

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 503

Metingen aan twee luchtwassystemen in een vleeskuikenstal met conditionering van ingaande ventilatielucht

Juli 2012



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2012

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

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

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

The performance of two experimental air scrubber was investigated during 9 months on two broiler houses. The inlet ventilation air of the houses is led through a subsoil heat exchanger.

In this report the removal efficiencies of the scrubber are reported for ammonia, odour and fine dust (PM10 and PM2.5).

Keywords

Livestock, scrubber, ammonia, odour, fine dust, PM10, PM2.5

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

R.W. Melse
T.G. van Hattum
J.W.H. Huis in't Veld
F.A. Gerrits

Titel

Metingen aan twee luchtwassystemen in een vleeskuikenstal met conditionering van ingaande ventilatielucht
Rapport 503

Samenvatting

De werking van twee experimentele luchtwassers is gedurende 9 maanden onderzocht op twee vleeskuikenstallen. De ingaande ventilatielucht van de stallen werd door een bodemwarmtewisselaar geleid. In dit rapport worden de verwijderingsrendementen van de wasser gepresenteerd voor ammoniak, geur en fijnstof (PM10 en PM2.5).

Trefwoorden

Veehouderij, combi-wasser, gecombineerde luchtwasser, luchtwasser, ammoniak, geur, fijnstof, PM10, PM2.5



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 503

Metingen aan twee luchtwassystemen in een vleeskuikenstal met conditionering van ingaande ventilatielucht

Measurements on two air scrubbing systems on broiler houses with heat exchanger for inlet ventilation air

R.W. Melse

T.G. van Hattum

J.W.H. Huis in't Veld

F.A. Gerrits

Juli 2012

Voorwoord

In het kader van het door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) opgezette Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL) heeft Wageningen UR Livestock Research (WUR LR) een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de werking van experimentele luchtwassersystemen voor stalluchtbehandeling.

In voorliggend rapport worden de resultaten gepresenteerd van een onderzoek aan twee luchtwassers die worden toegepast op een vleeskuikenbedrijf, waarbij de ingaande ventilatielucht wordt geconditioneerd met een bodem-warmtewisselaar. In deze warmtewisselaar wordt de lucht met behulp van grondwater gekoeld dan wel opgewarmd, afhankelijk van het jaargetijde.

We willen de betrokken veehouder en luchtwasserleverancier van harte bedanken voor de medewerking aan het project.

Roland Melse
Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

In de periode 2007 - 2010 is binnen het kader van het door de Ministeries van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) opgezette Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL) door Wageningen UR Livestock Research (WUR-LR) een monitoringsonderzoek uitgevoerd naar de werking van een aantal experimentele luchtwassers voor de behandeling van ventilatielucht van stallen. In onderliggend rapport worden de metingen aan twee van deze luchtwassers gerapporteerd. Het betreft in beide gevallen een luchtwasser die de ventilatielucht behandelt van een vleeskuikenbedrijf waarbij de ingaande ventilatielucht wordt geconditioneerd met een bodem-warmtewisselaar. De warmtewisselaar heeft als functie om de lucht die de stal binnenkomt met behulp van grondwater te koelen dan wel op te warmen, afhankelijk van het jaargetijde. De ene luchtwasser betreft een biologische luchtwasser met een nitrificatie-denitrificatie systeem; de andere luchtwasser betreft een luchtwasser waarbij, in tegenstelling tot reguliere chemische wassers, slechts een beperkte hoeveelheid zwavelzuur wordt gedoseerd waardoor de pH relatief hoog blijft (4 tot 7).

Luchtwasser 1: Biologische luchtwasser met denitrificatie

Het ammoniakverwijderingsrendement van deze wasser bedroeg gemiddeld 85% (n=5; sd=7,6). Het N-totaal gehalte van het spuiwater bedroeg gemiddeld 1,4 g N/liter. Daarnaast is er tenslotte sprake van een toename van de lachgasconcentratie; de gemiddelde lachgasconcentratie neemt toe van 0,3 tot 1,1 ppm. Er kon in onderliggend onderzoek echter geen significante geurverwijdering door de wasser worden aangetoond ($p > 0,17$). Wel moet opgemerkt worden dat één specifieke meting met een negatief rendement een grote invloed heeft op de gemiddelde geurverwijdering. Het is niet uitgesloten dat een groter aantal metingen (n>6) zou resulteren in een gemiddeld positief geurverwijderingsrendement. Voor de verwijdering van fijnstof (PM10) werd een gemiddeld rendement van 59% (n=6; sd=9,0) gevonden bij een gemiddelde luchtverblijftijd van 0,71 seconden. Op basis van de metingen van ammoniak, lachgas en stikstofgehalten in het waswater is een indicatieve massabalans opgesteld voor de verwijdering van stikstof uit het systeem. Daaruit volgt dat ca. 78% van de aangeboden stikstof uiteindelijk wordt gedenitrificeerd en het systeem via de lucht verlaat als N₂, N₂O en mogelijk NO of NO₂. De overige stikstof wordt afgevoerd via het spuiwater of als NH₃ via de lucht, aangezien het ammoniakverwijderingsrendement lager is dan 100%.

Luchtwasser 2: Chemische wasser met beperkte zuurdosering (pH < 7)

De metingen aan de chemische luchtwasser met beperkte zuurdosering lieten een gemiddelde ammoniakverwijdering zien van 69% (n=6; sd=13). Tijdens de meetperiode bevond de pH van het waswater zich tussen 4,4 en 6,8. Uit de metingen wordt geconcludeerd dat ook bij een relatief hoge pH (normaliter bedraagt de pH in een chemische wasser 2 tot 4) nog steeds een goede ammoniakverwijdering kan worden gerealiseerd. De geurverwijdering bleef hier sterk bij achter; er kon in onderliggend onderzoek geen significante geurverwijdering worden aangetoond ($p > 0,13$). Voor de verwijdering van fijnstof (PM10) werd een gemiddeld rendement van 44% (n=6; sd=26) gevonden bij een gemiddelde luchtverblijftijd van 0,56 seconden. Er werd dusdanig veel water gespuid dat het stikstofgehalte van het water relatief laag was, ca. 1,2 g N/liter.

Summary

Wageningen UR Livestock Research (WUR-LR) has been commissioned by the Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment (IenM) and the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation (EL&I) to perform a measurement program in order to determine the performance characteristics of several experimental air scrubbers at animal farms. The measurement program is part of a research program called *Programma Gecombineerde Luchtwaters* (PGL) which has been established by these ministries. In this report the monitoring of two of these scrubbers is described. In both cases the air scrubber is used for treatment of the exhaust air of a broiler house. The inlet air of the houses is led through a subsoil heat exchanger in order to cool the air in summer and heat the air in winter time. One of the tested scrubbers is a biological air scrubber equipped with a nitrification-denitrification treatment step. The other is a chemical scrubber where a slight amount of sulphuric acid is added to the spraying water, resulting in a relatively high pH (4 to 7) whereas this type of scrubber is usually operated at lower pH (2-4).

Air scrubber 1: Biological air scrubber with denitrification

The ammonia removal efficiency of the biological scrubber system was on average 85% (n=5; sd=7,6). An increase of the nitrous oxide (N₂O) concentration was found; the average nitrous oxide concentration increased from 0.3 to 1.1 ppm. The N-total content of the discharge water was on average 1,4 g N/litre. No significant odour removal (p > 0.17) could be demonstrated. It should be noted, however, that one of the measurement, with a negative removal efficiency, has a large influence on the average removal efficiency. A larger number of measurements (n>6) might result in an average odour removal efficiency larger than 0%. For fine dust (PM₁₀) an average removal efficiency of 59% (n=6; sd=9,0) was found at an average air residence time of 0.71 seconds. An indicative nitrogen balance was calculated which indicates that about 78% of the nitrogen that enters the system as ammonia is eventually denitrified and leaves the system as N₂, N₂O and possibly NO or NO₂. The remaining nitrogen is partly discharged with the water and partly as ammonia in the outlet air.

Air scrubber 2: Chemical scrubber with moderate acid dosing (pH < 7)

The ammonia removal efficiency of the chemical scrubber was on average 69% (n=6; sd=13). The pH was between 4,4 and 6,8 during the measurement period. It can be concluded that also at this relatively high pH (usually chemical scrubbers are operated at a pH between 2 and 4) a fairly good ammonia removal efficiency can be achieved. For odour no significant removal efficiency could be demonstrated (p > 0,13). For fine dust (PM₁₀) an average removal efficiency of 44% (n=6; sd=26) was found at an average air residence time of 0,56 seconds. The average nitrogen concentration of the water (about 1.2 g N/litre) was relatively low due to the high discharge and consequently high fresh water inlet rate.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

Uitgever	1
Redactie.....	1
Communication Services.....	1
Copyright.....	1
1 Inleiding	1
2 Materiaal en methoden	2
2.1 Algemeen	2
2.2 Beschrijving vleeskuikenstallen	2
2.3 Beschrijving luchtwasser 1: Biologische luchtwasser met denitrificatie.....	3
2.4 Beschrijving luchtwasser 2: Chemische wasser met beperkte zuurdosering (pH < 7).....	6
2.5 Metingen	8
3 Resultaten.....	9
3.1 Luchtwasser 1: Biowasser met denitrificatie (vleeskuikens).....	9
3.1.1 Diergegevens en ventilatiedebiet.....	9
3.1.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof	9
3.1.3 Broeikasgasmetingen	10
3.1.4 Analyses water.....	11
3.1.5 Werking denitrificatie.....	11
3.2 Luchtwasser 2: Chemische wasser met beperkte zuurdosering (pH < 7)	13
3.2.1 Diergegevens en ventilatiedebiet.....	13
3.2.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof	13
3.2.3 Broeikasgasmetingen	14
3.2.4 Analyses water.....	15
4 Conclusie	16
4.1 Luchtwasser 1: Biologische luchtwasser met denitrificatie	16
4.2 Luchtwasser 2: Chemische wasser met beperkte zuurdosering (pH < 7)	16

Referenties

Bijlage 1: Meetmethoden

1 Inleiding

De intensieve veehouderij in Nederland is verantwoordelijk voor de emissie van ammoniak, geur en fijnstof (PM10, PM2.5). De genoemde emissies zijn nadelig voor de kwaliteit van de natuur en leefomgeving en belemmeren in sommige gevallen de ontwikkelingen in het landelijk gebied. Om deze problemen aan te pakken zetten de Ministeries van Infrastructuur en Milieu (IenM) en van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) onder andere in op toepassing en verdere ontwikkeling van de techniek van luchtwassystemen voor de behandeling van ventilatielucht van stallen. In dit kader is door deze ministeries een programma opgezet genaamd Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL).

