



Evaluatie geurverwijdering door luchtwassersystemen bij stallen

Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk

R.W. Melse, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen

Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk

R.W. Melse
G.M. Nijeboer
N.W.M. Ogink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van het
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2018

Rapport 1082

Melse, R.W., G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, 2018. *Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen; Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1082.

Synopsis

In deze studie is middels een steekproef in Noord-Brabant en Gelderland in de praktijk op 48 varkensbedrijven het geurverwijderingsrendement van een luchtwasser bepaald. De steekproef omvatte zowel chemische, combi- als biologische wassers. Daarnaast zijn indicatieve metingen van de ammoniakverwijdering uitgevoerd en is een aantal procesparameters bepaald. Uit de studie blijkt dat de prestatieniveaus van de onderzochte chemische en biologische wassers dicht in de buurt van de Rgv- en Rav-reductieniveaus liggen, maar dat het prestatieniveau van de combi-wassers aanzienlijk lager is dan het Rgv- en Rav-reductieniveau.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/441649> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2018 Wageningen Livestock Research

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

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

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



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

Wageningen Livestock Research Rapport 1082

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Woord vooraf | 5 |
| Samenvatting | 7 |
| 1 Inleiding | 9 |
| 1.1 Aanleiding en doelstelling | 9 |
| 1.2 Aantal en type luchtwassers | 9 |
| 2 Materiaal en Methoden | 11 |
| 2.1 Selectie adressen | 11 |
| 2.2 Metingen | 11 |
| 2.3 Elektronische log-data | 12 |
| 2.4 Analyse data | 13 |
| 3 Resultaten en discussie | 14 |
| 3.1 Geur- en ammoniakverwijdering | 14 |
| 3.2 Procescondities | 16 |
| 3.3 Algemene discussie en aanbevelingen | 22 |
| Referenties | 27 |
| Bijlage 1 - Type voedersysteem | 28 |

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. In een steekproef is het verwijderingsrendement van luchtwassers op een aantal varkensbedrijven gemeten. Wij willen hierbij de Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant (ODZOB), de Omgevingsdienst Brabant Noord (ODBN) en de Omgevingsdienst de Vallei (OddV) bedanken voor hun medewerking. Daarnaast ook dank aan alle veehouders die hebben meegewerkt aan het onderzoek.

De auteurs

Samenvatting

Gedurende de afgelopen 25 jaar is het gebruik van luchtwassers binnen de Nederlandse veehouderij sterk toegenomen. Deze luchtwassers zijn opgenomen in de Regeling Geurhinder en veehouderij (Rgv) en in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) met een verwijderingsrendement voor respectievelijk geur en ammoniak. Uit eerder onderzoek bleek dat luchtwassers niet (altijd) naar behoren functioneerden en daarom heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) aan Wageningen Livestock Research (WLR) gevraagd om een steekproef uit te voeren naar de werking van luchtwassers in de praktijk. Het doel hiervan is om een representatief beeld te krijgen van het geurverwijderingsrendement van in de praktijk draaiende luchtwassers.

Het geurverwijderingsrendement is middels een steekproef in Noord-Brabant en Gelderland op 48 praktijkbedrijven met luchtwassers bepaald. De steekproef omvatte zowel chemische wassers (16 stuks), combi-wassers (29 stuks) als biologische wassers (3 stuks); in alle gevallen betrof het varkensbedrijven. De groep combi-wassers bevat types met waterwasser en biologische verwijderingsstap (bio-combi) en types met waterwasser en chemische verwijderingsstap (chemo-combi). Daarnaast zijn ter ondersteuning van de interpretatie van de geurverwijdering indicatieve metingen van de ammoniakverwijdering uitgevoerd en is een aantal procesparameters bemeaten.

Uit de studie bleek het volgende:

* De prestatieniveaus van de onderzochte chemische en biologische wassers lagen dicht in de buurt van de Rgv- en Rav-reductieniveaus en weken daar niet aantoonbaar van af. Het prestatieniveau van de in deze steekproef onderzochte combi-wassers was echter aanzienlijk lager dan het Rgv- en Rav-reductieniveau. Het overall gemiddelde geurverwijderingspercentage van de combi-wassers bedroeg met 40% slechts de helft van het verwachte gemiddelde Rgv-reductieniveau (81%). Voor ammoniakverwijdering was het verschil, met een gemiddeld gemeten percentage van 59%, wat minder groot t.o.v. het verwachte Rav-percentage (85%), wat betekent dat het verwijderingsniveau meer dan een kwart lager was dan het verwachte prestatieniveau volgens de Rav-normering. Op dit moment is niet voldoende duidelijk waarom combi-wassers minder geur en ammoniak verwijderden dan het Rgv- en Rav-reductieniveau. Onderstaand worden 3 mogelijke oorzaken besproken:

- 1) Enerzijds zouden de combi-wassers technisch slecht kunnen functioneren als gevolg van bijvoorbeeld het ontwerp van de luchtwasser, niet uitgevoerd onderhoud en onvoldoende procesbewaking en processturing. Nader onderzoek is nodig om na te gaan welke factoren hierbij het belangrijkste zijn en op welke wijze de werking van de luchtwassers beter geborgd kan worden.
- 2) Daarnaast hangt het verschil tussen de in onderzoek vastgestelde geurrendementen van combi-wassers en de reductieniveaus in de Rgv mogelijk samen met verschil in de meetmethodiek van betrokken Nederlandse en Duitse geurlaboratoria. Er bestaan aanwijzingen dat systematische verschillen tussen metingen van geurniveaus tussen verschillende geurlaboratoria kunnen leiden tot systematische verschillen in de hieruit berekende geurrendementen. Dit zou nader onderzocht kunnen worden door een aantal goed-werkende luchtwassers tegelijkertijd te bemeaten door verschillende laboratoria, uit zowel Nederland als Duitsland.
- 3) Tenslotte zouden verschillen tussen de in dit onderzoek gevonden rendementen voor combi-wassers en de emissiereducties volgens Rgv (geur) en Rav (ammoniak) kunnen samenhangen met de verschillende manier waarop in Nederland en Duitsland stalventilatiesystemen en luchtwassers worden gedimensioneerd. Om hierover duidelijkheid te scheppen zou onderzoek nodig zijn naar het effect van deze dimensioneringsverschillen.

* De elektronische registratie van procesparameters was in het algemeen succesvol. Een aantal storingen bleef echter maandenlang onopgemerkt omdat de geregistreerde data niet frequent werd gecontroleerd op afwijkingen. Voor zowel de geur- als ammoniakverwijdering bij combi-wassers leidde het voldoen aan de pH en EC normen voor het waswater niet tot betere rendementen. Mogelijk zou het uitbreiden van de procesmonitoring met een directe meting van de ammoniakconcentratie in ingaande en uitgaande lucht kunnen leiden tot een betere borging van het goed functioneren van luchtwassers. Daarnaast wordt de vraag gesteld of de huidige pH normen voor bio-combi's en biologische wassers dienen te worden aangepast.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstelling

Gedurende de afgelopen 25 jaar is het gebruik van luchtwassers binnen de Nederlandse veehouderij sterk toegenomen. Aanvankelijk betrof dat de toepassing van chemische wassers en in mindere mate biologische luchtwassers, met als doel de ammoniakemissie terug te brengen. Deze luchtwassers zijn opgenomen in de bijlage van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) met een bijbehorende emissiefactor en verwijderingsrendement voor ammoniak (IenM, 2017a). Luchtwassers worden hoofdzakelijk toegepast binnen de varkenshouderij en in mindere mate binnen de pluimveehouderij. In een later stadium werd ook de geurverwijdering door luchtwassers van belang en mede naar aanleiding daarvan is een aantal zogenaamde gecombineerde luchtwassystemen ("combi-wassers") ontwikkeld. De term "combi-wasser" betekent dat de verwijderingsrendementen voor zowel ammoniak, geur als fijn stof, minimaal 70% bedragen. Voor alle drie typen luchtwassers (chemische, biologische en combi-wassers) wordt in de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) een emissiefactor voor geur opgenomen (IenM, 2017b).

De waarden van deze geuremissiefactoren zijn gebaseerd op geurmetingen van monsters van ingaande en uitgaande lucht van luchtwassers die zijn geanalyseerd conform de geldende geurnormen NVN 2820 (voor 2003) en EN-13725 (na 2003) (NEN, 1995; CEN, 2003). Bij de geuremissiefactoren zoals die in de Rgv worden genoemd, wordt uitgegaan van een emissiereductie van (in het algemeen) 30% voor chemische wassers, 45% voor biologische wassers en 70-85% voor gecombineerde luchtwassers.

In 2016 is in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar de werking van vier in de praktijk draaiende luchtwassers. Uit dit onderzoek bleek dat deze wassers niet (altijd) naar behoren functioneerden (Melse et al., 2018). Daarom heeft het Ministerie van IenM aan Wageningen Livestock Research (WLR) gevraagd om een uitgebreidere steekproef uit te voeren naar de werking van luchtwassers in de praktijk. Het doel van het onderzoek is om een representatief beeld te krijgen van in de praktijk draaiende luchtwassers met betrekking tot het geurverwijderingsrendement.

Het geurverwijderingsrendement is middels een steekproef in Noord-Brabant en Gelderland op praktijkbedrijven bepaald. Daarnaast zijn ter ondersteuning van de interpretatie van de geurverwijdering indicatieve metingen van de ammoniakverwijdering uitgevoerd en is een aantal procesparameters bemeaten.

1.2 Aantal en type luchtwassers

Aangenomen wordt dat de meeste luchtwassers in Nederland zich bevinden in de provincies Noord-Brabant, Gelderland en Limburg. Uit de elektronische database Bestand Veehouderijbedrijven (BVB) van deze provincies blijkt dat zich op respectievelijk 1348, 686 en 438 unieke adressen in deze provincies één of meer luchtwassers bevinden.

In Tabel 1 wordt weergegeven welke typen luchtwassers dat betreft en in Tabel 2 wordt de categorie combi-wassers nader onderverdeeld naar BWL nummer en reductiepercentage qua ammoniak en geur. In Noord-Brabant en Limburg wordt 99% van de wassers op varkensstallen toegepast en daarnaast een klein aantal op pluimvee- en rundveestallen. In Gelderland wordt 96% toegepast op varkensstallen, 1% op pluimvee- en 3% op rundveestallen.

Tabel 1: Verdeling naar type luchtwasser voor drie provincies en totaal.

| Type luchtwasser | Verdeling over wassertype | | | Totaal van deze provincies |
|------------------|---------------------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | Noord-Brabant | Gelderland | Limburg | |
| chemisch | 47% | 41% | 44% | 45% |
| biologisch | 7% | 15% | 7% | 9% |
| combi | 45% | 44% | 49% | 46% |
| Totaal: | 100% | 100% | 100% | 100% |

Tabel 2: Reductieniveaus voor ammoniak (Rav) en geur (Rgv) van combi-wassers naar BWL type en het voorkomen ervan in de provincies Noord-Brabant, Gelderland en Limburg.

| BWL nummer | Omschrijving van gecombineerd luchtwassysteem | Reductie ammoniak (Rav) | Reductie geur (Rgv) | Fractie van totaal aantal combi-wassers |
|----------------------------|--|-------------------------|---------------------|---|
| BWL 2009.12 | 85% emissiereductie met watergordijn en biologische wasser | 85% | 85% | 39% |
| BWL 2007.02 en BWL 2010.02 | 85% emissiereductie met watergordijn en biologische wasser | 85% | 75% | 26% |
| BWL 2006.14 | 85% emissiereductie met chemische wasser (lamellenfilter) en waterwasser | 85% | 70% | 25% |
| BWL 2007.01 | 85% emissiereductie met waterwasser, chemische wasser en biofilter | 85% | 75% | 5% |
| BWL 2006.15 | 70% emissiereductie met waterwasser, chemische wasser en biofilter | 70% | 80% | 3% |
| BWL 2011.07 | 85 % ammoniakemissiereductie met waterwasser, biologische wasser en geurverwijderingssectie | 85% | 75% | 2% |
| BWL 2011.08 | 90 % ammoniakemissiereductie met een combinatie van een biologische en een chemische wasser en een biofilter | 90% | 75% | 0,1% |
| Totaal: | | | | 100% |

Uit Tabel 1 blijkt dat het aandeel chemische wassers en combi-wassers ongeveer gelijk is, met gemiddeld 45 en 46% van het totaal. Een veel kleiner aantal wassers (9%) betreft biologische wassers.

Uit Tabel 2 blijkt dat 90% van alle toegepaste combi-wassers 4 BWL nummers betreft (de eerste 3 regels uit de tabel). Deze 90% betreft voor het grootste deel, namelijk 65%, de combi-wasser "85% emissiereductie met watergordijn en biologische wasser" (BWL 2009.12, BWL 2007.02 en BWL 2010.02). Dit type luchtwasser wordt in de volksmond wel "bio-combi" genoemd. Voor een kleiner deel, namelijk 26%, betreft het de combi-wasser "85% emissiereductie met chemische wasser (lamellenfilter) en waterwasser" (BWL 2006.14). Dit type luchtwasser wordt in de volksmond wel "chemo-combi" genoemd

Procesmatig lijkt de "bio-combi" zeer sterk op de biowasser en lijkt de "chemo-combi" sterk op de chemische wasser.

