30-50cm diepte van de biobedden of van de wortelhoutwand bij Chem LW A.

Tabel 7: Gemiddeld vochtgehalte van het wortelhout van de toplaag en van 30-50 cm diepte op de verschillende locaties die gebruik maken van wortelhout.

Locatie	Seizoen	Gemiddeld vochtgehalte toplaag ± SD (%)	Gemiddeld vochtgehalte laag op 30-50 cm diep ± SD (%)
Biobed A	Winter	74 ± 6	NG
	Lente	68 ± 5	57 ± 7
	Zomer	62 ± 12	36 ± 10
	Herfst	73 ± 5	63 ± 6
Biobed B	Winter	69 ± 3	NG
	Lente	50 ± 21	NG
	Zomer 1	47 ± 11	44 ± 10
	Zomer 2	50 ± 14	51 ± 12
	Herfst	63 ± 5	55 ± 12
Biobed C	Winter	65 ± 3	NG
	Lente	64 ± 2	NG
	Zomer	70 ± 1	71 ± 3
	Herfst	73 ± 5	74 ± 3
Chem LW A	Winter	69 ± 2	NG
	Lente	61 ± 4	NG
	Zomer	58 ± 7	NG
	Herfst	67 ± 2	NG

NG = niet gemeten

Figuur 7 geeft het vochtgehalte van de genomen wortelhoutstalen aan de oppervlakte weer. Dit is telkens een gemiddelde van de 3 genomen stalen.



Figuur 7: Gemiddeld vochtgehalte van wortelhoutstalen genomen aan de oppervlakte van het biobed of van de wand bij de Chem LW A.



## 4 Discussie

### 4.1 Biobed A

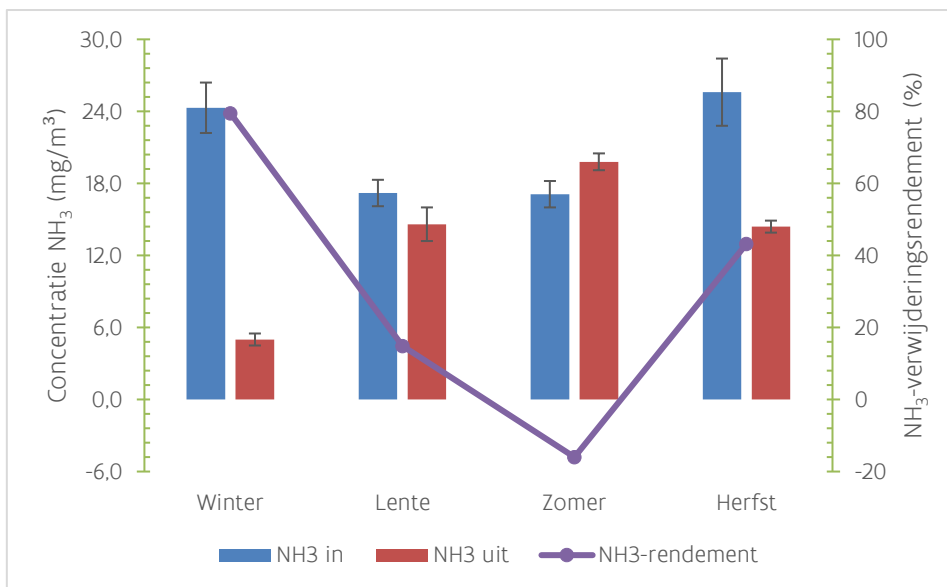
Figuren 8 en 9 geven de resultaten voor  $\text{NH}_3$ - en geur weer voor Biobed A.

Biobed A heeft geen voorbevochtiger, hoewel dit volgens het MB verplicht is, en is dus niet conform de regelgeving voor emissiearme stalsystemen. De relatieve vochtigheid van de lucht die doorheen het biobed gaat zal daardoor waarschijnlijk lager zijn, wat het verwijderen van ammoniak uit de stallucht bemoeilijkt. Bacteriën kunnen namelijk niet groeien bij een te laag vochtgehalte, waardoor de ammoniakomzetting ook niet goed kan plaatsvinden. Verder moet het ammoniak eerst oplossen in water voordat bacteriën het kunnen omzetten in nitriet en nitraat (van Asseldonk en Voermans, 1989). Bovendien is de dikte van dit biobed onregelmatig (variërend tussen 30 en 50 cm) en zijn er op sommige plaatsen gaten te zien in het biobed. Lucht kiest de weg van de minste weerstand en zal dus preferentieel door de dunnere delen gaan. Hierdoor zal de luchtverplaatsing in deze delen van het biobed hoger zijn, waardoor deze delen eerder uitdrogen. Een te laag vochtgehalte in het biobed kan op zijn beurt deze kanaalvorming weer in de hand werken door een vermindering van de drukval in deze gebieden (Melse en Hol, 2017). Vooral in de zomer is er een redelijk grote variatie in het vochtgehalte van het wortelhout, zowel aan de oppervlakte als op 30-50 cm diepte (Tabel 7).

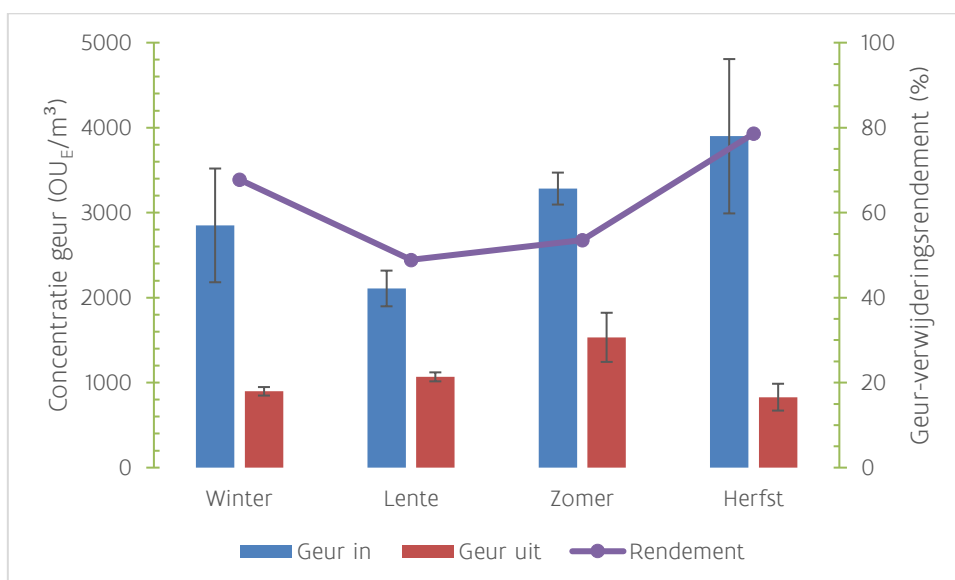
De wintermeting bij Biobed A vond plaats in een zeer natte periode, waardoor het biobed waarschijnlijk voldoende vochtig was (vochtgehalte wortelhout top laag: 74%) en het  $\text{NH}_3$ -verwijderingsrendement bijgevolg voldoende hoog was (80%). Of het biobed in de diepte ook voldoende vochtig was is niet te bepalen uit de data, aangezien er op dat moment geen wortelhoutstalen in de diepte genomen zijn.

Tijdens de lente-, zomer- en herfstmetingen viel er minder neerslag en was het bevochtigingspatroon van het biobed onregelmatig waardoor grote delen van het biobed droog waren. Metingen met gasdetectiebuisjes op verschillende plaatsen boven het biobed gaven grote verschillen in  $\text{NH}_3$ -concentraties (1-25 ppm). De lucht stroomt bij voorkeur via deze droge plekken, aangezien de weerstand hier lager is. De analyse van de wortelhoutstalen toont ook dat het wortelhout op 30-50 cm diepte steeds minder vocht bevat dan het wortelhout aan de oppervlakte. Het ontbreken van een voorbevochtiger kan hier een verklaring voor zijn. Het relatieve vochtgehalte van de stallucht die het biobed betreedt is lager, waardoor het wortelhout in de onderste lagen vlugger uitdroogt. Dit kan een nadelige invloed hebben op de prestaties van het biobed. Een slechte waterhuishouding wordt gezien als de hoofdreden voor problemen in het functioneren van biobedden (Akdeniz et al, 2016 volgens Melse en Hol, 2017). Al deze factoren samen kunnen verklaren waarom het verwijderingsrendement van Biobed A vanaf de lente laag is. In de zomer was er sprake van een negatief rendement, wat op een 'productie' van  $\text{NH}_3$  kan wijzen. Deze 'productie' kan te wijten zijn aan de meetonzekerheid op de methode (meetonzekerheid ingaande concentratie: 15%; meetonzekerheid uitgaande concentratie: 20%, bepaald volgens VITO compendium LUC/VII/001) of door stripping, waarbij reeds opgenomen ammoniak door het biobed deels terug vrij komt in de lucht.