Als onderdeel van dit programma heeft Wageningen UR Livestock Research (WUR LR) een monitoringsonderzoek uitgevoerd naar de werking van een aantal experimentele gecombineerde luchtwassers, waarvan de resultaten worden gerapporteerd in Melse et al. (2011). In dat rapport wordt onder andere een gecombineerde luchtwasser beschreven die worden toegepast op een vleeskuikenbedrijf waarbij de ingaande ventilatielucht wordt geconditioneerd met een bodem-warmtewisselaar. De luchtwasser betreft een biologische luchtwasser met een nitrificatie-denitrificatie systeem; de warmtewisselaar heeft als functie om de lucht die de stal binnenkomt met behulp van grondwater te koelen dan wel op te warmen, afhankelijk van het jaargetijde.

Uit Melse et al. (2011) bleek dat de verwijderingsrendementen voor ammoniak, geur en fijnstof van dit systeem lager waren dan beoogd, waarna het ontwerp is aangepast. Deze aangepaste wasser is vervolgens opnieuw doorgemeten. In voorliggend rapport worden deze metingen gerapporteerd ('luchtwasser 1').

Daarnaast worden metingen gerapporteerd aan een chemische luchtwasser van een naastgelegen stal waarbij eveneens een warmtewisselaar wordt toegepast ('luchtwasser 2'). Bij deze luchtwasser wordt, in tegenstelling tot bij reguliere chemische wassers, slechts een beperkte hoeveelheid zuur gedoseerd waardoor de pH van het waswater relatief hoog blijft (4 tot 7).

2 Materiaal en methoden

2.1 Algemeen

Onderstaand wordt een beschrijving gegeven van de twee experimentele luchtwassers die in het onderzoek waren opgenomen. Beide luchtwassers bevonden zich op hetzelfde vleeskuikenbedrijf. De luchtwassers zijn voorafgaand aan het onderzoek in samenwerking tussen de betreffende luchtwasserleverancier en veehouder ontwikkeld. De luchtwassers zijn niet in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) opgenomen en hebben een experimentele status. Het betreft "full scale" systemen die de ventilatielucht van een gehele stal behandelen.

Op het vleeskuikenbedrijf waar de metingen zijn uitgevoerd bevonden zich twee stallen die uitgerust waren met een luchtwasser: één stal was uitgerust met een biologische wasser met denitrificatie ('luchtwasser 1') en één stal was uitgerust met een chemische wasser ('luchtwasser 2') waarbij slechts beperkt zuur werd toegevoegd (pH is maximaal 7).

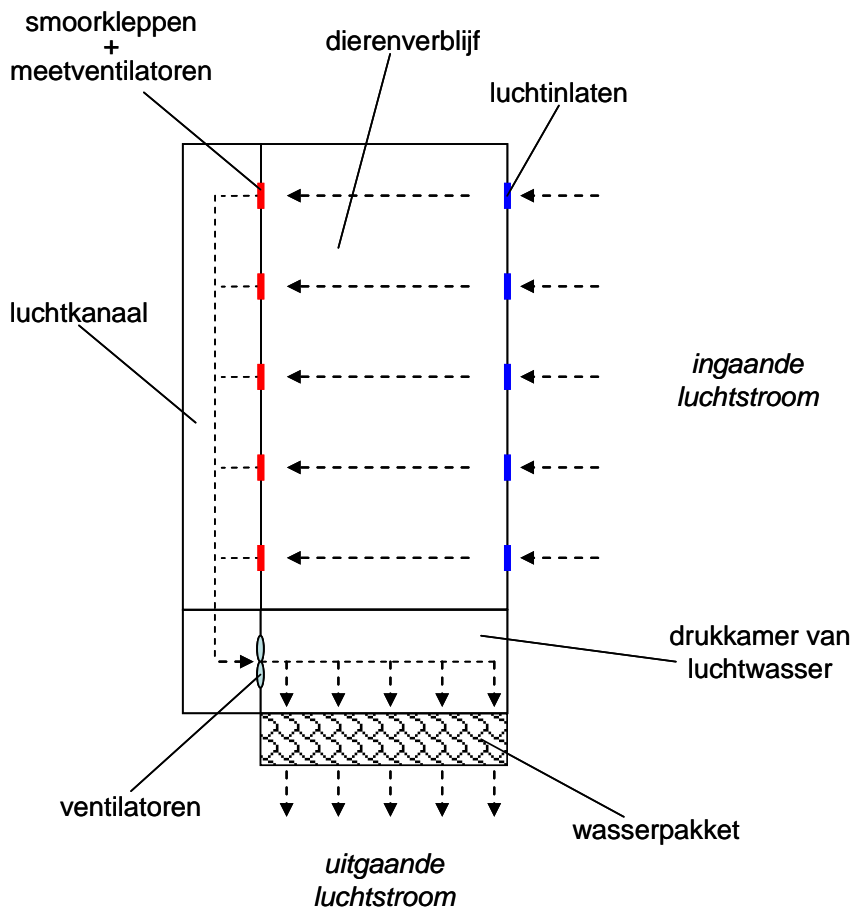
2.2 Beschrijving vleeskuikenstallen

Beide stallen betreffen een vleeskuikenstal met 30.000 dieren. De ingaande lucht van de stal gaat door een warmtewisselaar waarin de lucht wordt geconditioneerd met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar (gesloten systeem). Doordat de binnenkomende lucht in de zomerperiode gekoeld wordt met behulp van de bodemwarmtewisselaar is het maximale debiet laag in vergelijking met een conventionele vleeskuikenstal zonder conditionering van de ingaande lucht. In de winter wordt de binnenkomende lucht opgewarmd in de warmtewisselaar wat in het algemeen een verbetering van het stalklimaat tot gevolg zal hebben. De maximale capaciteit van de luchtwasser bedraagt 75.000 m³/uur hetgeen gebaseerd is op een ventilatiecapaciteit van 2,5 m³/vleeskuiken/uur; dit is ongeveer een derde is van de minimale ventilatiecapaciteit die normaliter wordt aangehouden (3,6 m³/kg lichaamsgewicht/uur).

Vervolgens stroomt de lucht dwars door de stal en wordt afgevoerd via een luchtkanaal dat parallel aan de stal loopt (lengterichting). Hierdoor wordt de lucht gedwongen van richting te veranderen (een rechte hoek te maken). Op de bodem van het luchtkanaal staat een laagje water. Als gevolg van de richtingverandering en werveling van de luchtstroom is het de bedoeling om het in de lucht aanwezige grove stof deels af te scheiden uit de lucht en op te hopen in het laagje water.

Daarna komt de lucht aan het eind van het luchtkanaal in een drukkamer terecht waarna de lucht met behulp van vier ventilatoren door de wasser wordt geleid, in de ene stal betreft dit een biologische wasser en in het andere geval een chemische wasser. In Figuur 1 word schematisch weergegeven hoe de lucht zich door de stal beweegt.

Elke ronde duurt ca. 6 weken (43 dagen), gevolg door 10 dagen leegstand. De wasser blijft tijdens deze gehele periode ingeschakeld, ook tijdens de leegstandperiode.



Figuur 1 Schematische weergave (gezien vanaf bovenzijde) van de luchtstromen in beide stallen; de luchtstromen worden met pijltjes aangegeven.

2.3 Beschrijving luchtwasser 1: Biologische luchtwasser met denitrificatie

Het systeem bestaat uit een luchtwasser met één wassetie (dwarsstroomprincipe) en daaraan gekoppeld een aparte nitrificatie/denitrificatie-reactor.

Het waspakket van de luchtwasser is een wand van 38 cm dik en is opgebouwd uit kunststof pakkingsmateriaal (merk: 2H GmbH; type: NET38; spec.opp.: $120 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Het aanstroomoppervlak van de wasser bedraagt $19,8 \text{ m}^2$ (7,3 meter breed en 2,7 meter hoog). Het volume van de pakking bedraagt dus $19,8 \times 0,38 = 7,5 \text{ m}^3$.

De minimale luchtverbliftijd (op basis van een lege ruimte) van de wasser komt bij het maximale debiet van $75.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ uit op 0,36 seconden, de maximale luchtsnelheid in de wasser (op basis van een lege ruimte) bedraagt dan 1,1 m/s.