De overige 4 BWL nummers (BWL 2007.01, BWL 2006.15, BWL 2011.07 en BWL 2011.08) worden veel minder toegepast.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Selectie adressen

Om een representatief beeld te krijgen van de werking van de luchtwassers in de praktijk, is in samenwerking met de Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant (ODZOB), de Omgevingsdienst Brabant Noord (ODBN) en de Omgevingsdienst De Vallei (OddV) een steekproef uitgevoerd onder luchtwassers in Noord-Brabant en Gelderland. De steekproeven zijn afzonderlijk opgezet voor Noord-Brabant en Gelderland. Hierbij is gebruik gemaakt van de vergunningsdossiers en adresbestanden van ODZOB en ODBN voor Noord-Brabant, en OddV voor Gelderland. De steekproef is in beide regio's volgens dezelfde hierna beschreven werkwijze uitgevoerd.

Voorafgaand aan de trekking zijn per regio de adressen verdeeld in twee groepen: Groep 1 - Chemische wassers; Groep 2 - Biologische en gecombineerde luchtwassers. In beide groepen is een aselechte trekking uitgevoerd, resulterend in twee trekkingslijsten. Vervolgens zijn bedrijven van deze twee lijsten bezocht in een verhoudingsaantal van één chemische wasser op twee biologische of gecombineerde luchtwassers (met andere woorden: op 1/3 van de adressen bevond zich een chemische wasser en op 2/3 van de adressen een biologische of gecombineerde luchtwasser). Vervolgens zijn deze adressen onaangekondigd bezocht en is een meting uitgevoerd. Volgens deze procedure zijn in Brabant op 45 adressen en in Gelderland op 3 adressen metingen uitgevoerd; in alle gevallen betrof het varkensbedrijven.

In totaal zijn er 59 locaties bezocht waarvan er 48 zijn bemeaten volgens plan. Op 10 locaties is om verschillende redenen geen metingen uitgevoerd en op één locatie is wel een meting uitgevoerd maar niet conform plan (zie Tabel 3). In de verwerking van de resultaten (zie hoofdstuk 3) zijn alleen de 48 bezoeken waarbij een meting is uitgevoerd conform plan meegenomen bij de presentatie en berekening van (gemiddelde) ammoniak- en geurverwijderingsrendementen.

Tabel 3: Aantal bezoeken en al dan niet uitgevoerde metingen.

| Aantal bezoeken | Wel meting / geen meting |
|-----------------|--|
| 48 | Meting uitgevoerd conform plan |
| 10 | Geen meting uitgevoerd: <ul style="list-style-type: none">- Veehouder wilde geen medewerking verlenen (5x)- Niemand aanwezig op bedrijf (2x)- Luchtwasser was moeilijk toegankelijk (1x)- Vanwege veiligheid (storm) was uitvoering van meting te gevaarlijk (1x)- Geen dieren aanwezig in stal en luchtwasser daarom uitgeschakeld (1x) |
| 1 | Meting uitgevoerd, maar niet conform plan: <ul style="list-style-type: none">- Bij aankomst bleek de zuurdosering van de chemische wasser buiten werking te zijn; i.p.v. meteen te gaan meten is eerst de zuurdosering weer ingeschakeld en gewacht tot de pH weer laag was |

2.2 Metingen

Geurmetingen

Tijdens elk bezoek werd tegelijkertijd een geurmonster van de ingaande lucht en een geurmonster van de uitgaande lucht genomen. Hierbij werd gebruik gemaakt van nalophaan (PET) geurzakken. Beide monsters werden genomen tussen 10:00 en 15:00, de monsternamen duur bedroeg 30 minuten, conform het VERA protocol. Beide monsters werden op dezelfde of volgende dag geanalyseerd door Buro Blauw, Wageningen, conform de geurnorm NEN-EN-13725. De monsters werden niet

voorverdund. De resultaten zijn in Europese geureenheden (OU_E/m^3) gerapporteerd. De gevoeligheid van de panelleden wordt voor de metingen getest met n-butanol.

Het geurverwijderingsrendement van een luchtwasser kan voor elke meting als volgt worden berekend:

$$\text{Rendement geurverwijdering (\%)} = (\text{Cin} - \text{Cuit}) / \text{Cin} \times 100$$

waarbij:

Cin = geurconcentratie ingaande lucht, OU_E/m^3

Cuit = geurconcentratie uitgaande lucht, OU_E/m^3

Ammoniakmetingen (indicatief)

Daarnaast zijn ter plaatse indicatieve ammoniakmetingen uitgevoerd met behulp van gasdetectiebuisjes (Kitagawa, type 105SC: 5 - 260 ppm en type 105 SD: 0,2 - 20 ppm). Zowel de ingaande als de uitgaande luchtstroom van de luchtwassers is in duplo bemonsterd en gemeten op een tijdstip tussen 10:00 en 15:00. Dit type metingen betreft een momentopname en betreft geen erkende meetmethode. De methode is echter wel geschikt om een indicatie te geven van concentratieniveaus, zij het dat uit eerder onderzoek blijkt dat de verwijderingsrendementen enigszins kunnen worden overschat (Melse et al., 2012).

Op vergelijkbare wijze kan ook voor ammoniak een (indicatief) verwijderingsrendement worden berekend:

$$\text{Rendement ammoniakverwijdering (indicatief) (\%)} = (\text{Cin} - \text{Cuit}) / \text{Cin} \times 100$$

waarbij:

Cin = ammoniakconcentratie ingaande lucht (indicatief), ppm

Cuit = ammoniakconcentratie uitgaande lucht (indicatief), ppm

Metingen waswater (pH en EC) en registratie voedingssysteem

Tenslotte zijn tijdens elk bezoek monsters genomen van het waswater van de luchtwassers. Bij een chemische en biologische luchtwasser is in de regel sprake van één type waswater; in dat geval werd één monster genomen. Bij de meeste combi-wassers is sprake van meerdere wasstappen en dus ook meerdere typen waswater: in dat geval werd van elke wasstap een monster genomen. In deze monsters werd de pH en de EC bepaald (pH meter: WTW, type pH 3110, EC meter: WTW, type Cond 3110). De pH staat voor de 'zuurgraad', waarbij een waarde van ca. 6 - 8 wordt beschouwd als 'neutraal', een waarde lager dan ca. 6 als 'zuur', en een waarde hoger dan ca. 8 als 'basisch', ook wel 'alkalisch' genoemd. In de biologische wasstappen behoort de pH waarde zich in het bereik van 6,5 - 7,5 te bevinden; in de chemische (of 'zure') wasstap behoort de pH lager te zijn dan 4. De EC staat voor de 'elektrische geleidbaarheid' (*Electrical Conductivity*), wat een maat is voor de totale hoeveelheid opgeloste zouten, waaronder NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- . In een normaal functionerende biologische wasstap zal de EC waarde meestal maximaal ca. 18 mS/cm bedragen en in een normaal functionerende chemische wasstap zal de EC waarde maximaal ca. 250 mS/cm bedragen. Voor alle locaties is eveneens geregistreerd of in de stallen waarop de luchtwassers waren aangesloten droogvoeding of brijvoeding werd toegepast.

2.3 Elektronische log-data

Sinds 1 januari 2016 dienen alle luchtwassers voorzien te zijn van een elektronisch monitoringssysteem. Dit betekent dat minimaal eens per uur het elektriciteitsverbruik (kWh-meter), de geproduceerde hoeveelheid spuiwater, de drukval over de luchtwasser en de pH en EC van het waswater dienen te worden geregistreerd.

Tijdens de bezoeken is, voor zover mogelijk, de data uit het elektronische monitoringssysteem (log-data) uitgelezen vanaf het moment van bezoek tot een half jaar eerder. In principe komen de log-data voor pH en EC overeen met de waarden zoals die (meestal) kunnen worden afgelezen op de luchtwasininstallatie.

2.4 Analyse data

Voor de analyse zijn de bemeten luchtwassers onderverdeeld in 3 hoofdgroepen: chemische luchtwassers, gecombineerde luchtwassers en biologische luchtwassers. In elke groep luchtwassers is de spreiding berekend van de geur- en ammoniakrendementen (uitgedrukt als standaarddeviatie, *sd*), evenals het gemiddelde rendement en de standaardfout van het gemiddelde (*sem* = *standard error of the mean*).

Voor het toetsen van gemeten rendementsniveaus aan reductieniveaus in de Rgv en de Rav dienen aannames gemaakt te worden over de verdelingseigenschappen van de geurrendementen en ammoniakrendementen. In deze studie is als uitgangspunt genomen dat het verwijderingsrendement proportioneel van karakter is, d.w.z. dat de verwijdering als een constante fractie van de ingangconcentratie van luchtwassers mag worden uitgedrukt. Daarnaast wordt verondersteld dat de waargenomen spreiding in verwijdering (door meetonzekerheid en proces-variabiliteit) tussen de gemeten bedrijven eveneens proportioneel samenhangt met de ingangconcentratie en normaal verdeeld is. Deze spreiding is op de schaal van verwijderingspercentages per definitie begrensd door het maximum van 100%. Deze begrenzing heeft als consequentie dat de aanname van een normale verdeling van de spreiding rond het gemiddelde verwijderingsniveau in de verdrinking komt wanneer het verwijderingsniveau dicht bij 100% ligt. In de verkregen dataset bleek dat geurverwijdering ver van 100% verwijderd bleef. Voor de toetsing van de geurrendementen is daarom de spreiding in geurverwijderingspercentages bij benadering als normaal verdeeld verondersteld. Voor ammoniakverwijderingspercentages is verondersteld dat deze niet normaal verdeeld waren omdat deze bij meerdere metingen de begrensde waarde van 100% bereikten. Er was geen geschikte functie voorhanden om deze verdeling om te vormen in een normale verdeling.

Door middel van een t-toets is onderzocht of het gemiddelde rendement in een groep luchtwassers overeenkwam met het voor die groep in de regelgeving vastgestelde rendement (nul-hypothese) of dat deze lager was dan het in de regelgeving vastgestelde rendement (alternatieve hypothese). Het betreft hier een eenzijdige toetsing met een verwerping van de nul-hypothese bij overschrijdingskans $p < 0,05$. Basis voor de t-toets is dat de verdelingen normaal verdeeld zijn. Om deze reden is deze toets alleen gebruikt voor geurverwijdering en is de ammoniakverwijdering niet getoetst.

3 Resultaten en discussie

3.1 Geur- en ammoniakverwijdering

In Tabel 4, 5 en 6 worden de resultaten weergegeven voor de geur- en ammoniakmetingen die zijn uitgevoerd bij de chemische wassers, combi-wassers en biologische wassers. Achter elke meting wordt eveneens vermeld welk type water het betrof (BWL-nummer) en wat de geur- en ammoniakrendementen zijn waarvan wordt uitgegaan in de Rgv en Rav.

Zoals in Tabel 3 wordt aangegeven is in 5 gevallen wel een bezoek gebracht maar geen meting uitgevoerd. In elk geval was het bij een van deze adressen zo dat de betreffende water buiten werking was/niet goed functioneerde.

Tenslotte wordt in Bijlage 1 aangegeven op welke bedrijven droogvoeding dan wel brijvoeding werd toegepast.