Biobed A haalt over het algemeen lagere verwijderingsrendementen voor geur dan de andere biobedden. Zowel het ontbreken van een voorbevochtiger, als de ongelijke dikte en het onregelmatige vulpatroon van het biobed met wortelhout kunnen hier een invloed op hebben. In de lente en de zomer was er een duidelijke varkensgeur aanwezig; in de herfst was deze ook aanwezig, maar minder duidelijk. Deze bevindingen komen overeen met die van de olfactometrie, waar ook in de herfst een duidelijk stijging van het geurverwijderingsrendement op te merken was.



Figuur 8: Gemeten concentraties NH<sub>3</sub> van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Biobed A over de verschillende seizoenen.

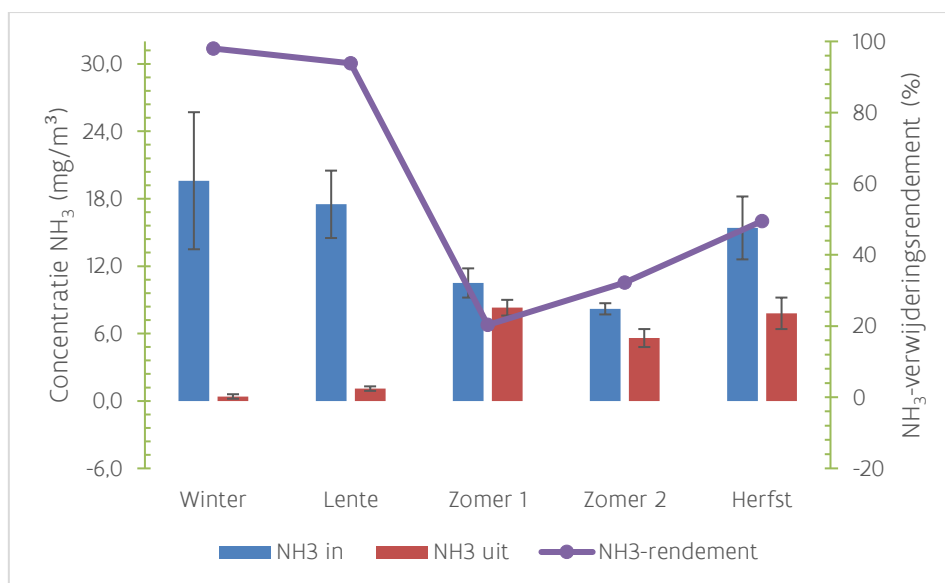


Figuur 9: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Biobed A over de verschillende seizoenen.

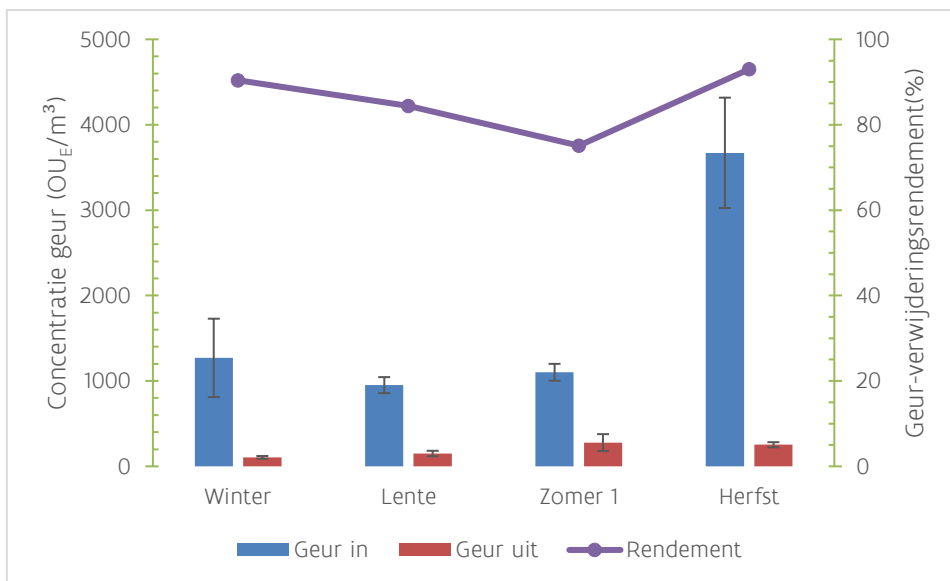
## 4.2 Biobed B

De NH<sub>3</sub>- en geurverwijderingsrendementen van Biobed B waren erg hoog in de winter (NH<sub>3</sub>: >98%; geur: 90%) en de lente (NH<sub>3</sub>: 94%; geur: 84%) (Figuur 10 en 11). Enkele dagen voor de zomer-meting (zomer 1) is het biobed opgeschud geweest. Hierdoor kan het zijn dat het biobed te luchtig is geworden (drukval op moment van de metingen in zomer 1 was onder de detectielimiet (<1 Pa)) en er gaten in het wortelhout zijn ontstaan. Aangezien lucht steeds de weg van de minste weerstand kiest, is het mogelijk dat de lucht voornamelijk door deze preferentiële kanalen gaat en daardoor de verblijftijd mogelijk (te) kort was, wat kan leiden tot lagere prestaties. De grotere luchtstroom door kanalen in het biobed kan er ook voor zorgen dat het wortelhout in deze delen vlugger uitdroogt, wat eveneens nadelig is voor de ammoniakverwijdering (Melse en Hol, 2017). De grote

variatie in vochtgehalte van het wortelhout (zowel aan de oppervlakte als op 30-50cm diepte) kan hier op wijzen. In de lente was er ook veel variatie in het vochtgehalte van het wortelhout aan de oppervlakte. Desondanks was het  $\text{NH}_3$ -verwijderingsrendement in de lente zeer hoog. Aangezien er op dat moment geen stalen op 30-50cm diepte zijn genomen, kan er niet gecontroleerd worden of dit in de diepte ook het geval was, of de grote variatie enkel in de toplaag merkbaar was. Een andere mogelijke verklaring voor de daling in het  $\text{NH}_3$ -verwijderingsrendement is stripping, waarbij ammoniak dat reeds opgenomen is in de water fase deels opnieuw vrij komt in de lucht. In de zomer is er ook een kleine daling in het geurverwijderingsrendement (nl. naar 75%) merkbaar, maar deze daling is niet zo uitgesproken als voor ammoniak. De geurmetingen hebben 2 dagen na opschudden plaatsgevonden, waaruit blijkt dat het opschudden weinig invloed heeft gehad op de geurverwijderingscapaciteit van het biobed. Ongeveer 1 maand na de eerste zomermeting werd het ammoniakverwijderingsrendement opnieuw bepaald (zomer 2). Er werd verwacht dat het biobed zich ondertussen hersteld zou hebben na het opschudden. Dit was echter niet het geval en het  $\text{NH}_3$ -verwijderingsrendement was nog steeds laag (32%). De drukval over het biobed was nog altijd zeer laag (<1 Pa). Ook in de herfst (50%) voldeed het biobed niet aan het wettelijk vereiste rendement van  $70 \pm 5\%$ . Hoewel een stijging in rendement waarneembaar was, lijkt het weinig waarschijnlijk dat het opschudden na meer dan 3 maanden nog altijd een dergelijk groot effect heeft op het  $\text{NH}_3$ -verwijderingsrendement. Uit de data kan er geen verklaring worden gevonden voor deze verminderde prestaties. In de herfst is het geurverwijderingsrendement, in tegenstelling tot het verwijderingsrendement van  $\text{NH}_3$ , erg hoog (93%). Het hoge verwijderingsrendement in de herfst blijkt ook uit de afwezigheid van varkensgeur aan het biobed, terwijl dit in de zomer nog licht aanwezig was.