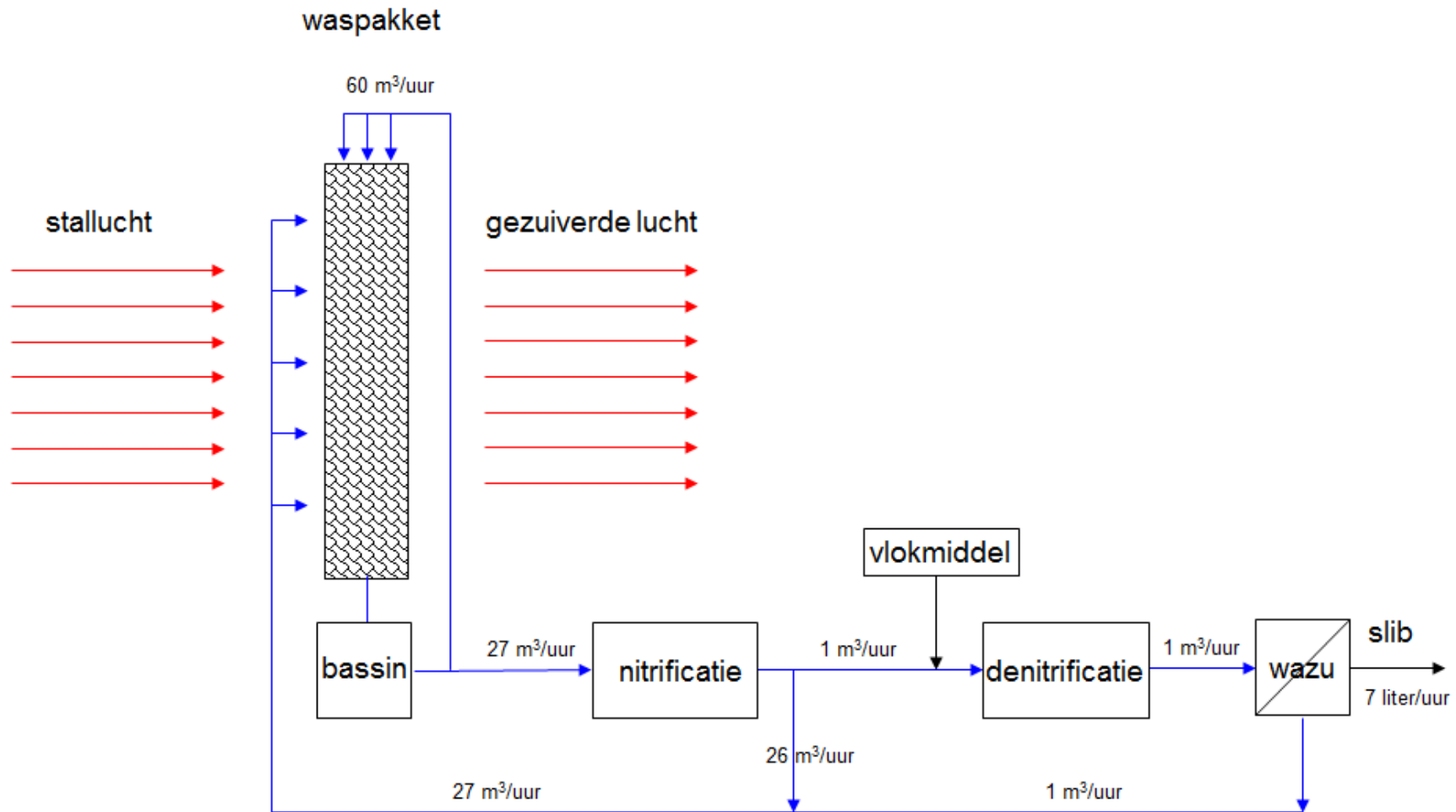
Met behulp van een drukloos waterverdeelsysteem wordt continu water over de bovenzijde van het wasserpakket verdeeld (ca. $60 \text{ m}^3/\text{uur}$). Het water dat aan de onderzijde uit het waspakket druppelt wordt opgevangen in een bassin en vervolgens over het wasserpakket gerecirculeerd. In dit water worden de verontreinigingen (o.a. ammoniak, geurcomponenten en fijnstof) ingevangen. Daarnaast wordt continu een hoeveelheid water tegen de zijkant van het pakket gesproeid.

Een deelstroom wordt continu uit het bassin weggepompt naar een nitrificatietank en vervolgens naar een denitrificatietank. Tenslotte wordt in de waterzuiveringsbak ('wazu') een deel van het water gespuid ('slib') en een deel van het water terug naar de wassetie gevoerd. Om deze afscheiding te bevorderen wordt eerder in het proces een hoeveelheid vlokmiddel toegevoegd.

In de nitrificatiereactor de ("EIMO reactor") bevindt zich geïmmobiliseerde biomassa, waarbij "EIMO" staat voor "Einschluss-Immobilisierte Mikro-Organismen" of "Encapsulated Immobilized Micro

Organisms". Hierbij gaat het om geconcentreerde biomassa die in een stabiele polymeer-matrix is ingesloten in de vorm van bolletjes met een diameter van 1 tot 4 mm. Deze reactor wordt geroerd maar niet belucht. In de denitrificatiereactor is daarentegen geen pakkingsmateriaal o.i.d. aanwezig. De gedachte is dat in het nitrificatie-denitrificatiesysteem afhankelijk van de lokale redox potentiaal / zuurstofconcentratie en de aanwezigheid van voldoende biomassa de ingevangen ammoniak eerst wordt omgezet naar nitriet en nitraat en vervolgens tot stikstofgas (N_2). Het denitrificatiesysteem heeft als doel om, in vergelijking met een "normale" biowasser, het spuivolume te verminderen. De bovengenoemde waterzuiveringsbak heeft als functie stof en ander gesuspendeerd materiaal af te scheiden uit het water zodat een relatief schone vloeistof terug het systeem ingaat. De hoeveelheid spuiwater is door de luchtwasserleverancier ingesteld op ca. 9 m^3 per ronde, dat wil zeggen ca. 63 m^3 per jaar of 7 liter per uur zal worden geproduceerd. Dit staat gelijk aan ca. 2,1 liter per vleeskuikenplaats per jaar. Deze hoeveelheid spuiwater (of slib) bedraagt ca. 15% van de minimale spuihoeveelheid zoals deze vastgelegd is voor een standaard biologische luchtwasser zonder denitrificatie (InfoMil, 2011). De hoeveelheid spuiwater is door de luchtwasserleverancier ingesteld op bovengenoemde waarde om voldoende afvoer van stof en ander gesuspendeerd materiaal te realiseren, zodat het water relatief schoon blijft. Daarnaast wordt de EC gemeten en wordt, indien dit nodig mocht zijn, de spuihoeveelheid verder verhoogd om een EC van maximaal 15 mS/cm te waarborgen (dit staat gelijk aan een stikstofgehalte van ca. 3,2 g N/liter); wanneer er meer gespuid wordt, gaat de EC omlaag.

In Figuur 2 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven; Figuur 3 is een foto van de achterzijde van de stal waar de wasser is geplaatst.



Figuur 2 Schematische weergave van de experimentele biologische luchtwater met denitrificatie. Het waterniveau in het bassin wordt aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en slib-afvoer. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.



Figuur 3 Buitenaanzicht van de experimentele biologische luchtwasser met denitrificatie (wasser 1).

2.4 Beschrijving luchtwasser 2: Chemische wasser met beperkte zuurdosering (pH < 7)

Het systeem bestaat evenals luchtwasser 1 uit een luchtwasser met één wassectie (dwarsstroomprincipe). Het verschil is dat nu geen nitrificatie/denitrificatie-reactoren aanwezig zijn voor de behandeling van het waswater maar dat een hoeveelheid zwavelzuur gedoseerd wordt. Het bijzondere van deze wasser is dat er, in vergelijking met de gangbare types chemische wassers, slechts een kleine hoeveelheid zuur wordt gedoseerd waardoor de pH relatief hoog is. In de meeste gangbare chemische wassers wordt de pH van het waswater geregeld tussen 2 en 4 ; volgens de leverancier is het de bedoeling om bij deze wasser de pH van het waswater tussen 6,5 en 7 te regelen.