Tabel 4: Chemische wassers (16 locaties): metingen van geur- en ammoniakrendementen.

| # | Datum | Geur-in (OUe/m ³) | Geur-uit (OUe/m ³) | Rendement geur (%) | NH ₃ -in ppm | NH ₃ -uit ppm | Rendement NH ₃ (%) | Type systeem | Reductie geur vlgs Rgv (%) | Reductie NH ₃ vlgs Rav (%) |
|----|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | Thu 19-Jan-17 | 2914 | 1740 | 40 | 17.25 | 1.9 | 89 | BWL 2004.02 chem 70% | 30 | 70 |
| 2 | Tue 24-Jan-17 | 2762 | 2336 | 15 | 36 | 1.25 | 97 | BWL 2007.05 chem 95% | 30 | 95 |
| 3 | Wed 25-Jan-17 | 2906 | 3667 | -26 | 34.5 | 4.5 | 87 | BWL 2004.02 chem 70% | 30 | 70 |
| 4 | Mon 30-Jan-17 | 2070 | 1512 | 27 | 25.5 | 1.9 | 93 | BWL 2005.01 chem 70% | 30 | 70 |
| 5 | Tue 31-Jan-17 | 3619 | 3851 | -6 | 32.5 | 9 | 72 | BWL 2008.08 chem 95% | 30 | 95 |
| 6 | Wed 1-Feb-17 | 4913 | 3189 | 35 | 20.25 | 21.25 | -5 | BWL 2008.08 chem 95% | 30 | 95 |
| 7 | Wed 8-Feb-17 | 1432 | 2340 | -63 | 34 | 0 | 100 | BWL 2010.26 chem 95% | 30 | 95 |
| 8 | Mon 13-Feb-17 | 4186 | 4953 | -18 | 40 | 0 | 100 | BWL 2007.05 chem 95% | 30 | 95 |
| 9 | Wed 15-Feb-17 | 4282 | 1720 | 60 | 23.5 | 0.5 | 98 | BWL 2005.01 chem 70% | 30 | 70 |
| 10 | Wed 1-Mar-17 | 10963 | 5980 | 45 | 36 | 2.25 | 94 | BWL 2010.26 chem 95% | 30 | 95 |
| 11 | Thu 2-Mar-17 | 2533 | 1121 | 56 | 10.5 | 0.25 | 98 | BWL 2008.08v2 chem 95% | 30 | 95 |
| 12 | Mon 26-Jun-17 | 2601 | 1449 | 44 | 18.75 | 1.25 | 93 | BWL 2010.25v1 chem 70% | 30 | 70 |
| 13 | Wed 5-Jul-17 | 2468 | 1359 | 45 | 10.5 | 0 | 100 | BWL 2010.26v2 chem 95% | 30 | 95 |
| 14 | Mon 10-Jul-17 | 2609 | 1651 | 37 | 5 | 1.75 | 65 | BWL 2008.09v2 chem 95% | 30 | 95 |
| 15 | Tue 11-Jul-17 | 2939 | 2009 | 32 | 10.25 | 0 | 100 | BWL 2007.05v2 chem 95% | 30 | 95 |
| 16 | Thu 13-Jul-17 | 1135 | 1183 | -4 | 12.5 | 9.25 | 26 | BWL 2008.06v2 chem 70% | 30 | 70 |
| | <i>Gemiddelde:</i> | <i>3396</i> | <i>2504</i> | <i>20</i> | <i>23</i> | <i>3</i> | <i>82</i> | | <i>30</i> | <i>86</i> |
| | <i>sd:</i> | <i>2246</i> | <i>1438</i> | <i>34</i> | <i>11</i> | <i>6</i> | <i>30</i> | | | |
| | <i>sem:</i> | | | <i>9</i> | | | <i>8</i> | | | |

Uit Tabel 4 blijkt dat het gemiddelde geurverwijderingsrendement in de groep chemische luchtwassers 20% bedroeg. Dit gemiddelde niveau week niet significant af van Rgv-reductie van 30% en was significant groter dan 0%. Van de chemische luchtwassers voldeden tijdens de meting 10 installaties aan de Rgv-reductie (geurverwijdering 30%) en bleven de overige 6 daaronder. De spreiding in geurverwijderingsrendementen tussen de bedrijfslocaties was aanzienlijk, met een standaarddeviatie (34%) die hoger lag dan het gemiddelde niveau.

Verder blijkt uit Tabel 4 dat het ammoniakverwijderingsrendement gemiddeld voor alle chemische wassers 82% bedroeg. Opgedeeld naar wassers met een 70% Rav-reductie (n=6) en 95% Rav-reductie (n=10) waren de gemiddelde niveaus respectievelijk 81 en 82%. Bij 5 van de 16 luchtwassers lag het ammoniakrendement tijdens de meting lager dan de Rav-reductie, 11 luchtwassers hadden een ammoniakrendement dat hoger lag dan de Rav-reductie.

Zoals uit Bijlage 1 blijkt, was op een bedrijf sprake van brijvoeding en werd op de andere bedrijven droogvoeding toegepast. Vanwege het kleine aantal bedrijven met brijvoeding in de steekproef is het niet mogelijk om eventuele verschillen in geur- of ammoniakrendement tussen deze groepen aan te tonen.

Tabel 5: Combi-wassers (29 locaties): metingen van geur- en ammoniakrendementen.

| # | Datum | Geur-in (OUe/m3) | Geur-uit (OUe/m3) | Rendement geur (%) | NH3-in ppm | NH3-uit ppm | Rendement NH3 (%) | Type systeem | Reductie geur vlgs Rgv (%) | Reductie NH3 vlgs Rav (%) | |
|----|---------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|----------------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|----|
| 17 | Wed 18-Jan-17 | 6702 | 2542 | 62 | 46.5 | 9.25 | 80 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 18 | Mon 23-Jan-17 | 2942 | 1031 | 65 | 35 | 17 | 51 | BWL 2006.14 | chemo-combi 85% | 70 | 85 |
| 19 | Thu 2-Feb-17 | 3856 | 2082 | 46 | 37 | 3.75 | 90 | BWL 2007.02 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 20 | Thu 9-Feb-17 | 6410 | 3828 | 40 | 21.5 | 0 | 100 | BWL 2009.12.v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 21 | Tue 14-Feb-17 | 4398 | 1635 | 63 | 17.5 | 0 | 100 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 22 | Thu 16-Feb-17 | 4546 | 2598 | 43 | 14.5 | 0 | 100 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 23 | Tue 21-Feb-17 | 4398 | 2412 | 45 | 21 | 11.25 | 46 | BWL 2011.07 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 24 | Wed 22-Feb-17 | 7137 | 1632 | 77 | 37.5 | 0 | 100 | BWL 2007.02 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 25 | Mon 6-Mar-17 | 2412 | 1343 | 44 | 12.5 | 0 | 100 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 26 | Tue 7-Mar-17 | 1031 | 661 | 36 | 24 | 4 | 83 | BWL 2007.01v2 | chemo-combi 85% | 75 | 85 |
| 27 | Wed 8-Mar-17 | 2755 | 1436 | 48 | 20 | 0 | 100 | BWL 2009.12v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 28 | Thu 9-Mar-17 | 3828 | 3728 | 3 | 18 | 0 | 100 | BWL 2006.14 | chemo-combi 85% | 70 | 85 |
| 29 | Tue 28-Mar-17 | 2533 | 871 | 66 | 15.75 | 12.25 | 22 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 30 | Wed 29-Mar-17 | 2750 | 1740 | 37 | 51 | 40 | 22 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 31 | Thu 30-Mar-17 | 1830 | 1432 | 22 | 33.5 | 28.5 | 15 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 32 | Mon 29-May-17 | 981 | 392 | 60 | 12 | 18 | -50 | BWL 2011.07v3 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 33 | Wed 31-May-17 | 1530 | 1628 | -6 | 12.5 | 2.75 | 78 | BWL 2009.12v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 34 | Thu 1-Jun-17 | 5124 | 1837 | 64 | 23.5 | 20.75 | 12 | BWL 2009.12v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 35 | Tue 6-Jun-17 | 19368 | 7749 | 60 | 17.75 | 0.5 | 97 | BWL 2007.01v3 | chemo-combi 85% | 75 | 85 |
| 36 | Mon 12-Jun-17 | 7774 | 2355 | 70 | 25 | 0 | 100 | BWL 2007.02v1 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 37 | Tue 13-Jun-17 | 1877 | 614 | 67 | 9 | 0 | 100 | BWL 2009.12v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 38 | Wed 14-Jun-17 | 2609 | 1448 | 44 | 18.5 | 12.5 | 32 | BWL 2009.12v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 39 | Mon 19-Jun-17 | 3019 | 1851 | 39 | 14.25 | 12 | 16 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 40 | Tue 20-Jun-17 | 1799 | 1109 | 38 | 8.25 | 8.25 | 0 | BWL 2009.12v1 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 41 | Wed 21-Jun-17 | 2288 | 1761 | 23 | 16 | 12.25 | 23 | BWL 2007.02v1 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 42 | Thu 22-Jun-17 | 1165 | 987 | 15 | 10.25 | 13.5 | -32 | BWL 2011.07 | bio-combi 85% | 75 | 85 |
| 43 | Tue 27-Jun-17 | 3682 | 3928 | -7 | 9 | 5.5 | 39 | BWL 2009.12v2 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 44 | Thu 29-Jun-17 | 1451 | 912 | 37 | 3 | 0 | 100 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| 45 | Mon 17-Jul-17 | 1382 | 1879 | -36 | 15.75 | 4.25 | 73 | BWL 2009.12 | bio-combi 85% | 85 | 85 |
| | Gemiddelde: | 3847 | 1980 | 40 | 21 | 8 | 59 | | | 81 | 85 |
| | sd: | 3530 | 1433 | 26 | 12 | 10 | 45 | | | | |
| | sem: | | | 5 | | | 8 | | | | |

Uit Tabel 5 blijkt dat de geurverwijdering in de groep combi-wassers gemiddeld 40% bedroeg. Dit geurrendement is ca. de helft van het gemiddelde van de Rgv-reductie voor deze systemen. In de groep combi-wassers kunnen drie Rgv-reducties onderscheiden worden: 85, 75 en 70% geurverwijdering, met een omvang van respectievelijk 18, 9 en 2 luchtwassers. De geurverwijdering in de groep wassers met 85% Rgv-reductie bedroeg gemiddeld 37% (sem = 7%) en lag significant onder de 85% reductie volgens de Rgv. In de groep met 75% Rgv-reductie bedroeg de gemiddelde geurverwijdering 48% (sem = 7%), een niveau dat eveneens significant lager lag dan de 75% reductie volgens de Rgv. De derde groep met 70% Rgv-reductie lag qua verwijdering met een gemiddelde van 34% eveneens ruim onder de Rgv-reductie (statistische toetsing om na te gaan of de gevonden reductie afwijkt van de Rgv-reductie is door de kleine omvang van deze laatste groep niet zinvol). Van de 29 combi-luchtwassers voldeed tijdens de meting 1 luchtwasser aan de voor die wasser vastgestelde Rgv-reductie voor geurverwijdering.

De ammoniakverwijdering in de groep combiwassers bedroeg gemiddeld 59% (sem = 8%). De afwijking van het Rav-reductieniveau van 85%, bedroeg gemiddeld 26%. Bij 17 van de 29 luchtwassers lag het verwijderingsniveau tijdens de meting onder de Rav-reductie.

Zoals uit Bijlage 1 blijkt, was op 9 bedrijven sprake van brijvoeding en werd op 20 bedrijven droogvoeding toegepast. De gemiddelde verwijderings-percentages (\pm sem) van brijvoeding en droogvoeding voor geur bedroegen respectievelijk 46 (± 4) en 38 (± 6), en voor ammoniak 72 (± 10) en 53 (± 11). Uit een statistische toetsing blijkt echter dat het geurrendement van deze twee groepen niet verschilt. Overigens is de gemiddelde geurconcentratie van de ingaande lucht bij bedrijven met brijvoeding bijna tweemaal zo hoog als bij bedrijven met droogvoer.

De rendementen van de combi-wassers die in de maanden februari-maart ('winterseizoen') zijn doorgemeten (n=15) lagen voor zowel de geurverwijdering als de ammoniakverwijdering gemiddeld hoger dan die van de wassers in de periode eind mei tot medio juli ('zomerseizoen') (n=14). De geurverwijdering in de eerste periode bedroeg gemiddeld 46% tegen 34% in de tweede periode, dit verschil was niet significant. Voor ammoniak lag de gemiddelde verwijdering in de eerste periode op 74% tegen 42% in de tweede periode.

Het hogere ammoniakverwijderingsrendement in de winter kan verklaard worden door het feit dat de meeste luchtwassers in Tabel 5 (25 van de 29) bio-combi's zijn, dat wil zeggen biologische luchtwassers met een additioneel watergordijn. Voor biologische luchtwassers is namelijk bekend dat deze in de winterperiode een hoger ammoniakverwijderingsrendement laten zien dan in de zomerperiode (Melse et al., 2013; Melse & Ploegaert, 2011). De reden hiervoor is dat de evenwichtsconcentratie van ammoniak in de lucht die de wasser verlaat (deze concentratie is in evenwicht met de min of meer constante hoeveelheid ammonium die in het recirculerende waswater is opgelost) lager is bij de (gemiddeld) lagere wintertemperatuur, terwijl de concentratie van ammoniak in de ingaande lucht hoger is als gevolg van het lagere ventilatiedebiet. Dit heeft tezamen tot gevolg dat het rendement in de winter hoger is dan in de zomer.