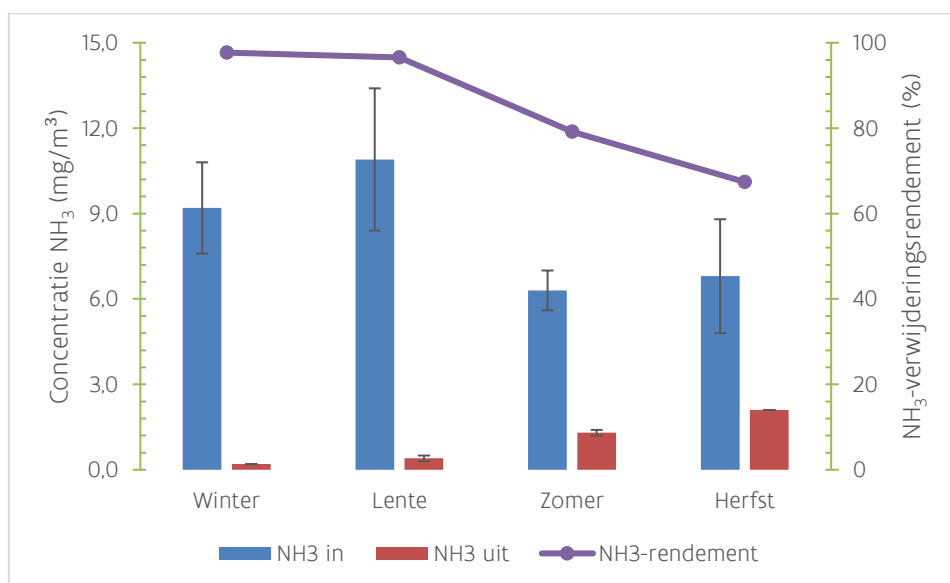
**Figuur 10: Gemeten  $\text{NH}_3$ -concentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Biobed B over de verschillende seizoenen.**



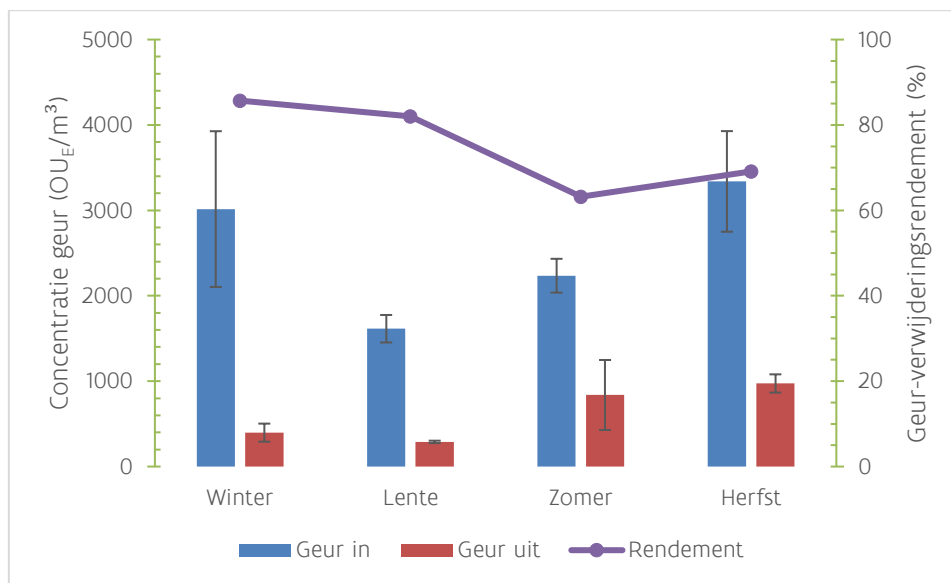
Figuur 11: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Biobed B over de verschillende seizoenen.

### 4.3 Biobed C

Figuur 12 en 13 geven een overzicht van de resultaten voor NH<sub>3</sub> en geur weer voor Biobed C. Biobed C behaalde in de winter en de lente hoge verwijderingsrendementen voor NH<sub>3</sub> (>97%) en geur (>80%). Vanaf de zomer is er een vermindering in prestaties opgetreden tot een verwijderingsrendement van 79% voor NH<sub>3</sub> en 63% voor geur. Verklaring hiervoor kan gevonden worden in het feit dat vlak voor de zomermetingen de pomp van de voorbevochtiger kapot is gegaan en de voorbevochtiger dus niet werkte. In de herfst was de pomp nog niet vervangen, waardoor de verminderde prestaties aanbleven (verwijderingsrendement voor NH<sub>3</sub> 67% en voor geur 69%). Tijdens de zomer en de herfst was ook een varkensgeur aanwezig. In de winter en de lente is dit echter niet genoteerd, waardoor het niet mogelijk is een vergelijking te maken. Ondanks het uitvallen van de voorbevochtiger bij Biobed C blijft het vochtgehalte van het wortelhout in de diepere laag >70%.



Figuur 12: Gemeten NH<sub>3</sub>-concentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Biobed C over de verschillende seizoenen.



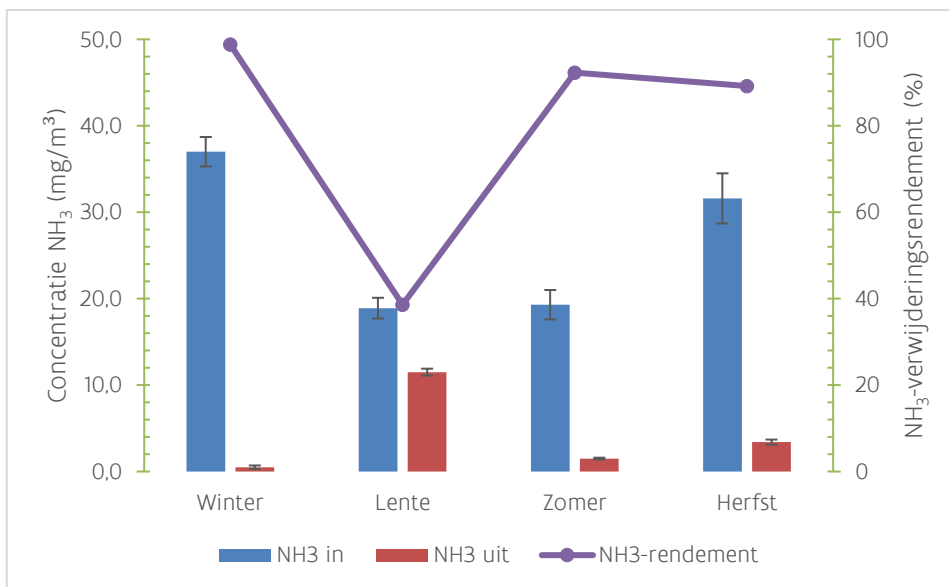
Figuur 13: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Biobed C over de verschillende seizoenen.

#### 4.4 Biologische luchtwasser A1

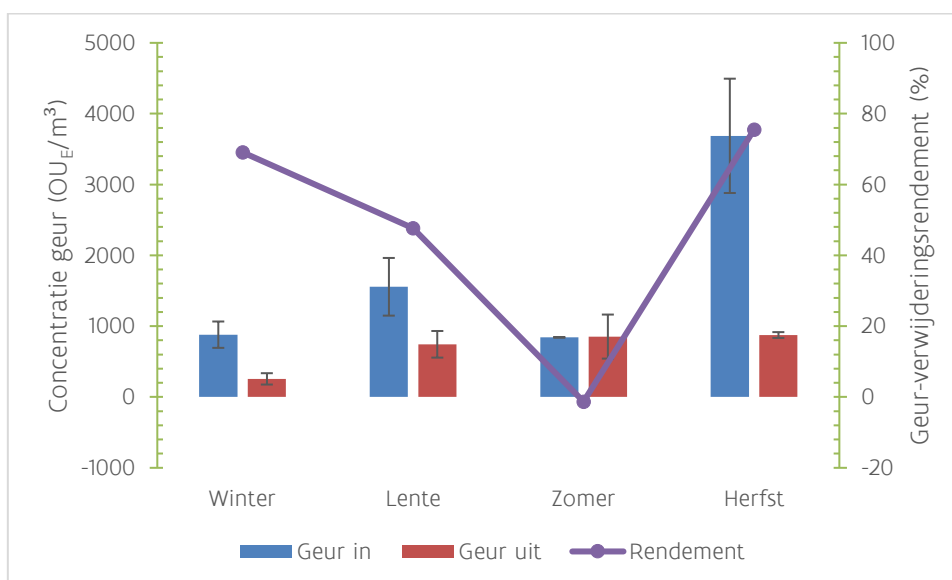
Het NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement van Bio LW A1 was over het algemeen goed (>89%) (Figuur 14). In de lente was het NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement van de luchtwasser echter een heel stuk minder (39%). De oorzaak hiervan was een ongelijk sproeibeeld in het waspakket door verstopte sproeiers. Delen van het pakket stonden droog, wat nadelig is voor de ammoniakverwijdering aangezien lucht via de droge delen kan ontsnappen en zo niet in contact komt met het waswater. Dit probleem is bij controle, de dag voor de ammoniakmetingen, opgemerkt. Diezelfde dag zijn de sproeikoppen gereinigd. Hoelang dit probleem zich al voor deed is niet gekend. Het geurverwijderingsrendement vertoonde ook een daling in de lente (Figuur 15), al was deze daling niet zo uitgesproken als bij NH<sub>3</sub>. De geurmetingen vonden 1 week na de ammoniakmetingen plaats, waardoor de waswater meer tijd had om zich te herstellen.