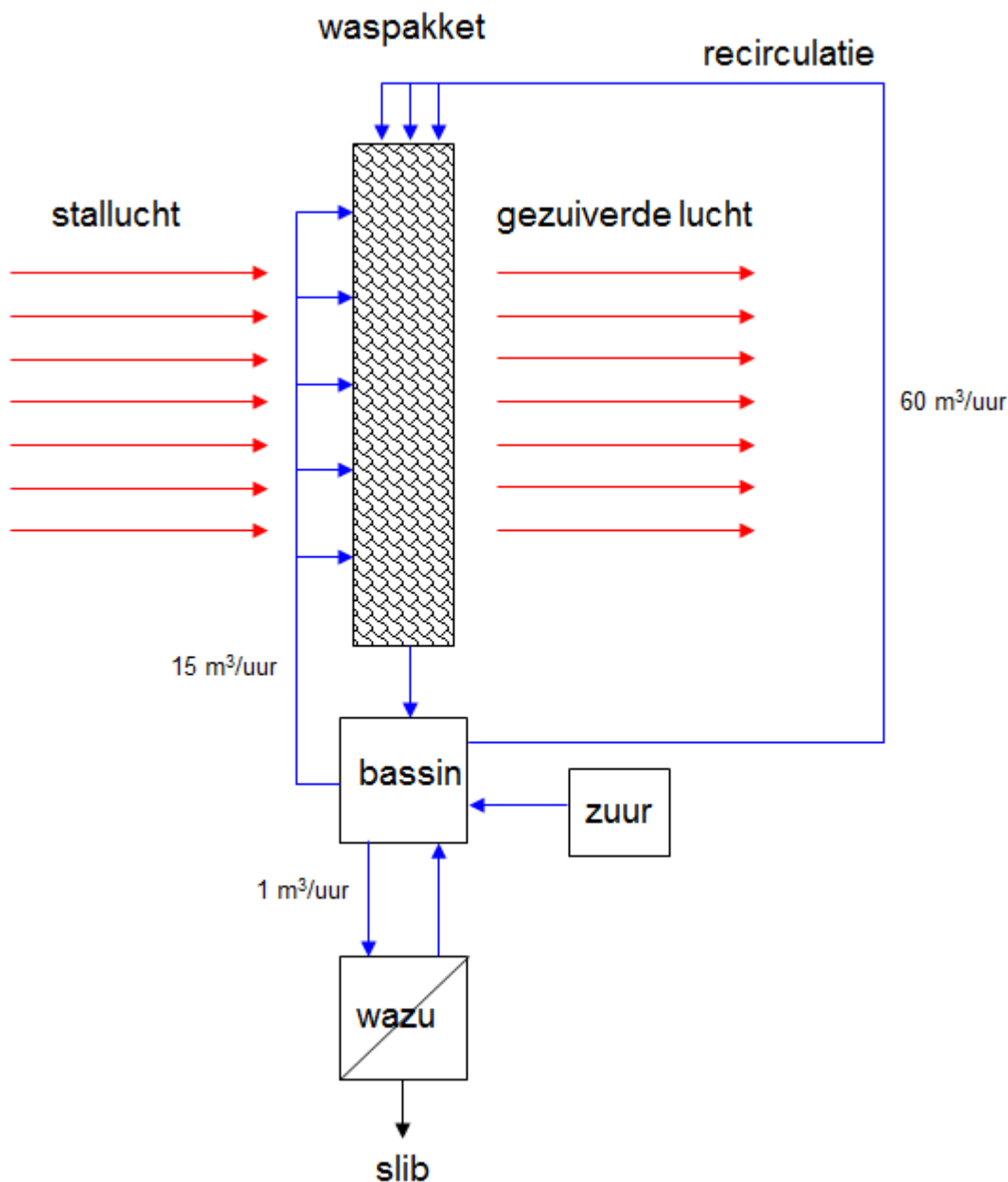
Het waspakket van de luchtwasser is een wand van 30 cm dik en is opgebouwd uit kunststof pakkingsmateriaal (merk: 2H GmbH; type: NET38; spec.opp.: $120 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Het aanstroomoppervlak van de wasser bedraagt $19,8 \text{ m}^2$ (7,3 meter breed en 2,7 meter hoog). Het volume van de pakking bedraagt dus $19,8 \times 0,30 = 5,91 \text{ m}^3$.

De minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) van de wasser komt bij het maximale debiet van $75.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ uit op 0,28 seconden, de maximale luchtsnelheid in de wasser (op basis van een lege ruimte) bedraagt dan 1,1 m/s.

Met behulp van een drukloos waterverdeelsysteem wordt continu water over de bovenzijde van het waspakket verdeeld (ca. $60 \text{ m}^3/\text{uur}$). Het water dat aan de onderzijde uit het waspakket druppelt wordt opgevangen in een bassin. De pH van dit water wordt gemeten met behulp van een sensor.

Wanneer de gemeten pH te hoog is wordt een hoeveelheid zuur toegevoegd totdat de pH gaat dalen. Op deze wijze wordt geprobeerd om de pH te regelen rond een waarde van ca. 6,7 ($\pm 0,1$). Het aangezuurde water wordt gerecirculeerd over het waspakket. In dit water worden de verontreinigingen (o.a. ammoniak, geurcomponenten en fijnstof) ingevangen. Een deelstroom wordt continu uit het bassin weggepompt naar een waterzuiveringsbak ("wazu"). In deze bak wordt een hoeveelheid vlokmiddel toegevoegd; vervolgens wordt een deel van het water (slib) uit deze bak gespuid en wordt een deel van het water terug naar het bassin gevoerd. De hoeveelheid spuiwater wordt dusdanig ingesteld dat er voldoende afvoer van stof en ander gesuspendeerd materiaal plaatsvindt zodat het water in het systeem relatief schoon blijft.

In Figuur 4 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven.



Figuur 4 Schematische weergave van de experimentele chemische wasser. Het waterniveau in het bassin wordt aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en slib-afvoer. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.

2.5 Metingen

Tijdens de onderzoeksperiode is een aantal maal het verwijderingsrendement bepaald voor ammoniak, geur en fijnstof; daarnaast is de productie dan wel consumptie van broeikasgassen in de luchtwasser gemeten (Tabel 1).

Tabel 1 Toelichting meting rendementen luchtwasser

Parameter	Meetmethode
Rendement	- Fijnstof (PM10 en PM2.5); tijdsgemiddelde meting over 24 uur - Ammoniak; tijdsgemiddelde meting over 24 uur - Geur; tijdsgemiddelde meting over 2 uur
Broeikasgassen	- Methaan, lachgas en kooldioxide; tijdsgemiddelde meting over 24 uur

De gebruikte meetmethoden voor het verwijderingsrendement van ammoniak, geur, fijnstof, methaan en lachgas zijn gebaseerd op de protocollen zoals die zijn opgesteld door Ogink et al. (2011a, 2011b), Ogink (2011), Groenestein et al. (2011) en Mosquera et al. (2011). In de bijlage van dit rapport worden de gebruikte meetmethoden nader beschreven.

Tijdens de uitvoering van bovengenoemde metingen werden tevens monsters genomen van het waswater van de wassers om deze te analyseren op pH, EC, droge stof, asrest, ammonium, nitraat, nitriet en totaal-stikstof gehalte.

3 Resultaten

3.1 Luchtwasser 1: Biowasser met denitrificatie (vleeskuikens)

3.1.1 Diergegevens en ventilatiedebiet

In Tabel 1 wordt weergegeven op welke data de rendementsmetingen aan de luchtwasser zijn uitgevoerd; tevens wordt aangegeven wat de leeftijd van de dieren en het ventilatiedebiet op dat moment was.

Tabel 1 Metingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1

Datum	Leeftijd dieren (dag) ⁽¹⁾	Aantal aanwezige dieren	Luchtdebiet stal, 24-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽²⁾	Luchtdebiet stal, 2-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽³⁾
04-mrt-10	34	23.360	24.474	27.767
15-jun-10	32	29.413	59.655	58.600
11-aug-10	36	21.800	58.880	65.143
08-sep-10	12	30.101	17.161	15.248
20-sep-10	24	29.804	42.802	46.095
29-nov-10	27	29.248	24.954	23.524

⁽¹⁾ Met "leeftijd dieren" wordt het aantal dagen sinds de oplegdatum bedoeld. Na ongeveer 6 weken dagen worden de dieren afgevoerd

⁽²⁾ Het 24-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van ammoniak en fijnstof

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

Uit het 24-uurs gemiddelde luchtdebiet van de metingen in Tabel 1 kan berekend worden dat de gemiddelde luchtverblijftijd in de wasser 0,71 seconden bedroeg en de gemiddelde belasting gemiddeld 50% bedroeg van de maximale luchtbelasting.

3.1.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

In Tabel 2, 3 en 4 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven.

Tabel 2 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Rendement (%)
04-mrt-10	21,11	1,86	91
15-jun-10	11,56	2,45	79
11-aug-10	11,28	2,72	76
08-sep-10	1,83	0,21	88
20-sep-10	14,61	1,06	93
29-nov-10	n.b. ⁽¹⁾	1,67	n.b. ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ten gevolge van storing in de meetapparatuur kon het ammoniakgehalte van de ingaande lucht niet worden bepaald; dientengevolge kan het ammoniakverwijderingsrendement ook niet worden berekend.

Uit Tabel 2 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 5 metingen **85%** (sd=7,6; p < 0,05) bedraagt.

Tabel 3 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E / m ³)	Rendement (%)
04-mrt-10	2.378	2145	10
15-jun-10 ⁽¹⁾	450	448	0,4
11-aug-10	517	837	-62
08-sep-10	3.032	788	74
20-sep-10	1.649	969	41
29-nov-10	1.218	450	63

⁽¹⁾ Op deze datum is na de meting nogmaals een geurmeting uitgevoerd met ongeveer hetzelfde resultaat: geur-in = 521 OU_E/m³ en geur-uit = 520 OU_E/m³.

Uit Tabel 3 volgt dat de gemiddelde geurverwijdering **21%** (6 metingen; sd=50) bedraagt; deze geurverwijdering is echter niet statistisch significant ($p > 0,17$).

Wel moet opgemerkt worden dat de meting van 11 augustus 2010, met een negatief geurrendement van -62%, een grote invloed heeft op het eindresultaat. Desalniettemin wordt er vanuit gegaan dat er tijdens deze meting werkelijk sprake was van een toename van de geurconcentratie; er zijn geen onregelmatigheden geconstateerd tijdens de monsternamen of analyse van de monsters. Daarom worden de resultaten van deze meting wel meegenomen bij de berekening van de gemiddelde geurverwijdering.

Het valt daarentegen niet uit te sluiten dat een groter aantal metingen zou resulteren in een gemiddeld geurverwijderingsrendement dat wel significant positief is. Wanneer de meting van 11 augustus 2010 zou worden genegeerd, kan berekend worden dat het gemiddelde rendement wel significant van 0 afwijkt en 38% zou bedragen ($n = 5$; $sd = 14$; $p < 0,05$).