Tabel 6: Biologische wassers (3 locaties): metingen van geur- en ammoniakrendementen.

| # | Datum | Geur-in | Geur-uit | Rendement | NH3-in | NH3-uit | Rendement | Type systeem | | Reductie geur | | Reductie NH3 | |
|----|--------------------|----------|----------|-----------|--------|---------|-----------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|--|
| | | (OUe/m3) | (OUe/m3) | geur (%) | ppm | ppm | NH3 (%) | | | vlgsv Rgv (%) | vlgsv Rav (%) | | |
| 46 | Mon 20-Feb-17 | 2945 | 1740 | 41 | 20 | 2.5 | 88 | BWL 2008.01v3 | biologische 70% | 45 | 70 | | |
| 47 | Wed 28-Jun-17 | 2018 | 799 | 60 | 29 | 8 | 72 | BWL 2008.01v2 | biologische 70% | 45 | 70 | | |
| 48 | Mon 3-Jul-17 | 1045 | 669 | 36 | 10.75 | 1.75 | 84 | BWL 2011.11v1 | biologische 70% | 45 | 70 | | |
| | <i>Gemiddelde:</i> | 2003 | 1069 | 46 | 20 | 4 | 81 | | | 45 | 70 | | |
| | <i>sd:</i> | 950 | 584 | 13 | 9 | 3 | 8 | | | | | | |
| | <i>sem:</i> | | | 7 | | | 5 | | | | | | |

De steekproef bevatte een beperkt aantal biologische wassers (n=3). Uit Tabel 6 blijkt dat de geurverwijdering met een gemiddelde van 46% nagenoeg gelijk is aan de Rgv-reductie (45%). De gemiddelde ammoniakverwijdering van de biologische wassers bedroeg 81%. De drie luchtwassers hadden allen een ammoniakverwijdering die hoger was dan de Rav-reductie (>70%). Zoals uit Bijlage 1 blijkt, was op alle drie de bedrijven sprake van droogvoeding.

3.2 Procescondities

In Tabel 7, 8 en 9 worden voor de verschillende wasser-types de metingen van de pH en EC van het waswater gegeven.

In de eerste kolommen worden de waarden gegeven zoals die die door WLR met geijkte apparatuur zijn gemeten en daarnaast de waarden zoals die op het display van de luchtwasser worden weergegeven (deze waarden worden in het elektronische logsysteem opgeslagen). Tenslotte worden de eisen uit de BWL beschrijving gegeven en vergeleken met de waarden zoals die door WLR zijn gemeten.

Tabel 7: Chemische wassers (16 locaties): metingen van pH en EC waswater (1,2,3).

| # | Datum | Waswater chemo - meting WLR | | Display luchtwasser | | Eis volgens BWL | | Zowel pH als EC conform eis? |
|----|---------------|-----------------------------|------------|---------------------|------------|-----------------|---------------|------------------------------|
| | | pH | EC (mS/cm) | pH | EC (mS/cm) | pH | EC | |
| 1 | Thu 19-Jan-17 | 2.7 | 226 | 2.5 | | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 2 | Tue 24-Jan-17 | 6.7 | 191 | 6.2 | 17 | max 3 | max 250 mS/cm | - |
| 3 | Wed 25-Jan-17 | 2.8 | 101 | 2.1 | 175 | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 4 | Mon 30-Jan-17 | 3.3 | 105 | | | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 5 | Tue 31-Jan-17 | 4.3 | 143 | 3.7 | 174 | max 4 | max 250 mS/cm | - |
| 6 | Wed 1-Feb-17 | 7.3 | 121 | 2.0 | 99 | max 4 | max 250 mS/cm | - |
| 7 | Wed 8-Feb-17 | 1.9 | n.b. | 2.1 | n.b. | max 4 | max 270 mS/cm | + |
| 8 | Mon 13-Feb-17 | 3.0 | 159 | 3.1 | 150 | max 3 | max 250 mS/cm | + |
| 9 | Wed 15-Feb-17 | 2.9 | 165 | 2.9 | 131 | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 10 | Wed 1-Mar-17 | 2.6 | 231 | 2.9 | 214 | max 4 | max 270 mS/cm | + |
| 11 | Thu 2-Mar-17 | 3.7 | 175 | 3.1 | 158 | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 12 | Mon 26-Jun-17 | 3.5 | 242 | 3.5 | 239 | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 13 | Wed 5-Jul-17 | 2.5 | 226 | 2.8 | 225 | max 4 | max 270 mS/cm | + |
| 14 | Mon 10-Jul-17 | 3.6 | 184 | 3.1 | n.a. | max 4 | max 250 mS/cm | + |
| 15 | Tue 11-Jul-17 | 3.6 | 103 | 2.9 | 97 | max 3 | max 250 mS/cm | - |
| 16 | Thu 13-Jul-17 | 5.2 | 258 | 5.6 | 217 | max 4 | max 250 mS/cm | - |

(1) Wanneer de door WLR gemeten waarde voor de pH niet meer dan 0,2 en voor de EC niet meer dan 15% afwijkt van de eis, wordt dit beschouwd als 'conform BWL eis'.

(2) Meting 14 (10 juli 2017): aantal sproeiers leek verstopt waardoor het waspakket niet volledig werd bevochtigd.

(3) Meting 16 (13 juli 2017): wasser gaf alarm 'pH te hoog', de reden hiervoor was dat het zuurvat leeg was.

Uit Tabel 7 blijkt dat voor 11 van de 16 chemische wassers geldt dat zowel de pH als de EC van het waswater conform de norm waren ('+') zoals die beschreven is in de bijbehorende leaflet, voor 5 luchtwassers was dit niet het geval.

In twee van deze vijf gevallen (meting 2 en 16) was er sprake van een te hoge pH en gaf ook de pH meter op de installatie aan dat de pH zich niet op de juiste waarde bevond.

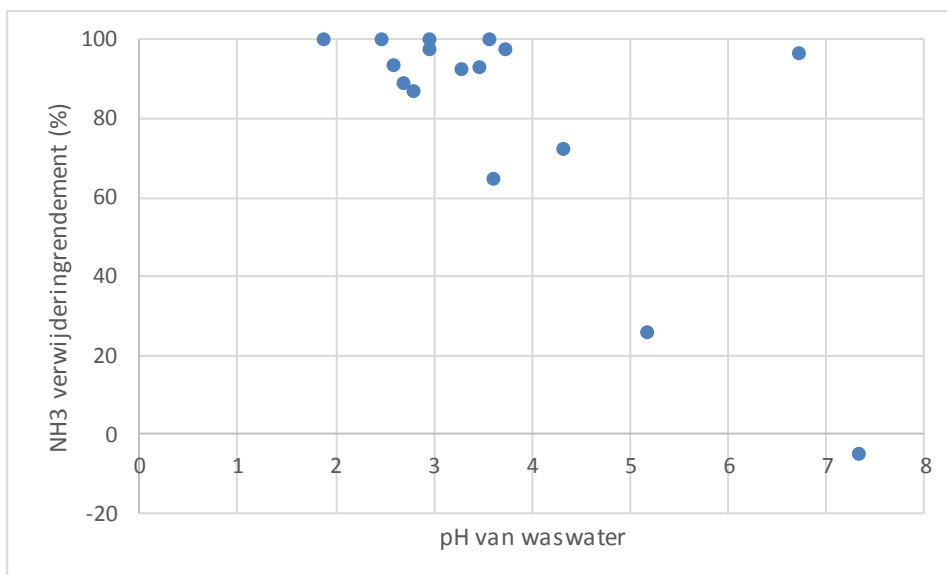
Uit de log-data blijkt dat de wasser van meting 2 tijdens ons bezoek juist was gestart met het verversen van het waswater, waardoor zowel de pH en de EC waarde in korte tijd sterk kunnen veranderen. Dit verklaart het grote verschil tussen de door WLR gemeten EC waarde en de op de luchtwasser afgelezen EC waarde. Uit de log-data blijkt dat het waswater van deze wasser ca. eens per twee weken wordt verversed, wat als gevolg heeft dat de pH waarden dan 10 tot 20 uur te hoog is. Dit zal waarschijnlijk tot gevolg hebben dat de ammoniakverwijdering gedurende deze periode laag is. Dat blijkt overigens niet uit Tabel 4, waar een hoog rendement is gevonden, omdat op dat moment de pH klaarblijkelijk nog voldoende laag was. Doordat de leverancier deze procedure toepast is het de vraag of het ammoniakrendement van de luchtwasser voldoet aan de geldende eisen.

Voor meting 16 geldt dat de luchtwasser een alarm gaf dat het zuurvat leeg was. Uit de log-data bleek dat de pH al sinds 3 juli 2017 te hoog was, een teken dat er al 10 dagen geen zuur werd toegediend. De gemeten ammoniakverwijdering (Tabel 4) was dan ook erg laag. Een dergelijke storing kan gemakkelijk opgemerkt worden door de gebruiker en is ook terug te vinden in de log-data van deze wassers.

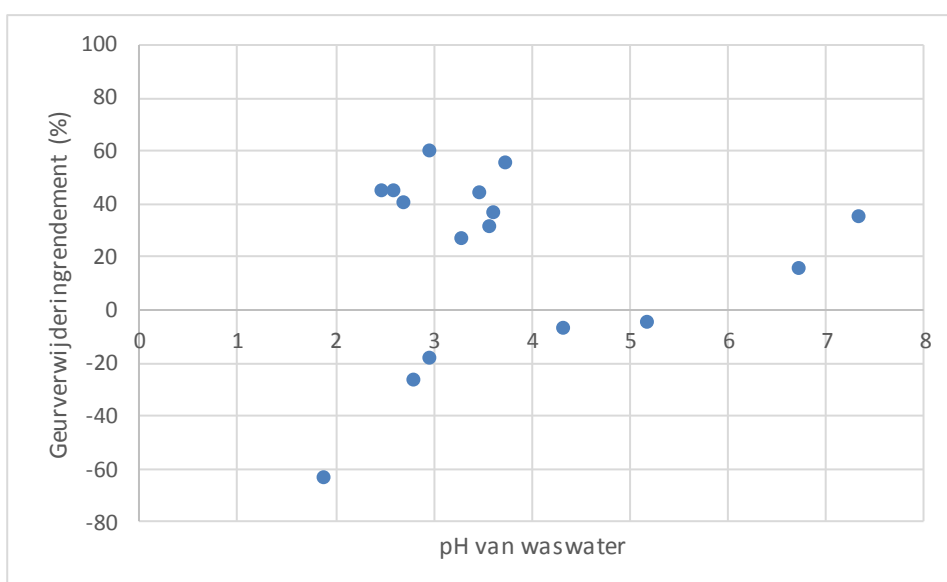
Bij de andere drie gevallen (meting 5, 6 en 15) gaf de pH meter op de installatie een te lage waarde aan waardoor te weinig zuur werd gedoseerd. Gezien de relatief kleine afwijking bij meting 5 en 15 is de oorzaak waarschijnlijk dat de pH elektrode niet vaak genoeg wordt gekalibreerd. Bij meting 6 (hier wordt een pH waarde van 2,0 op de luchtwasser aangegeven terwijl er in werkelijkheid sprake is van een pH waarde van 7,3) is waarschijnlijk sprake van een defecte pH-elektrode; als gevolg hiervan was er dan ook geen enkele ammoniakverwijdering (zie Tabel 4). Aangezien verkeerd gemeten waarden ook als zodanig worden opgeslagen, zijn dergelijke storingen niet te achterhalen op basis van de elektronische log-data.

Wanneer meting 6 buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt het absolute verschil tussen de pH die gemeten wordt op de installatie en de pH die door WLR wordt gemeten gemiddeld 0,4 eenheden. De gemiddelde afwijking naar beneden (dit heeft mogelijk een lagere ammoniakverwijdering tot gevolg) bedraagt 0,5 pH eenheden, de gemiddelde afwijking naar boven bedraagt 0,1 pH eenheden. Wanneer meting 2 buiten beschouwing wordt gelaten, geldt dat de EC waarden op het display gemiddeld 15% lager liggen dan de waarden zoals die door WLR zijn gemeten. Dit heeft naar verwachting geen direct effect op de geur- of ammoniakverwijdering door de luchtwassers.

Het gemiddelde rendement van de chemische wassers die tijdens de meting voldeden aan de pH en EC normen en het rendement van de wassers die daar niet aan voldeden, bedroeg voor geur respectievelijk 22 en 14%. Deze geurverwijderingsniveaus weken niet significant van elkaar af. Voor ammoniak was er wel sprake van een significant verschil in het verwijderingsrendement, respectievelijk 92% voor de wassers die wel en 58% voor de wassers die niet voldeden aan de pH en EC normen. Aangezien het werkingsprincipe voor ammoniakverwijdering door chemische wassers is gebaseerd op zuurdosering (lage pH) mag inderdaad ook verwacht worden dat een (veel) te hoge pH inderdaad een direct negatief effect heeft op het ammoniakrendement. In Figuur 1 wordt voor de chemische wassers uit het onderzoek weergegeven op welke wijze de pH en het ammoniakrendement zijn gecorreleerd. De figuur geeft aan dat er bij te hoge pH waarden (hoger dan ca. 4) in het algemeen inderdaad sprake is van een verlaagd NH₃ verwijderingsrendement. Van een correlatie tussen pH van het waswater en het geurrendement is geen sprake (Figuur 2).



Figuur 1: Chemische wassers: relatie tussen pH van waswater en NH₃ verwijderingsrendement.



Figuur 2: Chemische wassers: relatie tussen pH van waswater en geurverwijderingsrendement.

Uit Tabel 8 blijkt dat bij de 28 in werking zijnde combi-wassers in 18 gevallen (ca. 2/3) de pH en/of EC van het waswater niet conform de eis waren ('-'); bij 10 gevallen (ca. 1/3) was dit wel het geval ('+').