In de zomer was de luchtwasser goed hersteld en werd opnieuw een hoog NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement (92%) behaald. Het geurverwijderingsrendement was echter zeer laag in de zomer. De licht negatieve waarde hoeft niet noodzakelijk te betekenen dat er geur gevormd wordt in de luchtwasser, maar kan ook komen door de relatief grote meetonzekerheid van de methode. Bij alle metingen was het verschil tussen ingaande en uitgaande lucht moeilijk waar te nemen. Ondanks het lage geurverwijderingsrendement was geen varkensgeur waar te nemen aan de luchtwasser. Tijdens de herfst was er opnieuw een hoog verwijderingsrendement voor NH<sub>3</sub> (89%) en geur (76%).

Als de analyse van de verschillende componenten in het waswater (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) bekeken wordt, zou er ongeveer 50% NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aanwezig moeten zijn bij een biologische waswater (Van der Heyden, 2017). Dit is steeds het geval bij Bio LW A1. Idealiter zou er zoveel mogelijk nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) gevormd moeten worden en zo weinig mogelijk nitriet (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Dit is echter omgekeerd in het waswater van Bio LW A1, waar het percentage NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ongeveer 50% is en er nauwelijks NO<sub>3</sub><sup>-</sup> gevormd wordt. Dit is op zich niet echt nadelig, maar duidt erop dat de bacteriën (vooral de Nitriet Oxiderende Bacteriën) gehinhibeerd zijn (Van der Heyden, 2017). De pH van het waswater is bij voorkeur tussen 6,5 en 7,5 (Ottosen et al., 2011). Dit was steeds het geval voor Bio LW A1.



Figuur 14: Gemeten concentraties NH<sub>3</sub> van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Bio LW A1 over de verschillende seizoenen.



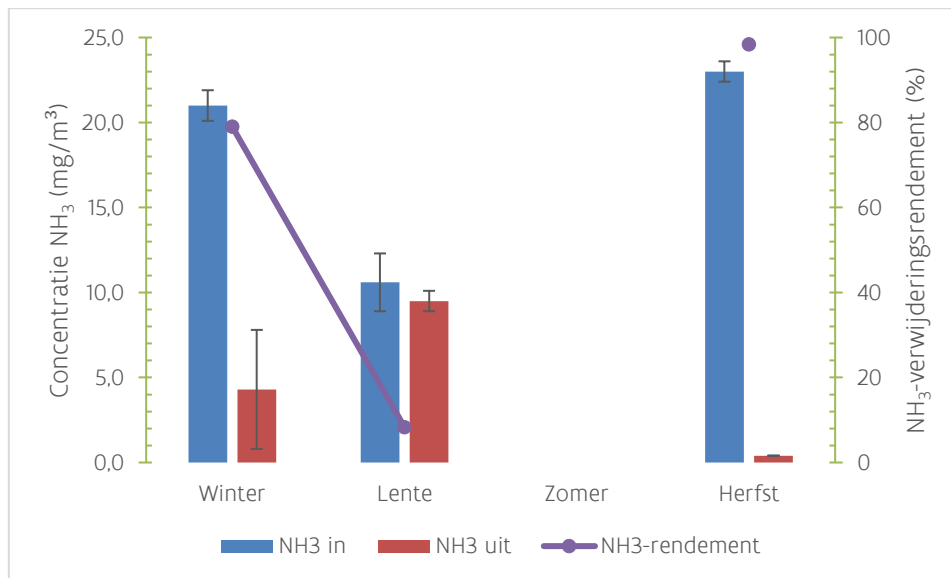
Figuur 15: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Bio LW A1 over de verschillende seizoenen.

#### 4.5 Biologische luchtwasser A2

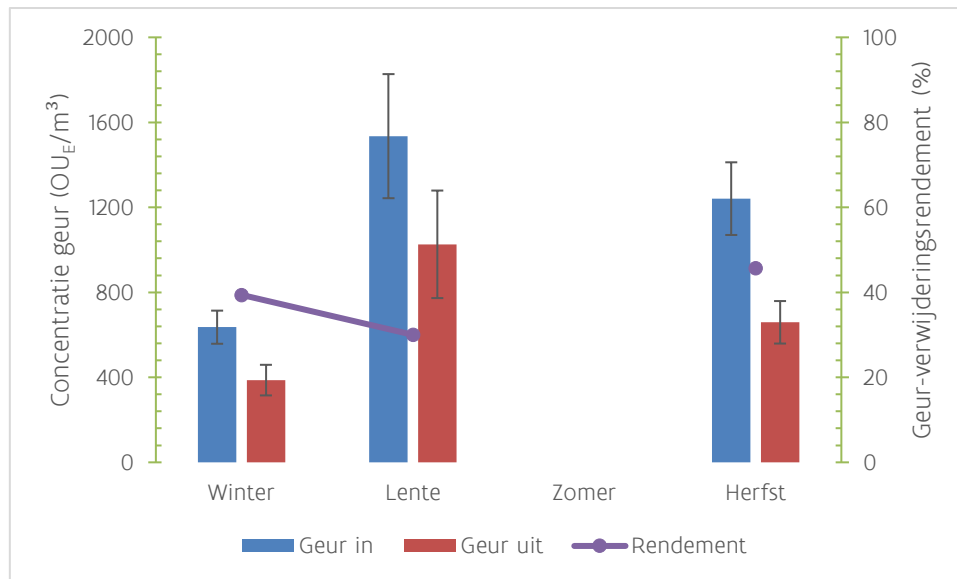
Figuren 16 en 17 geven een overzicht van de NH<sub>3</sub>- en geurmetingen op Bio LW A2.

Bio LW A2 had een hoog NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement in de winter (79%). In de lente was er een aanzienlijke daling in het verwijderingsrendement. De metingen waren eerst gepland op 30/05/2017. Indicatieve metingen met gasdetectiebuisje gaven toen aan dat de luchtwasser niet naar behoren werkte (NH<sub>3</sub>-concentratie aan de inlaat en uitlaat: 20 respectievelijk 16 ppm). Bij controle van de installatie bleek dat de leidingen van de waswatertoevoer niet goed waren aangesloten, waardoor de waswatertoevoer onvoldoende was en er droge plekken in het pakket ontstonden. Er werd besloten de metingen een paar weken uit te stellen zodat het probleem verholpen kon worden. Ondanks dat de luchtwasser zo de tijd kreeg zich te herstellen, bleek dit onvoldoende om de prestaties te verbeteren en bleef het NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement erg laag

(8% op 21/06/2017). Ook het geurverwijderingsrendement was in de lente iets lager (30%). Dit had vooral te maken met 1 meting waarin er weinig verschil tussen ingaande en uitgaande lucht was. In de zomerperiode heeft de luchtwasser door een storing 2 dagen continu gespuid. Hierdoor is de wasser volledig droog komen te staan. Na alarm is dit opgemerkt en hersteld. Bij het terug opvullen van de wasser bleek dat de regenwaterput leeg was. De landbouwer heeft dit aangevuld met putwater, om zo de wasser weer op te vullen. Tijdens de zomermetingen gaven de indicatieve metingen met gasdetectiebuisjes aan dat de wasser amper  $\text{NH}_3$  verwijderde ( $\text{NH}_3$ -concentratie aan de inlaat en uitlaat: 20 respectievelijk 19 ppm). Bij navraag naar de herkomst van het putwater bleek dat dit water behandeld was met 2 verschillende producten: 1 product bestaande uit een chloordioxide-oplossing en 1 product op basis van waterstofperoxide. Deze 2 ontsmettende producten hebben er hoogstwaarschijnlijk voor gezorgd dat de microbiologie in de luchtwasser kapot is gegaan. Dit kan verklaren waarom de wasser niet naar behoren werkte. Er is besloten geen metingen uit te voeren aangezien deze niet representatief zouden zijn. Er was op dat moment ook een zeer sterke varkensgeur op te merken aan de wasser. De landbouwer heeft de wasser opnieuw laten leeglopen en nadien opgevuld met regenwater. In de herfst bleek de wasser volledig hersteld te zijn en werd een zeer hoog  $\text{NH}_3$ -verwijderingsrendement (>98%) behaald. Ook het geurverwijderingsrendement was goed (46%) en er was geen varkensgeur waarneembaar. Analyse van het waswater toonde hetzelfde als voor Bio LW A1:  $\pm 50\% \text{NH}_4^+$ ,  $\pm 50\% \text{NO}_2^-$  en nauwelijks  $\text{NO}_3^-$ . Ook bij Bio LW A2 lag de pH van het waswater steeds in het gewenste bereik.