Tabel 4 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%)	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%) ⁽²⁾
04-mrt-10	3,00	0,82	73	0,261	0,076	71
15-jun-10	3,15	1,43	55	0,204	0,085	58
11-aug-10	1,87	0,79	58	0,118	0,068	42
08-sep-10	1,01	0,34	66	0,031	< 0,030 ⁽¹⁾	> 2
20-sep-10	2,16	1,15	47	0,114	0,075	34
29-nov-10	4,44	1,89	58	0,264	0,120	55

⁽¹⁾ De PM2.5 concentratie van de uitgaande lucht is lager dan de detectielimiet van 30 µg/m³.

Uit Tabel 4 volgt dat het gemiddelde PM10 verwijderingsrendement **59%** (6 metingen; $sd = 9,0$; $p < 0,05$) en het gemiddelde PM2.5 verwijderingsrendement **47%** (5 metingen, exclusief meting 4; $sd = 12$; $p < 0,05$) bedraagt.

3.1.3 Broeikasgasmetingen

In Tabel 5 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven.

Tabel 5 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	CH ₄ -in (ppm)	CH ₄ -uit (ppm)	N ₂ O-in (ppm)	N ₂ O-uit (ppm)	CO ₂ -in (ppm)	CO ₂ -uit (ppm)
04-mrt-10	4,48	3,03	0,20	0,90	1.943	2.593
15-jun-10	1,99	2,01	0,28	1,46	1.780	1.720
11-aug-10	3,40	2,69	0,37	2,04	1.960	1.830
08-sep-10	2,75	2,49	0,36	0,36	2.980	2.180
20-sep-10	2,18	2,27	0,33	0,97	2.020	2.430
29-nov-10	n.b. ⁽¹⁾	1,88	n.b. ⁽¹⁾	1,09	n.b. ⁽¹⁾	3.040

⁽¹⁾ Ten gevolge van storing in de meetapparatuur kon de concentratie niet worden bepaald.

Uit Tabel 5 volgt dat er gemiddeld gezien geen significante toe- of afname van de methaan- en koolzuurconcentratie in de luchtwasser optreedt ($p < 0,05$). Er is wel sprake van een significante toename van de lachgasconcentratie: de gemiddelde lachgasconcentratie neemt toe van 0,3 tot 1,1 ppm. Lachgas is een broeikasgas dat 310 maal zo sterk is als CO_2 . In systemen waarin nitrificatie en/of denitrificatie plaatsvindt wordt meestal productie van lachgas waargenomen (zie ook paragraaf 5.1.3).

In Tabel 6 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door de wasser weergegeven.

Tabel 6 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	Relatieve vochtigheid-in (%)	Relatieve vochtigheid-uit (%)
04-mrt-10	20,8	16,7	92	> 95
15-jun-10	n.b. ⁽¹⁾	n.b. ⁽¹⁾	n.b. ⁽¹⁾	n.b. ⁽¹⁾
11-aug-10	24,0	21,1	73	> 95
08-sep-10	26,0	23,1	74	> 95
20-sep-10	24,4	20,4	n.b. ⁽¹⁾	> 95
29-nov-10	21,9	13,6	74	> 95

⁽¹⁾ Ten gevolge van storing in de meetapparatuur kon de concentratie niet worden bepaald.

Uit Tabel 6 blijkt dat de wasser er goed in slaagt om de lucht te bevochtigen (de uitgaande lucht heeft een relatieve vochtigheid van > 95%), hetgeen een eerste vereiste is voor een goede waswerking. Vanwege de optredende adiabatische verdamping is de uitgaande lucht een paar graden lager dan de ingaande lucht.

3.1.4 Analyses water

In Tabel 7 worden de analyses van het water weergegeven waarmee het waspakket van bovenaf wordt bevochtigd.

Tabel 7 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 1 - waswater

Datum	Ammonium-N (g N/kg)	Nitriet-N (g N/kg)	Nitraat-N (g N/kg)	Totaal-N (g N/kg)	Droge stof (g/kg)	As (g/kg)	pH (-)	EC (mS/cm)
04-mrt-10	2,12	0,36	0,06	2,68	9,2	4,2	6,70	5,5
15-jun-10	0,474	< 0,010	0,232	0,711	3,42	1,83	7,8	6,34
11-aug-10	0,190	< 0,010	0,169	0,351	0,69	0,47	8,4	2,60
08-sep-10	0,039	< 0,010	< 0,010	0,044	0,75	0,69	6,1	1,36
20-sep-10	0,888	0,463	< 0,010	1,36	3,19	2,04	6,5	8,52
29-nov-10	1,89	0,582	0,266	3,21	7,9	3,4	6,6	16,5

Uit Tabel 7 volgt dat het totaal-stikstofgehalte van het spuiwater varieert en gemiddeld over de metingen een waarde had van 1,4 g N/liter. De actuele stikstofconcentratie van het waswater hangt af van de mate van stikstofaanvoer, de tijd sinds wanneer er voor het laatst gespuid is en van de werking van het nitrificatie/denitrificatiesysteem. Het gehalte van 3,2 g N/liter dat werd gemeten op de 6^{de} meetdag (29-nov-10) is juist gelijk aan het maximaal gewenste stikstofgehalte; in de andere gevallen was de concentratie veel lager. Uit Tabel 7 volgt verder dat de ingestelde spuihoeveelheid van gemiddeld 9 m³ per ronde dusdanig hoog is dat het stikstofgehalte in de meeste gevallen ruim onder de 3,2 g N/liter blijft.

3.1.5 Werking denitrificatie

Op basis van de metingen die zijn uitgevoerd aan de beide stallen (zie Tabel 1 en 2, Tabel 8 en 9, en Melse et al., 2011) kan berekend worden dat de emissiefactor van de stallen (exclusief luchtwasser) ca. 54 g ammoniak per dierplaats per jaar bedraagt; dit is dus berekend op basis van de lucht vóór de

wasser (de ingaande lucht van de wasser)¹. Dit is ongeveer 30% lager dan de emissiefactor voor traditionele huisvesting van 80 g ammoniak per dierplaats per jaar zoals deze is opgenomen in de Rav; waarschijnlijk wordt deze lagere emissie veroorzaakt door het toegepaste luchtkoelingsysteem. Wanneer uitgegaan wordt van een gemiddeld spuiwaterdebiet van 9 m³ per ronde, een stikstofgehalte van 1,4 g N/liter², een ammoniakverwijderingsrendement van 85% (zie Tabel 2) en een emissiefactor van 54 g NH₃ per dierplaats per jaar, kan berekend worden dat met het spuiwater ca. 88 kg N per jaar wordt afgevoerd. Bij een totale aanvoer van ammoniak naar de wasser toe van 1334 kg N/jaar betekent dit dat 1046 kg N (oftewel 78% van de aangevoerde hoeveelheid stikstof) is omgezet naar stikstofgas en andere gasvormige producten van nitrificatie en denitrificatie. In Fig. 5 wordt de stikstofbalans grafisch weergegeven. Uit de lachgasmetingen (Tabel 5) kan berekend worden dat in het luchtwassysteem ca. 200 kg N₂O-N per jaar wordt geproduceerd, hetgeen gelijk staat aan een toename van de emissie van 0,0095 kg per vleeskuikenplaats per jaar; de totale emissie van de stal met de luchtwasser komt daarmee uit op ca. 0,013 kg per vleeskuikenplaats per jaar. Ter vergelijking: de emissiefactor zoals die recent is geadviseerd voor vleeskuikens (Mosquera en Hol, 2011) bedraagt 0,01 kg per vleeskuikenplaats per jaar. De eventuele productie van NO en NO₂ is niet gemeten. Opgemerkt dient te worden dat bovenstaande getallen indicatief van aard zijn aangezien deze zijn gebaseerd op een beperkt aantal metingen en deels op aannamen berusten. Nader onderzoek op meerdere locaties is noodzakelijk om te bepalen of dergelijke omzettingssnelheden en rendementen ook elders behaald kunnen worden.

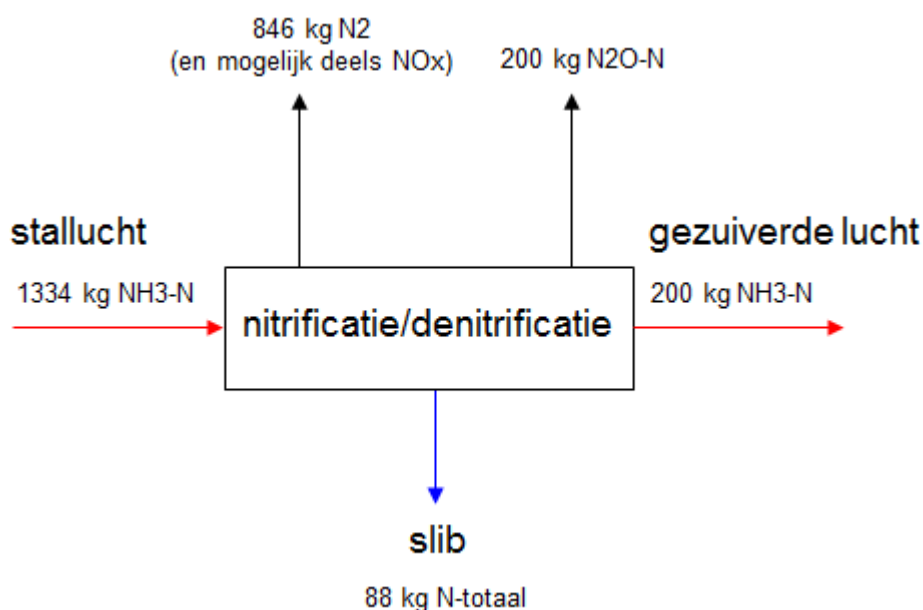


Fig. 5 Indicatieve massabalans op jaarbasis voor stikstofverwijdering door een experimentele biologische luchtwasser met denitrificatie.