Tijdens het locatiebezoek op 20 juni 2017 (meting 40) is geen watermonster genomen omdat de recirculatiepomp buiten werking bleek te zijn. Uit de log-data blijkt dat dit al ca. 6 weken het geval was en dat dit 3 maanden na het locatiebezoek nog steeds het geval was. Uit de log-data van een periode van anderhalf jaar bleek dat de pH slechts gedurende 20% van de tijd conform de eis was; de EC was 76% van de tijd conform de eis.

Met betrekking tot de chemo-combi's in Tabel 8 geldt dat de pH van de chemische wasstap bij meting 18 veel te hoog was. De oorzaak hiervan was dat het zuurvat leeg was. Uit de log-data waar wij beschikking over hadden (ca. 2 maanden teruggaand tot 1 december 2016) bleek dat dit gedurende deze hele periode al het geval was. Voor de chemo-combi's van meting 28 en 35 geven de lage pH waarden van de nageschakelde wasstap met water aan dat er doorslag van zuur optreedt van de chemische wasstap naar de waterwasser. Hierdoor mag verwacht worden dat in het bijzonder de geurverwijdering slecht zal verlopen. In de waterwasser was, conform de BWL systeembeschrijving, geen pH meting aanwezig zodat deze zuurdoorslag niet opgemerkt kan worden op basis van de log-data. Een van de chemo-combi's (meting 26) had wel de juiste pH en EC waarden.

Tabel 8: Combi-wassers (29 locaties): metingen van pH en EC waswater ^(1,2).

| # | Datum | Waswater chemo - Meting WLR | | Display luchtwasser | | Eis volgens BWL | | Waswater bio ⁽³⁾ - Meting WLR | | Display installatie | | Eis volgens BWL | | Zowel pH als EC |
|----|---------------|-----------------------------|------------|---------------------|------------|-----------------|---------------|--|------------|---------------------|------------|-----------------|--------------|-----------------|
| | | pH | EC (mS/cm) | pH | EC (mS/cm) | pH | EC | pH | EC (mS/cm) | pH | EC (mS/cm) | pH | EC | conform eis? |
| 17 | Wed 18-Jan-17 | | | | | | | 7.8 | 50 | n.b. | n.b. | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 18 | Mon 23-Jan-17 | 7.8 | 56 | 7.5 | 54 | max 4 | max 250 mS/cm | 7.6 | 33 | n.b. | n.b. | n.v.t. | n.v.t. | - |
| 19 | Thu 2-Feb-17 | | | | | | | 7.3 | 21 | 7.3 | 18 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |
| 20 | Thu 9-Feb-17 | | | | | | | 6.1 | 20 | 5.8 | 18 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 21 | Tue 14-Feb-17 | | | | | | | 5.3 | 15 | 5.2 | 14 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 22 | Thu 16-Feb-17 | | | | | | | 4.9 | 23 | 6.9 | 21 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 23 | Tue 21-Feb-17 | | | | | | | 7.5 | 72 | 7.2 | 17 | 6.5 tot 7.5 | max 25 mS/cm | - |
| 24 | Wed 22-Feb-17 | | | | | | | 6.9 | 30 | 6.7 | 16 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 25 | Mon 6-Mar-17 | | | | | | | 3.7 | 9.1 | 6.4 | 5.8 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 26 | Tue 7-Mar-17 | 4.4 | 122 | 4.2 | 116 | max 5 | max 250 mS/cm | 6.5 | 141 | n.b. | n.b. | min 5 | n.v.t. | + |
| 27 | Wed 8-Mar-17 | | | | | | | 4.1 | 18 | 5.4 | 17 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 28 | Thu 9-Mar-17 | 2.1 | 247 | n.b. | n.b. | max 4 | max 250 mS/cm | 2.5 | 256 | n.b. | n.b. | n.v.t. | n.v.t. | - |
| 29 | Tue 28-Mar-17 | | | | | | | 7.6 | 14 | 7.6 | 15 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |
| 30 | Wed 29-Mar-17 | | | | | | | 8.3 | 10 | 8.1 | 9.1 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 31 | Thu 30-Mar-17 | | | | | | | 7.3 | 68 | 6.7 | 20 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 32 | Mon 29-May-17 | | | | | | | 7.3 | 10 | 8.1 | 3.8 | 6.5 tot 7.5 | max 25 mS/cm | + |
| 33 | Wed 31-May-17 | | | | | | | 6.6 | 16 | 6.4 | 16 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |
| 34 | Thu 1-Jun-17 | | | | | | | 6.9 | 36 | 6.4 | 35 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 35 | Tue 6-Jun-17 | 3.5 | 229 | 3.7 | 108 | max 5 | max 250 mS/cm | 4.6 | 226 | n.b. | n.b. | n.v.t. | n.v.t. | - |
| 36 | Mon 12-Jun-17 | | | | | | | 6.7 | 12 | 7.5 | 10 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |
| 37 | Tue 13-Jun-17 | | | | | | | 5.5 | 23 | 5.7 | 21 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 38 | Wed 14-Jun-17 | | | | | | | 7.0 | 27 | 7.1 | 15 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 39 | Mon 19-Jun-17 | | | | | | | 6.9 | 27 | 7.7 | 25 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 40 | Tue 20-Jun-17 | | | | | | | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | n.v.t. |
| 41 | Wed 21-Jun-17 | | | | | | | 7.5 | 4.4 | 7.8 | 9.5 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |
| 42 | Thu 22-Jun-17 | | | | | | | 7.7 | 4.6 | 8.0 | 4.6 | 6.5 tot 7.5 | max 25 mS/cm | + |
| 43 | Tue 27-Jun-17 | | | | | | | 6.6 | 27 | 6.4 | n.a. | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | - |
| 44 | Thu 29-Jun-17 | | | | | | | 6.4 | 6.2 | 6.0 | 5.8 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |
| 45 | Mon 17-Jul-17 | | | | | | | 6.6 | 20 | 5.4 | 16 | 6.5 tot 7.5 | max 18 mS/cm | + |

⁽¹⁾ Wanneer de door WLR gemeten waarde voor de pH niet meer dan 0,2 en voor de EC niet meer dan 15% afwijkt van de eis, wordt dit beschouwd als 'conform BWL eis'. Aangezien uit de pH waarden van de tweede wasstap bij meting 28 en 35 volgt dat zuurdoorslag optreedt, worden deze toch met '-' gewaardeerd ook al voldoen de pH en EC van de eerste wasstap wel aan de eis.

⁽²⁾ Meting 40 (20 juni 2017): de wasser was buiten werking vanwege een defecte recirculatiepomp.

⁽³⁾ In het geval van de chemische-combi systemen (meting 18, 26, 28, 35) geldt dat met 'waswater bio' het waswater van de waterwasser wordt bedoeld; bij meting 35 (BWL 2007.01) is deze na de chemische wasstap geschakeld.

Voor de bio-combi's geldt dat in 6 van de 25 installaties de pH beduidend lager was en in 2 van de 25 installaties de pH beduidend hoger was dan de toegestane pH range. Voor 6 van deze gevallen geldt dit ook voor de pH zoals deze op het display van de installatie werd weergegeven en ook in de log-data werd opgeslagen. Voor 2 metingen (meting 22 en 25) was het verschil tussen de door WLR gemeten waarde en de waarde op het display van de installatie dusdanig groot dat dit bij beide installaties duidt op een defecte elektrode. De gemeten ammoniakverwijdering (zie Tabel 4: voor beide installaties 100%) wijst erop dat de pH waarde in het systeem inderdaad laag was, zoals vastgesteld in de WLR metingen.

Wanneer meting 22 en 25 buiten beschouwing worden gelaten bedraagt het absolute verschil tussen de pH die gemeten wordt op de installatie en de pH die door WLR wordt gemeten gemiddeld minder dan 0,1 eenheden. De gemiddelde afwijking naar beneden bedraagt 0,35 pH eenheden, de gemiddelde afwijking naar boven bedraagt 0,45 pH eenheden. De door WLR gemeten EC waarde wijkt in een viertal gevallen (meting 22, 23, 31 en 35) sterk af van de meetwaarden zoals die op de installatie werden weergegeven, wat erop wijst dat er sprake was van een defecte elektrode en/of een probleem met de elektrische installatie. Hierdoor kan de werking van de luchtwasser negatief worden beïnvloed. Wanneer deze vier metingen buiten beschouwing worden gelaten, geldt dat de EC waarden op het display gemiddeld 18% lager liggen dan de waarden zoals die door WLR zijn gemeten. Dit heeft naar verwachting geen direct effect op de geur- of ammoniakverwijdering door de luchtwassers.

Het gemiddelde rendement van de combi wassers die tijdens de meting niet voldeden aan de pH en EC normen en het rendement van de wassers die daar wel aan voldeden, bedroeg voor geur respectievelijk 45 en 31%. Voor ammoniak was dit respectievelijk 67 en 49%. Voor zowel de geur- als ammoniakverwijdering leidde het voldoen aan de pH en EC normen dus niet tot betere rendementen.

Tabel 9: Biologische wassers (3 locaties): metingen van pH en EC waswater ^(1,2).

| # | Datum | Meting WLR | | Display luchtwasser | | Eis volgens BWL | | Zowel pH als EC conform eis? |
|----|---------------|------------|------------|---------------------|------------|-----------------|--------------|------------------------------|
| | | pH | EC (mS/cm) | pH | EC (mS/cm) | pH | EC | |
| 46 | Mon 20-Feb-17 | 6.9 | 8.5 | 7.0 | n.b. | 6.5 tot 7.5 | max 15 mS/cm | + |
| 47 | Wed 28-Jun-17 | 7.1 | 27 | 7.6 | 24 | 6.5 tot 7.5 | max 15 mS/cm | - |
| 48 | Mon 3-Jul-17 | 7.9 | 3.7 | pingelt: 4,1-6,3 | 3.5 | 6.5 tot 7.5 | max 15 mS/cm | - |

⁽¹⁾ Wanneer de door WLR gemeten waarde voor de pH niet meer dan 0,2 en voor de EC niet meer dan 15% afwijkt van de eis, wordt dit beschouwd als 'conform BWL eis'.

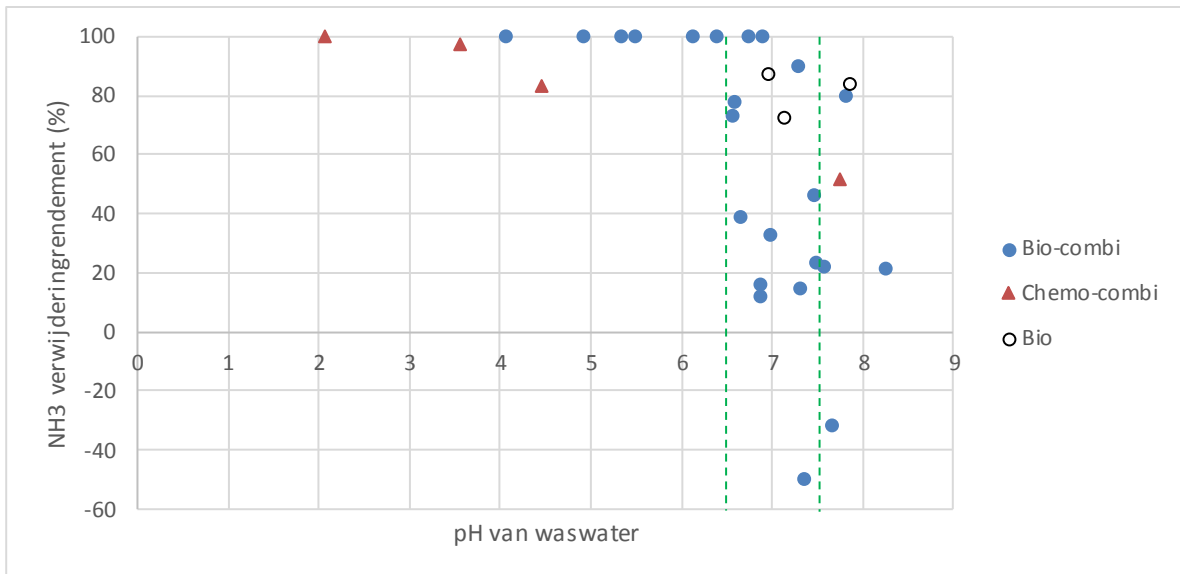
⁽²⁾ Meting 48 (3 juli 2017): het pH display van de luchtwasser geeft geen goede waarden (schiet heen en weer tussen ca. 4 en 7).

Uit de tabel met de biologische wassers (Tabel 9) blijkt dat de pH en EC waarde in 1 van 3 gevallen beide conform de eis waren, in twee gevallen niet. Het aantal biologische wassers is te klein om een uitspraak te kunnen doen over een eventuele invloed van afwijkende pH en EC waarden op het geur- of ammoniakrendement.