**Figuur 16: Gemeten concentraties  $\text{NH}_3$  van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Bio LW A2 over de verschillende seizoenen.**



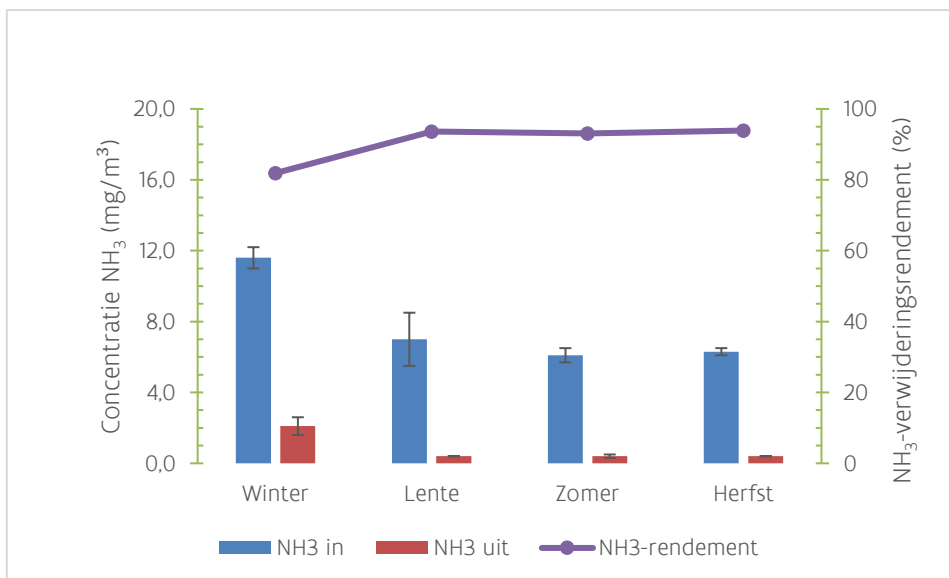
Figuur 17: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Bio LW A2 over de verschillende seizoenen.

#### 4.6 Biologische luchtwasser B

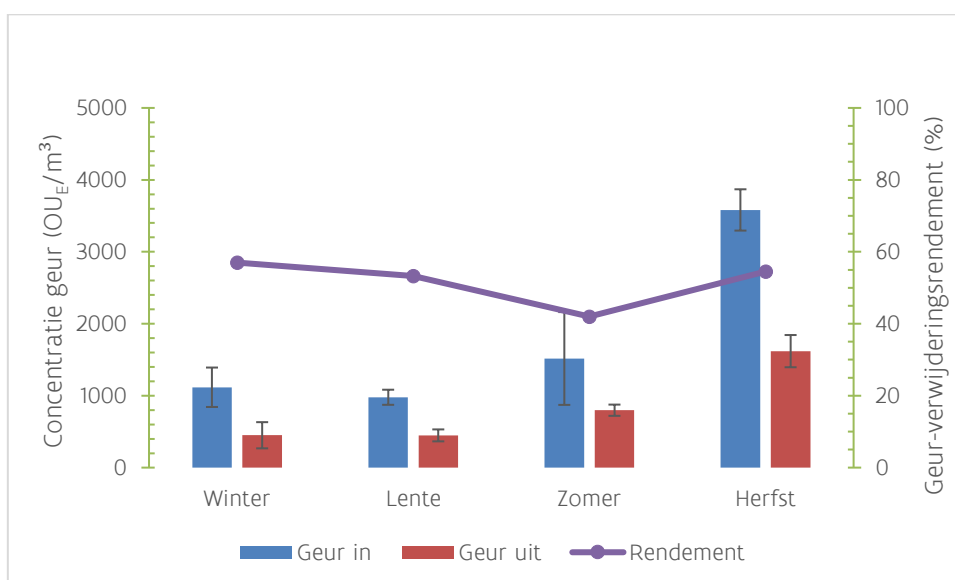
Bio LW B is over het jaar heen zeer stabiel gebleven voor zowel het NH<sub>3</sub>- als het geurverwijderingsrendement (Figuur 18 en 19). Deze luchtwasser wordt dan ook intensief opgevolgd voor onderzoeksdoeleinden. De luchtwasser behaalde steeds hoge NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendementen (82 tot >94%). Het behaalde geurverwijderingsrendement schommelde rond 50%. Hoewel in de lente nog varkensgeur aanwezig was, was deze niet meer op te merken in de herfst.

De pH van het waswater van de verschillende trappen was op sommige momenten lager dan de aangeraden 6,5-7,5 (Ottosen et al., 2011). Vooral het waswater van de laatste trap (geursectie) is aan het verzuren vanaf de lente. De reden van de verzuring is niet gekend. Verzuring van het waswater zou wel nadelig kunnen zijn voor de afvoer van het spuiwater, maar in dit geval vormt het geen probleem. De wasser is zo opgebouwd dat vers water aan de wasser wordt toegevoegd in de derde trap. Vervolgens gaat het waswater van trap 3 (geursectie) naar trap 2 (biosectie) en nadien naar trap 1 (stofsectie), waarna het wordt afgevoerd als spuiwater. Uit de gegevens blijkt dat de pH van het waswater in trap 1 (stofsectie) steeds tussen de 6,5 en 7,5 lag. Als de analyse van de verschillende componenten in het waswater (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) bekeken wordt, zou er ongeveer 50% NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aanwezig moeten zijn bij een biologische wasser (Van der Heyden, 2017). Dit is meestal het geval, behalve in de geursectie in de herfst. Idealiter zou er zoveel mogelijk nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) gevormd moeten worden en zo weinig mogelijk nitriet (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Dit is het geval bij Bio LW B in de lente en de zomer. In de winter en herfst is de situatie omgekeerd. Dit is op zich niet echt nadelig, maar duidt erop dat de bacteriën (vooral de Nitriet Oxiderende Bacteriën) geïnhibeerd zijn (Van der Heyden, 2017).





Figuur 18: Gemeten concentraties NH<sub>3</sub> van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Bio LW B over de verschillende seizoenen.



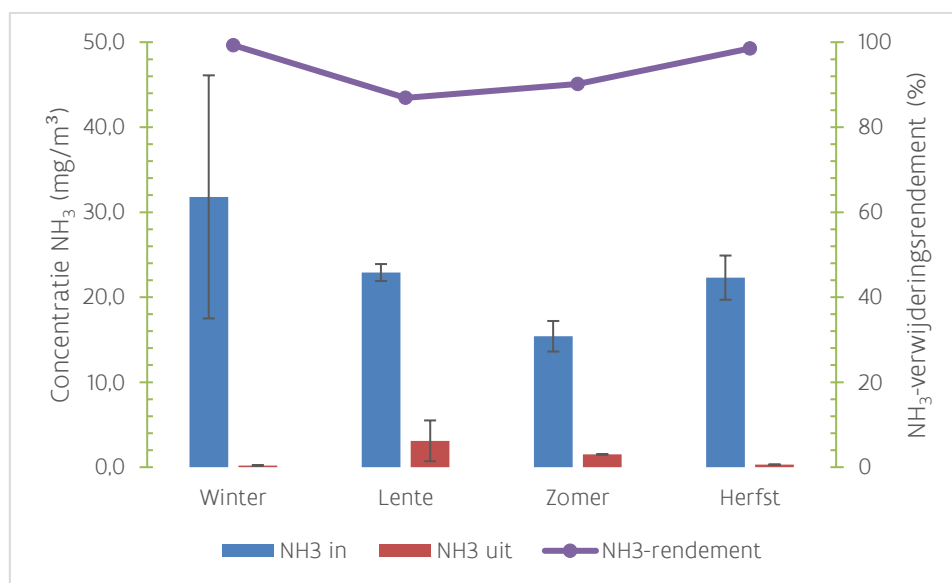
Figuur 19: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Bio LW B over de verschillende seizoenen.