¹ Aangezien de emissie van ammoniak toeneemt gedurende de ronde, zijn de metingen gerangschikt in 3 perioden van elk 2 weken. Vervolgens is voor elke periode de gemiddelde emissie berekend. Tenslotte is de totale emissie berekend als het gemiddelde van de drie perioden.

² Aangezien zich in het spuiwater een hoeveelheid organische materiaal bevindt, wijkt het stikstofgehalte van het spuiwater mogelijk af van het waswater.

3.2 Luchtwater 2: Chemische water met beperkte zuurdosering (pH < 7)

3.2.1 Diergegevens en ventilatiedebiet

In Tabel 8 wordt weergegeven op welke data de rendementsmetingen aan de luchtwater zijn uitgevoerd; tevens wordt aangegeven wat de leeftijd van de dieren en het ventilatiedebiet op dat moment was.

Tabel 8 Metingen aan een experimentele gecombineerde luchtwater bij een vleeskuikenstal, luchtwater 2

Datum	Leeftijd dieren (dag) ⁽¹⁾	Aantal aanwezige dieren	Luchtdebiet stal, 24-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽²⁾	Luchtdebiet stal, 2-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽³⁾
04-mrt-10	34	23.275	26.819	27.812
15-jun-10	32	29.309	54.105	51.436
11-aug-10	36	21.475	54.081	57.116
08-sep-10	12	30.367	21.551	23.102
20-sep-10	24	30.311	42.591	43.133
29-nov-10	27	28.976	27.554	26.967

⁽¹⁾ Met "leeftijd dieren" wordt het aantal dagen sinds de oplegdatum bedoeld. Na ongeveer 6 weken dagen worden de dieren afgevoerd

⁽²⁾ Het 24-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van ammoniak en fijnstof

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

Uit het 24-uurs gemiddelde luchtdebiet van de metingen in Tabel 8 kan berekend worden dat de gemiddelde luchtverblijftijd in de water 0,56 seconden bedroeg en de gemiddelde belasting gemiddeld 50% bedroeg van de maximale luchtbelasting.

3.2.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

In Tabel 9, 10 en 11 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven.

Tabel 9 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwater bij een vleeskuikenstal, luchtwater 2 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Rendement (%)
04-mrt-10	18,49	5,09	72
15-jun-10	12,23	3,60	71
11-aug-10	7,63	3,97	48
08-sep-10	0,50	0,20	61
20-sep-10	4,79	1,04	78
29-nov-10	7,04	1,02	85

Uit Tabel 9 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 6 metingen **69%** (sd=13) bedraagt.

Tabel 10 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwater bij een vleeskuikenstal, luchtwater 2 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E / m ³)	Rendement (%)
04-mrt-10	1.128	1.198	-6,2
15-jun-10	549	451	18
11-aug-10	921	1.131	-23
08-sep-10	1.059	691	35
20-sep-10	1.061	968	8,8
29-nov-10	556	318	43

Uit Tabel 10 volgt dat de gemiddelde geurverwijdering van deze 6 metingen **17%** (sd=25) bedraagt; deze geurverwijdering is echter niet statistisch significant (p > 0,13).

In twee gevallen (4 maart 2010 en 11 augustus 2010) werd een negatief geurrendement gevonden. Er zijn geen onregelmatigheden geconstateerd tijdens de monsternamen of analyse van deze monsters. Daarom wordt er vanuit gegaan dat er tijdens deze metingen werkelijk sprake was van een toename van de geurconcentratie en worden de resultaten meegenomen bij de berekening van de gemiddelde geurverwijdering."

Tabel 11 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 2 (n.b. = niet bepaald)

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%)	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%)
04-mrt-10	3,08	1,19	61	0,125	0,094	25
15-jun-10	2,93	1,59	46	0,175	0,084	52
11-aug-10	1,16	0,87	25	0,110	0,087	21
08-sep-10	0,43	0,38	11	0,018	n.b.	n.b.
20-sep-10	1,56	1,00	36	0,080	0,043	46
29-nov-10	3,35	0,53	84	0,137	0,120	13

Uit Tabel 11 volgt dat het gemiddelde PM10 verwijderingsrendement **44%** (6 metingen; sd=26) en het PM2.5 verwijderingsrendement **31%** (5 metingen; sd=17) bedraagt.

3.2.3 Broeikasgasmetingen

In Tabel 12 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven.

Tabel 12 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 2 (n.b. = niet bepaald)

Datum	CH ₄ -in (ppm)	CH ₄ -uit (ppm)	N ₂ O-in (ppm)	N ₂ O-uit (ppm)	CO ₂ -in (ppm)	CO ₂ -uit (ppm)
04-mrt-10	2,93	2,56	0,20	0,22	1.426	2.286
15-jun-10	1,96	2,14	0,29	0,28	1.420	1.450
11-aug-10	2,66	2,59	0,31	0,31	1.480	1.290
08-sep-10	2,40	2,28	0,37	0,38	1.360	1.480
20-sep-10	2,20	2,17	0,34	0,40	1.670	1.670
29-nov-10	1,96	1,90	0,32	0,33	2.280	2.440

Uit Tabel 12 volgt dat er gemiddeld gezien geen significante toe- of afname van de methaan-, lachgas- of koolzuurconcentratie in de luchtwasser optreed ($p > 0,05$).

In Tabel 13 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door de wasser weergegeven.

Tabel 13 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 2 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	Relatieve vochtigheid-in (%)	Relatieve vochtigheid-uit (%)
04-mrt-10	19,8	17,1	n.b.	> 95
15-jun-10	23,0	20,3	64	88
11-aug-10	20,0	23,1	96	n.b.
08-sep-10	25,6	21,8	76	> 95
20-sep-10	25,2	21,3	73	> 95
29-nov-10	18,2	12,7	74	> 95

Uit Tabel 13 blijkt dat de wasser er goed in slaagt om de lucht te bevochtigen (de uitgaande lucht heeft op een meting na een relatieve vochtigheid van > 95%), hetgeen een eerste vereiste is voor een goede waswerking. Vanwege de optredende adiabatische verdamping is de uitgaande lucht een paar graden lager dan de ingaande lucht.

3.2.4 Analyses water

In Tabel 14 en 15 worden de analyses van de watermonsters weergegeven. Tabel 14 betreft de monsters die genomen zijn van het water waarmee het waspakket van bovenaf wordt bevochtigd en Tabel 15 betreft de monsters die van het spuiwater zijn genomen.

Tabel 14 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, luchtwasser 2 - waswater (n.b. = niet bepaald)

Datum	Ammonium-N (g N/kg)	Nitriet-N (g N/kg)	Nitraat-N (g N/kg)	Totaal-N (g N/kg)	Droge stof (g/kg)	As (g/kg)	pH (-)	EC (mS/cm)
04-mrt-10	2,37	< 0,010	< 0,010	2,40	12,3	1,5	6,80	18,3
15-jun-10	2,45	< 0,010	< 0,010	2,48	13,9	2,23	6,3	19,9
11-aug-10	0,847	< 0,010	< 0,010	0,868	4,99	1,03	6,5	7,98
08-sep-10	0,024	< 0,010	< 0,010	0,044	1,26	0,89	5,5	0,99
20-sep-10	0,411	< 0,010	< 0,010	0,451	2,73	0,65	5,0	4,39
29-nov-10	0,800	< 0,010	< 0,010	0,817	5,0	1,1	4,4	7,70

Uit Tabel 14 volgt dat de pH van het waswater zich tussen 4,4 en 6,8 bevond. Hieruit volgt dat de pH-regeling niet goed functioneerde, aangezien het de bedoeling was om de pH van het waswater tussen 6,5 en 7 te houden (zie paragraaf 2.4). Wanneer de regeling wel goed had gefunctioneerd, met als gevolg een gemiddeld hogere pH, zou mogelijk een lager ammoniakverwijderingsrendement zijn gevonden dan in Tabel 9 is gerapporteerd. Het is niet duidelijk of de waarde van de pH invloed heeft op het geurendement of het fijnstofrendement.

Ook het N-totaal gehalte is laag (gemiddeld 1,2 g N/liter) in vergelijking met een reguliere chemische wasser, wat het gevolg is van het relatief hoge hoeveelheid water die is gespuid.

4 Conclusie

4.1 Luchtwater 1: Biologische luchtwater met denitrificatie

Tijdens de metingen aan de voorloper van het doorgemeten biologische luchtwassersysteem met denitrificatie (zie pilot 1 in Melse et al., 2011) werd een gemiddeld ammoniakverwijderingsrendement van 48% gevonden, daarnaast werd een grote spreiding gevonden ($n=6$; $sd=30$). In onderliggend onderzoek aan het verbeterde biologische luchtwassersysteem met denitrificatie (zie hoofdstuk 3) is een gemiddeld ammoniakverwijderingsrendement gevonden van 85% met een veel lagere spreiding ($n=5$; $sd=7,6$). Daarnaast blijkt het N-totaal gehalte van het spuiwater nooit hoger te zijn dan de ingestelde waarde van maximaal 3,2 g N/liter (wat overeenkomt met ca. 15 mS/cm). Uit het onderzoek kan dan ook geconcludeerd worden dat de verbeteringen van de water succesvol zijn gebleken wat betreft ammoniakverwijdering. Zoals meestal het geval is bij een biologisch luchtwassersysteem waarin ammoniak wordt afgebroken, is er sprake van een toename van de lachgasconcentratie; de gemiddelde lachgasconcentratie neemt toe van 0,3 tot 1,1 ppm.