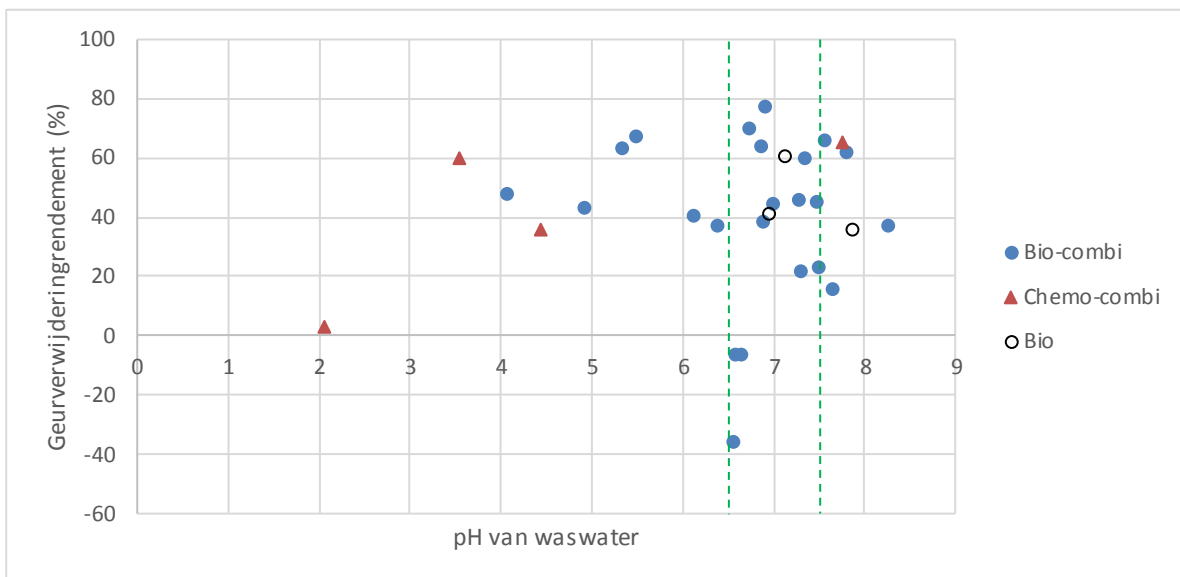
Opgemerkt dient te worden dat verwacht wordt dat extreem hoge of lage pH waarden wel kunnen leiden tot een duidelijk verandering in de werking van de luchtwasser. In Figuur 3 wordt voor de combi-wassers en de biowassers uit het onderzoek weergegeven op welke wijze de pH en het ammoniakrendement zijn gecorreleerd. Uit deze figuur volgt dat een relatief hoge pH in het algemeen inderdaad gepaard gaat met een verlaagd NH₃ verwijderingsrendement. Verder valt op uit Figuur 2 dat verlaagde ammoniakverwijderingsrendementen bij bio-combiwassers reeds optreden vanaf een pH van ca. 6,5, terwijl de pH volgens de regelgeving (BWL beschrijvingen) zelfs nog een eenheid hoger mag zijn (6,5 - 7,5). In het in Duitsland gehanteerde certificeringstraject, dat via DLG¹ verloopt, wordt in de regel een pH range gehanteerd van 6,5 tot maximaal 7,0 (in sommige gevallen ook tot maximaal 6,8 of 6,9). Dit roept de vraag op of het maximum van de pH range voor het waswater van de biologische wasstap zoals die in Nederland wordt gehanteerd (d.w.z. 7,5) niet te hoog is. Anderzijds is het zo dat Figuur 3 luchtwassers laat zien die bij een pH waarde van 7,8 of 7,9 nog steeds hoge rendementen behalen. Tenslotte dient opgemerkt te worden dat een pH veel lager dan 6,5 eveneens ongewenst is, aangezien dit kan leiden tot de ongewenste emissie van andere stikstofverbindingen

¹ DLG = Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt, Duitsland.

(Melse et al., 2015). Van een correlatie tussen pH van het waswater en het geurrendement is geen sprake (Figuur 4).



Figuur 3: Combi-wassers en biowassers: invloed van pH van waswater op NH₃ verwijderingsrendement. In het geval van de bio-combi's wordt de pH van het waswater van de bio-wasstap en in het geval van de chemo-combi's wordt de pH van het waswater van de chemo-wasstap gegeven. Met twee verticale stippellijnen wordt de als normaal geachte pH range weergegeven.



Figuur 4: Combi-wassers en biowassers: invloed van pH van waswater op geurverwijderingsrendement. In het geval van de bio-combi's wordt de pH van het waswater van de bio-wasstap en in het geval van de chemo-combi's wordt de pH van het waswater van de chemo-wasstap gegeven. Met twee verticale stippellijnen wordt de als normaal geachte pH range weergegeven.

3.3 Algemene discussie en aanbevelingen

Opzet steekproef

Getracht is binnen de hoofdgroepen luchtwassers de steekproef aselekt uit te voeren in de onderzochte regio's. Opgemerkt dient te worden dat in 5 gevallen, dat betreft ca. 10% van het aantal uitgevoerde metingen, geen meting op het bedrijf kon worden uitgevoerd omdat de veehouder geen medewerking wilde verlenen (Tabel 3). In elk geval was het bij een van deze gevallen zo dat de betreffende wasser buiten werking was/niet goed functioneerde; mogelijk dat dit in meer gevallen zo is geweest. Het is daarmee niet aannemelijk dat deze metingen tot een beter overall resultaat zouden hebben geleid, in het geval dat deze wel uitgevoerd hadden kunnen worden.

De steekproefomvang met metingen op ca. 50 bedrijven heeft t.o.v. de ongeveer 2.500 bedrijfslocaties met luchtwassers in Limburg, Noord-Brabant en Gelderland een omvang van 2%. Het onderzoek heeft zich beperkt tot de regio's van twee omgevingsdiensten in Noord-Brabant en een klein aantal metingen in de Gelderse Vallei, en kan als representatief voor de regio's van de betrokken omgevingsdiensten worden beschouwd. Daarmee is deze steekproef niet per se representatief voor het totale gebied van Noord-Brabant en Gelderland, en ook niet landelijk representatief. Een factor die tot een afwijkend prestatieniveau in de andere regio's zou kunnen leiden is bijvoorbeeld het handhavingsbeleid van de betreffende omgevingsdiensten. De onderzochte regio's herbergen een groot deel van het landelijke totaal aan luchtwassers. Het ligt daarom niet in de verwachting dat het gemiddelde landelijke beeld sterk afwijkt van deze steekproef.

De steekproefomvang is voldoende groot om voor de betrokken regio's te concluderen dat de hier onderzochte groep combi-wassers onvoldoende presteert voor geur. De onzekerheidsmarge van de overall gemeten gemiddelde rendementsniveau voor geur bedraagt 5% (s.e.m. in Tabel 5) en geeft voldoende onderscheidend vermogen om te kunnen vaststellen dat deze niveaus onder het Rgv-reductieniveaus liggen voor combi-wassers.

Algemeen prestatieniveau

Uit de metingen is gebleken dat 10 resp. 11 van de 16 chemische luchtwassers ten tijde van de meting voldeden aan de in de Rgv en Rav gepubliceerde reducties voor geur- en ammoniakverwijdering. De geurverwijdering week bij de chemische wassers niet significant af van de Rgv-reductie. Voor de combi-wassers geldt dat 1 resp. 12 van de 29 luchtwassers voldeed aan de Rgv- en Rav-reducties voor geur- en ammoniakverwijdering. Het overall gemiddelde geurverwijderingspercentage van de combi-wassers (Tabel 5) bedroeg met 40% slechts de helft van het verwachte gemiddelde Rgv-reductieniveau (81%). Voor ammoniakverwijdering was het verschil, met een gemiddeld gemeten percentage van 59%, wat minder groot t.o.v. het verwachte Rav-percentage (85%), wat betekent dat het verwijderingsniveau meer dan een kwart lager was dan het verwachte prestatieniveau volgens de Rav-normering. De drie doorgemeten biologische luchtwassers voldeden allen aan zowel de Rgv-reductie voor geur als aan de Rav-reductie voor ammoniak. Voor de praktijk betekent dit dat bij veel combi-wassers de emissies van geur en ammoniak aanzienlijk boven de norm uit kunnen komen. Voor de chemische wassers en de beperkte groep biologische wassers is het beeld aanzienlijk gunstiger.

Ontwerp combi-wassers en geurverwijdering

De combi-wassers betroffen voor het grootste deel zogenaamde bio-combi's (25 van de 29 combi-wassers), oftewel biologische wassers met een additioneel watergordijn. Ontwerptechnisch en procesmatig gezien lijkt dit type wasser zeer sterk op een 'normale' biologische luchtwasser, welke volgens de Rgv een geuremissiereductie van 45% heeft. De geurverbindingen die niet worden afgevangen door een biologische luchtwasser betreffen hoofdzakelijk verbindingen die slecht oplosbaar zijn, anders zouden deze namelijk wel oplossen en afgevangen worden in het waswater. Het is daarom niet waarschijnlijk dat een additioneel watergordijn tot een grote toename in de geurverwijdering zou leiden. Dit kan verklaren dat uit dit onderzoek blijkt dat de bio-combi's een gemiddelde geurverwijdering hebben (40%) die in de buurt ligt van de Rgv geuremissiereductiefactor van 45% voor biologische wassers.

Iets vergelijkbaars is van toepassing op de chemo-combi's (4 van de 29 combi-wassers) waar een gemiddelde geurverwijdering van eveneens 40% werd gevonden. Naast de opeenvolgende chemische en waterwasstap is weliswaar sprake van een 'biofilter' stap voor verdere geurverwijdering, maar de

verblijftijd hierin is dusdanig klein dat het onwaarschijnlijk lijkt dat slecht wateroplosbare verbindingen hierin wél vergaand zouden worden afgebroken.

Variatie in verwijderingsrendementen

Zowel bij de chemische wassers als de combi-wassers was sprake van een aanzienlijke spreiding rond de gemiddelde geur- en ammoniakrendementen. Bij combi-wassers bedroeg de standaarddeviatie in geurverwijdering 26% bij een gemiddelde geurverwijdering van 40% (Tabel 5). Voor ammoniak was in deze groep de spreiding zelfs nog hoger met een standaarddeviatie van 45% bij een gemiddelde ammoniakverwijdering van 59%. Spreiding in gemeten verwijderingsrendement wordt veroorzaakt door meetonzekerheid en door variatie in procesvariabelen die het rendement bepalen. Bij ammoniakverwijdering door een biologische wasstap kan een deel van de spreiding verklaard worden door temperatuureffecten (zie verder onderstaand in de paragraaf over temperatuureffecten). Bij geurverwijdering is niet bekend hoe omgevingsvariabelen het rendement beïnvloeden. De meetonzekerheid van geur is echter aanzienlijk. Uit ringtesten van Nederlandse geurlabs bleek dat onder herhaalbaarheidscondities de meetonzekerheid van een geurmonster uitgedrukt als standaarddeviatie 18% bedraagt (Klarenbeek en Ogink, 2014). Bij rendementsmetingen gaat het om de gecombineerde meetonzekerheid van twee geurmonsters onder herhaalbaarheidscondities en is de meetonzekerheid hoger dan 18%. Het merendeel van de geconstateerde variatie in geurrendement bij combi-wassers (26%) is daarom waarschijnlijk terug te voeren op de meetonzekerheid.

Operationele parameters (pH en EC)

Verder is uit het onderzoek gebleken dat voor het merendeel van de combi-wassers, zijnde de bio-combi's, geldt dat het al dan niet voldoen aan de toegestane pH en EC range van het waswater geen voorspellende waarde heeft voor een te laag geur- of ammoniakrendement. Wel geldt voor alle typen wassers dat bij een veel te hoge pH een laag ammoniakrendement kan worden verwacht. Van een correlatie tussen pH van het waswater en het geurrendement is geen sprake. Dit betekent dat de elektronische monitoring, waarbij o.a. deze pH en EC waarden worden opgeslagen, geen rol kan spelen bij het identificeren van luchtwassers met een laag geurrendement. Wel kan de geregistreerde pH waarde gebruikt worden voor het identificeren van luchtwassers met laag ammoniakrendement bij een veel te hoge pH.

Uit het onderzoek blijkt echter dat bij een groot aantal van de combi-wassers een laag ammoniakrendement wordt gevonden terwijl de pH zich wel in de toegestane range bevindt, zodat het onderscheidend vermogen beperkt is. Dit roept de vraag op of de gehanteerde pH range voor het waswater van de biologische wasstap niet te ruim is en er wellicht een lagere maximale waarde zou moeten worden gehanteerd.

Temperatuureffect en tijdstip van meting

Wat betreft de interpretatie van de ammoniakrendementen van bio-combi's en biologische wassers dient te worden opgemerkt dat dit wordt beïnvloed door de temperatuur (Melse et al., 2013; Melse & Ploegaert, 2011). Dit betekent niet alleen dat in de zomer in het algemeen een lager rendement wordt gevonden, maar ook dat er sprake is van een dag-nacht ritme in het rendementsverloop. Inderdaad is gevonden in dit onderzoek (Tabel 5) dat de bio-combi's in de winter een hoger rendement laten zien. Verder is het vanwege het dag-nacht ritme ook van belang op welk moment van de dag het ammoniakverwijderingsrendement wordt vastgesteld: 's nachts zal het rendement in de regel hoger zijn dan overdag. Uit de achterliggende data van het onderzoek van Melse et al. (2013) en Melse & Ploegaert (2011) aan een biologische luchtwasser blijkt dat het ammoniakrendement gemiddeld 10 procentpunten varieert over een dag (gebaseerd op 139 dagen in een periode van november tot juli). In de winter is deze variatie minder sterk (enige procentpunten), in de zomer is deze variatie sterker en kan dan tot enige tientallen procentpunten oplopen. Dat is de reden dat in de meetprotocollen voor het vaststellen van emissiefactoren 24-uurs metingen voor ammoniak worden voorgeschreven, verdeeld over het jaar.

In het voorliggend onderzoek zijn de ammoniakrendementen indicatief bepaald op een tijdstip tussen 10:00 en 15:00, gemiddeld gezien om ca. 12:00. Wanneer de achterliggende data van bovengenoemde publicaties wordt geanalyseerd, volgt dat een rendementsmeting om 12:00 gemiddeld gezien slechts 1% afwijkt van (lager is dan) het gemiddelde rendement over de meetperiode. Het is echter niet duidelijk of deze dataset representatief is voor andere biologische wassystemen.

Vanwege het andere verwijderingsprincipe is het onwaarschijnlijk dat een dergelijk invloed van temperatuur op de ammoniakverwijdering bij chemische wassers een rol speelt. Het is onbekend of de geurverwijdering door bio-combi's en biologische wassers beïnvloed wordt door de temperatuur.

Gasdetectiebuisjes

Daarnaast moet opgemerkt worden dat de gebruikte meetmethode voor ammoniak (met Kitagawa gasdetectiebuisjes) wordt beschouwd als een indicatieve concentratiebepaling. In eerder onderzoek (Melse et al., 2012) waarbij deze gasdetectiebuisjes werden vergeleken met nat-chemische metingen, werd gevonden dat de gasdetectiebuisjes de concentratie van de ammoniak in de lucht na de wasser met gemiddeld 1,2 ppm onderschatten, zodat dit leidt tot een overschatting van het ammoniakverwijderingsrendement. Wanneer we aannemen dat de werkelijke ammoniakconcentratie van de lucht na de wasser 1,2 ppm hoger is dan de gemeten waarden die worden weergegeven in Tabel 4 t/m 6, zou het gemiddelde ammoniakrendement voor alle typen luchtwassers met 7-8% afnemen.

Verklaring afwijking van Rgv- en Rav-reducties bij combi-wassers

Een opvallend resultaat van het onderzoek is dat de gevonden geurrendementen voor de combi-wassers sterk afwijken van de reducties zoals die in de Rgv zijn vastgelegd. De indicatieve ammoniakmetingen geven aan dat iets vergelijkbaars geldt voor de waarden uit de Rav: ook de gevonden indicatieve ammoniakreducties lagen gemiddeld veel lager dan de waarden uit de Rav. Dit is niet alleen het geval wanneer de operationele parameters (pH en EC) zich buiten de toegelaten range bevonden, maar ook wanneer deze waarden wel conform de eis waren en er geen aanleiding was om te veronderstellen dat de wasser niet naar behoren zou functioneren.

Voor de emissiereducties zoals die in de Rgv en Rav zijn vastgesteld voor combi-wassers geldt dat deze zijn gebaseerd op de resultaten van een aantal onderzoeken dat is uitgevoerd door Duitse (certificerende) instanties en laboratoria. In de regel betrof dit luchtwasinstallaties die eerst onder begeleiding van de (certificerende) instanties werden geoptimaliseerd en vervolgens tijdens de uitvoering van het meetprogramma ook onder toezicht stonden van deze instanties.

Voor de geurmetingen uit deze onderzoeken geldt dat deze zijn uitgevoerd door Duitse laboratoria, conform de geldende geurnorm NEN-EN-13725. In deel 1 van dit onderzoek is reeds gevonden dat er systematische verschillen kunnen bestaan in geurconcentraties zoals die door verschillende geurlaboratoria worden gemeten (Melse et al., 2018). De door het Nederlandse laboratorium gemeten geurconcentraties lagen gemiddeld gezien 4,5 maal zo hoog als de waarden die door het Duitse laboratorium werden gemeten. Het niveauverschil tussen de laboratoria vertaalde zich in die studie niet in significante geurrendementsverschillen tussen beide labs, maar er was hier sprake van slecht functionerende wassers met lage geurrendementen. Mogelijk dat er bij goed functionerende luchtwassers wel systematische verschillen in geurrendement optreden tussen laboratoria. Om dit aan te tonen dan wel uit te sluiten is aanvullend onderzoek nodig.

Echter ook voor de ammoniakverwijdering geldt dat veel lagere rendementen zijn gevonden dan in het eerdere Duitse onderzoek, terwijl hier voor zover bekend geen systematische verschillen tussen meetmethoden een rol spelen. Dit werpt de vraag op of het meten aan een luchtwasser onder gecontroleerde omstandigheden (zoals in het Duitse onderzoek het geval is) wel een goed beeld geeft van de werking van een dergelijk systeem in de Nederlandse praktijk. Blijkbaar is er in de Nederlandse praktijk (zoals de metingen in dit rapport) sprake van een aantal factoren die de ammoniakverwijdering van de luchtwasser negatief beïnvloedt, zonder dat deze factoren voldoende bekend zijn of gemeten worden. Mogelijk dat deze factoren ook van invloed zijn op de geurverwijdering.

Een van deze factoren zou kunnen samenhangen met de manier waarop in Duitsland uitgevoerde metingen vertaald worden naar de Nederlandse situatie. In Duitsland wordt in een varkensstal in de regel een ventilatiecapaciteit geïnstalleerd die enige tientallen procenten hoger is dan in Nederland het geval is. Dit hangt mede samen met de eis in Duitsland dat de ammoniakconcentratie in de stal (oftewel in de ingaande lucht van de wasser) niet hoger mag zijn dan 20 ppm. Vervolgens moet bedacht worden dat de dimensionering van een luchtwasser meestal uitgedrukt wordt op basis van de

'luchtbelasting', oftewel een aantal m³ ventilatiecapaciteit per m³ pakkingsmateriaal per uur. Aangezien deze 'luchtbelasting' in de regel wordt overgenomen uit de Duitse testmeting, heeft dit tot gevolg dat wanneer deze wasser in Nederland op een even grote stal (met een zelfde aantal dieren) wordt gebouwd, deze kleiner van omvang is dan in Duitsland. Per dierplaats gezien wordt de wasser in Duitsland dus groter uitgevoerd dan in Nederland.

Wanneer we uitgaan van een zelfde gemiddelde ammoniakemissie en een lagere gemiddelde ventilatie per dierplaats in Nederland, heeft dit tot gevolg dat de gemiddelde ammoniakconcentratie van de ingaande lucht beduidend hoger is dan in Duitsland. Uit Tabel 4 t/m 6 volgt dat in ca. 40% van de metingen de ammoniakconcentratie hoger was dan 20 ppm, wat dus ook in die richting wijst. Tevens heeft dit tot gevolg dat de ammoniakbelasting (het aantal g NH₃ per m³ pakkingsmateriaal) bij toepassing in Nederland hoger is dan de condities waaronder hij getest is in Duitsland. Deze twee factoren zouden er toe kunnen leiden dat er bij toepassing in Nederland een lager ammoniakrendement wordt gevonden dan in het eerder uitgevoerde onderzoek in Duitsland. Op vergelijkbare wijze zou dit eveneens invloed kunnen hebben op het geurrendement.

Rendementsverschillen tussen verschillende typen luchtwassers in de Rgv

In de Rgv zijn geurrendementen opgenomen voor drie hoofdtypen luchtwassers: chemische, biologische en gecombineerde luchtwassers. De rendementsniveaus van de eerste twee groepen (chemisch en biologisch) zijn gebaseerd op meetseries die voor 2006 zijn uitgevoerd in Nederlandse stallen door het toenmalige IMAG/ASG-laboratorium. Dit laboratorium heeft ook de metingen verricht die ten grondslag liggen aan de overige geuremissiefactoren die in de eerste versie van de Rgv in uit 2006 zijn opgenomen (Ogink, 2010). Na de beëindiging van de werkzaamheden van het IMAG/ASG-laboratorium in 2009 zijn de geurmetingen in de veehouderij ten behoeve van het vaststellen van geuremissiefactoren door Buro Blauw (Wageningen) uitgevoerd. Bij deze overgang van laboratoria is in vergelijkend onderzoek geverifieerd dat de meetresultaten op een gelijk niveau lagen (Ogink et al., 2016). De hoofdbasis van de geuremissiefactoren in Nederland is daarmee gebaseerd op twee Nederlandse geurlaboratoria, waarbij het overgrote deel van alle Rgv-geuremissiefactoren door het IMAG/ASG-laboratorium is bepaald.

De uitzondering hierop betreffen de geurrendementscijfers voor gecombineerde luchtwassers: deze zijn gebaseerd op metingen die aanvankelijk hoofdzakelijk zijn uitgevoerd door de Fachhochschule Münster (Duitsland) en vanaf ca. 2009 in DLG-certificeringstesten door het LUFA-laboratorium (Duitsland). Daarmee is de situatie ontstaan dat de in de Rgv opgenomen rendementsverschillen tussen gecombineerde luchtwassers enerzijds en de chemische en biologische luchtwassers anderzijds verstrengeld zijn met mogelijke laboratoriumverschillen (tussen enerzijds de IMAG/ASG- en anderzijds de Münster/LUFA-laboratoria). Het verschil in rendement in de Rgv tussen gecombineerde luchtwassers en de andere twee groepen kan hierdoor vertekend zijn. De aan het licht gekomen problematiek van systematische geurlaboratorium-verschillen en het geringe aantal betrokken geurlaboratoria introduceren daarmee risico's voor de consistentie van de Rgv-emissiefactoren.

Samenvattende conclusies en aanbevelingen

* De prestatieniveaus van de onderzochte chemische en biologische wassers lagen dicht in de buurt van de Rgv- en Rav-reductieniveaus en weken daar niet aantoonbaar van af. Het prestatieniveau van de in deze steekproef onderzochte combi-wassers was echter aanzienlijk lager dan het Rgv- en Rav-reductieniveau. Het overall gemiddelde geurverwijderingspercentage van de combi-wassers bedroeg met 40% slechts de helft van het verwachte gemiddelde Rgv-reductieniveau (81%). Voor ammoniakverwijdering was het verschil, met een gemiddeld gemeten percentage van 59%, wat minder groot t.o.v. het verwachte Rav-percentage (85%), wat betekent dat het verwijderingsniveau meer dan een kwart lager was dan het verwachte prestatieniveau volgens de Rav-normering. Op dit moment is niet voldoende duidelijk waarom combi-wassers minder geur en ammoniak verwijderden dan het Rgv- en Rav-reductieniveau. Onderstaand worden 3 mogelijke oorzaken besproken:

- 1) Enerzijds zouden de combi-wassers technisch slecht kunnen functioneren als gevolg van bijvoorbeeld het ontwerp van de luchtwasser, niet uitgevoerd onderhoud en onvoldoende procesbewaking en processturing. Nader onderzoek is nodig om na te gaan welke factoren hierbij het belangrijkste zijn en op welke wijze de werking van de luchtwassers beter geborgd kan worden.

2) Daarnaast kan specifiek voor geur een rol spelen dat de vastgestelde Rgv-reductieniveaus zijn gebaseerd op een andere uitvoering van de geurmeetmethode dan in dit onderzoek is toegepast, hoewel in alle gevallen de metingen conform de voorgeschreven Europese standaard voor geurmetingen werden uitgevoerd. Er bestaan aanwijzingen dat systematische verschillen tussen metingen van geurniveaus tussen verschillende geurlaboratoria kunnen leiden tot systematische verschillen in de hieruit berekende geurrendementen. Aanbevolen wordt om dit nader te onderzoeken. Dit zou gedaan kunnen worden door een aantal goed-werkende luchtwassers tegelijkertijd te bemeten door verschillende laboratoria, uit zowel Nederland als Duitsland.

3) Tenslotte zouden verschillen tussen de in dit onderzoek gevonden rendementen voor combi-wassers en de emissiereducties volgens Rgv (geur) en Rav (ammoniak) kunnen samenhangen met de verschillende manier waarop in Nederland en Duitsland stalventilatiesystemen en luchtwassers worden gedimensioneerd. Aanbevolen wordt om dit nader te onderzoeken.

* Uit het onderzoek bleek dat in sommige gevallen een luchtwasser niet of slecht functioneerde vanwege een technische storing. Dit was dan ook in de log-data van de installaties terug te vinden. De elektronische registratie van procesparameters was in het algemeen succesvol, maar een aantal storingen bleef echter maandenlang onopgemerkt omdat de geregistreerde data niet frequent werd gecontroleerd op afwijkingen. Aanbevolen wordt om het proces van controle- en handhaving door de betrokken instanties op dit gebied te verbeteren.

Voor zowel de geur- als ammoniakverwijdering bij combi-wassers leidde het voldoen aan de pH en EC normen voor het waswater niet tot betere rendementen. Daarom wordt aanbevolen om na te gaan of de procesmonitoring uitgebreid kan worden met een directe meting van het ammoniakverwijderingsrendement. Op deze wijze zou, in elk geval voor ammoniak, de werking van de wasser rechtstreeks kunnen worden vastgesteld in plaats van de huidige situatie waarbij indirecte parameters (zoals pH, EC, hoeveelheid spuiwater etc.) worden vastgelegd. Dit zou kunnen leiden tot een betere borging van het goed functioneren van luchtwassers. Daarnaast wordt aanbevolen om na te gaan of de huidige pH normen voor bio-combi's en biologische wassers dienen te worden aangepast.

Referenties

- CEN (2003). Air quality, Determination of odor concentration by dynamic olfactometry. EN-13725. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- NEN (1995). Luchtkwaliteit, Sensorische geurmetingen met een olfactometer. NVN 2820. Delft.
- IenM (2017a). Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 6 april 2017, nr. IENM/BSK-2017/82063, tot wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij in verband met de wijziging van Meetprotocol 2013 en de actualisering en enkele verbeteringen van Bijlage I. Staatscourant nr. 20218, 11 april 2017.
- IenM (2017b). Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, van 6 april 2017, nr. IENM/BSK-2017/82064, tot wijziging van de Regeling geurhinder en veehouderij in verband met enkele verbeteringen van Bijlage 1. Staatscourant nr. 20211, 10 april 2017.
- Klarenbeek, J.V. ; Ogink, N.W.M. ; Voet, H. van der (2014). Odor measurements according to EN 13725: a statistical analysis of variance components. Atmospheric Environment 86 . - p. 9 - 15.
- Melse, R.W., Ploegaert, J.P.M., Ogink, N.W.M. (2013). Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammonia removal performance and its fluctuations. Biosystems Engineering 113(3):242-252.
- Melse, R.W., Ploegaert, J.P.M. (2011). Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid. Rapport 435. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Melse, R.W., Nijeboer, G.M., Ogink, N.W.M. (2018). Evaluatie geur- en ammoniakverwijdering door luchtwassersystemen bij stallen. Deel 1: Oriënterend onderzoek naar werking gecombineerde luchtwassers en verschillen tussen geurlaboratoria. Rapport 1081. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Melse, R.W., Ellen, H., Nijeboer, G.M., Ploegaert, J.P.M. (2012). Vergelijking rendementmetingen bij luchtwassers - Natchemisch versus gasdetectiebuisjes. Livestock Research, Wageningen. Gepubliceerd als bijlage van rapport "Innovatieproject Doelmatig gebruik luchtwassers - Eindverslag. DLV Intensief Advies BV/DLV Rundvee Advies BV, 13 maart 2012".
- Melse, R.W., J.A.C. Schalk, A.A. Bartels (2015). Onderzoek naar aanwezigheid van legionella in biologische luchtwassers bij stallen. Rapport 891. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Ogink, N.W.M. (2010). Vaststelling van geuremissiefactoren in de regeling geurhinder en veehouderij op basis van geuremissie-onderzoek. Rapport 391. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Ogink, N.W.M., Ellen, H., Mosquera, J. (2016). Actualisering geuremissiefactor vleeskuikens. Rapport 960. Wageningen: Wageningen Livestock Research.

Bijlage 1 - Type voedersysteem

In onderstaande tabellen wordt voor de verschillende typen luchtwassers aangegeven op welke bedrijven droogvoeding dan wel brijvoeding werd toegepast; de metingen zijn gesorteerd op type voeding. Voor de combi-wassers worden de gemiddelde waarden, standaarddeviatie (SD) en *standard error of the mean* (SEM) apart weergegeven voor de bedrijven met droogvoeding en de bedrijven met brijvoeding.

| CHEMISCHE WASSERS | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|----------------------|--------------|
| # | Datum | Geur-in (OUe/m3) | Geur-uit (OUe/m3) | Rendement geur (%) | NH3-in ppm | NH3-uit ppm | Rendement NH3 (%) | Type voeding |
| 1 | Thu 19-Jan-17 | 2914 | 1740 | 40 | 17.25 | 1.9 | 89 | droogvoer |
| 2 | Tue 24-Jan-17 | 2762 | 2336 | 15 | 36 | 1.25 | 97 | droogvoer |
| 3 | Wed 25-Jan-17 | 2906 | 3667 | -26 | 34.5 | 4.5 | 87 | droogvoer |
| 4 | Mon 30-Jan-17 | 2070 | 1512 | 27 | 25.5 | 1.9 | 93 | droogvoer |
| 5 | Tue 31-Jan-17 | 3619 | 3851 | -6 | 32.5 | 9 | 72 | droogvoer |
| 6 | Wed 1-Feb-17 | 4913 | 3189 | 35 | 20.25 | 21.25 | -5 | droogvoer |
| 7 | Wed 8-Feb-17 | 1432 | 2340 | -63 | 34 | 0 | 100 | droogvoer |
| 8 | Mon 13-Feb-17 | 4186 | 4953 | -18 | 40 | 0 | 100 | droogvoer |
| 10 | Wed 1-Mar-17 | 10963 | 5980 | 45 | 36 | 2.25 | 94 | droogvoer |
| 11 | Thu 2-Mar-17 | 2533 | 1121 | 56 | 10.5 | 0.25 | 98 | droogvoer |
| 12 | Mon 26-Jun-17 | 2601 | 1449 | 44 | 18.75 | 1.25 | 93 | droogvoer |
| 13 | Wed 5-Jul-17 | 2468 | 1359 | 45 | 10.5 | 0 | 100 | droogvoer |
| 14 | Mon 10-Jul-17 | 2609 | 1651 | 37 | 5 | 1.75 | 65 | droogvoer |
| 15 | Tue 11-Jul-17 | 2939 | 2009 | 32 | 10.25 | 0 | 100 | droogvoer |
| 16 | Thu 13-Jul-17 | 1135 | 1183 | -4 | 12.5 | 9.25 | 26 | droogvoer |
| 9 | Wed 15-Feb-17 | 4282 | 1720 | 60 | 23.5 | 0.5 | 98 | brijvoer |
| | <i>Gemiddelde:</i> | 3396 | 2504 | 20 | 23 | 3 | 82 | |
| | <i>SD:</i> | 2246 | 1438 | 34 | 11 | 6 | 30 | |
| | <i>SEM:</i> | 562 | 359 | 9 | 3 | 1 | 8 | |

| COMBI-WASSERS | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|----------------------|--------------|
| # | Datum | Geur-in (OUe/m3) | Geur-uit (OUe/m3) | Rendement geur (%) | NH3-in ppm | NH3-uit ppm | Rendement NH3 (%) | Type voeding |
| 18 | Mon 23-Jan-17 | 2942 | 1031 | 65 | 35 | 17 | 51 | droogvoer |
| 19 | Thu 2-Feb-17 | 3856 | 2082 | 46 | 37 | 3.75 | 90 | droogvoer |
| 22 | Thu 16-Feb-17 | 4546 | 2598 | 43 | 14.5 | 0 | 100 | droogvoer |
| 24 | Wed 22-Feb-17 | 7137 | 1632 | 77 | 37.5 | 0 | 100 | droogvoer |
| 25 | Mon 6-Mar-17 | 2412 | 1343 | 44 | 12.5 | 0 | 100 | droogvoer |
| 27 | Wed 8-Mar-17 | 2755 | 1436 | 48 | 20 | 0 | 100 | droogvoer |
| 30 | Wed 29-Mar-17 | 2750 | 1740 | 37 | 51 | 40 | 22 | droogvoer |
| 31 | Thu 30-Mar-17 | 1830 | 1432 | 22 | 33.5 | 28.5 | 15 | droogvoer |
| 32 | Mon 29-May-17 | 981 | 392 | 60 | 12 | 18 | -50 | droogvoer |
| 33 | Wed 31-May-17 | 1530 | 1628 | -6 | 12.5 | 2.75 | 78 | droogvoer |
| 34 | Thu 1-Jun-17 | 5124 | 1837 | 64 | 23.5 | 20.75 | 12 | droogvoer |
| 36 | Mon 12-Jun-17 | 7774 | 2355 | 70 | 25 | 0 | 100 | droogvoer |
| 37 | Tue 13-Jun-17 | 1877 | 614 | 67 | 9 | 0 | 100 | droogvoer |
| 38 | Wed 14-Jun-17 | 2609 | 1448 | 44 | 18.5 | 12.5 | 32 | droogvoer |
| 40 | Tue 20-Jun-17 | 1799 | 1109 | 38 | 8.25 | 8.25 | 0 | droogvoer |
| 41 | Wed 21-Jun-17 | 2288 | 1761 | 23 | 16 | 12.25 | 23 | droogvoer |
| 42 | Thu 22-Jun-17 | 1165 | 987 | 15 | 10.25 | 13.5 | -32 | droogvoer |
| 43 | Tue 27-Jun-17 | 3682 | 3928 | -7 | 9 | 5.5 | 39 | droogvoer |
| 44 | Thu 29-Jun-17 | 1451 | 912 | 37 | 3 | 0 | 100 | droogvoer |
| 45 | Mon 17-Jul-17 | 1382 | 1879 | -36 | 15.75 | 4.25 | 73 | droogvoer |
| 17 | Wed 18-Jan-17 | 6702 | 2542 | 62 | 46.5 | 9.25 | 80 | brijvoer |
| 20 | Thu 9-Feb-17 | 6410 | 3828 | 40 | 21.5 | 0 | 100 | brijvoer |
| 21 | Tue 14-Feb-17 | 4398 | 1635 | 63 | 17.5 | 0 | 100 | brijvoer |
| 23 | Tue 21-Feb-17 | 4398 | 2412 | 45 | 21 | 11.25 | 46 | brijvoer |
| 26 | Tue 7-Mar-17 | 1031 | 661 | 36 | 24 | 4 | 83 | brijvoer |
| 28 | Thu 9-Mar-17 | 3828 | 3728 | 3 | 18 | 0 | 100 | brijvoer |
| 29 | Tue 28-Mar-17 | 2533 | 871 | 66 | 15.75 | 12.25 | 22 | brijvoer |
| 35 | Tue 6-Jun-17 | 19368 | 7749 | 60 | 17.75 | 0.5 | 97 | brijvoer |
| 39 | Mon 19-Jun-17 | 3019 | 1851 | 39 | 14.25 | 12 | 16 | brijvoer |
| Overall: | | | | | | | | |
| | <i>Gemiddelde:</i> | 3847 | 1980 | 40 | 21 | 8 | 59 | |
| | <i>SD:</i> | 3530 | 1433 | 26 | 12 | 10 | 45 | |
| | <i>SEM:</i> | 656 | 266 | 5 | 2 | 2 | 8 | |
| Droogvoer: | | | | | | | | |
| | <i>Gemiddelde:</i> | 2995 | 1607 | 38 | 20 | 9 | 53 | |
| | <i>SD:</i> | 1889 | 774 | 29 | 13 | 11 | 48 | |
| | <i>SEM:</i> | 422 | 173 | 6 | 3 | 2 | 11 | |
| Brijvoer: | | | | | | | | |
| | <i>Gemiddelde:</i> | 5743 | 2809 | 46 | 22 | 5 | 72 | |
| | <i>SD:</i> | 5411 | 2156 | 20 | 10 | 6 | 34 | |
| | <i>SEM:</i> | 1804 | 719 | 7 | 3 | 2 | 11 | |

| BIOLOGISCHE WASSERS | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|----------------------|--------------------------|
| # | Datum | Geur-in (OUe/m3) | Geur-uit (OUe/m3) | Rendement geur (%) | NH3-in ppm | NH3-uit ppm | Rendement NH3 (%) | Brijvoer of droogvoer |
| 46 | Mon 20-Feb-17 | 2945 | 1740 | 41 | 20 | 2.5 | 88 | droogvoer |
| 47 | Wed 28-Jun-17 | 2018 | 799 | 60 | 29 | 8 | 72 | droogvoer |
| 48 | Mon 3-Jul-17 | 1045 | 669 | 36 | 10.75 | 1.75 | 84 | droogvoer |
| | <i>Gemiddelde:</i> | 2003 | 1069 | 46 | 20 | 4 | 81 | |
| | <i>SD:</i> | 950 | 584 | 13 | 9 | 3 | 8 | |
| | <i>SEM:</i> | | | 7 | | | 5 | |

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



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

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

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