## 4.7 Chemische luchtwasser A

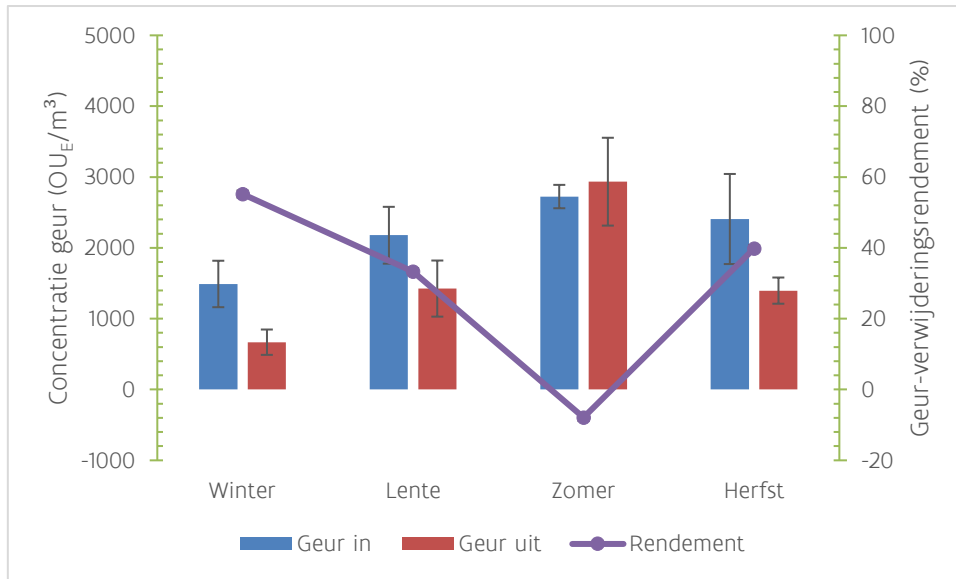
Chem LW A behaalde steeds hoge NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendementen ( $\geq 87\%$ ), zoals zichtbaar in Figuur 20. Enkel in de lente was het rendement iets lager dan in de andere seizoenen, vooral tijdens de eerste meting. Bij aankomst aan de wasser werd een sterke varkensgeur waargenomen, wat normaal niet het geval is. Ook de indicatieve metingen met gasdetectiebuisjes gaven aan dat de wasser niet voldoende werkte (NH<sub>3</sub>-concentratie aan de uitlaat: tot 30 ppm). Na controle door de landbouwer bleek dat de aanzuigdarm van het zuur naar de wasser niet diep genoeg in het zuurvat zat, waardoor er geen zuur werd aangezogen. De pH van de wasser was ook veel te hoog (7,8). Nadat de aansluiting van de darm hersteld was, zakte de pH geleidelijk. Na 30 minuten was de pH opnieuw normaal ( $\leq 4$ ) en werden de metingen gestart. Na analyse en verwerking van de resultaten bleek echter dat de wasser na 30 min. toch nog niet volledig hersteld was, ondanks de lage pH.

Het rendement op de eerste meting was slechts 76%. Tijdens de 2 metingen daarna steeg het rendement geleidelijk tot 96% bij meting 3. Gemiddeld gezien heeft de wasser een goed verwijderingsrendement (87%) maar dit had waarschijnlijk nog hoger geweest indien er langer dan 30 min. gewacht was. Dit toont wel aan dat een chemische wasser na storingen vlug herstelt. De gecombineerde chemische luchtwasser behaalde lagere rendementen voor geurverwijdering dan de gecombineerde biologische wassers (Figuur 21). Dit zou o.a. te maken kunnen hebben met de zure geur die een chemische wasser afgeeft. Deze geur draagt ook bij tot de geurconcentratie tijdens olfactometrie, wat kan leiden tot hogere geurconcentraties in de uitgaande lucht. In de zomer was er een licht negatief verwijderingsrendement (-8%). De reden hiervoor is niet volledig duidelijk. Het kan zijn dat de luchtwasser een duidelijke zure geur produceert die tijdens de olfactometrie opgemerkt is geweest door het panel. Natuurlijk kan de (relatief grote) meetonzekerheid van olfactometrie ook zorgen voor een (licht) negatief rendement. Er was steeds een lichte, maar geen duidelijke, varkensgeur aanwezig. Dit kan er op duiden dat de wasser varkensgeur reduceert, maar dat de capaciteit om geur te verwijderen beperkt is, zelfs na de plaatsing van de wand gevuld met wortelhout.

Het waswater van de Chem LW A zou volgens de technische fiche van de fabrikant steeds een pH moeten hebben tussen 3 en 5. Dit is steeds het geval. In chemische wassers wordt geen nitraat of nitriet gevormd. Het ammoniak uit de stallucht wordt als ammoniumsulfaat opgenomen in het waswater. Dit blijkt ook uit de hoge percentages  $\text{NH}_4^+$  in het waswater van Chem LW A. Uit de analyses blijkt dat er toch een kleine hoeveelheid nitriet/nitraat in het waswater zit. Hier kan momenteel geen verklaring voor worden gevonden in de literatuur.



Figuur 20: Gemeten concentraties  $\text{NH}_3$  van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Chem LW A over de verschillende seizoenen.



Figuur 21: Gemeten geurconcentraties van in- en uitgaande lucht en het behaalde verwijderingsrendement voor Chem LW A over de verschillende seizoenen.

## 5 Conclusie

### 5.1 Ammoniak

Tabel 8 en Figuren 22 t/m 24 geven een samenvatting van de behaalde NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendementen. Tevens is de wettelijke norm volgens het MB (70%) aangegeven.

Zowel bij de biobedden, de combi biologische luchtwassers en de gecombineerde chemische luchtwasser blijkt het mogelijk te zijn om een verwijderingsrendement van >70% te behalen. Indien enkel gekeken wordt naar de metingen waar er geen storingen in het luchtbehandelingssysteem waren (zie Tabel 8 of metingen aangeduid met \* in Figuur 22 t/m 24) blijkt dat een verwijderingsrendement van zelfs 80% zeker haalbaar is.

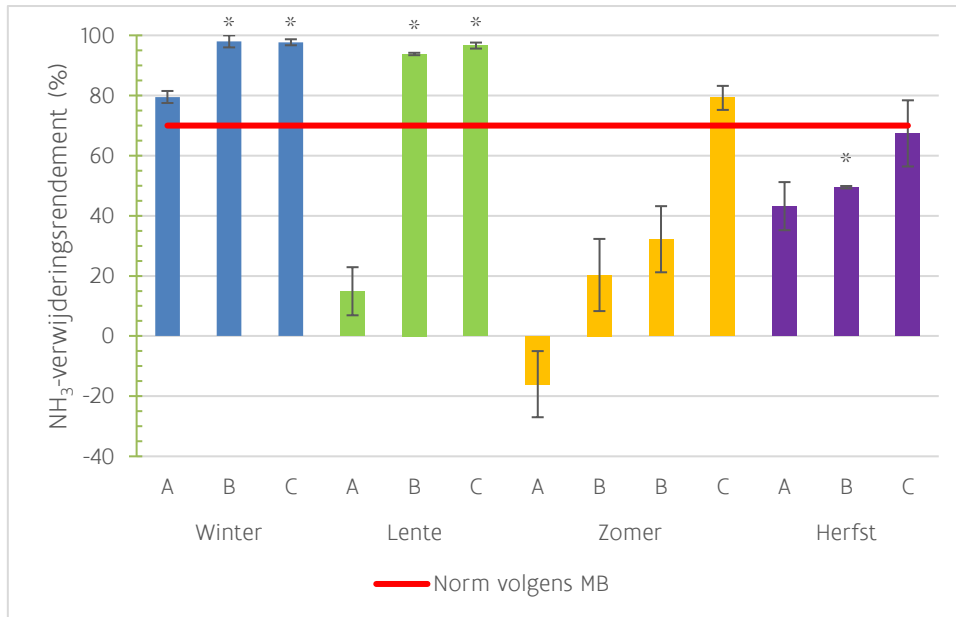
Voor biobedden blijkt een voorbevochtiger belangrijk voor het behalen van een hoge NH<sub>3</sub>-verwijdering. Biobed A, een systeem zonder voorbevochtiger, behaalde enkel in de winter het voorgeschreven rendement van 70%. Ook de prestaties van Biobed C verminderden aanzienlijk vanaf het moment dat de voorbevochtiger niet meer werkte. Een homogene bevochtiging van het biobed, zowel aan de oppervlakte als in de diepere lagen, is eveneens belangrijk (van Asseldonk en Voermans, 1989).

De chemische wasser behaalde steeds erg hoge rendementen. Na problemen herstelde de wasser zich vlug (<1 uur). Dit in tegenstelling tot een biologische wasser, waar de microbiologie in de wasser meer tijd nodig had om zich te herstellen.

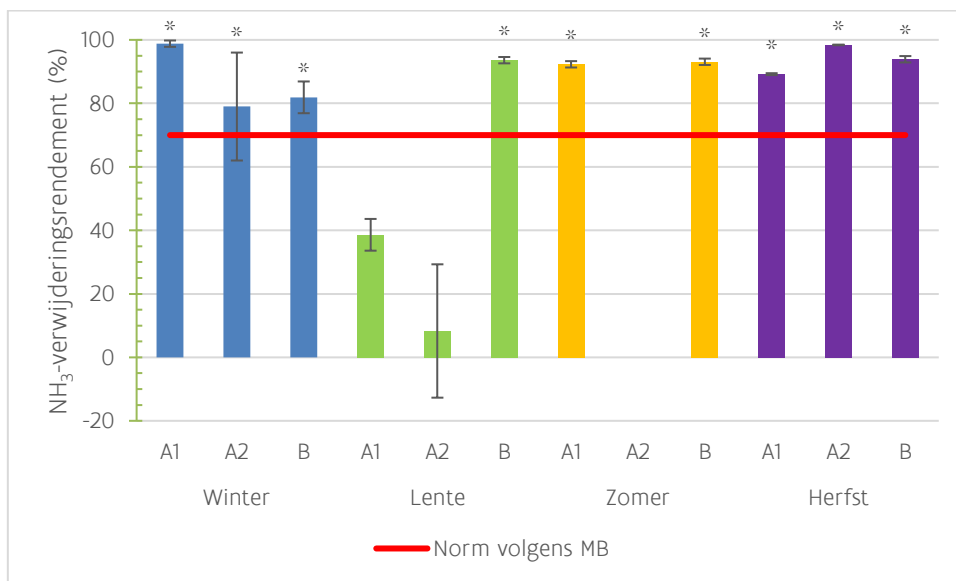
Tijdens deze meetcampagne is gebleken dat alle installaties, zowel biobedden als luchtwassers, gevoelig zijn voor het optreden van allerlei storingen. Bij slechts 60% van de meetdagen voor NH<sub>3</sub> waren er geen storingen in het systeem. Een nauwkeurige opvolging van het luchtbehandelingssysteem is dus noodzakelijk om een goede werking van het systeem te behouden.

**Tabel 8: Minimum, maximum en gemiddeld NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement over het hele jaar, voor zowel alle metingen als enkel voor metingen zonder storingen aan het luchtbehandelingssysteem.**

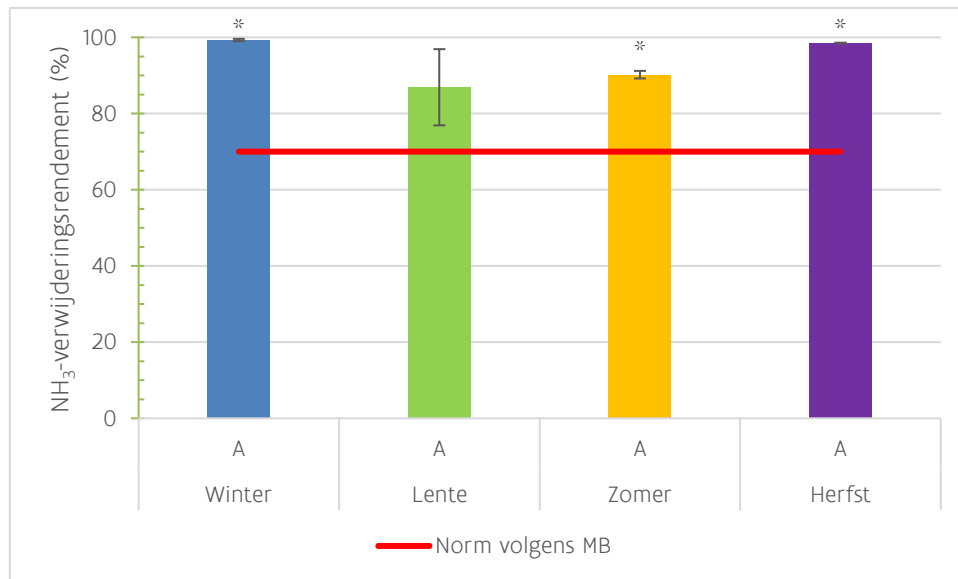
Locatie	NH <sub>3</sub> -verwijderingsrendement minimum (%)	NH <sub>3</sub> -verwijderingsrendement maximum (%)	NH <sub>3</sub> -verwijderingsrendement gemiddelde ± SD (%) (alle metingen)	NH <sub>3</sub> -verwijderingsrendement gemiddelde ± SD (%) (metingen zonder storingen)
Biobed A	-16	80	30 ± 41	-
Biobed B	20	>98	59 ± 35	80 ± 27
Biobed C	67	>98	85 ± 15	97 ± 1
Bio LW A1	39	>99	80 ± 28	93 ± 5
Bio LW A2	8	>98	62 ± 47	89 ± 14
Bio LW B	82	>94	91 ± 6	91 ± 6
Chem LW A	87	>99	94 ± 6	96 ± 5



Figuur 22: Gemiddeld NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement van de biobedden (\* = meting zonder storing aan luchtbehandelingsysteem).



Figuur 23: Gemiddeld NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement van de gecombineerde biologische luchtwassers (\* = meting zonder storing aan luchtbehandelingsysteem).



Figuur 24: Gemiddeld NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendement van de gecombineerde chemische luchtwasser (\* = meting zonder storing aan luchtbehandelingsysteem).

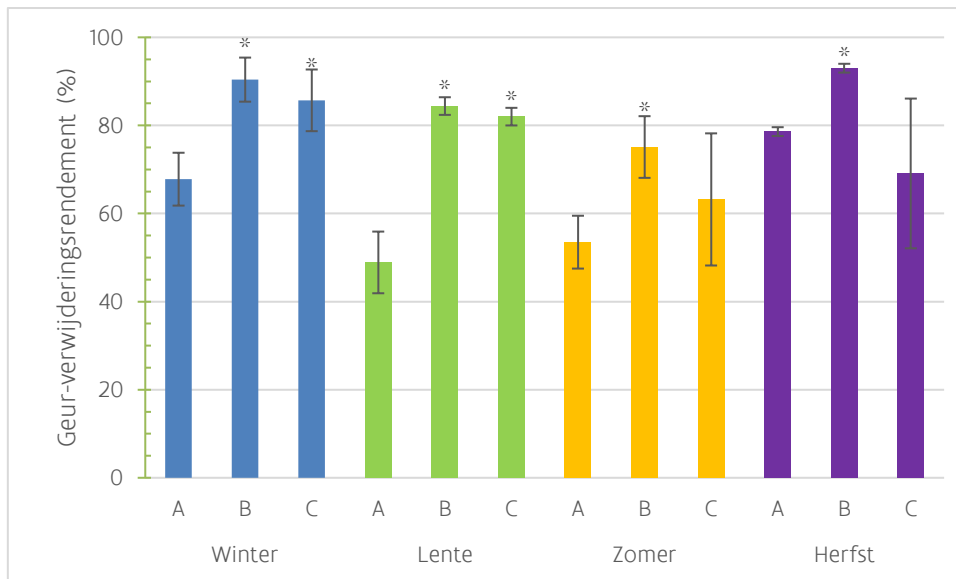
## 5.2 Geur

Voor biobedden zijn er momenteel geen emissiereducties vastgelegd in het MER Richtlijnenboek Landbouwdieren. In de praktijk wordt er vaak een geurverwijdering van 95% geclaimd. Uit de metingen van deze meetcampagne blijkt dat dit niet wordt gehaald. Alle metingen waarbij er geen storingen waren behaalden wel steeds een rendement van >70% (Tabel 9 en Figuur 25).

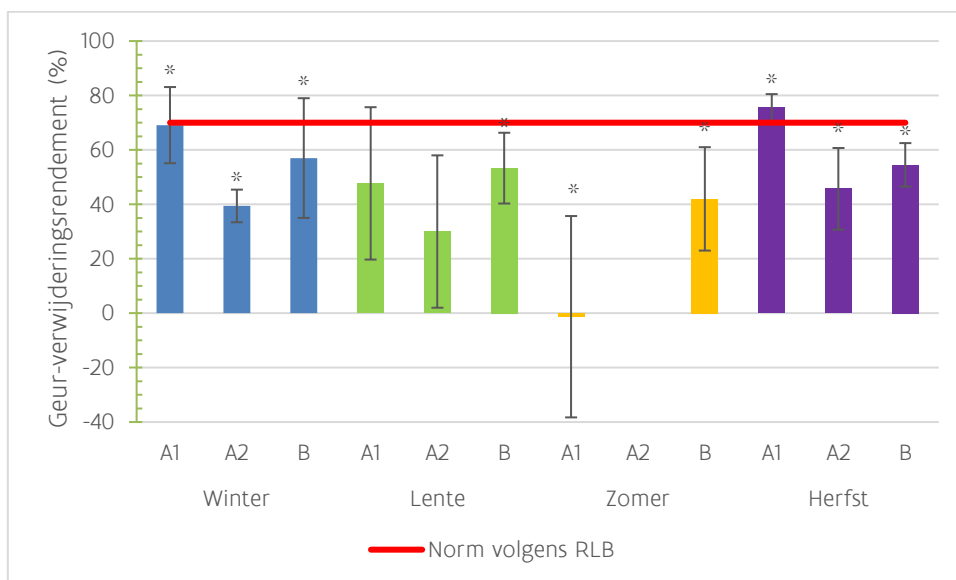
Volgens het MER Richtlijnenboek Landbouwdieren moeten gecombineerde luchtwassers een geurverwijderingsrendement van  $\geq 70\%$  halen. Dit geldt zowel voor gecombineerde biologische als gecombineerde chemische luchtwassers. Uit deze metingen blijkt echter dat dit slechts sporadisch gehaald wordt (Tabel 9 en Figuur 26 en 27). Een gewone biologische luchtwasser moet een emissiereductie voor geur van 40% halen, een gewone chemisch luchtwasser van 30%. Deze reducties werden wel bereikt indien er geen storingen in het systeem voorkwamen.

Tabel 9: Minimum, maximum en gemiddeld geurverwijderingsrendement over het hele jaar, voor zowel alle metingen als enkel metingen zonder storingen aan het luchtbehandelingsysteem.

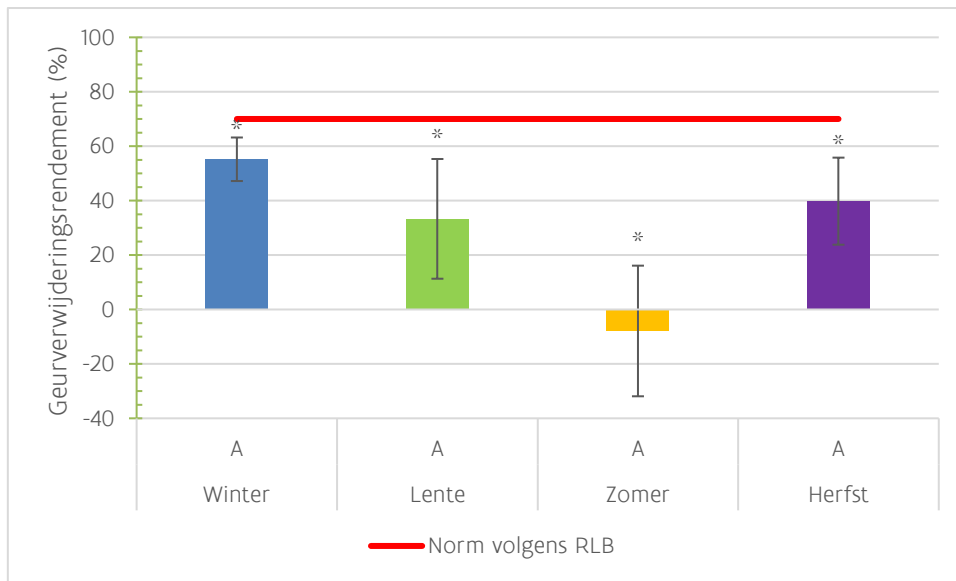
Locatie	Geurverwijderingsrendement minimum (%)	Geurverwijderingsrendement maximum (%)	Geurverwijderingsrendement gemiddelde $\pm$ SD (%) (alle metingen)	Geurverwijderingsrendement gemiddelde $\pm$ SD (%) (metingen zonder storingen)
Biobed A	49	79	62 $\pm$ 14	-
Biobed B	75	93	86 $\pm$ 8	86 $\pm$ 8
Biobed C	63	86	75 $\pm$ 11	84 $\pm$ 3
Bio LW A1	-1	76	48 $\pm$ 35	48 $\pm$ 43
Bio LW A2	30	46	38 $\pm$ 8	43 $\pm$ 4
Bio LW B	42	57	52 $\pm$ 7	52 $\pm$ 7
Chem LW A	-8	55	30 $\pm$ 27	30 $\pm$ 27



Figuur 25: Gemiddeld geurverwijderingsrendement van de biobedden (\* = meting zonder storing aan luchtbehandelingsysteem).



Figuur 26: Gemiddeld geurverwijderingsrendement van de gecombineerde biologische luchtwassers (\* = meting zonder storing aan luchtbehandelingsysteem).



Figuur 27: Gemiddeld geurverwijderingsrendement van de gecombineerde chemische luchtwasser (\* = meting zonder storing aan luchtbehandelingsysteem).



## 6 Referenties

Klimaatplatform Varkenshouderij (2014). Richtlijnen klimaatinstellingen.

Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van lucht (LUC), methode LUC/VII/001 (2014). NH<sub>3</sub> rendementsbepaling van luchtwassers bij stalsystemen. [https://esites.vito.be/sites/reflabos/2015/online%20documenten/LUC\\_VII\\_001.pdf](https://esites.vito.be/sites/reflabos/2015/online%20documenten/LUC_VII_001.pdf)

Ministerieel Besluit van 19 maart 2004 houdende vaststelling van de lijst van ammoniakemissiearme stalsystemen in uitvoering van artikel 1.1.2 en artikel 5.9.2.1bis van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne.

Ministerieel Besluit van 31 mei 2011 tot wijziging van bijlage I van het Ministerieel Besluit van 19 maart 2004 houdende vaststelling van de lijst van ammoniakemissiearme stalsystemen in uitvoering van artikel 1.1.2 en artikel 5.9.2.1bis van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne.

Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water (WAC), methode WAC/III/E/021 (2012). Bepaling van het gehalte aan ammonium stikstof met behulp van doorstroomanalyse. [https://esites.vito.be/sites/reflabos/2018/Online%20documenten/WAC\\_III\\_E\\_021.pdf](https://esites.vito.be/sites/reflabos/2018/Online%20documenten/WAC_III_E_021.pdf)

EN13725 (2003). Luchtkwaliteit – Bepaling van de geurconcentratie door dynamische olfactometrie.

Van Asseldonk en Voermans (1989). Toepassing van biobedden in de varkenshouderij. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/30473>

Melse en Hol (2017). Biofiltration of exhaust air from animal houses: evaluation of removal efficiencies and practical experiences with biobeds at three field sites. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.007>

Van der Heyden (2017). Operation and characterization of air scrubbers for the emission reduction of ammonia, hydrogen sulphide and greenhouse gases from animal housing systems. Doctoraal proefschrift, Universiteit Gent.

Ottosen, Juhler, Guldborg, Feilberg, Revsbech en Nielsen (2011). Regulation of ammonia oxidation in biotrickling airfilters with high ammonium load. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.022>