De geurverwijdering blijft sterk achter bij het ammoniakverwijderingsrendement; er kon in onderliggend onderzoek geen significante geurverwijdering worden aangetoond ($p > 0,17$). Wel moet opgemerkt worden dat één specifieke meting (een negatief geurrendement van -62%, zoals gemeten op 11 augustus 2010) een grote invloed heeft op het eindresultaat. Aangezien geen onregelmatigheden zijn geconstateerd tijdens monsternamen of analyse is deze meting wel meegenomen bij de berekening van het gemiddelde rendement. Het is niet uitgesloten dat een groter aantal metingen zou resulteren in een gemiddeld positief geurverwijderingsrendement. Ter illustratie: wanneer deze ene meting wordt genegeerd, zou het gemiddelde rendement 38% bedragen ($n=5$; $sd=14$; $p < 0,05$). In het eerdere onderzoek aan (zie pilot 1 in Melse et al., 2011) werd een gemiddeld rendement van 37% gevonden ($n=7$; $sd=27$). In de huidige regelgeving (Regeling geurhinder en veehouderij; Staatscourant, 2006) wordt voor een biologische wasser een standaard geurverwijderingsrendement aangehouden van 45%, hetgeen gebaseerd is op eerder uitgevoerd onderzoek (Ogink, 2010).

Voor de verwijdering van fijnstof (PM10) werd een gemiddeld rendement van 59% ($n=6$; $sd=9,0$) gevonden bij een gemiddelde luchtverblijftijd van 0,71 seconden. Dit rendement is beduidend hoger dan het rendement van 34% ($n=7$; $sd=7,3$) dat in het eerdere onderzoek van Melse et al. (2011) werd gevonden bij een gemiddelde luchtverblijftijd van 1,3 seconden. Opgemerkt dient te worden dat de ingaande concentraties met een gemiddelde van 2,6 mg/m³ (zie hoofdstuk 3) een heel stuk hoger lagen dan in het eerdere onderzoek (zie pilot 1 in Melse et al., 2011: gemiddeld 1,0 mg/m³). Het verwijderingsrendement van de wasser wordt hierdoor mogelijk beïnvloed.

Op basis van de metingen van ammoniak, lachgas en stikstofgehalten in het waswater is een indicatieve massabalans opgesteld voor de verwijdering van stikstof uit het systeem. Daaruit volgt dat ca. 78% van de aangeboden stikstof uiteindelijk wordt gedenitrificeerd en het systeem via de lucht verlaat als N₂, N₂O en mogelijk NO of NO₂. De overige stikstof wordt afgevoerd via het spuiwater of als NH₃ via de lucht, aangezien het ammoniakverwijderingsrendement lager is dan 100%.

4.2 Luchtwater 2: Chemische wasser met beperkte zuurdosering (pH < 7)

De metingen aan de chemische luchtwater met beperkte zuurdosering laten een gemiddelde ammoniakverwijdering zien van 69% ($n=6$; $sd=13$). Tijdens de meetperiode bevond de pH van het waswater zich tussen 4,4 en 6,8; hieruit volgt dat de pH regeling niet naar behoren functioneerde aangezien het de bedoeling was om de pH van het waswater tussen 6,5 en 7 te houden. Ook tijdens de meting met de hoogste pH (6,8) werd een rendement van rond de 70% gevonden. Uit de metingen kan geconcludeerd worden dat ook bij een relatief hoge pH (normaliter bedraagt de pH in een chemische wasser 2 tot 4) nog steeds een goede ammoniakverwijdering kan worden gerealiseerd. De geurverwijdering blijft hier sterk bij achter; er kon in onderliggend onderzoek geen significante geurverwijdering worden aangetoond ($p > 0,13$). In de huidige regelgeving (Regeling geurhinder en veehouderij; Staatscourant, 2006) wordt voor een chemische wasser een standaard geurverwijderingsrendement aangehouden van 30%, hetgeen gebaseerd is eerder uitgevoerd onderzoek (Ogink, 2010).

Voor de verwijdering van fijnstof (PM10) werd een gemiddeld rendement van 44% ($n=6$; $sd=26$) gevonden bij een gemiddelde luchtverblijftijd van 0,56 seconden.

Er werd dusdanig veel water ververst dat het stikstofgehalte van het water relatief laag was, ca. 1,2 g N/liter.

Referenties

- CEN. 2003. Air quality: Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (EN 13725). Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- Groenestein, C.M.; J. Mosquera; N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Rapport 493. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Hofschreuder, P.; A.J.A. Aarnink; Y. Zhao; N.W.M. Ogink. 2007. Measurement protocol for determining fine dust emission factors of animal housing systems. In: DustConf 2007, How to improve air quality. International Conference, 23-24 April, Maastricht, The Netherlands.
- InfoMil. 2011. Technisch informatiedocument 'Luchtwassystemen voor de veehouderij'. Eisen aan en richtlijnen voor de uitvoering en gebruik van luchtwassystemen in varkens-, pluimvee- en rundveestallen. Versie 1.1, februari 2011. InfoMil, Den Haag.
- Melse, R.W.; J.M.G. Hol; J. Mosquera; G.M. Nijeboer; J.W.H. Huis in 't Veld; T.G. van Hattum; R.K. Kwikkel; F. Dousma; N.W.M. Ogink. 2011. Monitoringsprogramma experimentele gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven. Rapport 380. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Mosquera, J.; C.M. Groenestein, N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Rapport 494. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Mosquera, J.; J.M.G. Hol. 2011 Emissiefactoren methaan, lachgas en PM_{2,5} voor stalsystemen, inclusief toelichting. Rapport 496. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. *In voorbereiding.*
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de PM₁₀ fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden., Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M. 2010. Vaststelling van geuremissiefactoren in de Regeling geurhinder en veehouderij op basis van geuremissie-onderzoek. Rapport 391. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Ogink, N.W.M.; G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.
- Ogink, N.W.M.; J. Mosquera; J.M.G. Hol. 2011a. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 454. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Ogink, N.W.M.; P. Hofschreuder; A.J.A. Aarnink. 2011b. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Ogink, N.W.M. 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Rapport 491. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Pedersen, S.; V. Blanes-Vidal; H. Joergensen; A. Chwalibog; A. Haeussermann; M.J.W. Heetkamp; A.J.A. Aarnink. 2008. Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature Review". Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- Staatscourant. 2006. Regeling geurhinder en veehouderij. Staatscourant 18 december 2006, nr. 246, pag. 21, Sdu, Den Haag.
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.

Bijlage: Meetmethoden

1 Meetmethode fijnstof

Algemeen

De bepaling van de concentratie fijnstof werd uitgevoerd door een bekende hoeveelheid lucht met een vaste lichtsnelheid door specifieke monsternamekoppen te zuigen gedurende 24 uur. In de monsternamekoppen bevonden zich voorafscheiders om de grotere stofdeeltjes te scheiden van de gevraagde stoffracties (PM10 of PM 2,5). Voor beide stoffracties werden twee voorafscheiders gebruikt: een impactor en een cycloon. De impactors voldeden aan de eisen die gesteld worden aan het bemonsteren van de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Volgens Hofschreuder *et al.* (2007) zijn impactoren echter minder geschikt bij hoge stofconcentraties, zoals in uitgaande stallucht het geval is. Daarom zijn in de uitgaande stallucht ofwel de ingaande lucht van de wassers tevens cyclonen gebruikt als voorafscheiders. De uitvoering van de inlaat was daarbij gelijk aan die beschreven is in de normen voor de buitenlucht, alleen is het impactiegedeelte vervangen door de cycloon. De precieze uitvoering van deze monsternamekoppen wordt beschreven in het rapport van Hofschreuder *et al.* (2007). Het stof dat na voorafscheiding uiteindelijk overbleef werd op een filter verzameld. Het filter werd voorafgaand aan en na de monstername onder geconditioneerde omstandigheden gewogen. De wegingen zijn uitgevoerd volgens de gehanteerde normen voor de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005).

Pompen

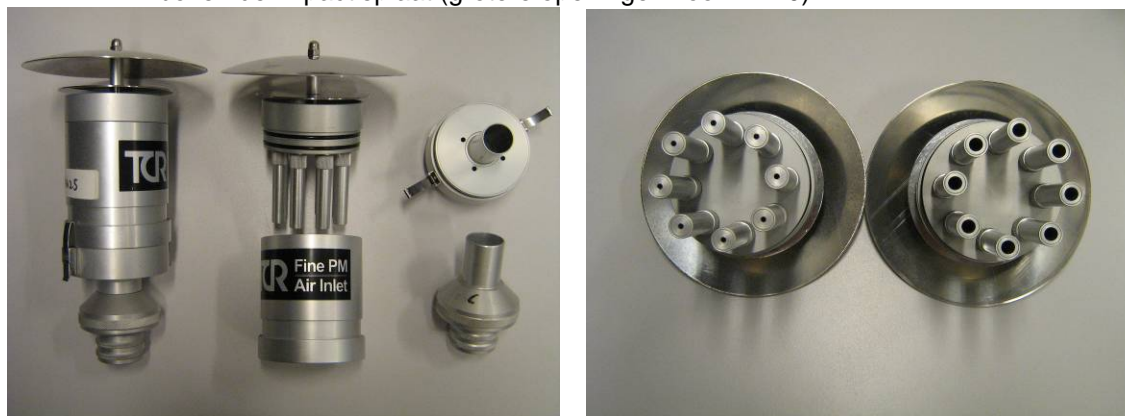
Voor de metingen werd gebruik gemaakt van pompen van het type Charlie HV (roterend 6 m³/h; Ravebo Supply B.V., Brielle) monsternamepomp. Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch in op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop. Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op start en einde van de monsternameperiode. De hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten en omgerekend naar standaard condities (1 atm., 0°C).

Impactor-voorafscheider

Voor de bepaling van de PM10 en/of PM2.5 concentratie van de lucht voor en na de gecombineerde luchtwasser werd gebruik gemaakt van impactor monsternamekoppen. Deze impactors staan beschreven in de NEN-EN 12341 (1998) voor PM10 en in NEN-EN 14907 (2005) voor PM2.5. Figuur B1 laat de gebruikte impactoren voor beide stoffracties zien.

Een impactor bestaat uit een voorafscheider en een filterhouder. De voorafscheider wordt gebruikt om de deeltjes die groter zijn dan de gewenste fijnstof fractie te verzamelen. Hiervoor wordt een platte, met een laagje vet voorziene, plaat onder de luchtaanvoerpijpjes geplaatst (zie Figuur B1). Door de lichtsnelheid en de traagheid van de grotere deeltjes impacteren de grotere deeltjes op deze plaat. Het luchtdebiet door de monsternamekop met impactor was 2,3 m³/uur.

Figuur B1 Links de complete meetset en rechts het verschil in de openingen van de luchtinlaten boven de impactieplaat (grotere openingen voor PM10)



Cycloon-voorafscheider

Voor de bepaling van de PM10 en/of PM2.5 concentratie van de lucht voor en na de wasser werd gebruik gemaakt van een cycloon voorafscheider. Het voordeel van de cycloon voorafscheider is dat het hoge stofconcentraties betrouwbaar kan meten. Het afscheidingsstelsel vangt de grotere stofdeeltjes op in een beker. Hierin kunnen grote hoeveelheden stof worden opgeslagen. Figuur B2 laat de gebruikte cyclonen zien. Het luchtdebiet door de monsternamekop met cycloon was 1,0 m³/uur.

Figuur B2 Links de complete meetset met twee verschillende cyclonen (langwerpig is voor PM10) en de filterhouder en rechts de binnenkant van de luchtinlaat deze is voor beide stoffracties gelijk

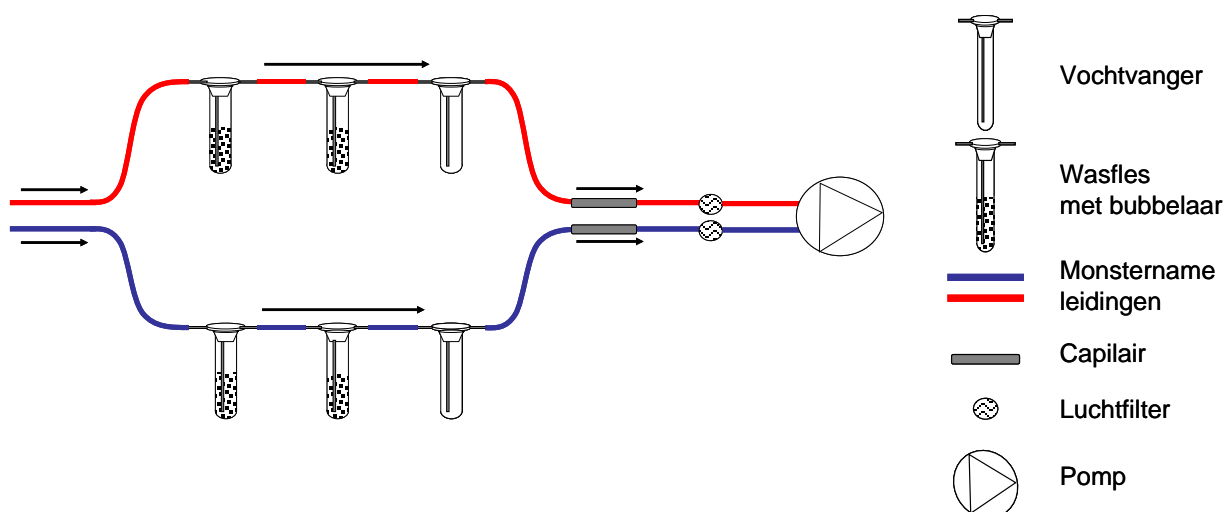


Filter

Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een doorsnee van 47 mm. De filters werden voor en na de metingen gewogen onder standaard condities: temperatuur 20°C ± 1°C en 50% ± 1% relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen.

2 Meetmethode ammoniak

De ammoniakconcentratie werd volgens de natchemische meetmethode voor NH₃ (Wintjes, 1993) gemeten. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom aangezogen met behulp van een pomp met capillair. Alle lucht wordt via een vochtvanger door een impinger (geplaatst in een wasfles met zuur) geleid, waarbij de NH₃ wordt opgevangen. Om rekening mee te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. De metingen worden per meetplek in duplo uitgevoerd (Figuur B3). De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van NH₃ dat moet worden gebonden. Na de bemonsteringstijd (24 uur) wordt de hoeveelheid gebonden NH₃ spectrofotometrisch bepaald. Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH₄⁺ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH₃-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Voordeel van deze meetmethode is dat het onder alle omstandigheden de juiste bepaling geeft. Vooral bij zeer vochtige omstandigheden biedt de methode uitkomst. Nadeel is dat alleen een verzamelsonster kan worden genomen en geen informatie beschikbaar komt over het verloop van de NH₃-concentratie gedurende de bemonsteringsperiode.



Figuur B3 Meetopstelling natchemisch methode voor ammoniakemissiemetingen

De volgende punten worden op een waarnemingsformulier genoteerd.

- codering van de wasflessen per meetlocatie
- gemeten flow per capillair (start en einde meting)
- start en eindtijd van de metingen
- NH_3 -concentratie (indicatie) van de ingaande lucht m.b.v. Kitagawa gasdetectiebuisje

Door de analist worden in het laboratorium de volgende resultaten genoteerd:

- start en eindgewicht van alle wasflessen (inclusief vochtvanger)
- de hoeveelheid ingevangen NH_4^+ per wasfles (inclusief vochtvanger wanneer hier vocht in zit) d.m.v. spectrofotometrische bepaling
- aanwezigheid van sulfaat (ja/nee), hetgeen bij een chemische wasser aangeeft dat er doorslag van waswater plaats heeft gevonden tijdens de meting

3 Meetmethode geur

Het geurmonster werd tussen 10:00 en 12:00 uur aangezogen door een pomp bij de meetapparatuur. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Hierbij werd een leeg teflon monsterzak, die zich in een gesloten vat bevond, via een teflon slang gevuld met te bemonsteren lucht. Door lucht uit het vat te zuigen ($0,5 \text{ l min}^{-1}$), ontstond in het vat onderdruk en werd door een stoffilter ($1\text{-}2 \mu\text{m}$) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te voorkomen werd verwarmingslint langs de monsternameleiding aangebracht.

Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium van Wageningen UR Livestock Research vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden in duplo uitgevoerd door het geurlaboratorium van Wageningen UR Livestock Research volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium van Wageningen UR Livestock Research is onder nummer L313 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses. Aan de geuranalyses werd deelgenomen door een groep van 4 tot 6 panelleden inwisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties worden vermeld in $\text{OU}_E \text{ m}^{-3}$. De eenheid ' OU_E ' staat hierbij voor 'European Odour Units'. Deze aan de EN 13725 ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied.

4 Meetmethode broeikasgassen (lachgas, methaan en kooldioxide)

Op dezelfde wijze waarop een geurmonster wordt genomen (zie de longmethode die hierboven beschreven wordt) wordt ook een monsterzak gevuld voor de analyse van broeikasgassen (methaan en lachgas) en kooldioxide. De monsterzak wordt gevuld in 24 uur in combinatie met discontinue

bemonstering, d.w.z. met behulp van een tijdsklok wordt elk uur gedurende 5 minuten lucht bemonsterd en gedurende 55 minuten niet bemonsterd. Op deze wijze wordt een tijdsgemiddeld monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster wordt bepaald op een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂), Haysep Q (N₂O); detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: HWD).

5 Aanvullende metingen

De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) werden tijdens de meting continu gemeten gedurende alle meetperioden met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensoren was resp. ± 1,0 °C en ± 2 %. Eén sensor werd in de ingaande luchtstroom van de wasser gehangen, een tweede sensor in de uitgaande luchtstroom van de wasser. De sensor voor de buitenlucht was in de schaduw geplaatst. De sensoren werden vóór en na alle metingen gecontroleerd. In Tabel B3 wordt een overzicht gegeven van de aanvullende metingen.

Tabel B3 Overzicht van de aanvullende metingen

	Frequentie	Methode
Temperatuur (°C)	Continu gedurende 24 uur, voor en na de wasser	Rotronic met datalogger
Relatieve luchtvochtigheid (%)	Continu gedurende 24 uur, alleen vóór de wasser	Rotronic met datalogger
Ventilatie-debiet door wasser (m ³ /uur)	Continu gedurende 24 uur	Indien mogelijk met meetventilator, in alle andere gevallen met behulp van CO ₂ -balans methode (Pedersen et al., 2008)

6 Berekening emissiereductie (rendement)

Het verwijderingsrendement van de wassers (bijv. voor geur of voor ammoniak) werd berekend door de concentratie van de betreffende component in de behandelde lucht (C_{uitgaand}) te vergelijken met de concentratie van de betreffende component in de ingaande lucht van de wasser (C_{ingaand}). Hierbij werd de volgende formule gebruikt:

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

Middels de Student-t-toets werd nagegaan of het gevonden gemiddelde rendement significant afweek van 0 ($p < 0,05$).



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl