

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 380

Monitoringsprogramma experimentele gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven

Juli 2011



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, 2011

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 gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

A measurement program was carried out in which the performance of 5 experimental scrubbers on animal farms was monitored for the removal of ammonia, odour and fine dust (PM10, PM2.5). This reports discusses and evaluates the realization of the program and its results.

Keywords

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

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

R.W. Melse
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

Titel

Monitoringsprogramma experimentele gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven
Rapport 380

Samenvatting

De werking van vijf experimentele gecombineerde luchtwassers is gevolgd gedurende een monitoringsprogramma van 2 jaar op 2 pluimvee- en 3 varkensbedrijven. In dit rapport worden de uitvoering en resultaten van dit programma besproken en geëvalueerd.

Trefwoorden

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



Rapport 380

Monitoringsprogramma experimentele gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven

Measurement program on experimental multi-pollutant air scrubbers at animal houses

R.W. Melse

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

Juli 2011

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 onderzoek uitgevoerd naar de werking van een vijftal experimentele gecombineerde luchtwassers. Deze luchtwassers werden ingezet voor de behandeling van ventilatielucht bij twee pluimveestallen en drie varkenstallen.

In onderliggend rapport worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd.

We willen de betrokken veehouders en luchtwasserleveranciers 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) een monitoringsonderzoek uitgevoerd naar de werking van een aantal experimentele gecombineerde luchtwassers voor de behandeling van ventilatielucht van stallen. Een gecombineerde luchtwasser heeft als doel de emissies van zowel ammoniak, geur als zowel fijn stof (PM10, PM2.5) met minimaal 70% te verminderen. Het monitoringsonderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research (WUR LR).

Een belangrijk uitgangspunt van het programma was dat er vanuit was gegaan dat de betreffende gecombineerde luchtwassersystemen bijna uitontwikkeld en daarmee bijna marktrijp waren. Het uit te voeren meetprogramma had dan als doel om de emissiereductie van deze systemen vast te stellen (zowel voor ammoniak, geur als fijnstof) en de betrokken luchtwasserleveranciers op deze wijze "een duwtje in de rug te geven" om de laatste kinderziektes te verhelpen en op deze wijze de werking van de luchtwassers te verbeteren en te optimaliseren. Verder zouden de metingen uit het onderzoek bij een succesvol draaiende luchtwasser gebruikt kunnen worden ten behoeve van opname van het luchtwassersysteem in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) en in het overzicht emissiefactoren fijn stof voor veehouderij.

Tijdens de uitvoering van het monitoringsonderzoek bleek echter dat de meeste (zo niet alle) pilots nog een lange weg hadden te gaan om op de markt te worden gebracht als robuust en stabiel draaiend luchtwassersysteem met een voldoende hoog rendement. Uit de metingen bleek enerzijds dat er frequent sprake was van storingen en ongunstige procescondities. Anderzijds bleek dat, ook al was er sprake van 'normale' procescondities, het gewenste minimumrendement van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof niet voor elke van deze componenten werd behaald. De metingen lijken dan ook niet geschikt om te gebruiken voor een aanvraag ten behoeve van opname van deze luchtwassersystemen in de Rav, Rgv en het overzicht emissiefactoren fijn stof voor veehouderij.

De conclusie die kan worden getrokken is dat het ontwerp van de experimentele gecombineerde luchtwassers die in dit onderzoek zijn gevolgd niet voldoet en verbeterd dient te worden. Daarnaast is weinig bekend over de manier waarop de verwijdering van in het bijzonder geur en fijnstof plaatsvindt en kan worden verbeterd. Nader onderzoek naar de principes voor de verwijdering van geur en fijnstof in relatie tot het luchtwasserontwerp wordt daarom zinvol geacht.

Desondanks heeft het onderzoek een aantal nuttige inzichten opgeleverd met betrekking tot het praktijkgebruik van luchtwassers en geleid tot een aantal verbeteringen binnen het bestaande ontwerp van de gecombineerde luchtwassers. Daarnaast zijn en worden de ervaringen en resultaten van het monitoringsonderzoek door de luchtwasserleveranciers gebruikt om hun luchtwasser door te ontwikkelen. Het monitoringsonderzoek heeft de leveranciers inzicht gegeven in de rendementen die hun gecombineerde luchtwasser realiseert voor ammoniak, geur en fijnstof; voor de start van het monitoringsonderzoek was niet bekend hoe de gecombineerde luchtwassers qua verwijdering van geur en fijnstof functioneerden. De resultaten van het monitoringsonderzoek en de inzichten die daar uit voortvloeien geven de luchtwasserleveranciers houvast om het ontwerp van hun gecombineerde luchtwasser aan te passen en door te ontwikkelen. Zo heeft een van de leveranciers op basis van het monitoringsonderzoek besloten om de omvang van de bestaande denitrificatie-installatie voor de behandeling van het spuiwater van de wasser te verdubbelen. Een andere leverancier heeft op basis van de geurmetingen die binnen het monitoringsonderzoek zijn uitgevoerd, besloten om het luchtwassersysteem uit te breiden met een ozoninstallatie. Tenslotte heeft een van de leveranciers op basis van het monitoringsonderzoek besloten de nitrificatie/denitrificatie reactor te vervangen door een aantal reactoren van een ander type.

Nader onderzoek zal moeten uitwijzen tot welke rendementsverbeteringen het aangepaste ontwerp van deze gecombineerde luchtwassers leidt met betrekking tot de verwijdering van ammoniak, geur en fijnstof.

Summary

Wageningen UR Livestock Research (WUR-LR) has been asked 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 combined air scrubbers at animal farms. The measurement program is part of a research program called *Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL)* which has been established by these ministries. A combined air scrubber aims to achieve a emission reduction for both ammonia, odour, and fine dust (PM10, PM2.5) of at least 70%.

An important assumption when setting up the measurement program was that the involved air scrubber systems, although still experimental, were already stably operating systems that were close to market introduction. The aim of the monitoring program was to determine the emission of these systems (for both ammonia, odour, and fine dust) in this way supporting air scrubber manufacturers to make the last improvements and optimisations of the scrubber system. Furthermore, assuming a well performing scrubber system, the measurements might be used for admission to the regulatory list of air scrubber systems that are allowed for treatment of animal house ventilation air, as published by the Ministry.

During the monitoring program, however, it turned out that most (if not all) pilots still had a long way to go before the systems could be marketed as robust and reliable air scrubber systems with satisfactory removal efficiencies. It was found that most scrubbers showed technical malfunctions and operational problems on a regular basis. But even during apparent 'normal' operational conditions the required minimum removal efficiency of 70% for both ammonia, odour, and fine dust, could not be achieved for all of these components. Therefore it is unlikely that the measurement results can be used to support an application for admission of these air scrubbers to the regulatory list mentioned above.

The main conclusion of the performance monitoring program is that the design of the experimental combined scrubbers that were investigated is not satisfactory and needs to be improved. The removal of ammonia is mostly adequate but only little is known about how to improve odour and fine dust removal efficiency of this type of scrubbers. Further research on the working principles of removal of odour and fine dust in relation to scrubber design and relevant process parameters is therefore necessary.

Nevertheless, the research provides an insight into the practical application of air scrubbers at animal houses and has resulted in a number of improvements of the design of the air scrubbers. Besides, the experiences and results of the monitoring program are used by the air scrubber manufacturers to further develop and optimize the design as the research provides the manufacturers with actual removal efficiency data that were not available previously, which is especially the case for odour and fine dust removal performance. For example, one of the manufacturers has doubled the size of the denitrification reactor treating the discharge water from the scrubber based on the results that were achieved in this research. Another manufacturer has decided to add an extra ozone treatment step to the air scrubber system, based on the measured odour performance. Finally, one of the manufacturers has decided to replace the existing nitrification/denitrification reactor and apply a different process control strategy.

Further research might show to what extent the adapted scrubber designs may lead to an improvement of the removal efficiencies for ammonia, odour, and fine dust for these combined air scrubber systems.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Opzet en resultaten monitoringsonderzoek	2
2.1	Inleiding.....	2
2.2	Materiaal en methoden (hoofdpijnen)	2
2.2.1	Algemeen.....	2
2.2.2	Beschrijving pilotlocaties met experimentele gecombineerde luchtwassers	2
2.2.3	Onderzoeksopzet.....	7
2.3	Resultaten en discussie (hoofdpijnen)	8
3	Algemene ervaringen en evaluatie	10
3.1	Opzet en structuur van onderzoeksprogramma	10
3.1.1	Achtergrond en totstandkoming van onderzoeksprogramma.....	10
3.1.2	Uitvoering en resultaten van onderzoeksprogramma.....	10
3.1.3	Samenvatting knelpunten	11
3.2	Meetprotocol en storingen	12
3.3	Gebruik en onderhoud van luchtwasser	12
3.3.1	Logboek	12
3.3.2	Onderhoud en gebruikershandleiding.....	13
3.3.3	Elektraverbruik en spuiwaterproductie.....	14
3.3.4	Veiligheid (zwavelzuur)	14
4	Conclusies en aanbevelingen	15
	Referenties	16
	Bijlagen	17
Bijlage 1	Materiaal en methoden (in detail)	17
Bijlage 2	Resultaten en discussie (in detail)	40

1 Inleiding

De intensieve veehouderij in Nederland is verantwoordelijk voor een aanzienlijke emissie van ammoniak, geur en fijnstof (PM10, PM2.5). De genoemde emissies zijn nadelig voor de kwaliteit van de natuur en leefomgeving en belemmeren 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 de toepassing en verdere ontwikkeling van de techniek van gecombineerde luchtwassystemen, d.w.z. systemen die een substantiële vermindering van de emissies van zowel fijn stof (PM10, PM2.5), ammoniak en geur door de intensieve veehouderij kunnen bewerkstelligen. Dergelijke luchtwassers worden gecombineerde luchtwassers genoemd omdat zij een gecombineerd rendement nastreven van minimaal 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof (PM10, PM2.5). De luchtwassers die in het verleden zijn ontwikkeld hebben zich voornamelijk gericht op de verwijdering van ammoniak.

Het wordt belangrijk geacht de techniek van de luchtwasser verder te ontwikkelen, onder meer met het oog op verlaging van de kosten. Hierbij zijn het bereiken van hoge milieuprestaties (hogere reductiepercentages), lager energieverbruik, betere oplossingen voor het afvalwater en controle op de werking en de handhaafbaarheid van belang.

Het door deze ministeries opgezette Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL) heeft als doel de inzet en ontwikkeling van deze nieuwe generatie luchtwassers te ondersteunen. In het kader van dit programma heeft Wageningen UR Livestock Research (WUR LR) in opdracht van de Ministeries van IenM en EL&I een monitoringsonderzoek uitgevoerd naar de werking van enkele nieuwe typen gecombineerde luchtwassers.

Gedurende meerdere jaren (2007-2010) is binnen dit monitoringsonderzoek de werking van een aantal gecombineerde luchtwassystemen gemonitord op een vijftal 'pilotlocaties'. De pilots betroffen gecombineerde luchtwassers die reeds voorafgaand aan het onderzoek door de leveranciers waren ontwikkeld. De luchtwassers waren nog niet bemeten en niet in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) of het overzicht emissiefactoren fijn stof voor veehouderij (IenM, 2010) opgenomen en hadden dan ook nog een experimentele status. Het betrof "full scale" systemen die de ventilatielucht van een gehele stal behandelen.

Het doel van onderliggend rapport is enerzijds om de resultaten van het monitoringsonderzoek te rapporteren en samen te vatten (zie hoofdstuk 2; de gedetailleerde onderzoeksopzet en resultaten zijn in Bijlage 1 en Bijlage 2 opgenomen) en na te gaan tot welke (praktische) kennis dit heeft geleid (zie hoofdstuk 3.1.2 en 3.3). Anderzijds heeft dit rapport tot doel om vanuit het perspectief van WUR LR te analyseren welke zaken een rol hebben gespeeld bij de totstandkoming en uitvoering van het meetprogramma en op welke wijze deze zaken de resultaten van het programma hebben beïnvloed (zie hoofdstuk 3.1 en 3.2).

2 Opzet en resultaten monitoringsonderzoek

2.1 Inleiding

Zoals in de Inleiding reeds is aangegeven, is gedurende de jaren 2007-2010 onderzoek uitgevoerd naar de werking van een aantal gecombineerde luchtwassystemen op een aantal 'pilotlocaties'. De pilots betroffen gecombineerde luchtwassers die voorafgaand aan het onderzoek door de leveranciers waren ontwikkeld. De luchtwassers waren nog niet volledig uitontwikkeld en bemeten. Ze hadden dan ook een experimentele status. Het betrof "full scale" systemen die de ventilatielucht van een gehele stal behandelen.

Het monitoringsonderzoek had als doel om op vast te stellen wat de werking van deze luchtwassystemen is met betrekking tot de verwijdering van ammoniak, geur en fijnstof (PM10 en PM2.5). Hierbij werd uitgegaan van de installatie zoals die door de luchtwasserleverancier was opgeleverd en op het pilotbedrijf in werking was gesteld. Onderstaand worden de onderzoeksopzet en de resultaten samengevat. In Bijlage 1 en Bijlage 2 worden de onderzoeksopzet en resultaten in meer detail beschreven.

2.2 Materiaal en methoden (hoofdpijnen)

2.2.1 Algemeen

In het onderzoek is de werking van een vijftal experimentele gecombineerde luchtwassers gemonitord in de praktijk. Deze gecombineerde luchtwassers waren geplaatst op 2 pluimvee- en 3 varkensbedrijven.

Zoals eerder opgemerkt worden luchtwassers die een gecombineerd verwijderingsrendement, d.w.z. zowel verwijdering van ammoniak als van geur en fijnstof nastreven, gecombineerde luchtwassers genoemd. Dergelijke luchtwassers streven een rendement na van minimaal 70% voor deze componenten. Vaak, maar niet noodzakelijkerwijs, wordt dit gerealiseerd door toepassing van een meertrapssysteem. In een dergelijk systeem wordt de lucht in een aantal opeenvolgende stappen behandeld. Een voorbeeld hiervan van is een drietrappensysteem met allereerst een wasstap met water, vervolgens een zure wasstap en tenslotte een biologische wasstap. In de eerste wasstap wordt een groot deel van het grove stof afgescheiden, de tweede wasstap dient voor de verwijdering van ammoniak en tenslotte kan in de biologische wasstap nadere geurverwijdering plaatsvinden.

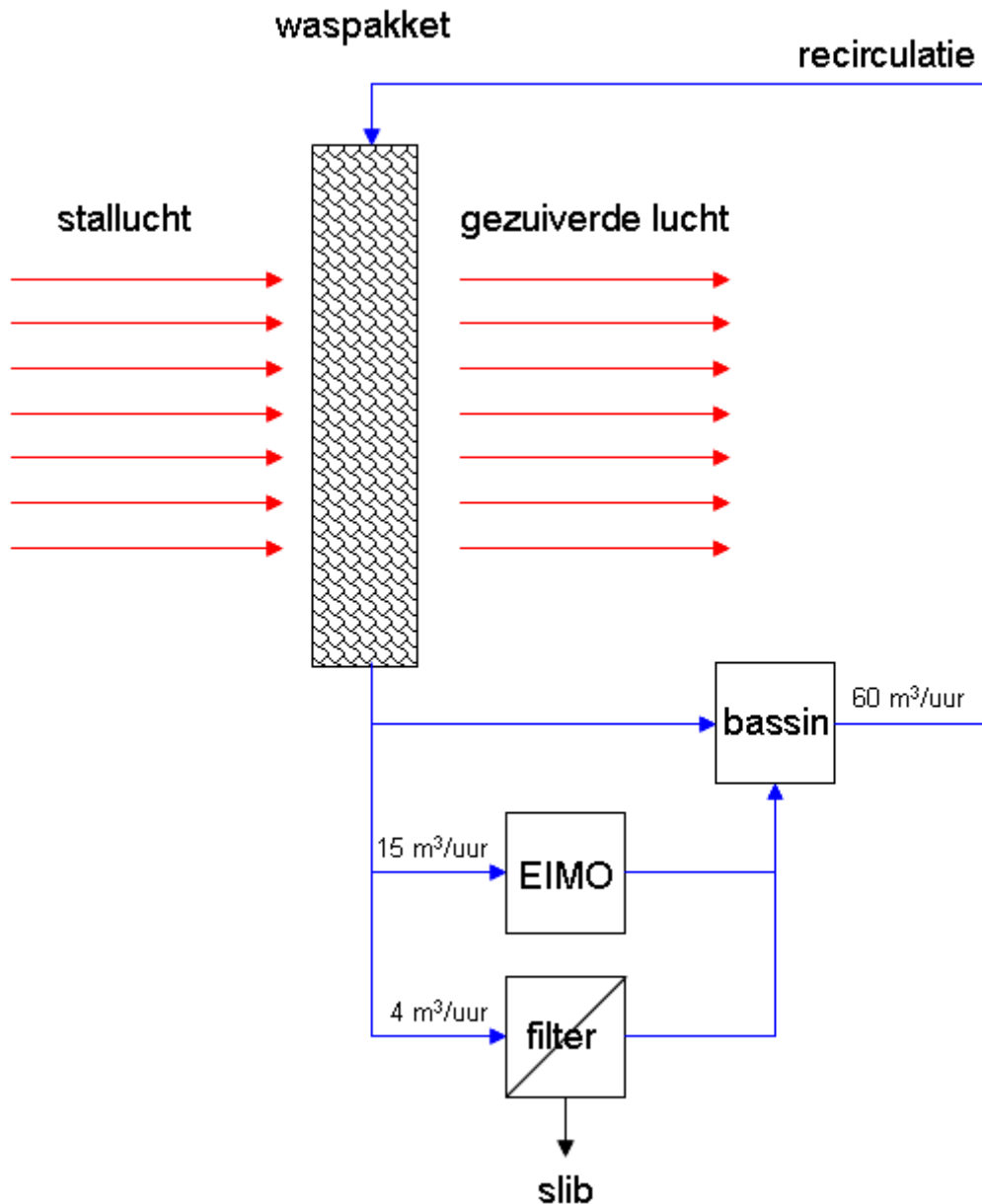
2.2.2 Beschrijving pilotlocaties met experimentele gecombineerde luchtwassers

Onderstaand wordt een beschrijving gegeven van de gecombineerde luchtwassers op de pilotlocaties. Voor nadere details wordt verwezen naar Bijlage 1.

Pilot 1: Biologische luchtwasser met denitrificatie (vleeskuikens)

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van 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). De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt, bedraagt 75.000 m³/uur (2,5 m³/kuiken/uur).

De luchtwasser bestaat uit een luchtwasser met één wassetie (dwarsstroomprincipe) en daaraan gekoppeld een aparte nitrificatie/denitrificatie-reactor. Het waspakket van de luchtwasser is van kunststof, heeft een dikte van 38 cm en een volume van 7,5 m³. De minimale luchtverblijftijd in de waswand komt bij het maximale debiet van 75.000 m³/uur uit op 0,36 seconden. In de zogenaamde EIMO reactor (waarbij EIMO staat voor "Encapsulated Immobilized MicroOrganisms") moet nitrificatie en denitrificatie plaatsvinden. Het denitrificatiesysteem heeft als doel om, in vergelijking met een "normale" biologische luchtwasser, het spuitvolume te verminderen door de stikstof om te zetten naar stikstofgas (N₂). In Figuur 1 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven.



Figuur 1 Schematische weergave van het luchtwassysteem bij pilot 1. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.

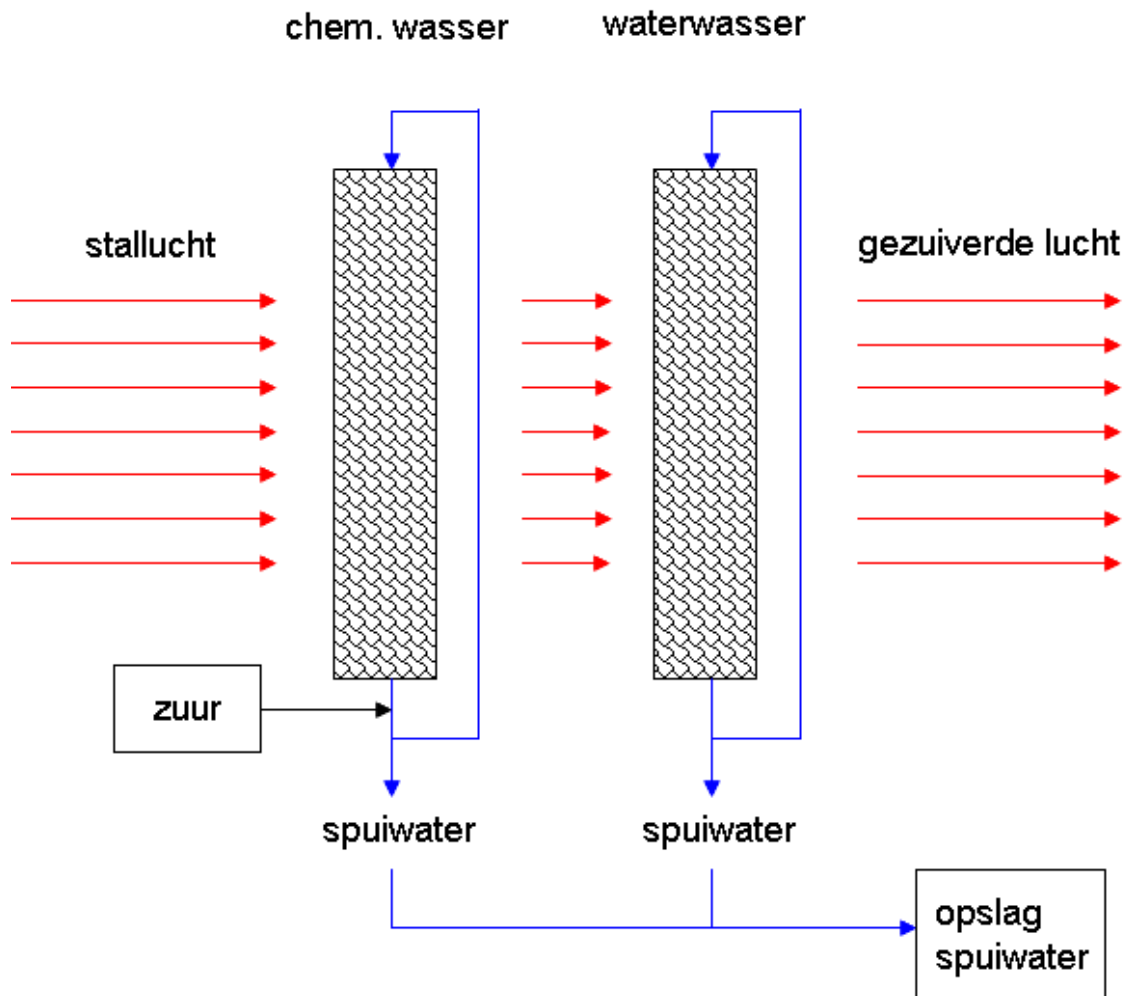
Pilot 2: Chemische en biologische luchtwasser (kraamzeugen en biggen)

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een varkensstal met 182 kraamzeugen en 2.460 biggen. De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt ($150 \text{ m}^3/\text{uur}/\text{kraamzeug}$ en $20 \text{ m}^3/\text{uur}/\text{big}$), bedraagt $81.000 \text{ m}^3/\text{uur}$. De luchtwasser is van het dwarsstroomprincipe en bestaat uit de volgende stappen:

- 1) chemische luchtwasser uitgevoerd met lamellen, bedoeld om vooral ammoniak in te vangen (pH = 1,5 - 4,0)
- 2) druppelvanger
- 3) biologische luchtwasser, ook wel genaamd "waterwasser", bedoeld om vooral geurcomponenten in te vangen
- 4) druppelvanger.

Daarnaast zal in beide wasstappen een deel van het in de stallucht aanwezige (fijn)stof worden ingevangen.

Aanvankelijk bedroeg het volume van de chemische wasstap (stap 1) $4,5 \text{ m}^3$ en het volume van de biologische wasstap (stap 3) $2,0 \text{ m}^3$. De minimale luchtverblijftijd van de chemische en de biologische wasstap komt hiermee op 0,29 seconden. Aan de luchtwasser met deze dimensionering is één rendementsmeting uitgevoerd. Vanwege aanhoudende problemen met o.a. hoge drukval in de biologische sectie en schuimvorming in de opvangbak van het waswater van de chemische wasstap is door de luchtwasserleverancier besloten om de luchtwasser te vervangen door een groter gedimensioneerde gecombineerde luchtwasser met een minimale luchtverblijftijd van 0,52 seconden. Aan deze nieuwe luchtwasser is eveneens één rendementsmeting uitgevoerd. In Figuur 2 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven.



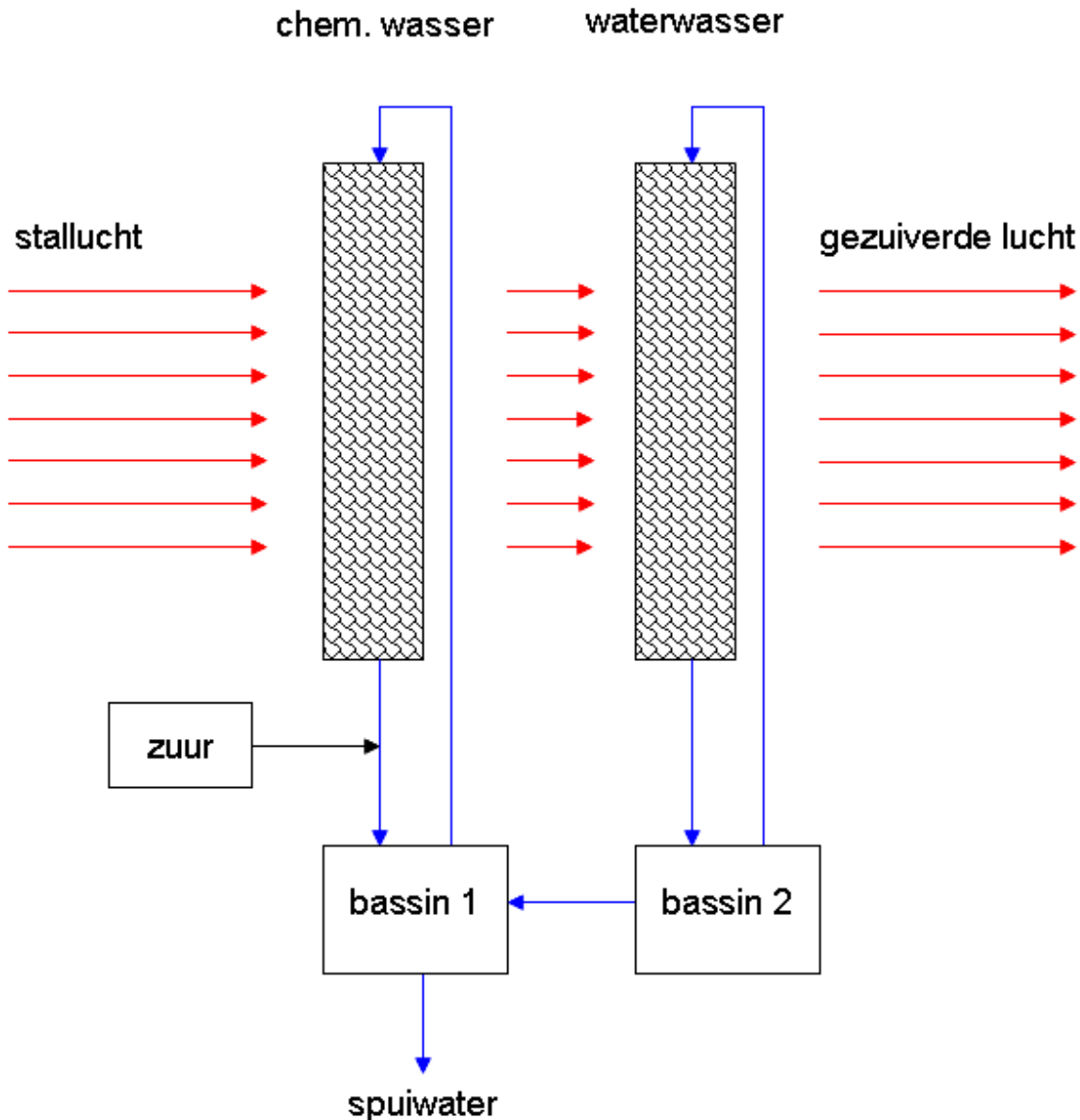
Figuur 2 Schematische weergave van het luchtwassysteem bij pilot 2. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.

Pilot 3: Chemische en biologische luchtwasser (guste en dragende zeugen)

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een varkensstal met 400 guste/dragende zeugen. De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt, uitgaande van $150 \text{ m}^3/\text{zeug/uur}$, bedraagt $60.000 \text{ m}^3/\text{uur}$. De luchtwasser is van het dwarsstroomprincipe en bestaat uit de volgende stappen:

- 1) chemische luchtwasser; pH = 1,5; pakketdikte: 45 cm; volume: $3,6 \text{ m}^3$;
- 2) druppelvanger, dikte: 13 cm;
- 3) biologische luchtwasser, ook wel genaamd "waterwasser"; pakketdikte: 45 cm; volume: $3,6 \text{ m}^3$;
- 4) druppelvanger, dikte: 13cm.

De minimale luchtverblijftijd in de luchtwater komt daarmee uit op 0,43 seconden (exclusief druppelvangers). In Figuur 3 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven.



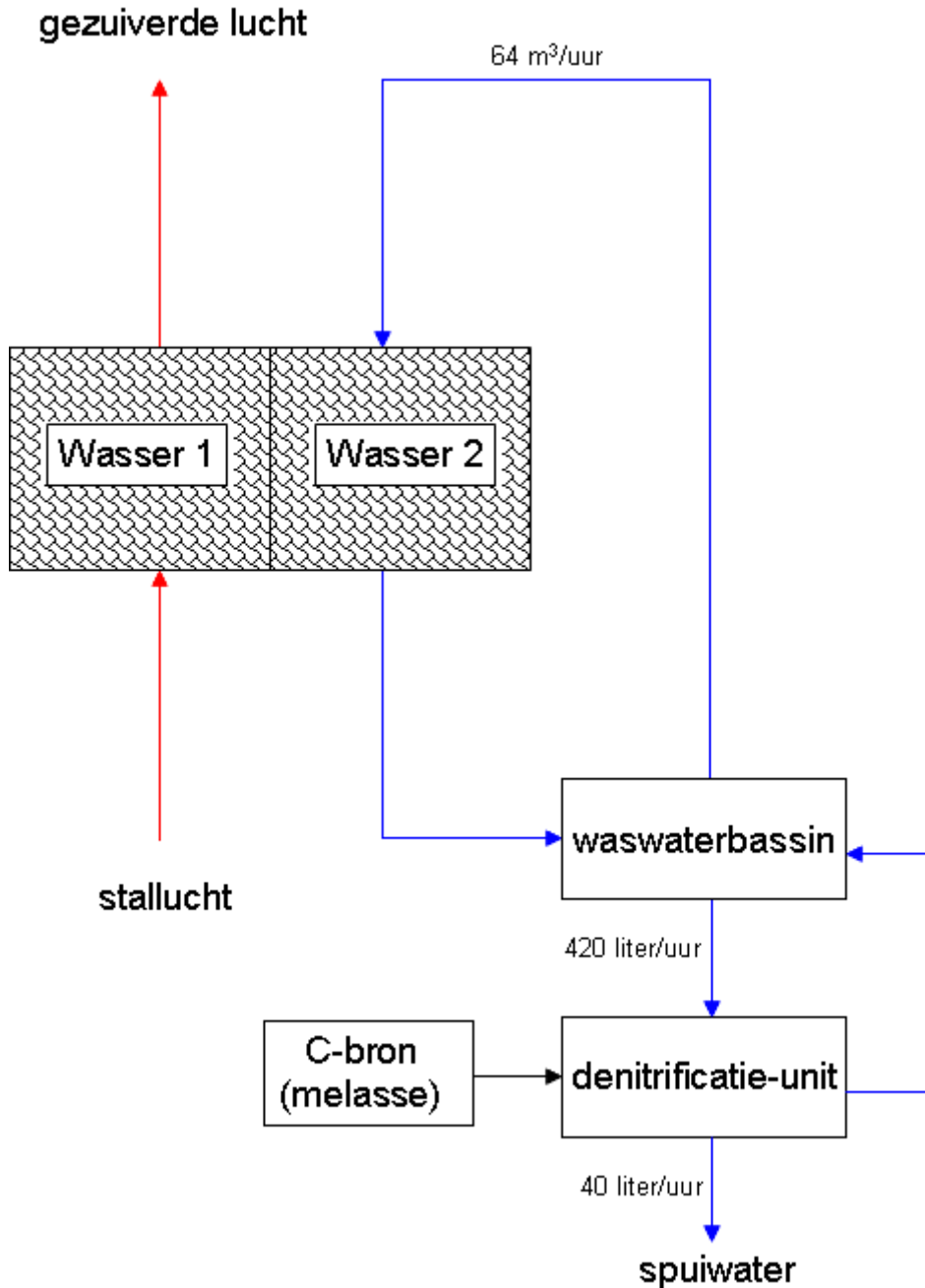
Figuur 3 Schematische weergave van het luchtwassersysteem bij pilot 3. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.

Pilot 4: Biologische luchtwater met denitrificatie (vleesvarkens)

De luchtwater behandelt lucht afkomstig van een vleesvarkensstal met 2.600 vleesvarkensplaatsen. De maximale capaciteit van de luchtwater die hieruit berekend wordt (gebaseerd op 60 m³/vleesvarken/uur), bedraagt 160.000 m³/uur. De luchtwater bestaat uit twee onderdelen:

- 1) een luchtwater conform de in de bijlage van de Rav beschreven gecombineerde luchtwater BWL 2007.02v1, bestaande uit 2 aparte biologische luchtwater units;
- 2) een denitrificatie-unit voor de behandeling van de spuiwaterstroom afkomstig uit de luchtwater. De luchtwaters zijn van het tegenstroom principe. In de biologische luchtwater units zal nitrificatie van ammoniak plaatsvinden en een deel van de geurcomponenten en het (fijn)stof worden afgevangen uit de luchtstroom. Het pakkingsvolume van de biologische luchtwaters bedraagt in totaal 72 m³. Uitgaand van een maximaal luchtdebiet van 160.000 m³/uur bedraagt de minimale luchtverblijftijd in het pakkingsmateriaal dus 1,6 seconden. Daarnaast wordt de lucht bevochtigd in de

ruimte boven het pakkingsmateriaal (waar de sproeiers zich bevinden) en in de ruimte onder de luchtwassers (waar het water uit het pakkingsmateriaal druppelt). Deze ruimtes hebben een volume van in totaal 60 m^3 en 80 m^3 . Wanneer deze ruimtes worden meegeteld bij de luchtverblijftijd wordt de minimale luchtverblijftijd driemaal zo hoog, 4,8 seconden. Het waswater wordt in een separate denitrificatie-unit (ca. 9 m^3) geleid waar het gevormde nitraat uit het waswater dient te worden verwijderd middels denitrificerende bacteriën. Aan de denitrificatie-reactor wordt melasse toegediend als koolstofbron voor de bacteriën. Vervolgens wordt het stikstof-arme water teruggevoerd naar de biologische luchtwasser. Op deze manier kan de hoeveelheid spuiwater verminderd worden ten opzichte van een conventionele biologische luchtwasser. In Figuur 4 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven.



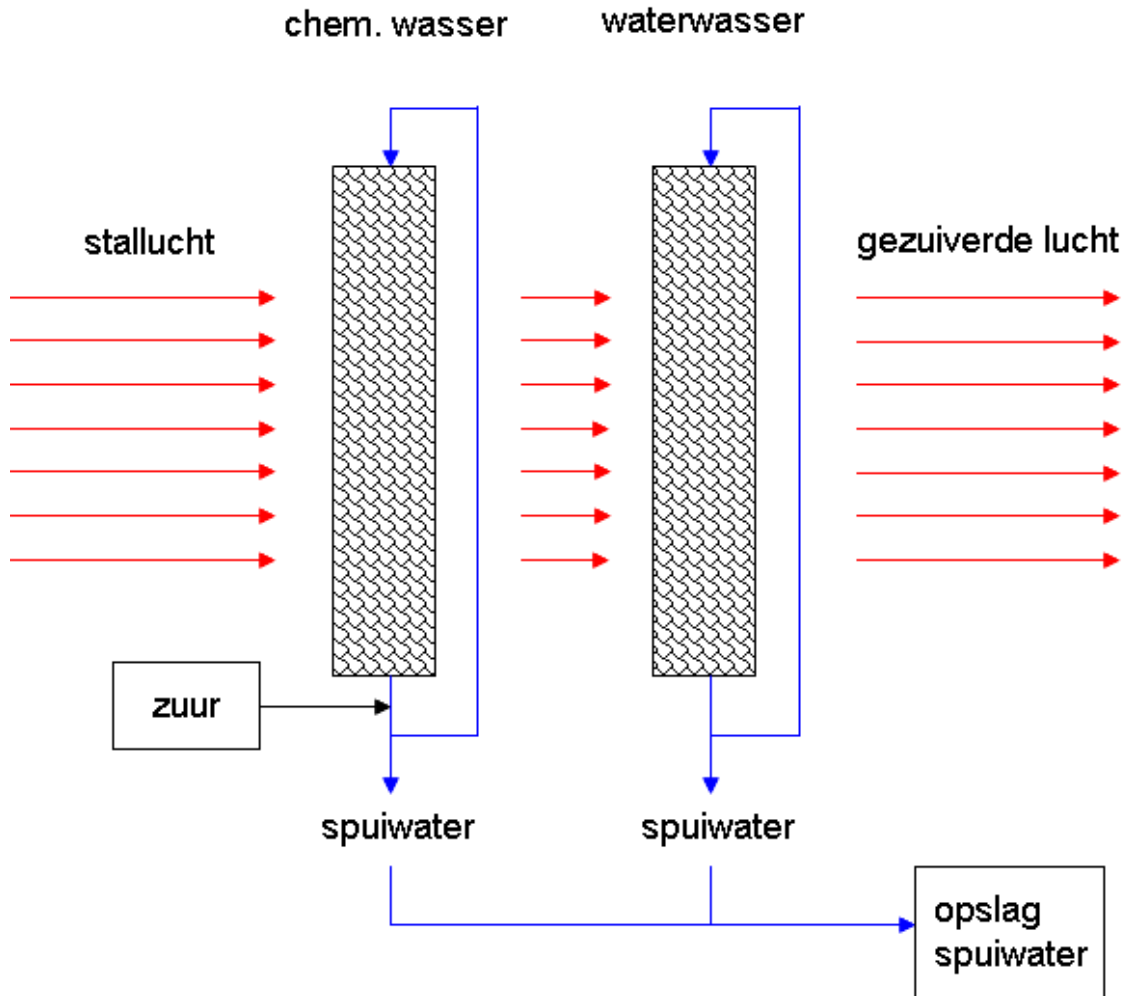
Figuur 4 Schematische weergave van het luchtwassysteem bij pilot 4. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.

Pilot 5: Chemische en biologische luchtwasser (vleeskuikens)

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een vleeskuikenstal met 21.000 dieren. De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt (gebaseerd op 8,6 m³/vleeskuiken/uur), bedraagt 180.000 m³/uur. De luchtwasser bestaat uit twee wasstappen:

- 1) chemische wasstap; pH = 1,5 - 4,0; pakketdikte: 15 cm; volume: 4,1 m³
- 2) biologische wasstap, ook wel genaamd "waterwasser"; pakketdikte: 15 cm; volume: aanvankelijk 2,1 m³, later verdubbeld naar 4,1 m³

De totale minimale luchtverblijftijd van de twee wasstappen bedroeg aanvankelijk 0,12 seconden; na verdubbeling van het pakket van de tweede nam de minimale verblijftijd toe tot 0,16 seconden. In Figuur 5 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven.



Figuur 5 Schematische weergave van het luchtwassysteem bij pilot 5. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.

2.2.3 Onderzoeksopzet

Uitgangspunt van het onderzoek was dat elke maand een bezoek werd gebracht aan de pilotlocaties. Tijdens deze bezoeken werden proces- en verbruiksparementen geregistreerd (zoals verbruik van vers water en productie van spuiwater, pH en geleidbaarheid (EC) van waswater, elektraverbruik en drukval over waspakket) en werd een monster genomen van het waswater en spuiwater. Daarnaast werd bij elk bezoek een algemene inspectie gedaan om vast te stellen of de installatie in normaal bedrijf was (draaien de pompen? is er zuur aanwezig (in het geval van een zure wasstap)? welke

opmerkingen staan er in het logboek? etc.). Elke twee maanden werden bovendien de verwijderingsrendementen voor ammoniak, geur en fijnstof (PM10, PM2.5) vastgesteld en werd de concentratie van broeikasgassen (methaan en lachgas) in de lucht voor en na de luchtwasser vastgesteld. In het bijzonder bij een biologische wasstap is de meting van lachgas (N₂O) van belang aangezien het gevaar bestaat dat een deel van de ingevangen ammoniak in lachgas wordt omgezet.

2.3 Resultaten en discussie (hoofdpijnen)

De resultaten van de rendementsmetingen aan de gecombineerde luchtwassers uit het onderzoek worden in Tabel 1 samengevat. Naast de gemiddelde rendementen voor de verwijdering van ammoniak, geur en fijnstof wordt een korte karakterisering van de luchtwasser gegeven en wordt aangegeven wat de verblijftijd van de lucht is die door de luchtwassers wordt geleid. De luchtverblijftijd bepaalt de grootte van de luchtwasser en is daarmee van grote invloed op de prestaties en de kosten van de betreffende luchtwasser.

Uit het onderzoek volgt dat, zowel voor de verwijdering van ammoniak als voor geur en fijnstof, de gemiddelde rendementen van luchtwasser tot luchtwasser sterk verschillen. Daarnaast is er sprake van een sterke variatie tussen verschillende metingen aan één luchtwasser.

Uit Tabel 1 blijkt verder dat geen van de in het onderzoek opgenomen gecombineerde luchtwassers voldoet aan de eerder geformuleerde eis dat voor zowel ammoniak, geur als fijnstof een gemiddeld rendement van 70% dient gerealiseerd te worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de meeste luchtwasser regelmatig storingen en operationele problemen vertoonden. Ook al kan een deel van de lage rendementen hierdoor verklaard worden (in het bijzonder geldt dit voor ammoniak, waar een storing in de zuurdosering meteen effect heeft op het rendement), er zijn geen aanwijzingen dat de rendementen voor geur en fijnstof hierdoor sterk zijn beïnvloed.

Naast de verwijderingsrendementen zijn ook de spuiwatersamenstelling, de spuiwaterhoeveelheid, de drukval en het elektraverbruik van de luchtwassers gemeten (zie Bijlage 2). Wij zijn van mening dat deze waarden alleen gebruikt kunnen worden om verschillende luchtwassers met elkaar te vergelijken wanneer de luchtwassers overwegend stabiel en overwegend in bedrijf zijn geweest en het beoogde (of in ieder geval een vergelijkbaar) gemiddeld rendement realiseren. Aangezien dit niet het geval bleek te zijn tijdens dit onderzoek wordt een vergelijking van de luchtwassers met betrekking tot deze proces- en verbruiksparementen niet nader uitgewerkt.

De conclusie die kan worden getrokken is dat het ontwerp van de experimentele gecombineerde luchtwassers die in dit onderzoek zijn gevolgd niet voldoet en verbeterd dient te worden. Daarnaast is weinig bekend over de manier waarop de verwijdering van in het bijzonder geur en fijnstof kan worden verbeterd.

Nader onderzoek naar de principes voor de verwijdering van geur en fijnstof in relatie tot het luchtwasserontwerp wordt daarom zinvol geacht.

Tabel 1 Samenvatting van de gemiddelde verwijdering van ammoniak, geur en fijnstof door de experimentele gecombineerde luchtwassers (n.b. = niet bepaald) (zij Bijlage 2 voor nadere informatie).

Pilot	Korte omschrijving gecombineerde luchtwasser	Minimale ⁽¹⁾ en gemiddelde ⁽²⁾ luchtverblijftijd (s)	Diersoort	Rendement NH ₃ (%)	Rendement geur (%)	Rendement PM10 (%)	Rendement PM2.5 (%)
1	Biologische luchtwasser + denitrificatie ⁽³⁾	0,36; 1,3	Vleeskuikens	46 (n=8; sd=30)	37 (n=7; sd=27)	34 (n=7; sd=7,3)	41 (n=1)
2	Chemische + biologische luchtwasser	0,29; n.b. (voor ombouw); 0,52; n.b. (na ombouw) ⁽⁴⁾	Kraam-zeugen en biggen	87 (n=2; sd=4,2)	-3 (n=2; sd=69)	50 (n=1)	n.b.
3	Chemische + biologische luchtwasser	0,43; 0,69	Guste en dragende zeugen	84 (n=9; sd=25)	26 (n=10; sd=45)	45 (n=6; sd=7,8)	44 (n=1)
4	Biologische luchtwasser + denitrificatie	4,8; 8,7 ⁽⁵⁾	Vleesvarkens	85 (n=9; sd=13)	36 (n=9; sd=23)	70 (n=7; sd=9,8)	n.b.
5	Chemische + biologische luchtwasser	0,12; n.b. (voor ombouw); 0,16; 0,42 (na ombouw) ⁽⁶⁾	Vleeskuikens	53 (n=9; sd=18)	54 (n=10; sd=22)	71 (n=4; sd=18)	22 (n=4; sd=19)

⁽¹⁾ Engels: Empty Bed Residence Time (EBRT). De minimale luchtverblijftijd wordt berekend als het pakketvolume (m³) gedeeld door de ventilatiecapaciteit van de stal (m³/s).

⁽²⁾ De gemiddelde luchtverblijftijd wordt berekend als het pakketvolume (m³) gedeeld door het gemiddelde ventilatiedebiet tijdens de metingen (m³/s).

⁽³⁾ De ingaande lucht van de stal gaat door een warmtewisselaar waarin de lucht wordt geconditioneerd met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar

⁽⁴⁾ Tussen de eerste en de tweede meting is het ontwerp van de luchtwasser aangepast.

⁽⁵⁾ Het gaat hierbij om een tegenstroomwasser waarbij zich zowel boven als onder het pakkingsmateriaal een aanzienlijke vochtige ruimte bevindt; deze is meegenomen bij het berekenen van de luchtverblijftijd.

⁽⁶⁾ Halverwege het meetprogramma is het volume van de tweede wastrap vergroot.

3 Algemene ervaringen en evaluatie

3.1 Opzet en structuur van onderzoeksprogramma

3.1.1 Achtergrond en totstandkoming van onderzoeksprogramma

Naar aanleiding van een brief van de staatssecretaris van het toenmalige VROM aan de Tweede Kamer (1 februari 2006; KST94460) is door de ministeries van IenM en EL&I het Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL) opgezet. Een van de onderdelen van dit programma had als doel de techniek van de gecombineerde luchtwater te optimaliseren en te stimuleren dat er meer van dit type luchtwassers beschikbaar komen. In 2007 is in dit kader een meetprogramma gestart op een aantal gecombineerde luchtwassers op zogenaamde pilot-locaties. Door de ministeries van IenM en EL&I is aan Wageningen UR Livestock Research (WUR LR) opdracht gegeven om dit zogenaamde monitoringsprogramma uit te voeren in de periode 2007 - 2010. Agentschap NL trad hierbij op als gedelegeerd opdrachtgever. Het monitoringsprogramma bestond uit het vaststellen van de werking van de luchtwassers door het uitvoeren van rendementmetingen voor ammoniak, geur en fijnstof en een aantal aanvullende metingen en observaties van belangrijke procesparameters.

Een belangrijk uitgangspunt van het programma was dat er sprake was van in de praktijk draaiende pilots, waarmee "full scale" gecombineerde luchtwassers worden bedoeld die voorafgaand aan het onderzoek door de leveranciers zijn ontwikkeld en op een veehouderijbedrijf in werking zijn.

Het idee hierbij was dat deze systemen bijna uitontwikkeld en daarmee bijna marktrijp waren. Het uit te voeren meetprogramma had dan als doel om de emissiereductie van deze systemen vast te stellen (zowel voor ammoniak, geur als fijnstof) en de betrokken luchtwaterleveranciers op deze wijze "een duwtje in de rug te geven" om de laatste kinderziekten te verhelpen en op deze wijze de werking van de luchtwassers te verbeteren en te optimaliseren. Bij de opzet van het programma werd er dan ook vanuit gegaan dat de betrokken luchtwaterleveranciers voldoende kennis en kundigheid bezaten om de gewenste verwijderingsrendementen te realiseren, ondersteund door de resultaten van het monitoringsonderzoek, en dat dit doel reeds bijna op eigen kracht was bereikt.

Ten behoeve van de uitvoering van het meetprogramma werd op verzoek van WUR LR een aantal aanpassingen gedaan aan de luchtwassers met betrekking tot de fysieke toegankelijkheid en het kunnen installeren van de meetleidingen en meetapparatuur. Daarnaast werden op een aantal luchtwassers een of meerdere extra meters geïnstalleerd ten behoeve van de uitvoering van het meetprogramma.

3.1.2 Uitvoering en resultaten van onderzoeksprogramma

Tijdens de uitvoering van het monitoringsonderzoek bleek echter dat de meeste (zo niet alle) pilots nog een lange weg hadden te gaan om op de markt te worden gebracht als robuust en stabiel draaiend luchtwatersysteem met een voldoende rendement. Uit de metingen bleek enerzijds dat er frequent sprake was van storingen en ongunstige procescondities. Anderzijds bleek dat, ook al was er sprake van 'normale' procescondities, de gewenste minimumrendementen van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof niet werden gehaald (zie hoofdstuk 2).

De informatie die verkregen werd uit de bezoeken met betrekking tot storingen en procescondities werd telkens teruggekoppeld naar de luchtwaterleveranciers zodat deze de technische werking van de luchtwater konden verbeteren (dus met betrekking tot sensoren, pompen, kleppen etc.). Zo werden op advies van WUR LR onder andere een aantal aanpassingen gedaan met betrekking tot alarmering van lage zuurniveaus en het controleren van de werking van het nitrificatie/denitrificatie systeem met behulp van EC-sensoren (zie Bijlage 1).

De informatie die verkregen werd uit de metingen van de verwijderingsrendementen werd eveneens teruggekoppeld naar de luchtwaterleveranciers. Met betrekking tot ammoniakverwijdering functioneerden de luchtwassers in het algemeen vrij goed (zie hoofdstuk 2); wanneer er desondanks lage rendementen waren gemeten kon dit meestal verklaard worden door verstoorde procescondities en/of abnormale luchtcondities tijdens de meting. Bedacht moet worden dat de luchtwassers binnen de veehouderij oorspronkelijk zijn ontworpen voor ammoniakverwijdering en dat daarmee ook de meeste praktijkervaring is opgedaan. Bovendien kunnen gebruikers en leveranciers eenvoudig indicatieve metingen van het ammoniakverwijderingsrendement uitvoeren (met behulp van

gasdetectiebuisjes) op grond waarvan het ontwerp en de procesvoering van de luchtwasser kan worden geoptimaliseerd.

Met betrekking tot de gemeten geurrendementen was de situatie anders. De gemiddelde geurverwijderingsrendementen waren veel lager dan voor ammoniak en bovendien vertoonden de gemeten geurrendementen een grote spreiding (zie hoofdstuk 2). Daarnaast kon, zoals wel het geval was voor ammoniak, geen directe koppeling worden gemaakt tussen de gemeten geurverwijderingsrendementen en de procesomstandigheden in de luchtwasser dan wel de condities van de te behandelen lucht. Met andere woorden: de efficiëntie waarmee de geurverwijdering plaatsvindt is (grotendeels) onbegrepen. De luchtwasserleveranciers waren dan ook niet goed in staat om procesvoering of ontwerp van de luchtwasser op basis van de metingen van het geurrendement aan te passen of te optimaliseren.

Met betrekking tot de metingen van het verwijderingsrendement van fijnstof kan opgemerkt worden dat de spreiding lager was dan voor de geurmetingen. De hoogte van het PM10 verwijderingsrendement lijkt samen te hangen met de minimale verblijftijd van de lucht in het waspakket (zie Melse *et al.*, 2010, dat mede gebaseerd is op de metingen uit onderliggend onderzoek), in ieder geval wanneer de luchtverblijftijd 5 seconden of langer is, zoals het geval is bij een van de luchtwassers (zie Tabel 1 in hoofdstuk 2; de gemiddelde luchtverblijftijd van luchtwasser 4 bedraagt 8,7 seconden). Zodra een luchtwasser is gebouwd (en het pakketvolume dus vastligt) is de luchtverblijftijd een gegeven dat wordt bepaald door het ventilatiedebiet zoals dat zich voordoet gedurende de meting. De gebruiker of leverancier kan de luchtverblijftijd in het algemeen dus niet door kleine aanpassingen van procesvoering of ontwerp beïnvloeden. Wanneer de luchtverblijftijd korter is dan 5 seconden (zoals het geval is bij de andere luchtwassers, zie Tabel 1 in hoofdstuk 2) lijkt het stofverwijderingsrendement af te hangen van andere factoren dan de luchtverblijftijd (zie Melse *et al.*, 2010). Hierbij spelen mogelijk het type pakkingsmateriaal of de manier van bevochtiging een rol. Het is denkbaar dat inzicht in deze factoren zou kunnen leiden tot verbetering van het fijnstofverwijderingsrendement, zonder dat de luchtwasser groter hoeft te worden. Aangezien onbekend is welke factoren het hier betreft waren de luchtwasserleveranciers niet goed in staat om procesvoering of ontwerp van de luchtwasser op basis van de fijnstofmetingen aan te passen of te optimaliseren.

Vanwege het gekozen karakter van het onderzoeksprogramma (monitoren van praktijkpilots) was het niet mogelijk om de principes van geurverwijdering en fijnstofverwijdering op een fundamenteeler niveau te onderzoeken (bijv. met een gecombineerde luchtwasser op laboratoriumschaal waarbij onder gecontroleerde omstandigheden ontwerp- en procesparameters kunnen worden gevarieerd). Desalniettemin geven de resultaten van het monitoringsonderzoek en de inzichten die daar uit voortvloeien de leveranciers wel houvast om het ontwerp van hun gecombineerde luchtwasser aan te passen en door te ontwikkelen. Zo heeft een van de leveranciers op basis van het monitoringsonderzoek besloten om de omvang van de bestaande denitrificatie-installatie te verdubbelen. Een andere leverancier heeft op basis van het monitoringsonderzoek besloten om het luchtwassersysteem uit te breiden met een ozoninstallatie. Tenslotte heeft een van de leveranciers op basis van het monitoringsonderzoek besloten de nitrificatie/denitrificatie reactor te vervangen door een aantal reactoren van een ander type (zie Bijlage 2).

3.1.3 Samenvatting knelpunten

Onderstaand worden de knelpunten die bij de uitvoering van het meetprogramma naar voren zijn gekomen nog eens puntsgewijs samengevat:

- De geplande maandelijkse en twee-maandelijkse metingen aan de pilots zijn onderbroken of voortijdig gestopt omdat de pilots niet (goed) bleken te draaien
- Uitvoering van een monitoringsonderzoek waarbij de nadruk ligt op alleen meten ("black box"), leent zich niet goed voor de nodige procesanalyse en verbetering van knelpunten
- De onderzochte gecombineerde luchtwassers zijn in een experimenteel stadium: hardwarekeuze, procescontrole en regeling is veelal nog niet uitontwikkeld
- Kinderziektes, regelmatig storingen, deel van de plannen die de leveranciers hadden (bijv. procesbewaking) waren nog niet gerealiseerd
- Ammoniakverwijdering i.h.a. goed in de vingers; jarenlange ervaring + gemakkelijk zelf indicatief te meten door leverancier of gebruiker
- Moeilijk om goede geurverwijdering te realiseren; grotendeels "black box" + niet zelf te meten door leverancier of gebruiker

- Fijnstof-verwijdering lijkt moeilijk te beïnvloeden, behalve door vergroten luchtverblijftijd (andere factoren vooralsnog onbekend); niet zelf te meten door leverancier of gebruiker

3.2 Meetprotocol en storingen

Vooraf in het begin van het onderzoeksprogramma was er frequent sprake van technische storingen waardoor luchtwassers mogelijk slecht functioneerden. Zo werd WUR LR de dag voor een geplande meting wel eens gewaarschuwd dat het zuur van de chemische wasstap van een gecombineerde luchtwasser op was, zodat een meting geen zin zou hebben of op zijn minst niet representatief zou zijn. Een aantal malen is er op deze manier voor gekozen om een ingeplande rendementsmeting op te schorten en uit te voeren nadat de luchtwasser weer normaal zou functioneren. Een aantal malen is het ook voorgekomen dat pas ter plaatse op het veehouderijbedrijf bleek dat de luchtwasser technisch niet goed functioneerde, waarna wel een rendementsmeting werd gestart. In het laatste geval zijn de resultaten van de rendementsmeting vervolgens meegenomen bij de berekening van het gemiddelde rendement van de betreffende luchtwasser. Voor zover deze zaken een rol hebben gespeeld bij het meetprogramma wordt hiervan melding gemaakt in de tabellen waarin de individuele metingen worden gepresenteerd (zie Bijlage 2).

Het is echter van belang om te beseffen dat de gekozen strategie in dezen het gemiddelde verwijderingsrendement dat gepresenteerd wordt in belangrijke mate kan beïnvloeden. Wanneer in het geval van een storing geen meting wordt gedaan zal het gemiddelde rendement naar verwachting hoger uitkomen dan in het geval deze meting wel wordt uitgevoerd. In het bijzonder geldt dit voor het ammoniakverwijderingsrendement omdat daar meestal een duidelijk verband is tussen procesparameters en rendement; voor geur en fijnstof is op voorhand niet altijd duidelijk wat het effect van een storing op het rendement zal zijn.

3.3 Gebruik en onderhoud van luchtwasser

Onderstaand wordt een aantal aspecten kort besproken dat samenhangt met het dagelijks gebruik van een luchtwasser en het onderhoud ervan.

3.3.1 Logboek

Een belangrijk aspect bij het gebruik van een luchtwasser is de controle door de gebruiker. Normaliter voert de gebruiker (veehouder) regelmatig een controle uit, dat wil zeggen een korte inspectie of op het eerste gezicht alles normaal draait en het bijwerken van het logboek. Op alle pilot-locaties was een papieren logboek aanwezig. Daarnaast kon in sommige gevallen een aantal waarden (zoals draaiuren pomp) afgelezen worden uit de besturingskast van de luchtwasser.

Over het algemeen werden de standaardzaken (het aflezen van meterstanden e.d.) goed in het logboek bijgehouden, hoewel het op een van de locaties maandenlang heeft geduurd voordat een logboek aanwezig was. In principe zou het registreren van belangrijkste procesvariabelen en verbruiksparementen ook automatisch kunnen plaatsvinden (zie bijv. Melse en Franssen (2010), waarin elektronische monitoringssystemen op luchtwassers worden besproken).

Zaken als het optreden van storingen en het oplossen ervan (inclusief details wat er nu wanneer is gebeurd en uitgevoerd) werden daarentegen niet of nauwelijks genoteerd in het logboek. Ook wanneer er wijzigingen in de procesregeling werden uitgevoerd, onderdelen werden vervangen of andere hardware-matige aanpassing werden uitgevoerd door de luchtwasserleverancier was dit niet of nauwelijks terug te vinden in het logboek.

Geconcludeerd kan worden dat een logboek (op papier dan wel elektronisch) geschikt is voor het routinematig vastleggen van procesparameters. Zodra er echter zaken voorkomen die niet binnen deze format passen worden deze niet genoteerd, terwijl deze zaken in een onderzoeksproject wel relevant zijn voor een juiste interpretatie van (afwijkende) metingen en een eventuele aanpassing van de meetstrategie.

3.3.2 Onderhoud en gebruikershandleiding

Algemeen

Naast de regelmatige controle door de gebruiker die hierboven beschreven wordt, dienen op regelmatige basis waswatermonster genomen te worden en controles van het spuidebiet en van de werking van de circulatiepomp te worden uitgevoerd. Verder dienen er onderhouds- en reinigingswerkzaamheden te worden uitgevoerd, dan wel door de gebruiker dan wel door een derde partij in het kader van een afgesloten onderhoudscontract.

Controle en ijking van elektroden

Bij veel gecombineerde luchtwassers maakt een zure wasstap deel uit van de luchtwasser. De werking van deze wasstap wordt gecontroleerd met behulp van een pH elektrode in het waswater. Daarnaast wordt soms een geleidsbaarheidselektrode (EC) gebruikt om te bepalen wanneer er gespuid moet worden (geldt voor zowel zure wasstap als biologische wasstap). Tijdens het onderzoek is gebleken dat het van belang is de meting van deze belangrijke procesvariabelen op regelmatige basis te controleren. De metingen kunnen verlopen als gevolg van ouderdom of vervuiling van de elektrode waardoor de procesvoering gevaar loopt. In principe kan de juiste werking van de elektrode eenvoudig door de gebruiker worden gecontroleerd door deze in een buffervloeistof te houden (zowel pH als EC elektrode) of het waswater te controleren met behulp van een 'pH-papiertje' (geldt alleen controle van pH elektrode). Op deze wijze wordt voorkomen dat er een verkeerde pH in het systeem heerst of dat er te weinig of te veel wordt gespuid.

Aangezien de meting van de elektrische geleidbaarheid (in ieder geval voor zover het een inductieve meting betreft) stabiel en robuuster is, dient vooral aandacht besteed te worden aan de controle van de pH elektrode. Bovenstaande impliceert ook dat controle (en eventueel schoonmaken of ijken) van de elektroden opgenomen wordt in de gebruikershandleiding van de luchtwasser, hetgeen nu niet het geval is.

Drukval en verstopping

Een ander punt betreft de vervuiling en eventueel verstopping van het waspakket en de druppelvangsters. De ervaring is dat gebruikers vaak geen weet hebben van wat een 'normale' drukval is van de luchtstroom die door het pakket stroomt. Inzicht in de drukvalopbouw is van belang omdat enerzijds het gewenste ventilatiedebiet in de stal dient te worden gerealiseerd (bij een te hoge drukval kan er niet voldoende worden geventileerd). Anderzijds is de drukval van groot belang voor het energieverbruik van de ventilatoren: de elektrakosten van het ventilatiesysteem kunnen sterk toenemen bij een vervuild pakket.

De drukval hangt af van enerzijds het ventilatiedebiet en anderzijds van de mate van openheid van het waspakket en de druppelvangsters. De luchtsnelheid is ongeveer kwadratisch met de drukval, wat wil zeggen dat een twee maal zo hoog ventilatiedebiet een vier maal zo hoge drukval tot gevolg heeft. De mate van vervuiling van het pakket bepaalt in combinatie hiermee hoe hoog de drukval in werkelijkheid wordt.

Door een luchtwasser uit te voeren met een drukvalmeter kan de gebruiker nagaan hoe hoog de drukval is en of deze geen extreem hoge waarden aangeeft. Om beter inzicht te verkrijgen in de mate van vervuiling van het waspakket zou de veehouder geholpen kunnen worden met een grafiek of tabel waarin hij kan zien welke drukval hij mag verwachten bij een relatief schoon pakket, afhankelijk van het ventilatiedebiet van de stal. Er zou dan ook een grenswaarde kunnen gegeven worden waarboven het schoonmaken van de waspakketten wordt aanbevolen. Na het schoonmaken kan de gebruiker aan de hand van de tabel of grafiek meteen zien of de drukval van het pakket omlaag is gegaan voor het bijbehorende ventilatiedebiet.

In een gezamenlijke inspanning van de leverancier van het ventilatiesysteem en de leverancier van de luchtwasser zou een dergelijke grafiek of tabel kunnen opgesteld bij de ingebruikname of oplevering van elke stal die met een luchtwasser is uitgerust. Vervolgens kan deze grafiek of tabel worden opgenomen in de gebruikershandleiding, inclusief de bijbehorende instructie op welke wijze deze controle kan worden uitgevoerd.

De uit deze metingen verkregen grafiek of tabel zou eventueel ook in de procescomputer van de luchtwasser kunnen worden geïncorporeerd, zodat er een alarm kan worden gegenereerd wanneer er voor het heersende ventilatiedebiet een te hoge drukval wordt geregistreerd.

3.3.3 Elektraverbruik en spuiwaterproductie

Wanneer een stal wordt uitgerust met een luchtwassysteem zal het energieverbruik normaliter toenemen. Enerzijds is er sprake van een toename van het elektraverbruik van het ventilatiesysteem als gevolg van de extra tegendruk in het systeem (zie voorgaande paragraaf), anderzijds is er sprake van het energiegebruik van de luchtwasser zelf. Het energieverbruik van de luchtwasser wordt voor het grootste deel uitgemaakt door de aanwezige recirculatiepomp(en). In het algemeen is er sprake van een of meerdere van deze pompen die waswater over het pakkingsmateriaal verdelen en op deze manier het materiaal vochtig houden. Tijdens het monitoringsonderzoek is het elektraverbruik van de pompen op de verschillende pilotlocaties gemeten. Uit het onderzoek bleek dat het gemiddelde elektraverbruik 1,2 tot 4,1 kW per 100.000 m³/uur geïnstalleerde ventilatiecapaciteit bedroeg (zie Bijlage 2).

Omdat er bij de pilotlocaties sprake was van verschillende diercategorieën (met elk een ander ventilatieregime) is het moeilijk om het energieverbruik van de verschillende luchtwassers op een gelijkwaardige basis met elkaar te vergelijken. Daarnaast moet bedacht worden dat een zinvolle vergelijking van het energiegebruik alleen mogelijk is wanneer de luchtwassers stabiel en overwegend storingsvrij in bedrijf zijn en een gelijkwaardig rendement realiseren; een luchtwasser kan wellicht een laag energiegebruik hebben maar als gevolg van een te kleine dimensionering een onvoldoende hoog rendement bereiken. Er dient dan ook de nodige voorzichtigheid te worden betracht bij het vergelijken van het energieverbruik van luchtwassers.

Ook voor de spuiwatersamenstelling en spuiwaterhoeveelheid geldt dat een zinvolle vergelijking alleen mogelijk is wanneer de luchtwassers stabiel en overwegend storingsvrij in bedrijf zijn en het beoogde rendement realiseren. Aangezien dit niet het geval bleek te zijn tijdens dit onderzoek wordt hier niet nader ingegaan op de spuiwaterproductie en de samenstelling van het spuiwater.

3.3.4 Veiligheid (zwavelzuur)

Bij veel gecombineerde luchtwassers is een zure wasstap aanwezig waarbij geconcentreerd zwavelzuur wordt gedoseerd in het water. Geconcentreerd zwavelzuur is een agressieve, bijtende vloeistof; te allen tijde dient dan ook voorkomen te worden dat er contact optreedt met huid, ogen, mond en longen (inademing). Nadat het zuur aan het waswater is toegevoegd is de concentratie vele malen lager en is er nauwelijks nog sprake van een bijtende werking (de pH is dan vergelijkbaar met cola of sinaasappelsap). Het geconcentreerde zuur wordt in de regel opgeslagen in een dubbelwandig kuubsvat of in een vaste dubbelwandige tank met een groter volume. Wanneer het kuubsvat leeg is wordt het afgevoerd en wordt een nieuw vat geplaatst. In het geval van een vaste zuurtank wordt de tank af en toe bijgevuld vanuit een tankwagen.

Het nadeel van het kleinere kuubsvat is dat telkens de aanzuigleidingen van de pomp uit het oude vat moeten worden verwijderd en in het nieuwe vat worden geplaatst, waarbij er gemakkelijk contact met (druppels) zuur kan optreden. Daarnaast zijn er regelmatig problemen gesignaleerd met de niveaubewaking van een dergelijke tank (wanneer het zuur bijna op is, dient een alarm gegeneerd te worden zodat tijdig een nieuw vat kan worden besteld), omdat de betreffende sensor ook telkens van de oude naar de nieuwe tank moet worden verplaatst. Een vaste tank kent deze nadelen niet, maar is daarentegen duurder in de aanschaf; de prijs per liter is vervolgens bij een vaste tank wel weer lager. Voor beide systemen geldt dat het zuur via een aanzuigleiding, een pomp en een persleiding naar de luchtwasser wordt geleid. Vaak worden hiervoor eenvoudige, enkelwandige leidingen gebruikt.

Wanneer een persleiding lek mocht raken stroomt in dat geval het zwavelzuur naar buiten.

In de praktijk blijkt dat lekkage of morsen van zuur of zuur waswater regelmatige voorkomt; in de buurt van de pomp en de (aansluitingen) van de leidingen zijn regelmatig 'zoutkorsten' te zien die waarschijnlijk zijn ontstaan nadat zwavelzuur of waswater is gemorst. Omdat bij een vaste tank geen losse slangen hoeven te worden verplaatst maar vaste zuurleidingen kunnen worden gebruikt lijkt het gebruik van een vaste tank veiliger. In alle gevallen geldt dat bij voorkeur dubbelwandige leidingen moeten worden gebruikt.

4 Conclusies en aanbevelingen

In de periode 2007 - 2010 is binnen het kader van het door de Ministeries van IenM en EL&I opgezette Programma Gecombineerde Luchtwassers (PGL) een monitoringsonderzoek uitgevoerd naar de werking van gecombineerde luchtwassers voor de behandeling van ventilatielucht van stallen. Een gecombineerde luchtwasser heeft als doel de emissies van zowel ammoniak, geur als zowel fijn stof (PM10, PM2.5) met minimaal 70% te verminderen. Het monitoringsonderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research.

Een belangrijk uitgangspunt van het programma was dat er vanuit was gegaan dat de betreffende gecombineerde luchtwassersystemen bijna uitontwikkeld en daarmee bijna marktrijp waren. Het uit te voeren meetprogramma had dan als doel om de emissiereductie van deze systemen vast te stellen (zowel voor ammoniak, geur als fijnstof) en de betrokken luchtwasserleveranciers op deze wijze "een duwtje in de rug te geven" om de laatste kinderziektes te verhelpen en op deze wijze de werking van de luchtwassers te verbeteren en te optimaliseren. Verder zouden de metingen uit het onderzoek bij een succesvol draaiende luchtwasser gebruikt kunnen worden ten behoeve van opname van het luchtwassersysteem in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), de Regeling geurhinder en veehouderij (Rgv) en het overzicht emissiefactoren fijn stof voor veehouderij (IenM, 2010).

Tijdens de uitvoering van het monitoringsonderzoek bleek echter dat de meeste (zo niet alle) pilots nog een lange weg hadden te gaan om op de markt te worden gebracht als robuust en stabiel draaiend luchtwassersysteem met een voldoende rendement. Uit de metingen bleek enerzijds dat er frequent sprake was van storingen en ongunstige procescondities. Anderzijds bleek dat, ook al was er sprake van 'normale' procescondities, de gewenste minimumrendementen van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof niet voor alle componenten werden gehaald. De metingen lijken dan ook niet geschikt om te gebruiken voor een aanvraag ten behoeve van opname van het luchtwassersysteem in Rav, Rgv en het overzicht emissiefactoren fijn stof voor veehouderij. De conclusie die kan worden getrokken is dat het ontwerp van de experimentele gecombineerde luchtwassers die in dit onderzoek zijn gevolgd niet voldoet en verbeterd dient te worden. Daarnaast is weinig bekend over de manier waarop de verwijdering van in het bijzonder geur en fijnstof plaatsvindt en kan worden verbeterd. Nader onderzoek naar de principes voor de verwijdering van geur en fijnstof in relatie tot het luchtwasserontwerp wordt daarom zinvol geacht.

Desondanks heeft het onderzoek een aantal nuttige inzichten opgeleverd met betrekking tot het praktijkgebruik van luchtwassers (zie hoofdstuk 3.3) en geleid tot een aantal verbeteringen binnen het bestaande ontwerp van de gecombineerde luchtwassers (zie hoofdstuk 3.1.2). Daarnaast zijn er worden de ervaringen en resultaten van het monitoringsonderzoek door de luchtwasserleveranciers gebruikt om hun luchtwasser door te ontwikkelen. Het monitoringsonderzoek heeft de leveranciers inzicht gegeven in de rendementen die hun gecombineerde luchtwasser realiseert voor ammoniak en, in het bijzonder, voor geur en fijnstof; voor de start van het monitoringsonderzoek was niet bekend hoe de gecombineerde luchtwassers qua verwijdering van geur en fijnstof functioneerden. De resultaten van het monitoringsonderzoek en de inzichten die daar uit voortvloeien geven de luchtwasserleveranciers houvast om het ontwerp van hun gecombineerde luchtwasser aan te passen en door te ontwikkelen. Zo heeft een van de leveranciers op basis van het monitoringsonderzoek besloten om de omvang van de bestaande denitrificatie-installatie te verdubbelen. Een andere leverancier heeft op basis van het monitoringsonderzoek besloten om het luchtwassersysteem uit te breiden met een ozoninstallatie. Tenslotte heeft een van de leveranciers op basis van het monitoringsonderzoek besloten de nitrificatie/denitrificatie reactor te vervangen door een aantal reactoren van een ander type.

Nader onderzoek zal moeten uitwijzen tot welke rendementsverbeteringen het aangepaste ontwerp van deze gecombineerde luchtwassers leidt.

Referenties

- CEN. 2003. Air quality: Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (EN 13725). Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- 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.
- lenM. 2010. Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij 2010 en bijbehorende toelichting. Web: <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtkwaliteit/meten-en-rekenen/invoergegevens-2010-luchtkwaliteit#anker-emissies-fijn-stof-door-dieren>
- InfoMil. 2008. Technisch Informatiedocument 'Luchtwassystemen voor de veehouderij'. Versie 1, december 2008.
- Melse, R.W.; P. Hofschreuder; N.W.M. Ogink. 2010. Fine dust (PM10) removal by air scrubbers treating animal house exhaust air. Proceedings of the ASABE Annual International Meeting, June 20-23, 2010, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Melse, R.W.; J.C.T.J. Franssen. 2010. Elektronische monitoring van luchtwassers op veehouderijbedrijven. Rapport 349. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- 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 pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- 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.
- 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.
- VROM. 2010. Gebruikershandleiding V-Stacks vergunning. Verspreidingsmodel bij de Wet geurhinder en veehouderij. Versie 2010.1, 2 april 2010, <http://www.infomil.nl>.
- 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.

Bijlagen

Bijlage 1 Materiaal en methoden (in detail)

B1.1 Algemene beschrijving werkingsprincipe luchtwassers

In een zure water wordt ammoniak uit de lucht gevangen door de lucht in contact te brengen met een zure vloeistof. De ammoniak hoopt zich in dit recirculatiewater en bij een bepaalde concentratie wordt de vloeistof gespuid (spuiwater). De pH wordt geregeld door toevoeging van zuur (pH < 4). In een biologische water wordt de lucht eveneens in contact gebracht met wasvloeistof, maar er wordt geen zuur toegevoegd. De (resterende) ammoniak wordt echter omgezet tot nitriet en nitraat door nitrificerende bacteriën. Daarnaast wordt een deel van de geurcomponenten door de bacteriën afgebroken. De hoeveelheid spuivloeistof die geproduceerd wordt als gevolg van de ammoniakverwijdering is relatief laag voor een chemische water en relatief hoog voor een biologische water. De maximale ammoniakverwijdering van een chemische water is erg hoog (> 95%), voor een biologische water is dit iets lager (in de regel maximaal 70%). Voor beide was-types geldt dat een deel van het fijn en grof stof dat zich in de lucht bevindt, wordt afgevangen.

Zoals eerder opgemerkt worden luchtwassers die een gecombineerd verwijderingsrendement, d.w.z. zowel verwijdering van ammoniak als van geur en fijnstof (PM10, PM2.5), nastreven gecombineerde wassers genoemd. Vaak, maar niet noodzakelijkerwijs, wordt dit gerealiseerd door toepassing van een meertrapssysteem. In een dergelijk systeem wordt de lucht in een aantal opeenvolgende stappen behandeld. Een voorbeeld hiervan van is een drietrapsysteem met allereerst een wasstap met water, vervolgens een zure wasstap en tenslotte een biowasstap. In de eerste wasstap wordt een groot deel van het grove stof afgescheiden, in de tweede wasstap het grootste deel van de ammoniakkracht en tenslotte kan in de biowasstap nadere geurverwijdering plaatsvinden.

B1.2 Keuze pilotlocaties

Voor de uitvoering van het onderzoek zijn aan het begin van het project 5 pilotlocaties uitgekozen die een nog experimentele status hadden en niet in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) waren opgenomen. Deze pilotlocaties zijn geselecteerd aan de hand van onderstaande criteria:

1. *Regio/provincie*: er is een keuze gemaakt voor de vier Reconstructiegebieden, Noord-Brabant, Gelderland, Limburg en Overijssel.
2. *Diersoort*: varkens of pluimvee.
3. *Leveranciers*: alle luchtwasserleveranciers die in Nederland actief waren met betrekking tot de ontwikkeling van nieuwe gecombineerde wassers (voor zover bekend) zijn gevraagd om deel te nemen aan het onderzoeksprogramma.
4. *Veehouder*: gekozen is voor veehouders waarbij gemeten kan worden en waar de vergunningverlening op korte termijn geregeld is.
5. *Werkingsprincipes*: biowasser - chemische water - biofilter - denitrificatie - warmtewisselaar; de bedoeling is om van elk verschillend systeem een pilot te hebben.

Hierbij was het de bedoeling om een aantal locaties met gecombineerde luchtwassers te selecteren verspreid over het land, voor verschillende diercategorieën, met verschillende leverancier en verschillend werkingsprincipe.

Uiteindelijk heeft het keuzeproces geresulteerd in de in Tabel B1 omschreven pilotlocaties. Op het moment dat de pilots werden uitgekozen waren geen andere experimentele gecombineerde luchtwassersystemen bekend.

Tabel B1 Korte beschrijving pilotlocaties PGL Basismonitoring

Nummer	Diersoort	Korte omschrijving wasser
Pilot 1	Pluimvee	Biowasser + denitrificatie ⁽¹⁾
Pilot 2	Varkens	Chemische wasser + biowasser
Pilot 3	Varkens	Zure wasser + biowasser
Pilot 4	Varkens	Biowasser + denitrificatie
Pilot 5	Pluimvee	Zure wasser + biowasser

⁽¹⁾ De ingaande lucht van de stal gaat door een warmtewisselaar waarin de lucht wordt geconditioneerd met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar

In paragraaf B1.5 worden de pilotlocaties in nader detail beschreven.

B1.3 Algemene beschrijving meetprogramma

Op elke pilotlocatie wordt een meetprogramma uitgevoerd waarbij een drietal typen metingen kan worden onderscheiden: meting van proces-, verbruiks- en rendementenparameters. Meting van deze parameters brengt de werking van het luchtwassysteem in kaart. Een klein aantal van de parameters kan gezien worden als “sturingsparameter” op grond waarvan de procesvoering van de installatie handmatig kan worden aangepast of automatisch geregeld. Zo wordt bij een zure wasser de pH meting van het waswater gebruikt om zuurdosering en spuiwaterafvoer te regelen. Bij een biologische wasser geeft naast de pH meting ook de analyse van het spuiwater essentiële informatie om de procesvoering (bijv. de instelling van het spuiwaterdebiet) te optimaliseren.

Uitgangspunt is dat elke maand een bezoek wordt gebracht aan de pilotlocaties. Tijdens elk bezoek worden de proces- en verbruiksparameters geregistreerd. Elke twee maanden worden bovendien de rendementenparameters vastgesteld. Onderstaand worden de metingen van proces-, verbruiks- en rendementenparameters nader toegelicht.

Met procesparameters wordt de meting en registratie bedoeld van:

- Temperatuur en relatieve vochtigheid (RV) van stallucht en lucht na de wasser (continu)
- Ventilatie-debiet (continu)
- Sproeidebiet (continu of cumulatief)
- Windsnelheidsprofiel van de waswanden (elk bezoek)
- Drukval over de waswanden (elk bezoek)
- Beoordeling vervuilingsgraad waswanden en werking druppelvanger (elk bezoek)
- Monsternamen spui- en waswater van de verschillende wasstappen gevold door bepaling samenstelling (pH, stikstofcomponenten, elektrische geleidbaarheid (EC) etc.; elk bezoek)

Met verbruiksparameters wordt de meting en registratie bedoeld van:

- Energieverbruik (cumulatief)
- Waterverbruik (cumulatief)
- Productie spuiwater (cumulatief)
- Storingen en functioneren: logboek gebruiker, uitgevoerd onderhoud, onderhoudsuren.

Met rendementenparameters wordt de meting en registratie bedoeld van:

- Verwijderingsrendement NH₃
- Verwijderingsrendement geur
- Verwijderingsrendement stof (PM₁₀, PM_{2.5})
- Uitstoot methaan
- Uitstoot lachgas

De uitstoot van methaan en lachgas wordt gemeten omdat dat twee belangrijke broeikasgassen zijn. In het bijzonder is de meting van lachgas (N₂O) van belang aangezien in een biologische wasser het gevaar bestaat dat een deel van de ingevangen ammoniak in lachgas wordt omgezet.

B1.4 Meetmethoden

B1.4.1 Algemeen

De metingen die aan de luchtwassers worden uitgevoerd kunnen verdeeld worden in procesparameters, verbruikparameters en rendementparameters. Onderstaand wordt dit nader toegelicht.

Procesparameters

De meting van de drukval over de waswanden wordt met een handmeter uitgevoerd. De monsters die genomen worden van het spui- en waswater worden door het chemische laboratorium van AFSG, onderdeel van Wageningen UR, geanalyseerd op totaal-N, ammonium-N, drogestof, as, pH, EC, nitraat-N, nitriet-N.

De meting van de temperatuur en relatieve vochtigheid (RV) van de lucht (stallucht en lucht na de wasser) en de meting van het ventilatie-debiet worden onderstaand nader toegelicht.

Verbruikparameters

Meting van energieverbruik, waterverbruik en spuiwaterproductie wordt uitgevoerd met behulp van de apparatuur die aanwezig is op de pilotlocatie en deel uitmaakt van de luchtwasser. De aanwezige kWh-meter respectievelijk watermeter wordt afgelezen.

Rendementparameters

Voor de meetstrategie van het verwijderingsrendement voor NH₃, geur en fijnstof (zowel PM10 als PM2.5) wordt aangesloten bij het meetprotocol zoals dat wordt toegepast voor metingen die tot doel hebben een emissiefactor vast te stellen ten behoeve van opname in Bijlage 1 van de Regeling Ammoniak en Veehouderij. In Tabel B2 wordt de meetstrategie voor de bepaling van de rendementparameters nader toegelicht. De gebruikte meetmethoden en de methode voor berekening van een verwijderingsrendement worden onderstaand toegelicht.

Tabel B2 Toelichting meting rendementparameters

Meetfrequentie	In principe eens per twee maanden ⁽¹⁾
Rendementsmetingen	- 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

⁽¹⁾ Bij pilot 1 zijn de rendementsmetingen met een hoger frequentie uitgevoerd i.v.m. de uitvoering van het VROM/LNV meetprogramma "Update emissiefactoren fijn stof in de veehouderij"

B1.4.2 Meetmethode fijnstof

Algemeen

De bepaling van de concentratie fijnstof werd uitgevoerd door een bekende hoeveelheid lucht met een vaste luchtsnelheid door specifieke monsternametekoppen te zuigen gedurende 24 uur. In de monsternametekoppen 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 monsternametekoppen 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 monsternametekoppen 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 monsternamekopen. 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 luchtaanvoerpipjes geplaatst (zie Figuur B1). Door de luchtsnelheid 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.



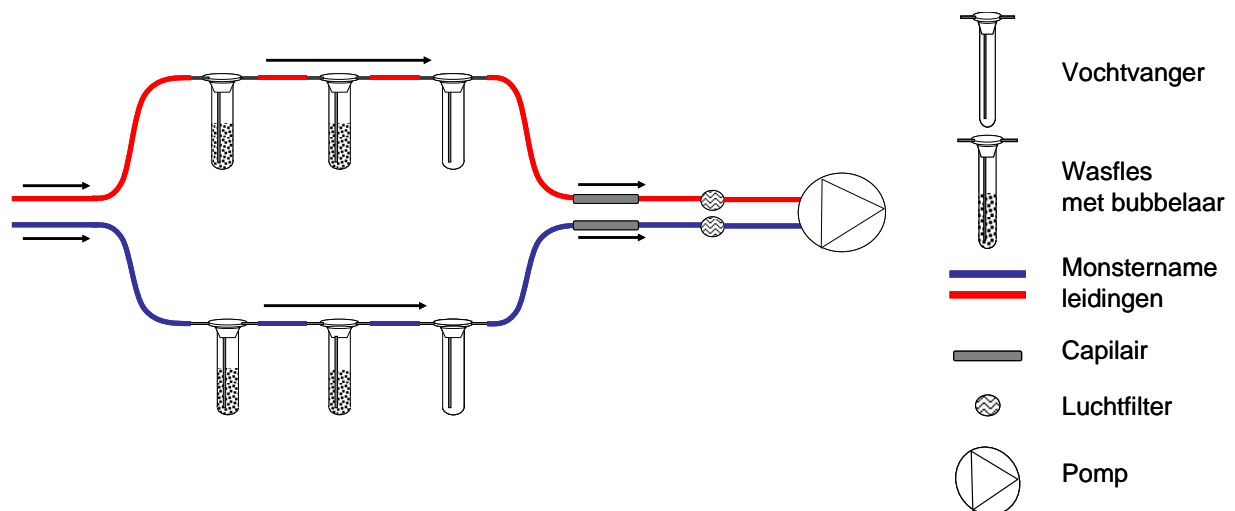
Figuur B2 Links de complete meetset met twee verschillende cyclonen (langwerpig is voor PM10) en de filterhouder en rechts de binnenkant van de luchtinlaat deze is voor beide stoffracties gelijk

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 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ en $50\% \pm 1\%$ 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.

B1.4.2 Meetmethode ammoniak

De ammoniakconcentratie werd volgens de natchemische meetmethode voor NH_3 (Wintjes, 1993) gemeten. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternaleiding 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 NH_3 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 NH_3 dat moet worden gebonden. Na de bemonsteringstijd (24 uur) wordt de hoeveelheid gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -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 verzamelmonster kan worden genomen en geen informatie beschikbaar komt over het verloop van de NH_3 -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

B1.4.3 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 monsternaleiding 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.

B1.4.4 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 (CH_4 , CO_2), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : HWD).

B1.4.5 Aanvullende metingen

De temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) 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. $\pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en $\pm 2 \%$. 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)

B1.4.6 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:

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

B1.5 Beschrijving experimentele gecombineerde luchtwassers

Onderstaand wordt een beschrijving gegeven van de gecombineerde luchtwassers die in het onderzoek waren opgenomen. Zoals eerder opgemerkt zijn deze luchtwassers voorafgaand aan het onderzoek door de betreffende leveranciers 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.

B1.5.1 Pilot 1: Biowasser met denitrificatie (vleeskuikens)

Aantal dieren en ventilatie-debiet

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van 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). De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt, bedraagt 75.000 m³/uur (2,5 m³/kuiken/uur). 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 is het ventilatie-debiet laag. In de winter wordt de binnenkomende lucht op vergelijkbare wijze opgewarmd in de warmtewisselaar wat in principe een verbetering van het stalklimaat tot gevolg heeft.

Vervolgens stroomt de lucht door de stal en wordt aan de achterzijde afgevoerd via een luchtkanaal dat haaks op de luchtrichting staat. Op de bodem van het luchtkanaal staat een laagje water. Als gevolg van de werveling van de luchtstroom en het contact met het laagje water is het de bedoeling een groot deel van het grove stof af te scheiden uit de lucht.

Vervolgens komt de lucht aan het eind van het luchtkanaal in een drukkamer terecht waarna de lucht met behulp van vier ventilatoren naar de biologische wasser wordt geleid.

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

Beschrijving luchtwasser

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

Het waspakket van de luchtwasser is 38 cm dik en is een kunststof pakkingsmateriaal. 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 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 0,36 seconden, de maximale luchtsnelheid in de wasser (op basis van een lege ruimte) bedraagt dan 1,1 m/s.

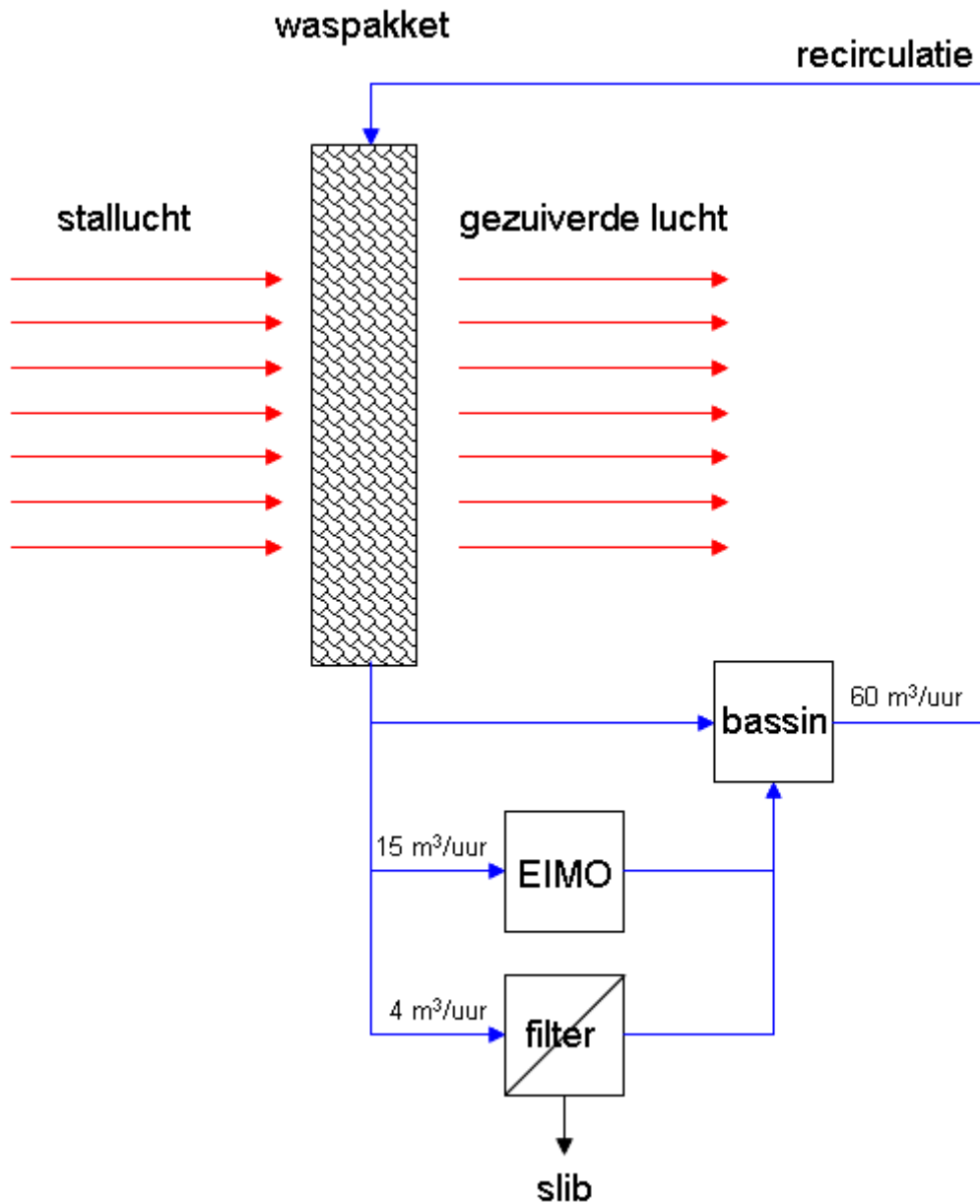
Aan de bovenzijde wordt m.b.v. een drukloos waterverdeelsysteem water op waserpakket gebracht (maximaal $60 \text{ m}^3/\text{uur}$) ; het water dat aan de onderzijde uit het waspakket druppelt wordt opgevangen in een bassin. Het water wordt gerecirculeerd over het waserpakket. In dit water worden de verontreinigingen (o.a. ammoniak, geurcomponenten en fijnstof) ingevangen.

Een deelstroom wordt continu uit de bak weggepompt en wordt deels naar een filterinstallatie (zandbedfilter) en deels naar een aparte reactor (4 m^3) geleid met daarin geïmmobiliseerde biomassa. Deze reactor wordt de EIMO reactor genoemd, waarbij "EIMO" staat voor "Einschluss-Immobilisierte Mikro-Organismen" of "Encapsulated Immobilized MicroOrganisms". 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.

De gedachte is dat in deze EIMO reactor zowel nitrificatie als denitrificatie kan plaatsvinden, afhankelijk van de lokale redox potentiaal / zuurstofconcentratie en de aanwezigheid van voldoende biomassa. Dat wil zeggen dat de ingevangen ammoniak eerst wordt omgezet naar nitriet en nitraat dat vervolgens weer tot stikstofgas (N_2) wordt omgezet. Vervolgens wordt het water vanaf de EIMO reactor weer terug naar de luchtwasser gepompt. Het denitrificatiesysteem heeft als doel om, in vergelijking met een "normale" biowasser, het spuivolume te verminderen. De bovengenoemde filterinstallatie heeft als functie om stof en ander gesuspendeerd materiaal af te scheiden uit het water zodat een relatief schone vloeistof naar de EIMO reactor gaat; in het filter wordt een spuiroom geproduceerd ("slib").

Ten behoeve van het onderzoek is een kWh meter aangebracht om het energieverbruik van de wasser (de pompen) te registreren en een watermeter om het watergebruik (vers water) te registreren. Een watermeter om de hoeveelheid spui-slib te registreren is niet aanwezig. Met behulp van meetwaaiers op alle ventilatoren wordt geregistreerd wat het luchtdebiet door de wasser is.

In Figuur B4 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven; Figuur B5 is een foto van de achterzijde van de stal waar de wasser is geplaatst.



Figuur B4 Schematische weergave van het experimentele luchtwassysteem bij pilot 1. 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 B5 Buitenaanzicht van de experimentele gecombineerde wasser op het pluimveebedrijf bij pilot 1

B1.5.2 Pilot 2: Chemische wasser en biowasser (kraamzeugen en biggen)

Aantal dieren en ventilatiedebiet

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een varkensstal met deze dieraantallen:

- 182 kraamzeugen (Rav categorie D 1.2.17.1)
- 2.640 biggen (Rav categorie (D 1.1.15.1.2).

De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt ($150 \text{ m}^3/\text{uur}/\text{kraamzeug}$ en $20 \text{ m}^3/\text{uur}/\text{big}$), bedraagt $81.000 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Beschrijving luchtwasser

De lucht afkomstig uit het centrale ventilatiekanaal van de stal wordt naar een wasser (dwarsstroomprincipe) geleid en doorloopt achtereenvolgens de volgende stappen:

- 1) chemische wasser uitgevoerd met lamellen, bedoeld om vooral ammoniak in te vangen
- 2) druppelvanger
- 3) biologische wasser, ook wel genaamd "waterwasser", bedoeld om vooral geurcomponenten in te vangen
- 4) druppelvanger.

Daarnaast zal in beide wasstappen een deel van het in de stallucht aanwezige (fijn)stof worden ingevangen.

In de eerste wasstap (chemische wasser) wordt om de 10 minuten gedurende 1 minuut aangezuurde wasvloeistof over het filter wordt gespreid. Bij passage van de ventilatielucht wordt de ammoniak opgevangen in de wasvloeistof en door toevoeging van zwavelzuur aan de wasvloeistof wordt de ammoniak gebonden als ammoniumsulfaat. Wanneer een pH van 1,5 wordt bereikt wordt de toediening van zuur gestopt; als gevolg van het invangen van ammoniak (een base) stijgt de pH; wanneer een pH van 4,0 wordt bereikt wordt weer gestart met toedienen van zuur totdat de pH weer tot 1,5 is gedaald. Nadat deze cyclus 5 maal is herhaald, wordt het water met het ammoniumsulfaat gespuid. Na spuien wordt het niveau in de wasser weer aangevuld met vers water. Daarnaast wordt er water gespuid uit de biologische wasser; ook hier wordt het niveau aangevuld met vers water. Het spuiwater uit beide wasstappen wordt gezamenlijk in één tank opgeslagen.

Als onderdeel van de luchtwasser is een pH meter aanwezig voor het meten van de pH van het water in de zure wasstap; de pH van het water in de waterwasser wordt niet gemeten. Ten behoeve van het onderzoek is een kWh meter aangebracht om het energieverbruik van de wasser (de pompen) te registreren. Verder is een viertal mechanische watermeters aanwezig: twee watermeters om de hoeveelheid spuiwater te registreren, voor elke wasstap één watermeter, en twee watermeters om het gebruik van vers water te registreren, voor elke wasstap één watermeter. Met behulp van meetventilatoren wordt geregistreerd wat het luchtdebiet door de wasser is.

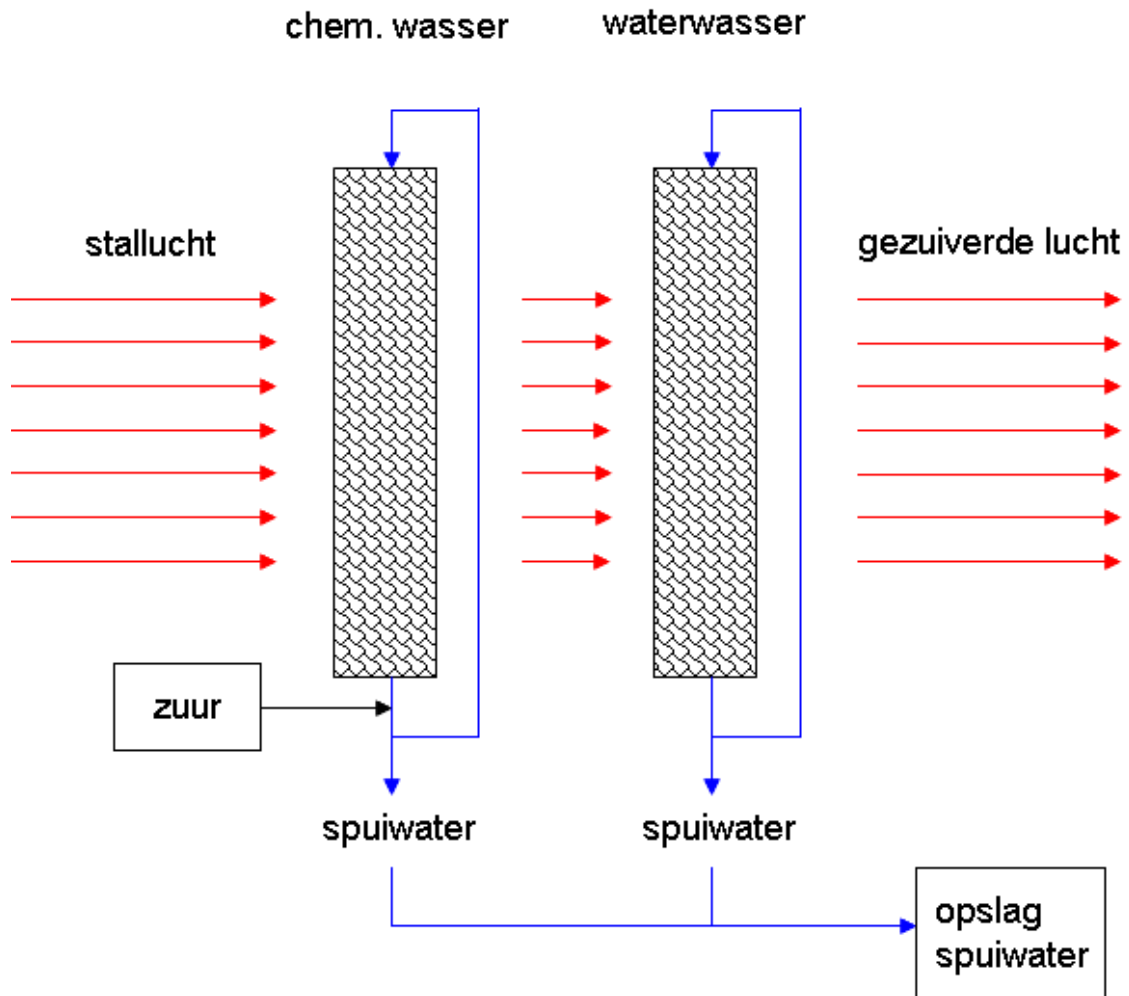
Aanvankelijk was de dimensionering van de gecombineerde wasser als volgt. Het volume van de chemische wasstap (stap 1) bedraagt $4,5 \text{ m}^3$ en de minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) in deze sectie van de wasser komt bij het maximale debiet van $81.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ uit op 0,2 seconden. Het aanstroomoppervlak is 9 m^2 . en de dikte van het waspakket is 0,50 m. Het volume van de biologische wasstap (stap 3) bedraagt $2,0 \text{ m}^3$ en de minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) in deze sectie bedraagt dus 0,1 seconden. Het aanstroomoppervlak is eveneens 9 m^2 ; de dikte van het waspakket is 0,22 m. Het maximale luchtdebiet bedraagt dus $9.000 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aanstroomoppervlak/uur.

De totale luchtverblijftijd van de chemische en de biologische wasstap (berekend op basis van een lege ruimte) komt hiermee op 0,29 seconden.

In de Rav is onder nummer BWL 2006.14v1 een gecombineerde wasser die grotendeels overeenkomt met de wasser bij pilot 2. Het verschil is dat de wasser in de Rav is gedimensioneerd op een maximale belasting van $5.000 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aanstroomoppervlak/ uur terwijl de installatie bij pilot 2 is gedimensioneerd op $9.000 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aanstroomoppervlak/uur.

Aan de wasser met bovenstaande dimensionering is één rendementsmeting uitgevoerd. Vanwege aanhoudende problemen met o.a. hoge drukval in de biologische sectie en schuimvorming in de opvangbak van het waswater van de chemische wasstap is door de wasserleverancier besloten om de wasser te vervangen door een groter gedimensioneerde gecombineerde wasser, conform de Rav beschrijving, met een maximale belasting van $5.000 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aanstroomoppervlak/ uur. De totale luchtverblijftijd van de chemische en de biologische wasstap (berekend op basis van een lege ruimte) neemt op deze wijze toe tot 0,52 seconden. Aan deze nieuwe wasser is eveneens één rendementsmeting uitgevoerd.

In Figuur B6 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven; Figuur B7 is een foto van de achterzijde van de stal waar de wasser is geplaatst.



Figuur B6 Schematische weergave van het experimentele luchtwassysteem bij pilot 2. Het waterniveau in beide wassers wordt aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en spui. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.



Figuur B7 Buitenaanzicht van de experimentele gecombineerde wasser op het varkensbedrijf bij pilot 2

B1.5.3 Pilot 3: Zure wasser en biowasser (guste en dragende zeugen)

Aantal dieren en ventilatiedebiet

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een varkensstal met 400 guste/dragende zeugen. De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt, uitgaande van $150 \text{ m}^3/\text{zeug/uur}$, bedraagt $60.000 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Beschrijving luchtwasser

De lucht afkomstig uit het centrale ventilatiekanaal wordt met behulp van ventilatoren naar een drukkamer geleid en doorloopt achtereenvolgens de volgende stappen:

- 1) chemische wasser, pakketdikte: 45 cm;
- 2) druppelvanger, dikte: 13 cm;
- 3) biologische wasser, ook wel genaamd "waterwasser"; pakketdikte: 45 cm;
- 4) druppelvanger, dikte: 13cm.

De wasser is van het dwarsstroomprincipe. Het volume van de chemische wasser (eerste wasstap, exclusief druppelvanger) bedraagt $3,6 \text{ m}^3$ en de minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) in deze sectie komt bij het maximale debiet van $60.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ uit op 0,22 seconden. Het aanstroomoppervlak is $8,0 \text{ m}^2$.

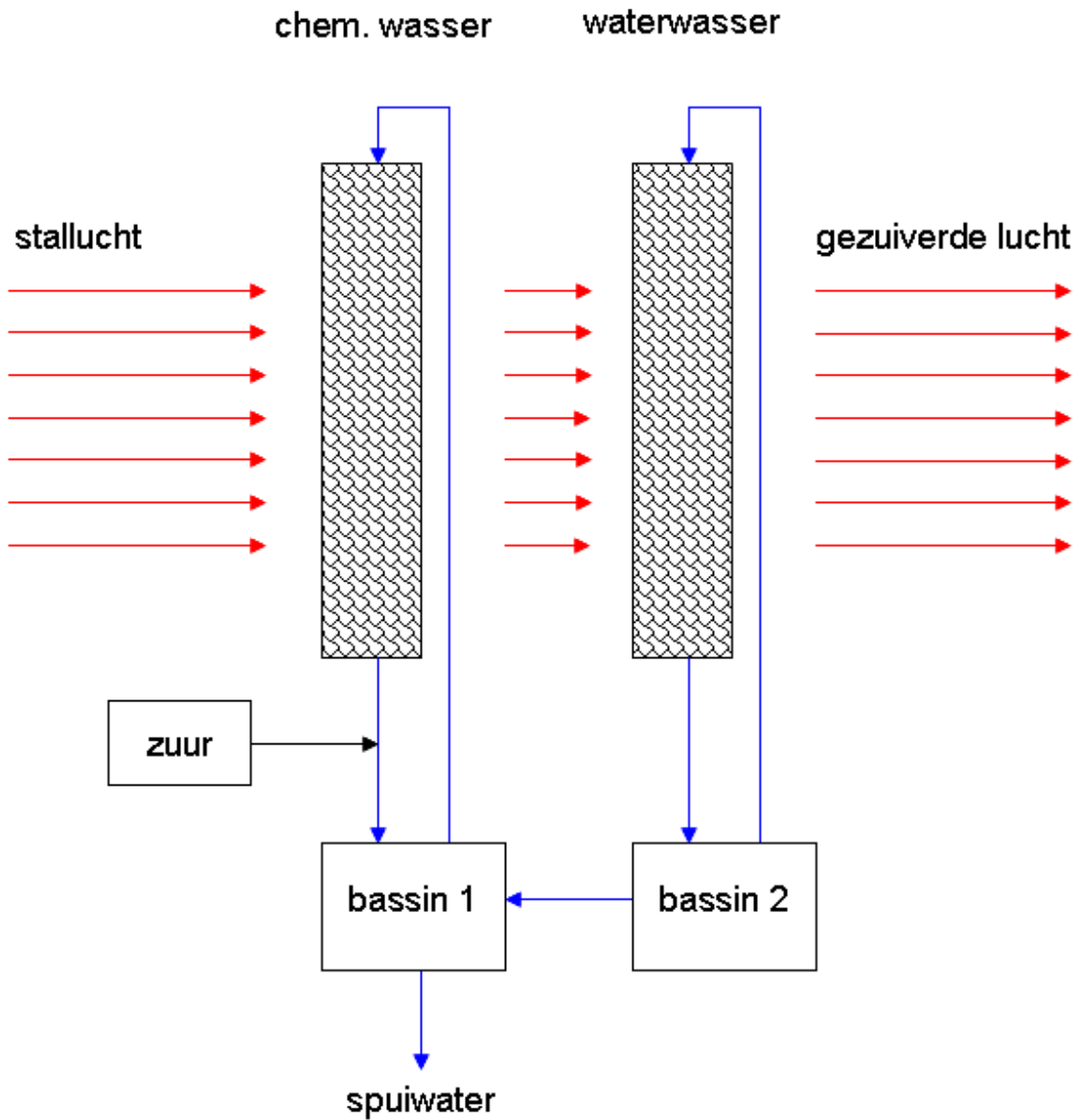
Het volume van de biologische wasstap (tweede wasstap, exclusief druppelvanger) bedraagt eveneens $3,6 \text{ m}^3$ en de minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) in deze sectie bedraagt dus ook 0,22 seconden. Het aanstroomoppervlak van deze wasstap is eveneens $8,0 \text{ m}^2$. De totale minimumverblijftijd in de wasser komt daarmee uit op 0,43 seconden (exclusief druppelvangers).

Het waswater wordt gerecirculeerd over het pakkingsmateriaal van beide wastrappen, waarna het water terugvalt in twee aparte bassins. In het pakkingsmateriaal wordt contact bewerkstelligd tussen lucht en water. Op deze manier worden de verontreinigingen (o.a. ammoniak, geurcomponenten en fijnstof) ingevangen in het waswater.

Als onderdeel van de luchtwasser is een tweetal pH meter aanwezig, een voor het meten van de pH van het water in de zure wasstap en een voor het meten van de pH van het water in de biologische wasstap. Eveneens is een meter aanwezig om de elektrische geleidbaarheid van het water in de zure wasstap te meten. Ten behoeve van het onderzoek is een kWh meter aangebracht om het energieverbruik van de wasser (de pompen) te registreren. Verder is een drietal mechanische watermeters aanwezig: een watermeter om de hoeveelheid spuiwater te registreren, een watermeter om de consumptie van vers water te registreren en een watermeter om de hoeveelheid water te registreren die van de biologische wasser naar de chemische wasser stroomt. In een later stadium is in de sproeileiding (de leiding die van de pomp naar de sproeiers voor bevochtiging loopt) van zowel de eerste wasstap als de tweede wasstap een elektro-magnetische watermeter geïnstalleerd. Met behulp van meetventilatoren wordt geregistreerd wat het luchtdebiet door de wasser is.

In de zure wastrap wordt de pH op een waarde van 1,5 gehouden door toediening van geconcentreerd zwavelzuur. Wanneer de elektrische geleidbaarheid van het water door het invangen van ammoniak opgelopen is tot een waarde van 210 mS/cm, wordt de zuurpomp uitgeschakeld waardoor de pH weer oploopt door het invangen van ammoniak. Bij een waarde van pH =4 wordt de gehele inhoud van het waswaterbassin van de zure wasstap gespuid. Vervolgend wordt het waterniveau weer aangevuld met water uit de andere wastrap (de waterwasser) en wordt weer begonnen met de toediening van zuur totdat de pH weer is gedaald tot 1,5. Het waterniveau van de water-wasser wordt aangevuld met vers water (uit eigen bron). Op deze manier wordt dus slechts één type spuiwater geproduceerd, ook al is er sprake van twee wasstappen.

In Figuur B8 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven; Figuur B9 is een foto van de buitenkant van de wasser die aan het einde van het centrale ventilatiekanaal is geplaatst.



Figuur B8 Schematische weergave van het experimentele luchtwassysteem bij pilot 3. Het waterniveau in bassin 2 wordt aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en spui. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.



Figuur B9 Buitenaanzicht van de experimentele gecombineerde water van leverancier op het varkensbedrijf bij pilot 3

B1.5.4 Pilot 4: Biowasser met denitrificatie (vleesvarkens)

Aantal dieren en ventilatiedebiet

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een vleesvarkensstal met 2.600 vleesvarkensplaatsen. De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt (gebaseerd op 60 m³/vleesvarken/uur), bedraagt 160.000 m³/uur.

Beschrijving luchtwasser

De gecombineerde wasser bestaat uit twee onderdelen:

- 1) een luchtwasser conform de in de Rav opgenomen gecombineerde wasser BWL 2007.02v1, bestaande uit 2 aparte biowasser-units;
- 2) een denitrificatie-unit voor de behandeling van de spuiwaterstroom afkomstig uit de wasser.

De lucht afkomstig uit het centrale ventilatiekanaal wordt gesplitst in twee stromen die elk naar een aparte biowasser-unit worden geleid. De wassers zijn van het tegenstroom principe. De beide biowassers (Wasser 1 en Wasser 2) bevinden zich in het stalgebouw en delen samen één waswaterbassin. Het waswater wordt gerecirculeerd over het pakkingsmateriaal van beide biowassers, waarna het water terugvalt in het waswaterbassin. In het pakkingsmateriaal wordt contact bewerkstelligd tussen lucht en water zodat de verontreinigingen kunnen worden ingevangen in de waterfase. In de biowassers zal nitrificatie van ammoniak plaatsvinden en een deel van de geurcomponenten en het (fijn)stof worden afgevangen uit de luchtstroom.

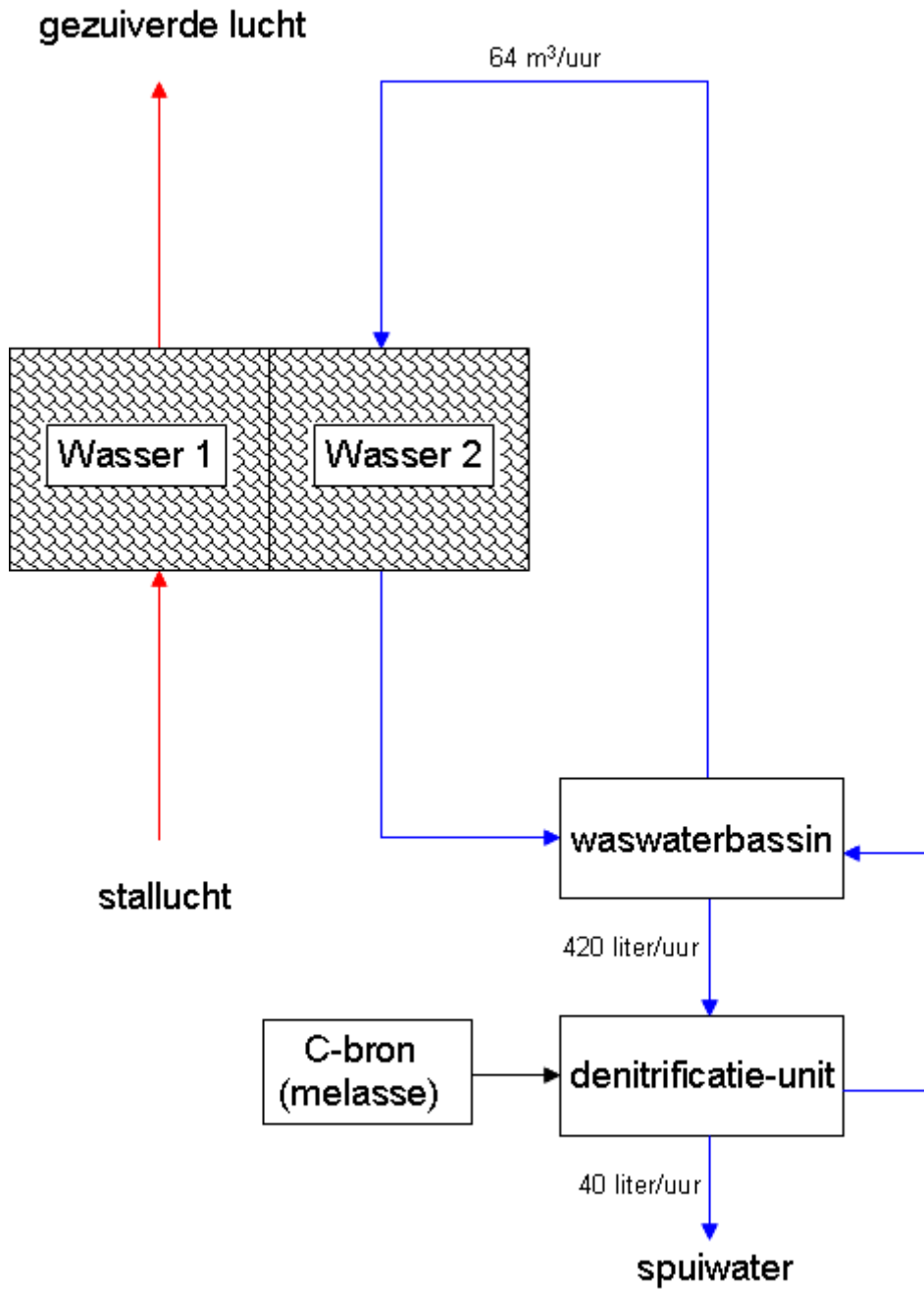
Het pakkingsvolume voor elke biowasser bedraagt 36 m³, dus in totaal 2 x 36 = 72 m³ en heeft een dikte van 0,9 m. Het aanstroomoppervlak is 40 m² per biowasser, dus in totaal 80 m². Het pakkingsmateriaal wordt continu besproeid met ca. 800 liter water per m² per uur, dus in totaal 80 m² x 800 l/m²/uur = 64 m³/uur. Uitgaand van een maximaal luchtdebiet van 160.000 m³/uur bedraagt de minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) in het pakkingsmateriaal dus 1,6 seconden. Daarnaast wordt de lucht bevochtigd in de ruimte boven het pakkingsmateriaal (waar de sproeiers zich bevinden) en in de ruimte onder de wassers (waar het water uit het pakkingsmateriaal druppelt).

Deze ruimtes hebben een volume van respectievelijk 30 m^3 en 40 m^3 per biowasser, dus in totaal (2 biowassers) een totaal volume van nog eens 60 m^3 en 80 m^3 . Wanneer deze ruimtes worden meegeteld bij de luchtverblijftijd wordt de minimale luchtverblijftijd driemaal zo hoog, 4,8 seconden (bij een debiet van $160.000 \text{ m}^3/\text{uur}$).

Het waswater van de twee biowassers wordt vanaf het waswaterbassin (ca. 38 m^3 per biowasser, dus in totaal 76 m^3) via een kegelvormige bezinkingstank (ca. $1,5 \text{ m}^3$) naar een separate denitrificatie-unit (ca. 9 m^3) geleid waar het gevormde nitraat uit het waswater dient te worden verwijderd middels denitrificerende bacteriën. Aan de denitrificatie-reactor wordt melasse toegediend als koolstofbron voor de bacteriën. Vervolgens wordt het stikstof-arme water teruggevoerd naar de biowasser. Op deze manier kan de hoeveelheid spuiwater verminderd worden ten opzichte van een conventionele biowasser. De pH en redoxpotentiaal van het water in de denitrificatiereactor wordt continu gemeten. Op grond van de redoxpotentiaal wordt de melassedosering gestuurd. In een later stadium is op advies van Wageningen UR Livestock Research tevens een tweetal EC-meters geïnstalleerd, een in het waswater dat over de waspakketten wordt gerecirculeerd en een in de spuiroom van de denitrificatie. Door deze EC metingen (welke een maat zijn voor de ophoping van nitriet, nitraat en ammonium in het water) kan inzicht worden verkregen in de werking van de denitrificatie. Wanneer de denitrificatie niet naar behoren werkt kan op grond van deze metingen extra gespuid en extra vers water worden toegevoegd zodat de condities in de waspakketten dusdanig blijft dat de ammoniakverwijdering geen gevaar loopt.

Ten behoeve van het onderzoek is een tweetal kWh meters aangebracht, een om het energieverbruik van de wassers (de pompen) te registreren en een om het energieverbruik van de denitrificatie-reactor te registreren. Daarnaast is een waterdoorstroommeter (rotameter) aanwezig waarop kan afgelezen worden hoeveel water over de wassers wordt verspreid. Verder is een drietal mechanische watermeters aanwezig: een watermeter om de hoeveelheid spuiwater uit de denitrificatie te registreren, een watermeter om de consumptie van vers water te registreren en een watermeter om de hoeveelheid water te registreren die van de wasser naar de denitrificatie-reactor stroomt. Met behulp van meetventilatoren wordt geregistreerd wat het luchtdebiet door de wasser is. De metingen van de verwijderingsrendementen voor ammoniak, geur en fijnstof zijn slechts aan één van de twee wassers uitgevoerd.

In Figuur B10 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven; Figuur B11 is een foto van de bovenzijde van het pakkingsmateriaal in de wasser; Figuur B12 is een foto van de denitrificatie-unit.



Figuur B10 Schematische weergave van het experimentele luchtwassysteem bij pilot 4. Het waterniveau in het waswaterbassin wordt aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en spui. Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.



Figuur B11 Bovenaanzicht van het pakkingsmateriaal (sproeiers zijn uitgeschakeld) van de experimentele gecombineerde wasser op het varkensbedrijf bij pilot 4



Figuur B12 Denitrificatie-unit van de experimentele gecombineerde wasser bij pilot 4 (links de melasse-tank, in het midden de denitrificatie-reactor, rechts de trechervormige bezinker). De unit is gereed voor transport.

B1.5.5 Pilot 5: Zure wasser en biowasser (vleeskuikens)

Aantal dieren en ventilatiedebiet

De luchtwasser behandelt lucht afkomstig van een vleeskuikenstal met 21.000 dieren. De maximale capaciteit van de luchtwasser die hieruit berekend wordt (gebaseerd op 8,6 m³/vleeskuiken/uur), bedraagt 180.000 m³/uur.

Elke ronde duurt ca. 6 weken (42 dagen), gevolg door gemiddeld 7 dagen leegstand. Ruim een week na de start van een ronde wordt de wasser ingeschakeld en aan het einde van de ronde wordt deze weer uitgeschakeld. Effectief draait de wasser dus ca. 2/3 van de tijd.

Beschrijving luchtwasser

De lucht wordt met behulp van 8 ventilatoren, geplaatst in de achterwand van de stal, afgevoerd uit de stal en naar een achttal drukkamers geleid. Achter elke drukkamer bevindt zich een wassersegment waarin de lucht achtereenvolgens behandeld in twee stappen:

- 1) chemische wasser;
- 2) biologische wasser, ook wel genaamd "waterwasser"

Tenslotte verlaat de lucht de wasser via een druppelvanger.

Afhankelijk van het ventilatiedebiet zijn 2, 4, 6 of alle 8 wassersegmenten in gebruik. De eerste twee wassersegmenten zijn altijd in gebruik en afhankelijk van het luchtdebiet worden meerdere segmenten bijgeschakeld. De rendementmetingen voor ammoniak, geur en fijnstof wordt uitgevoerd in de 2 wassersegmenten die altijd in gebruik zijn ("meetsectie").

Het totale volume van de chemische wasser, dus de zure wasstap van alle wassersegmenten bij elkaar, bedraagt $4,1 \text{ m}^3$. Het aanstroomoppervlak is $27,4 \text{ m}^2$ bij een hoogte van $1,9 \text{ m}$, een totale lengte van $14,4 \text{ m}$ ($8 \times 1,8 \text{ m}$) en een pakketdikte van 15 cm . De minimale luchtverblijftijd in deze sectie (op basis van een lege ruimte en een debiet van $180.000 \text{ m}^3/\text{uur}$) bedraagt dus $0,08$ seconden. Het pakket van de wasstap met water (wasstap 2), ook wel genoemd biologische wasstap, was aanvankelijke twee maal zo smal waarmee het aanstroomoppervlak van deze wasstap uitkomt op $13,7 \text{ m}^2$ bij een hoogte van $1,9 \text{ m}$ en een pakketdikte van 15 cm . Het totale volume van de biologische wasser, dus de biologische wasstap van alle wassersegmenten bij elkaar, bedraagt dus $2,1 \text{ m}^3$ en de minimale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) in deze sectie bedraagt daarmee $0,04$ seconden. In een later stadium (begin juli 2008) is het pakket van wasstap 2 met een factor 2 verbreed waarmee het in afmetingen gelijk is geworden aan het pakket van wasstap 1. De totale luchtverblijftijd (op basis van een lege ruimte) van de twee wasstappen bedroeg aanvankelijk minimaal $0,12$ seconden; na verdubbeling van het pakket van wasstap 2 neemt de minimale verblijftijd toe tot $0,16$ seconden. De druppelvanger heeft een dikte van $12,5 \text{ cm}$ en daarmee een volume van $3,4 \text{ m}^3$.

Het waswater wordt gerecirculeerd over het pakkingsmateriaal van beide wastrappen, waarna het water terugvalt in twee aparte bassins (beide hebben een volume van $4,6 \text{ m}^3$). In het pakkingsmateriaal wordt contact bewerkstelligd tussen de lucht en het recirculerende water.

Ten behoeve van het onderzoek is een kWh meters aangebracht om het energieverbruik van de wasser (de pompen) te registreren. Daarnaast is een drietal watermeters aanwezig. Twee hiervan zijn respectievelijk voor registratie van de hoeveelheid spuiwater uit de chemische wasser en de hoeveelheid spuiwater uit de biologische wasser te meten. Deze twee meters waren oorspronkelijk mechanische watermeters; in het begin van het project zijn deze vervangen door twee elektro-magnetische doorstroommeters om eventuele vervuiling en/of verstopping van de mechanische watermeters te voorkomen. De derde meter een mechanische watermeter om de consumptie van vers water te registreren. Met behulp van meetventilatoren wordt geregistreerd wat het luchtdebiet door de eerste twee secties van de wasser is (dit zijn de secties die altijd in gebruik zijn, de andere secties worden afhankelijk van het ventilatiedebiet bijgeschakeld). Op de installatie is één pH meter aanwezig waarmee de pH van het waswater in de chemische wasstap wordt geregistreerd.

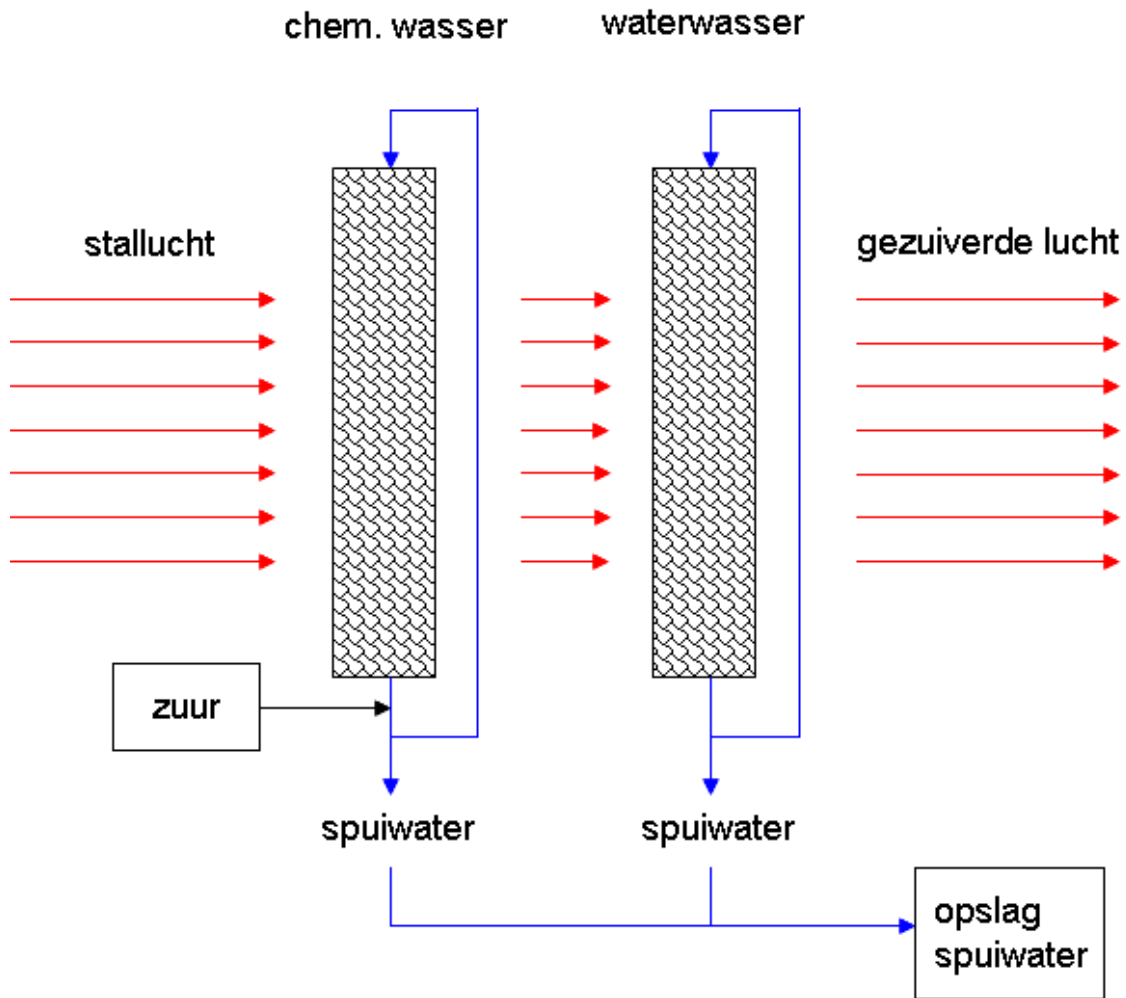
Het regelsysteem is dusdanig uitgevoerd dat de pH in de zure wastrap op een waarde van $1,5$ gebracht door toediening van geconcentreerd zwavelzuur. Vervolgens gaat de pH stijgen als gevolg van het invangen van ammoniak. Wanneer de pH gestegen is tot een waarde van 4 , wordt opnieuw zuur toegevoegd totdat de pH weer is teruggebracht tot $1,5$. Dit proces van aanzuren wordt maximaal 5 keer uitgevoerd. Wanneer de pH voor de zesde keer de waarde van 4 zou bereiken, wordt de gehele hoeveelheid zure wasvloeistof gespuid en wordt het bassin weer gevuld met vers water. In de praktijk wordt de (met stof vervuilde) luchtwasser echter na elke vleeskuikenronde (ca. iedere 6 weken) gereinigd en wordt het opvangbassin van de zure wasser leeggepompt voordat deze cyclus 6 keer is herhaald.

In de tweede wasstap wordt alleen water gerecirculeerd. Het doel van deze wasstap is het verder verwijderen van stofdeeltjes, geurcomponenten en eventueel doorgeslagen zure waswaterdruppeltjes uit de zure wasstap. In principe wordt ook uit deze stap geen water gespuid gedurende de vleeskuikenronde. Na elke vleeskuikenronde wordt de (met stof vervuilde) luchtwasser gereinigd en wordt het opvangbassin van de waterwasser geheel leeggepompt.

Er worden dus in principe twee typen spuiwater geproduceerd maar de verschillende spuiwaters worden samengevoegd en gezamenlijk opgeslagen in een silo.

Voor beide wasstappen geldt dat, indien nodig, het waterniveau van de water-wasser automatische wordt aangevuld met vers water.

In Figuur B13 wordt een schematische weergave van het systeem weergegeven; Figuur B14 is een foto van de achterzijde van de stal waar de wasser is geplaatst.



Figuur B13 Schematische weergave van het experimentele luchtwassysteem bij pilot 5.
 Het waterniveau van beide wassers wordt aangevuld met vers water om te compenseren voor verdamping en spui.
 Luchtstromen worden in rood en waterstromen in blauw weergegeven.



Figuur B14 Buitenaanzicht van de experimentele gecombineerde wasser van op het pluimveebedrijf bij pilot 5

Bijlage 2 Resultaten en discussie (in detail)

B2.1 Pilot 1: Biowasser met denitrificatie (vleeskuikens)

B2.1.1 Diergegevens en ventilatiedebiet

In Tabel B2.1 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 B2.1 Metingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 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⁾
26-Feb-08	14	29.560	16.707	17.347
28-Apr-08 ⁽⁴⁾	20	29.750	30.871	34.928
11-Jun-08	8	29.300	8.542	8.979
25-Jun-08	22	29.050	40.376	41.391
08-Jul-08	35	21.650	53.856	64.310
07-Aug-08	9	29.000	14.834	14.955
13-Aug-08	15	28.920	23.544	27.357
25-Aug-08	27	28.790	62.273	64.643
13-Oct-08	20	30.050	39.479	36.750

⁽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 meting van geur

⁽⁴⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Uit het 24-uurs gemiddelde luchtdebiet van de metingen in Tabel B2.1 kan berekend worden dat de gemiddelde luchtverblijftijd in de wasser 1,3 seconden bedroeg.

B2.1.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

In Tabel B2.1, B2.2 en B2.3 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven.

Tabel B2.1 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Rendement (%)
26-Feb-08	2,71	0,04	98
28-Apr-08 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.
11-Jun-08	0,81	0,27	67
25-Jun-08	18,43	10,81	41
08-Jul-08	8,01	5,10	36
07-Aug-08	0,75	0,71	5,5
13-Aug-08	10,56	4,75	55
25-Aug-08	6,25	5,53	12
13-Oct-08	13,45	6,22	54

⁽¹⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Uit Tabel B2.1 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 8 metingen **46%** (sd=30) bedraagt.

Tabel B2.2 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E / m ³)	Rendement (%)
26-Feb-08	3.751	635	83
28-Apr-08 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.
11-Jun-08	852	416	51
25-Jun-08	1.666	1.322	21
08-Jul-08	3.591	2.839	21
07-Aug-08	n.b.	n.b.	n.b.
13-Aug-08	3.323	1.402	58
25-Aug-08	2.302	1.908	17
13-Oct-08	3.533	3.121	12

⁽¹⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Uit Tabel B2.2 volgt dat het gemiddelde geurverwijderingsrendement van deze 7 metingen **37%** bedraagt (sd=27).

Tabel B2.3 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%) ⁽¹⁾	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%) ⁽²⁾
26-Feb-08	0,48	0,28	41	< 0,030	< 0,030	n.b.
28-Apr-08 ⁽³⁾	1,50	0,90	40	0,041	< 0,030	n.b.
11-Jun-08	0,60	0,39	35	< 0,030	< 0,030	n.b.
25-Jun-08	1,71	1,24	28	0,064	0,038	41
08-Jul-08	n.b.	1,00	n.b.	0,083	n.b.	n.b.
07-Aug-08	0,45	0,35	23	< 0,030	< 0,030	n.b.
13-Aug-08	1,03	n.b.	n.b.	< 0,030	< 0,030	n.b.
25-Aug-08	1,22	0,71	42	n.b.	< 0,030	n.b.
13-Oct-08	1,24	0,84	32	0,057	n.b.	n.b.

⁽¹⁾ Wanneer de PM10 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 60 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽²⁾ Wanneer de PM2.5 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 30 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽³⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Uit Tabel B2.3 volgt dat het gemiddelde PM10 verwijderingsrendement **34%** (7 metingen; sd=7,3) en het PM2.5 verwijderingsrendement **41%** (1 meting) bedraagt.

B2.1.3 Broeikasgasmetingen

In Tabel B2.4 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven.

Tabel B2.4 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 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)
26-Feb-08	2,20	2,20	n.b.	n.b.	1.990	1.620
28-Apr-08 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Jun-08	2,72	3,40	0,71	0,55	1.120	1.310
25-Jun-08	2,11	2,15	1,82	0,53	1.430	1.810
08-Jul-08	2,04	2,08	0,89	1,40	1.850	1.820
07-Aug-08	2,66	2,49	1,90	1,60	1.120	1.540
13-Aug-08	2,16	2,08	1,74	1,14	1.700	1.600
25-Aug-08	1,93	1,95	4,88	5,72	1.330	1.220
13-Oct-08	3,37	2,30	2,01	0,99	2.080	1.880

⁽¹⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Uit Tabel B2.4 blijkt dat er geen duidelijke toe- of afname van de methaan- en lachgasconcentratie in de luchtwasser optreedt; bij sommige metingen is een toename, bij sommige metingen een afname geconstateerd. Het is niet duidelijk waardoor deze veranderingen worden veroorzaakt.

In Tabel B2.5 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door de wasser weergegeven.

Tabel B2.5 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 1 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	Relatieve vochtigheid-in (%)	Relatieve vochtigheid-uit (%)
26-Feb-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
28-Apr-08 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Jun-08	24,46	20,30	79,63	> 95
25-Jun-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
08-Jul-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
07-Aug-08	24,00	26,51	40,63	> 95
13-Aug-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Aug-08	25,38	23,75	73,72	> 95
13-Oct-08	25,86	23,20	82,96	> 95

⁽¹⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Uit Tabel B2.5 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.

B2.1.4 Analyses water

In Tabel B2.6 en B2.7 worden de analyses van de watermonsters weergegeven. Tabel B2.6 betreft de monsters die genomen zijn van het water waarmee het waspakket van bovenaf wordt bevochtigd en Tabel B2.7 betreft de monsters van het effluentwater van de EIMO reactor.

Tabel B2.6 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 1 - 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)
26-Feb-08	0,029	0,093	0,019	0,17	0,57	0,50	6,40	1,06
28-Apr-08 ⁽¹⁾	0,27	0,027	< 0,010	0,30	1,43	1,39	7,12	3,28
11-Jun-08	< 0,010	< 0,010	0,015	0,014	0,74	0,44	7,54	0,72
25-Jun-08	0,46	0,26	0,15	0,82	1,73	1,19	7,70	5,59
08-Jul-08	0,82	< 0,010	0,99	1,71	2,70	1,70	7,99	9,81
07-Aug-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
13-Aug-08	0,72	< 0,010	0,71	1,74	3,21	2,03	7,09	9,96
25-Aug-08	1,04	< 0,010	1,15	2,45	3,40	2,33	7,04	12,9
13-Oct-08	0,76	0,22	0,80	1,76	3,13	1,83	7,44	10,3

⁽¹⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

Tabel B2.7 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 1 - effluentwater EIMO reactor (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)
26-Feb-08	0,026	0,089	0,027	0,16	0,54	0,47	6,20	1,03
28-Apr-08 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Jun-08	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,42	0,300	7,30	0,29
25-Jun-08	0,32	0,25	0,15	0,82	1,62	1,17	7,72	5,5
08-Jul-08	0,83	< 0,010	1,01	1,64	2,65	1,61	8,06	9,72
07-Aug-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
13-Aug-08	0,72	< 0,010	0,55	1,86	3,23	2,05	7,38	9,89
25-Aug-08	1,03	< 0,010	1,21	2,22	3,43	2,4	7,01	12,3
13-Oct-08	0,75	0,13	0,87	1,68	3,62	1,81	7,72	10,1

⁽¹⁾ De EIMO reactor bleek buiten werking te zijn vanwege een storing

B2.1.5 Metingen waterverbruik, elektraverbruik, spuiwaterproductie en drukval

De metingen betreffen een luchtwasser gedimensioneerd voor een stal met 30.000 vleeskuikenplaatsen met een geïnstalleerd ventilatiedebiet van 75.000 m³/uur.

Het waterverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 2,0 m³/dag.

Het elektraverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 74 kWh per dag, oftewel 3,1 kW.

De hoeveelheid spuislib is niet gemeten; volgens de luchtwasserleverancier bedraagt de hoeveelheid slib die gespuid wordt ca. 50 m³/jaar, oftewel 130 - 140 liter/dag.

De drukval over de wasser bedroeg 3 tot 38 Pa; het gemiddelde van de metingen bedroeg 16 Pa.

B2.1.6 Discussie

Tijdens de eerste meetsessie (26 februari 2008) werden hoge rendementen gevonden voor zowel de verwijdering van ammoniak (98%) als van geur (83%). Het stikstofgehalte en de pH van het waswater waren relatief laag. Tijdens de volgende meetsessies werden echter beduidend lagere verwijderingsrendementen gevonden. In overeenstemming met het lager

ammoniakverwijderingsrendement werden daarbij hogere stikstofconcentraties en pH waarden gevonden voor het waswater. Wanneer de watercondities van het waswater (Tabel B2.6) en het effluentwater van de EIMO reactor (Tabel B2.7) met elkaar vergeleken worden, blijkt dat deze nauwelijks verschillen. Daaruit kan geconcludeerd worden dat de EIMO reactor slecht functioneerde; dit heeft naar verwachting een negatief effect op de ammoniakverwijdering en mogelijk ook op de geurverwijdering. Desalniettemin is onduidelijk waardoor de grote fluctuaties in het rendement van ammoniak en geur worden veroorzaakt.

De resultaten van de PM10 verwijdering laten een constanter rendement zien, gemiddeld 34% (n=7; sd=7,3). Naar verwachting fluctueert dit rendement minder aangezien het PM10 verwijderingsrendement vooral afhangt van de onveranderde configuratie van de luchtwasser (water-lucht contact, wat beïnvloed wordt door eigenschappen waspakket, waterdebiet, manier van waterverdeling) en niet van de biologische activiteit in het luchtwassysteem. De indruk bestaat wel dat het PM10 verwijderingsrendement beïnvloed wordt door de luchtverblijftijd in het wassysteem (zie Melse *et al.*, 2010). Vanwege de lage concentraties kon het verwijderingsrendement PM2.5 slechts eenmaal bepaald worden.

Tijdens de meetperiode (februari 2008 - oktober 2008) zijn de veehouder en de leverancier van de luchtwasser er niet in geslaagd om de werking van de luchtwasser te verbeteren, dat wil zeggen om de gewenste rendementen van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof (PM10) te bereiken. Daarom is na de laatste meting door de opdrachtgever besloten om het meetprogramma niet verder voort te zetten.

Op basis van het resultaat van de metingen heeft de leverancier vervolgens besloten om de luchtwasser aan te passen. De EIMO reactor is vervangen door vier smalle, hoge reactoren en het zandbedfilter is vervangen door een doseerinstallatie voor vlokmiddel.

B2.2 Pilot 2: Chemische wasser en biowasser (kraamzeugen en biggen)

B2.2.1 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

Bij pilot 2 zijn de verwijderingsrendementen van de luchtwasser slechts tweemaal bepaald, op 27 juni 2007 en op 4 augustus 2009. Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de eerste en de tweede meting aangepast (zie verder Bijlage 1 en paragraaf B2.2.5). In Tabel B2.8, B2.9 en B2.10 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof op deze dagen weergegeven.

Tabel B2.8 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de eerste en de tweede meting aangepast.

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-tussen (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Totaal rendement (%)
27-Jun-07	15,0	n.b.	2,39	84
04-Aug-09	13,6	1,87	1,36	90

Uit Tabel B2.8 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 2 metingen **87%** (sd=4,2) bedraagt, waarbij aangetekend dient te worden dat het ontwerp van de luchtwasser tussen de eerste en de tweede meting is aangepast.

Tabel B2.9 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de eerste en de tweede meting aangepast.

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-tussen (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E / m ³)	Totaal rendement (%)
27-Jun-07	2.634	n.b.	1.422	46
04-Aug-09	638	1.423	972	-52

Uit Tabel B2.9 volgt dat het gemiddelde geurverwijderingsrendement van deze 2 metingen **-3%** bedraagt (sd=69), waarbij aangetekend dient te worden dat het ontwerp van de luchtwasser tussen de eerste en de tweede meting is aangepast.

Tabel B2.10 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de eerste en de tweede meting aangepast.

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%) ⁽¹⁾	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%) ⁽²⁾
27-Jun-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Aug-08	0,29	0,14	50	< 0,030	< 0,030	n.b.

⁽¹⁾ Wanneer de PM10 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 60 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽²⁾ Wanneer de PM2.5 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 30 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

B2.2.2 Broeikasgasmetingen

In Tabel B2.11 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven.

Tabel B2.11 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de eerste en de tweede meting aangepast.

Datum	CH ₄ - in (ppm)	CH ₄ - tussen (ppm)	CH ₄ - uit (ppm)	N ₂ O- in (ppm)	N ₂ O- tussen (ppm)	N ₂ O- uit (ppm)	CO ₂ - in (ppm)	CO ₂ - tussen (ppm)	CO ₂ - uit (ppm)
27-Jun-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Aug-08	74,7	60,2	63,3	0,23	0,24	0,24	1.590	1.360	1.440

In Tabel B2.12 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door de wasser weergegeven.

Tabel B2.12 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de eerste en de tweede meting aangepast.

Datum	Temperatuur- in (°C)	Temperatuur- tussen (°C)	Temperatuur- uit (°C)	Relatieve vochtigheid- in (%)	Relatieve vochtigheid- tussen (%)	Relatieve vochtigheid- uit (%)
27-Jun-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Aug-08	27,06	22,48	23,04	69,81	93,56	> 95

Uit Tabel B2.12 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.

B2.2.3 Analyses water

In Tabel B2.13 (biologische wasstap) en Tabel B2.14 (chemische wasstap) worden de analyses van de waswatermonsters weergegeven.

Tabel B2.13 Waswatermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 - biologische wasstap (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de tweede en de derde meting aangepast.

Datum en monster	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)
27-Jun-07 ⁽¹⁾	2,44			2,54	13,3		6,2	
17-Oct-07	0,13	0,008	< 0,001	0,15	1,0	0,7	5,9 ⁽²⁾	1,90
04-Aug-08	3,74	< 0,010	< 0,010	3,78	24,2	1,1	1,6 ⁽²⁾	41,8

⁽¹⁾ In het waswater blijkt zich sulfaat te bevinden; dit wijst erop dat er doorslag van zuur heeft plaatsgevonden van de chemische naar de biologische wasstap

⁽²⁾ Deze pH waarden wijzen erop dat doorslag van zuur heeft plaatsgevonden van de chemische naar de biologische wasstap

Tabel B2.14 Waswatermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 2 - chemische wasstap (n.b. = niet bepaald). Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de tweede en de derde meting aangepast.

Datum en monster	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)
27-Jun-07	36,5			35,8	184		3,1	
17-Oct-07	4,68			4,96	35,7		1,5	
04-Aug-08	19,8	< 0,010	< 0,010	20,3	98,8	4,4	2,7	116

B2.2.4 Metingen waterverbruik, elektraverbruik, spuiwaterproductie en drukval

Aangezien er slecht een paar incidentele metingen is gedaan en de wasser het grootste gedeelte van de meetperiode buiten werking was, kunnen geen representatieve waarden voor waterverbruik, elektraverbruik, spuiwaterproductie en drukval worden gerapporteerd.

B2.2.5 Discussie

Op 27 juni 2007 is het meetprogramma gestart en is een rendementsmeting meting uitgevoerd. Zoals beschreven in Bijlage 1 werd daarna gesignaleerd dat de installatie slecht functioneerde en te maken had met een erg hoge drukval in de biologische wasstap en schuimvorming in de opvangbak van het waswater van de chemische wasstap. Vervolgens is door de wasserleverancier geprobeerd het systeem te verbeteren. Toen dit niet naar tevredenheid lukte is door de veehouder en de luchtwasserleverancier besloten om de luchtwasser te ontmantelen en een bijna tweemaal zo grote luchtwasser te installeren. Aan deze nieuwe luchtwasser is vervolgens ruim een jaar later (4 augustus 2008) weer een meting uitgevoerd. Aangezien de wasser toen ook niet goed functioneerde (geurrendement relatief laag en doorslag van zuur) is door de opdrachtgever besloten om het meetprogramma te staken.

B2.3 Pilot 3: Zure wasser en biowasser (guste en dragende zeugen)

B2.3.1 Meetdata en ventilatiedebiet

In Tabel B2.15 wordt weergegeven op welke data de rendementsmetingen aan de luchtwasser zijn uitgevoerd; tevens wordt aangegeven wat op deze dagen het ventilatiedebiet was.

Tabel B2.15 Metingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Luchtdebiet stal, 24-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽¹⁾	Luchtdebiet stal, 2-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽²⁾
18-Sep-07	n.b.	n.b.
14-Nov-07 ⁽³⁾	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽⁴⁾	n.b.	n.b.
21-Jan-08	18.191	13.920
17-Mar-08 ⁽⁴⁾	n.b.	n.b.
25-Mar-08	n.b.	n.b.
19-May-08	n.b.	n.b.
25-Jun-08	n.b.	47.574
28-Jul-08	n.b.	n.b.
17-Sep-08	n.b.	n.b.
08-Dec-08	15.504	17.478
13-May-09	33.381	34.717
01-Jul-09	45.650	45.137

⁽¹⁾ Het 24-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van ammoniak en fijnstof

⁽²⁾ Het 2-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van geur

⁽³⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd

⁽⁴⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd

Uit het 24-uurs gemiddelde luchtdebiet van de metingen in Tabel B2.15 kan berekend worden dat de luchtverblijftijd in de wasser gemiddeld 0,69 seconden bedroeg.

B2.3.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

In Tabel B2.16, B2.17 en B2.18 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven.

Tabel B2.16 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-tussen (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Totaal rendement (%)
18-Sep-07 ⁽¹⁾	27,82	29,75	16,38	41
14-Nov-07 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽³⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
21-Jan-08	31,82	3,30	0,61	98
17-Mar-08 ⁽³⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	36,14	1,88	0,36	99
19-May-08	32,97	2,68	0,17	99
25-Jun-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
28-Jul-08	9,53	9,79	6,33	34 ⁽⁴⁾
17-Sep-08	27,87	3,27	0,73	97
08-Dec-08	32,42	2,14	0,30	99
13-May-09	17,85	n.b.	0,72	96
01-Jul-09	12,67	2,32	0,92	93

⁽¹⁾ Er bleek geen zuur gedoseerd te worden (zuurvat was leeg) waardoor de ammoniakverwijdering laag is

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽³⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd

⁽⁴⁾ De werking van de wasser bleek verstoord te zijn, waarschijnlijk wederom vanwege storingen in de zuurdosering

Uit Tabel B2.16 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 9 metingen **84%** (sd=25) bedraagt. Verder volgt uit Tabel B2.16 dat beide wasstappen procentueel gezien een gelijke bijdrage leveren aan de ammoniakverwijdering; gemiddeld gezien bedraagt het ammoniakverwijderingsrendement in beide stappen ca. 70%.

Tabel B2.17 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-tussen (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E /m ³)	Totaal rendement (%)
18-Sep-07	1.464	2.197	976	33
14-Nov-07 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
21-Jan-08	1.459	1.130	2.315	-59
17-Mar-08 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	3.871	3.588	4.189	-8,2
19-May-08	2.292	2.933	348	85
25-Jun-08	869	897	175	80
28-Jul-08	467 ⁽³⁾	570	290	38
17-Sep-08	1.938	530	2.764	-43
08-Dec-08	2.848	1.685	969	66
13-May-09	965	n.b.	576	40
01-Jul-09	306	n.b.	216	29

⁽¹⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd

⁽³⁾ Vanwege te weinig monsterlucht niet in duplo maar in simplo uitgevoerd

Uit Tabel B2.17 volgt dat het gemiddelde geurverwijderingsrendement van deze 10 metingen **26%** bedraagt (sd=49). Zowel voor de eerste als voor de tweede wasstap geldt dat het onduidelijk is waarom in sommige gevallen een toename en in sommige gevallen een afname van de

geurconcentratie wordt gevonden. Gemiddeld gezien lijkt de tweede wasstap een toename van de geurconcentratie tot gevolg te hebben.

Tabel B2.18 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 (n.b. = niet bepaald)

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%) ⁽¹⁾	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%) ⁽²⁾
18-Sep-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
14-Nov-07 ⁽³⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽⁴⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
21-Jan-08	0,55	0,35	37	0,058	< 0,030	n.b.
17-Mar-08 ⁽⁴⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	0,57	0,34	41	0,062	< 0,030	n.b.
19-May-08	0,66	0,37	44	0,077	0,043	44
25-Jun-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
28-Jul-08	0,23	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
17-Sep-08	0,59	0,33	44	n.b.	0,063	n.b.
08-Dec-08	0,69	0,28	60	0,067	n.b.	n.b.
13-May-09	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
01-Jul-09	0,30	0,16	47	0,035	< 0,030	n.b.

⁽¹⁾ Wanneer de PM10 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 60 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽²⁾ Wanneer de PM2.5 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 30 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽³⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽⁴⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

Uit Tabel B2.18 volgt dat het gemiddelde PM10 verwijderingsrendement **45%** (6 metingen; sd=7,8) en het PM2.5 verwijderingsrendement **44%** (1 meting) bedraagt.

B2.3.3 Broeikasgassen

In Tabel B2.19 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven.

Tabel B2.19 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 (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)
18-Sep-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
14-Nov-07 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
21-Jan-08	156	151	0,59	0,51	1.860	1.800
17-Mar-08 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	188	184	0,52	0,58	2.330	2.270
19-May-08	150	120	0,94	0,74	1.980	1.680
25-Jun-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
28-Jul-08	57	44	0,58	0,63	961	839
17-Sep-08	28	36	0,68	0,64	731	681
08-Dec-08	223	202	0,38	0,31	2.880	2.660
13-May-09	91	105	0,43	0,44	1.120	1.230
01-Jul-09	60	58	0,26	0,24	900	885

⁽¹⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

Uit Tabel B2.19 blijkt dat er in de meeste gevallen een kleine afname van de methaan- en lachgasconcentratie in de luchtwasser optreedt. Het is niet duidelijk waardoor deze veranderingen worden veroorzaakt.

In Tabel B2.20 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door de wasser weergegeven.

Tabel B2.20 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	Relatieve vochtigheid-in (%)	Relatieve vochtigheid-uit (%)
18-Sep-07	22,11	17,15	69,35	> 95
14-Nov-07 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
21-Jan-08	n.b.	16,66	n.b.	> 95
17-Mar-08 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
19-May-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Jun-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
28-Jul-08	n.b.	23,37	n.b.	> 95
17-Sep-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
08-Dec-08	18,55	14,55	65,90	> 95
13-May-09	23,49	n.b.	50,43	n.b.
01-Jul-09	27,65	23,62	55,60	88,70

⁽¹⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

Uit Tabel B2.20 blijkt dat de wasser er in het algemeen 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. Dat de relatieve vochtigheid bij de laatste meting iets lager is, wordt mogelijk veroorzaakt door het relatief hoge debiet tijdens deze meting (zie Tabel B2.15).

B2.3.4 Analyse water

In Tabel B2.21, Tabel B2.22 en Tabel B2.23 worden de analyses van de watermonsters weergegeven. Tabel B2.21 betreft de monsters die genomen zijn van het waswater dat over het pakket van de eerste trap (chemische wasstap) wordt verspreid, Tabel B2.22 betreft de monsters die genomen zijn van het waswater dat over het pakket van de tweede trap (waterwasser of biologische wasser) wordt verspreid en Tabel B2.23 betreft de monsters die genomen zijn van het spuiwater van de eerste trap (chemische wasstap).

Tabel B2.21 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 - waswater chemische wasstap (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)
18-Sep-07	35,08	n.b.	n.b.	32,48	160	n.b.	6,73	n.b.
14-Nov-07 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽²⁾	37,03	0,13	0,26	37,55	186	n.b.	5,27	n.b.
21-Jan-08	23,50	0,04	0,10	24,20	123	n.b.	1,80	n.b.
26-Feb-08	28,55	< 0,01	0,10	30,22	147	n.b.	2,53	163
17-Mar-08 ⁽³⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	35,63	< 0,010	< 0,010	35,40	192	n.b.	1,41	n.b.
29-Apr-08	27,2	< 0,010	1,25	28,0	138	n.b.	1,8	176
19-May-08	22,40	< 0,010	1,38	23,35	114	n.b.	2,12	137
25-Jun-08	37,50	< 0,010	2,22	39,38	188	n.b.	2,94	167
28-Jul-08	32,02	< 0,010	2,20	34,06	157	n.b.	2,26	179
17-Sep-08	43,71	< 0,010	0,66	44,48	216	n.b.	2,43	n.b.
08-Dec-08 ⁽⁴⁾	0,32	< 0,010	< 0,010	0,20	0,84	0,57	5,44	3,67
13-May-09	44,16	< 0,010	0,97	48,23	232	6,71	2,16	> 200
01-Jul-09	50,08	< 0,010	1,89	53,72	254	18,80	2,17	> 200

⁽¹⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvast was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd. Desondanks is wel een waswatermonster genomen van de chemische wasstap; de pH van het waswater blijkt dan ook hoog te zijn.

⁽³⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvast was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽⁴⁾ De watergehalten duiden erop dat kort voor de meting de inhoud van het waterbassin is gespuid en gevuld met vers water

Zoals besproken was in een aantal gevallen sprake van een storing in de aanzuring van de chemische wasstap; als gevolg hiervan is de pH van een aantal waswatermonsters in Tabel B2.21 hoger dan 3.

Tabel B2.22 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 - waswater biologische wasstap (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)
18-Sep-07	1,45	1,43	< 0,01	2,41	0,54	0,49	6,34	12,7
14-Nov-07 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽²⁾	0,78	0,89	0,01	1,57	0,73	0,46	6,48	8,06
21-Jan-08	0,37	0,39	< 0,01	0,92	0,50	0,48	6,60	4,50
26-Feb-08	0,37	0,39	0,02	0,78	0,62	0,51	6,22	4,28
17-Mar-08 ⁽³⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	0,43	0,37	0,05	0,83	0,97	0,39	6,67	4,87
29-Apr-08	0,208	< 0,010	0,25	0,46	0,86	0,73	5,6	2,82
19-May-08	0,23	0,06	0,22	0,50	0,86	0,40	5,59	2,93
25-Jun-08	0,24	< 0,010	0,31	0,56	1,08	0,35	5,58	3,06
28-Jul-08	0,24	< 0,010	0,29	0,54	1,28	0,46	3,77	3,12
17-Sep-08	0,32	0,22	0,09	0,71	0,83	0,59	6,22	3,88
08-Dec-08	0,38	< 0,010	< 0,010	0,26	1,41	0,52	5,18	4,14
13-May-09	0,19	< 0,010	0,01	0,44	1,24	0,65	5,75	2,67
01-Jul-09	0,20	< 0,010	0,24	0,48	1,00	0,33	5,87	3,14

⁽¹⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvast was leeg). Desondanks is wel een watermonster genomen van de biologische wasstap.

⁽³⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvast was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

Uit Tabel B2.22 blijkt dat de pH van een aantal watermonsters vrij laag is (< 6), in één geval zelfs 3,8; mogelijk wordt dit veroorzaakt door (geringe) doorslag van zuur van de chemische naar de biologische wasstap. Dit kan een negatief effect hebben op de geurverwijdering.

Tabel B2.23 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een varkensstal, pilot 3 - spuiwater (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)
18-Sep-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
14-Nov-07 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Dec-07 ⁽²⁾	38,92	< 0,01	0,25	38,88	204		4,73	
21-Jan-08	42,80	< 0,01	0,13	45,10	275		4,20	
26-Feb-08	42,12	< 0,01	0,13	43,19	283		5,33	> 200
17-Mar-08 ⁽²⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
25-Mar-08	41,67	< 0,010	< 0,010	41,99	204		3,73	
29-Apr-08	43,5	< 0,010	1,92	45,13	213		3,90	
19-May-08	49,40	< 0,010	2,61	51,16	245		3,74	

⁽¹⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het waterniveau in de chemische wasstap was te laag). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

⁽²⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Desondanks is wel een monster genomen van het spuiwater.

⁽³⁾ Bij aankomst bleek de wasser niet te functioneren (het zuurvat was leeg). Daarom zijn geen metingen uitgevoerd.

Uit Tabel B2.23 blijkt dat het stikstofgehalte van het spuiwater gemiddeld 49 g N/kg bedraagt (n=11; sd=6,3), voor 97% in de vorm van ammonium.

B2.3.5 Metingen waterverbruik, elektraverbruik, spuiwaterproductie en drukval

De metingen betreffen een luchtwasser gedimensioneerd voor een stal met 400 guste en dragende zeugen met een geïnstalleerd ventilatiedebiet van 60.000 m³/uur.

Het waterverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 1,2 m³/dag.

Het elektraverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 40 kWh per dag, oftewel 1,7 kW.

De spuiwaterproductie van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 28 m³/jaar.

De drukval over de wasser bedroeg 4 tot 60 Pa; het gemiddelde van de metingen bedroeg 19 Pa.

B2.3.6 Discussie

Het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement bedroeg 84% (n=9; sd=25), waaraan beide wasstappen procentueel gezien een gelijke bijdrage leverden. Tijdens twee meetsessies zijn lage ammoniakrendementen gevonden, hetgeen te wijten was aan een gebrek aan zuur in de chemische wasstap; tijdens alle andere metingen is een hoog ammoniakrendement gevonden, gemiddeld 97% (n=7; sd=2,4).

De metingen van de geurconcentratie laten echter een grillig verloop zien, variërend van een toename met 59% tot een afname van 80% (gemiddeld 26%; n=10; sd=49). Wanneer er sprake is van een afname van de geurconcentratie vindt dit in het algemeen plaats in de tweede wasstap, de biologische wasstap. Verder blijkt dat ook de geurconcentratie van de ingaande lucht sterk varieert. Het is onduidelijk welke factoren het uiteindelijke geurrendement van de wasser bepalen en waardoor de grote fluctuaties worden veroorzaakt.

De resultaten van de PM10 verwijdering laten een constanter rendement zien, gemiddeld 45% (n=6; sd=7,8). Naar verwachting fluctueert dit rendement minder aangezien het PM10 verwijderingsrendement vooral afhangt van de onveranderde configuratie van de luchtwasser (water-lucht contact, wat beïnvloed wordt door eigenschappen waspakket, waterdebiet, manier van waterverdeling) en niet van zaken als de pH van de chemische wasstap en de biologische activiteit in de tweede stap. De indruk bestaat wel dat het PM10 verwijderingsrendement beïnvloed wordt door de luchtverblijftijd in het wassysteem (zie Melse *et al.*, 2010). Vanwege meettechnische problemen en lage concentraties kon het verwijderingsrendement PM2.5 slechts eenmaal bepaald worden.

Tijdens de meetperiode (september 2007 - juli 2009) zijn de veehouder en de leverancier van de luchtwasser er niet in geslaagd om de werking van de luchtwasser te verbeteren, dat wil zeggen om de gewenste rendementen van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof (PM10) te bereiken. Daarom is na de laatste meting door de opdrachtgever besloten om het meetprogramma niet verder voort te zetten.

Op basis van het resultaat van de metingen heeft de leverancier besloten om het luchtwassersysteem uit te breiden met een ozoninstallatie met als doel om een hoge en stabiele geurverwijdering te bereiken.

B2.4 Pilot 4: Biowasser met denitrificatie (vleesvarkens)

B2.4.1 Meetdata en ventilatiedebiet

In Tabel B2.24 wordt weergegeven op welke data de rendementsmetingen van de wasser zijn uitgevoerd; tevens wordt aangegeven wat op deze dagen het ventilatiedebiet was.

Tabel B2.24 Metingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Luchtdebiet stal, 24-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽¹⁾			Luchtdebiet stal, 2-uurs gemiddelde (m ³ /uur) ⁽³⁾
	Wasser 1 ⁽¹⁾	Wasser 2 ⁽²⁾	Totaal (Wasser 1 + Wasser 2)	Wasser 1
07-Nov-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Feb-08	41.833	36.020	77.852	39.764
16-Apr-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
02-Jun-08	64.229	68.154	132.383	70.805
03-Sep-08	47.005	n.b.	n.b.	51.512
17-Dec-08	35.038	42.345	77.383	33.924
09-Feb-09	29.002	36.531	65.533	33.260
13-May-09	57.139	61.925	119.064	53.898
08-Jul-09	56.642	58.320	114.926	57.651

⁽¹⁾ Het 24-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van ammoniak en fijnstof

⁽²⁾ Aan Wasser 2 zijn geen rendementsmetingen uitgevoerd

⁽³⁾ Het 2-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van geur

Uit het 24-uurs gemiddelde luchtdebiet van de metingen in Tabel B2.24 kan berekend worden dat de luchtverblijftijd in Wasser 1 (waar de metingen van ammoniak, geur en fijnstof zijn uitgevoerd) gemiddeld 8,7 seconden bedroeg.

B2.4.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

In Tabel B2.25, B2.26 en B2.27 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven op de verschillende meetdagen, zoals gemeten is aan Wasser 1. Daarnaast is op een aantal data een geplande rendementsmeting geannuleerd vanwege storingen in de wasser.

Tabel B2.25 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Rendement (%)
07-Nov-07	29,32	3,20	89
11-Feb-08	22,30	7,49	66
16-Apr-08	25,33	8,50	66
02-Jun-08	12,40	2,38	81
03-Sep-08	21,13	1,52	93
17-Dec-08	25,81	6,23	76
09-Feb-09	29,73	0,50	98
13-May-09	18,36	0,62	97
08-Jul-09	13,90	0,11	99

Uit Tabel B2.25 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 9 metingen **85%** (sd=13) bedraagt.

Tabel B2.26 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E /m ³)	Rendement (%)
07-Nov-07	5.807	2.839	51
11-Feb-08	3.738	2.433	35
16-Apr-08	3.588	3.073	14
02-Jun-08	3.582	1.400	61
03-Sep-08	4.181	4.190	0
17-Dec-08	6.143	4.883	21
09-Feb-09	5.262	1.318	75
13-May-09	2.703	1.793	34
08-Jul-09	3.126	2.030	35

Uit Tabel B2.26 volgt dat het gemiddelde geurverwijderingsrendement van deze 9 metingen **36%** bedraagt (sd=23).

Tabel B2.27 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 (n.b. = niet bepaald)

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%) ⁽¹⁾	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%) ⁽²⁾
07-Nov-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-Feb-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
16-Apr-08	0,61	0,16	73	0,038	< 0,030	n.b.
02-Jun-08	0,25	0,069	72	< 0,030	< 0,030	n.b.
03-Sep-08	0,29	0,075	74	< 0,030	< 0,030	n.b.
17-Dec-08	0,51	0,14	73	0,034	< 0,030	n.b.
09-Feb-09	0,98	0,21	78	0,050	< 0,030	n.b.
13-May-09	0,42	0,14	68	0,031	< 0,030	n.b.
08-Jul-09	0,49	0,25	48	< 0,030	< 0,030	n.b.

⁽¹⁾ Wanneer de PM10 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 60 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽²⁾ Wanneer de PM2.5 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 30 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

Uit Tabel B2.27 volgt dat het gemiddelde PM10 verwijderingsrendement **70%** (7 metingen; sd=9,8); vanwege de lage concentraties kon het PM2.5 verwijderingsrendement niet betrouwbaar worden bepaald.

B2.4.3 Broeikasgasmetingen

In Tabel B2.28 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven, zoals deze gemeten zijn aan wasser 1.

Tabel B2.28 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 (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)
07-Nov-07						
11-Feb-08	24,54	22,10	0,40	2,51	1.580	1.970
16-Apr-08	27,45	27,17	0,39	1,11	2.250	2.200
02-Jun-08	18,43	17,89	0,64	3,26	1.030	1.060
03-Sep-08	84,10	87,45	0,26	1,01	1.510	1.600
17-Dec-08	100,95	99,45	0,40	1,48	2.460	2.560
09-Feb-09	74,73	75,22	0,38	2,72	1.700	1.830
13-May-09	96,28	83,43	0,10	0,69	1.280	1.270
08-Jul-09	128,05	124,87	0,40	2,51	1.340	1.350

Uit Tabel B2.28 blijkt dat er geen sprake is van een duidelijke toe- of afname van de methaanconcentratie in de luchtwasser. Er is echter wel een duidelijke toename waarneembaar van de lachgasconcentratie. De gemiddelde concentratie N₂O-in en N₂O-uit bedragen respectievelijk 0,4 en 1,8 ppm, hetgeen een vervijfvoudiging van de concentratie betekent. De toename van de lachgasconcentratie is waarschijnlijk het gevolg van onvolledige nitrificatie/denitrificatie.

In Tabel B2.29 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door Wasser 1 weergegeven.

Tabel B2.29 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 (n.b. = niet bepaald)

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	Relatieve vochtigheid-in (%)	Relatieve vochtigheid-uit (%)
07-Nov-07	21.84	17.82	76.24	> 95
11-Feb-08	20.05	15.98	62.37	> 95
16-Apr-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
02-Jun-08	25.37	25.98	n.b.	> 95
03-Sep-08	22.55	18.98	72.19	> 95
17-Dec-08	17.30	14.30	71.90	> 95
09-Feb-09	18.02	14.64	69.09	> 95
13-May-09	23.37	17.12	50.13	> 95
08-Jul-09	23.05	18.75	66.20	> 95

Uit Tabel B2.29 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.

B2.4.4 Analyses water

In Tabel B2.30, Tabel B2.31 en Tabel B2.32 worden de analyses van de watermonsters weergegeven. Tabel B2.30 betreft de monsters die uit het waswaterbassin zijn genomen, dat wil zeggen het water dat over het luchtwaspakket wordt gerecirculeerd. Tabel B2.31 betreft de monsters die genomen zijn van waswater dat van de denitrificatie-unit wordt teruggevoerd naar het waswater. Tabel B2.32 betreft de monsters die genomen zijn van het spuiwater.

Tabel B2.30 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 - waswaterbassin (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)
07-Nov-07	2,51	2,32	0,02	4,92	1,98	1,46	7,34	22,5
21-Dec-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
07-Jan-08	4,14	4,01	0,12	8,29	5,64	3,22	7,49	36,0
11-Feb-08	4,49	3,56	0,23	7,99	7,16	2,89	7,08	40,2
12-Mar-08	5,55	3,81	0,92	9,95	9,14	3,63	8,05	49,3
16-Apr-08	5,47	5,19	0,24	10,08	7,41	3,75	8,17	44,1
02-Jun-08	1,06	0,98	0,03	1,91	1,74	1,21	7,83	10,8
24-Jun-08	1,44	1,33	0,06	2,51	2,46	1,70	7,50	15,3
03-Sep-08	1,16	0,82	0,40	2,26	1,54	1,01	7,79	12,0
20-Oct-08	1,11	1,16	< 0,010	2,15	1,36	0,94	7,75	10,9
17-Dec-08	0,95	0,55	< 0,010	1,60	1,39	0,89	8,39	8,8
09-Feb-09	1,84	1,79	< 0,010	3,37	1,46	0,96	7,27	17,1
13-May-09	1,60	0,45	< 0,010	2,82	1,83	1,10	8,13	14,3
08-Jul-09	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Tabel B2.31 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 - effluent denitrificatie (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)
07-Nov-07	2,52	2,34	0,02	4,91	1,95	1,46	7,29	22,2
21-Dec-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
07-Jan-08	2,92	< 0,01	< 0,01	3,18	8,83	2,55	8,88	20,2
11-Feb-08	4,45	3,03	0,23	7,84	7,41	2,84	7,98	38,5
12-Mar-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
16-Apr-08	5,57	5,16	0,24	10,05	7,32	3,71	8,26	44,7
02-Jun-08	0,96	0,90	0,03	1,80	1,67	1,14	7,96	10,3
24-Jun-08	1,53	1,08	0,03	2,46	2,75	1,52	8,35	14,5
03-Sep-08	1,11	0,46	< 0,010	1,52	1,73	0,80	7,73	8,8
20-Oct-08	1,10	1,16	< 0,010	2,26	1,26	0,96	7,44	10,8
17-Dec-08	0,99	0,103	< 0,010	1,09	1,68	1,01	8,79	7,3
09-Feb-09	1,71	1,31	< 0,010	2,95	2,08	0,89	8,50	14,5
13-May-09	1,61	0,32	< 0,010	2,59	1,74	1,08	8,68	12,7
08-Jul-09	1,18	< 0,010	1,26	2,37	4,13	2,27	8,06	12,8

Tabel B2.32 Watermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleesvarkensstal, pilot 4 - spuiwater (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)
07-Nov-07	2,47	2,31	0,02	4,63	2,20	1,54	8,32	20,7
21-Dec-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
07-Jan-08	2,90	< 0,01	< 0,01	3,48	8,72	3,03	8,90	20,4
11-Feb-08	4,42	3,07	0,22	7,79	7,38	2,90	7,94	37,9
12-Mar-08	5,50	3,94	0,50	10,02	9,23	3,63	8,47	47,6
16-Apr-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
02-Jun-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
24-Jun-08	1,51	1,05	0,04	2,44	2,68	1,64	8,32	14,8
03-Sep-08	1,12	0,51	< 0,010	1,49	1,85	0,84	8,81	8,6
20-Oct-08	1,09	1,14	< 0,010	2,15	1,22	0,84	7,39	10,8
17-Dec-08	0,98	0,10	< 0,010	1,03	1,69	1,04	8,78	7,3
09-Feb-09	1,71	1,26	< 0,010	2,86	2,21	1,03	8,54	14,5
13-May-09	1,62	0,31	< 0,010	2,69	2,00	1,25	8,69	12,7
08-Jul-09	1,14	< 0,010	1,36	2,49	4,68	2,63	8,12	12,7

Uit Tabel B2.30 volgt dat de installatie tijdens de eerste reeks metingen (7 november 2007 - 16 april 2008) slecht functioneerde. De hoge ammonium en nitrietgehalten (hetgeen ook weerspiegeld wordt door de hoge EC) veroorzaken waarschijnlijk remming van de nitrificerende bacteriën waardoor de ammoniakverwijdering gevaar loopt/laag is. In overeenstemming hiermee laten twee van de drie ammoniakrendementsmetingen (zie Tabel B2.25) dan ook een relatief laag rendement zien.

Na de meting van 16 april 2008 is de hoeveelheid spuiwater verhoogd van ongeveer 0,5 m³/dag naar 5 m³/dag om een lagere stikstofconcentratie en EC in het waswater te krijgen, teneinde de mogelijke remming van de nitrificeerders tegen te gaan. Zoals uit Tabel B2.30 blijkt zijn de stikstofgehalten bij de volgende metingen inderdaad lager en bedraagt de EC maximaal 15 mS/cm, hetgeen beschouwd kan worden als goede condities voor nitrificatie.

Uit vergelijking van Tabel B2.30 en B2.31 blijkt echter dat er weinig verschil zit tussen het de stikstofgehalten van het waswaterbassin en het effluent van de denitrificatie, zowel in de periode voor en de periode na de verhoging van het spuidebiet. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de denitrificatieunit onvoldoende werkt.

Tenslotte blijkt dat de gehalten van het spuiwater (Tabel B2.32) vrijwel gelijk zijn aan de gehalten van het effluent van de denitrificatie (Tabel B2.31), waaruit geconcludeerd kan worden dat de bezinking in de kegelvormige tank, zoals beschreven in Bijlage 1, onvoldoende werkt.

Het gevolg van de slecht verlopende denitrificatie is dat er veel meer spuiwater wordt geproduceerd dan beoogd (zie onder B2.4.5).

B2.4.5 Metingen waterverbruik, elektraverbruik, spuiwaterproductie en drukval

De metingen betreffen een luchtwasinstallatie gedimensioneerd voor een stal met 2.600 vleesvarkens met een geïnstalleerd ventilatiedebiet van 160.000 m³/uur.

Het waterverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 9,3 m³/dag.

Het elektraverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 78 kWh per dag, oftewel 3,2 kW.

De spuiwaterproductie van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 5,4 m³/dag oftewel 224 liter/uur; dit is bijna zes maal zo veel als het beoogde spuidebiet van 40 liter/uur.

De drukval over de wasser bedroeg 4 tot 120 Pa; het gemiddelde van de metingen bedroeg 52 Pa.

B2.4.6 Discussie

Vanwege en slecht verlopende denitrificatie werd veel meer spuiwater geproduceerd dan eerder was voorzien. De ammoniakverwijdering was desondanks hoog, gemiddeld 85% (n=9; sd=13). Uit een nadere analyse van Tabel B2.24 en B2.25 blijkt dat de ammoniakproductie in de stal gemiddeld 4,3 kg NH₃/vleesvarkensplaats/jaar bedraagt, terwijl het ontwerp van de denitrificatie-installatie uitwas gegaan van een veel lager ammoniakvracht, ca. 2,5 kg NH₃/vleesvarkensplaats/jaar. Als gevolg hiervan was onvoldoende denitrificatiecapaciteit aanwezig.

De metingen van het geurverwijderingsrendement varieerden tussen 0% en 75% (gemiddeld 36%; n=9; sd=23). Het is onduidelijk welke factoren het uiteindelijke geurrendement van de wasser bepalen en waardoor de grote fluctuaties worden veroorzaakt.

De resultaten van de PM10 verwijdering laten een constanter rendement zien, gemiddeld 70% (n=7; sd=9,8). Naar verwachting fluctueert dit rendement minder aangezien het PM10 verwijderingsrendement vooral afhangt van de onveranderde configuratie van de luchtwasser (water-lucht contact, wat beïnvloed wordt door eigenschappen waspakket, waterdebiet, manier van waterverdeling) en niet van zaken als de pH van de chemische wasstap en de biologische activiteit in de tweede stap. De indruk bestaat wel dat het PM10 verwijderingsrendement beïnvloed wordt door de luchtverblijftijd in het wassysteem (zie Melse *et al.*, 2010). Vanwege de lage concentraties kon het verwijderingsrendement PM2.5 niet bepaald worden.

Verder blijkt dat er een hoeveelheid lachgas (N₂O) wordt gevormd, hetgeen een sterk broeikasgas is (310 maal zo sterk als CO₂) en daarmee ongewenst. De gemiddelde concentratie N₂O-ingaand en N₂O-uitgaand bedragen respectievelijk 0,4 en 1,8 ppm, hetgeen een vervijfvoudiging van de concentratie betekent. De toename van de lachgasconcentratie is waarschijnlijk het gevolg van onvolledige nitrificatie/denitrificatie; mogelijk kan de lachgasproductie verminderd worden door optimalisatie van het proces.

Tijdens de meetperiode (november 2007 - juli 2009) zijn de veehouder en de leverancier van de luchtwasser er niet in geslaagd om de denitrificatiewerking van de luchtwasser te verbeteren, dat wil zeggen om de gewenste rendementen van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof (PM10) te bereiken in combinatie met een drastische afname van het spuidebiet (in vergelijking met biologische wassers zonder denitrificatie). Daarom is na de laatste meting door de opdrachtgever besloten om het meetprogramma niet verder voort te zetten.

Op basis van het resultaat van de metingen heeft de leverancier besloten om de omvang van de denitrificatie-installatie te verdubbelen, met als doel een goedwerkende denitrificatie te realiseren waarbij lage spuidebieten kunnen worden gerealiseerd.

B2.5 Pilot 5: Zure wasser en biowasser (vleeskuikens)

B2.5.1 Diergegevens en ventilatiedebiet

In Tabel B2.33 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 B2.33 Metingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 (n.b. = niet bepaald) ⁽¹⁾.

Datum	Leeftijd dieren (dag) ⁽²⁾	Aantal aanwezige dieren	Luchtdebiet stal, 24-uurs gemiddelde (m ³ /uur)		Luchtdebiet stal, 2-uurs gemiddelde (m ³ /uur)
			Meetsectie ⁽³⁾	Totaal	Meetsectie ⁽⁴⁾
27-Nov-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Mar-08	13	19.900	7.127	7.127	7.149
13-May-08	34	21.000	16.681	72.561	24.093
11-Aug-08	25	19.400	25.195	56.209	25.137
06-Oct-08	31	21.312	n.b.	n.b.	n.b.
01-Dec-08	n.b.	17.500	23.771	28.498	25.312
09-Feb-09	12	20.900	7.282	7.282	7.203
16-Apr-09	31	21.432	21.350	48.198	17.706
08-Jun-09	31	19.427	25.258	56.994	25.690
07-Sep-09	26	19.300	27.658	56.343	27.736

⁽¹⁾ Tussen de derde (13 mei 2008) en de vierde meting (11 augustus 2008) is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

⁽²⁾ Met "leeftijd dieren" wordt het aantal dagen sinds de oplegdatum bedoeld. Na ongeveer 6 weken dagen worden de dieren afgevoerd.

⁽³⁾ Het 24-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van ammoniak en fijnstof. Deze meting is alleen uitgevoerd in de 2 wassersegmenten die altijd in gebruik zijn ("meetsectie").

⁽⁴⁾ Het 2-uurs gemiddelde debiet betreft de meting van geur. Deze meting is alleen uitgevoerd in de 2 wassersegmenten die altijd in gebruik zijn ("meetsectie").

Uit het 24-uurs gemiddelde luchtdebiet van de metingen in Tabel B2.33 kan berekend worden dat de luchtverblijftijd in de meetsectie (waar de metingen van ammoniak, geur en fijnstof zijn uitgevoerd) gemiddeld 0,45 seconden bedroeg.

B2.5.2 Rendementsmetingen ammoniak, geur en fijnstof

In Tabel B2.34, B2.35 en B2.36 worden de resultaten van de metingen van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven. Het ontwerp van de luchtwasser is tussen de meting op 13 mei 2008 en de meting op 11 augustus 2008 aangepast (zie verder Bijlage 1 en paragraaf B2.5.6.).

Tabel B2.34 Ammoniakmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 (n.b. = niet bepaald) ⁽¹⁾.

Datum	Ammoniak-in (ppm)	Ammoniak-tussen (ppm)	Ammoniak-uit (ppm)	Totaal rendement (%)
27-Nov-07	26,64	10,91	9,95	63
04-Mar-08	24,61	4,09	1,68	93
13-May-08	1,02	0,66	0,45	56
11-Aug-08	3,59	1,96	1,76	51
06-Oct-08	8,47	n.b.	4,44	48
01-Dec-08	17,65	5,23	8,10	54
09-Feb-09	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
16-Apr-09	7,10	n.b.	4,05	43
08-Jun-09	6,63	n.b.	4,81	27
07-Sep-09	4,50	n.b.	2,69	40

⁽¹⁾ Tussen de derde (13 mei 2008) en de vierde meting (11 augustus 2008) is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

Uit Tabel B2.34 volgt dat het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van deze 9 metingen **53%** (sd=18) bedraagt. Alleen de meting op 4 maart 2008 liet een rendement hoger dan de beoogde 70% ammoniakreductie zien. Verder volgt uit Tabel B2.34 dat (voor zover metingen van de lucht tussen de eerste en tweede wassectie beschikbaar zijn) hoofdzakelijk de chemische wassectie verantwoordelijk is voor de ammoniakverwijdering, terwijl de biologische wassectie gemiddeld gezien nog eens een kleine reductie toevoegt.

Tabel B2.35 Geurmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 (n.b. = niet bepaald) ⁽¹⁾.

Datum	Geur-in (OU _E /m ³)	Geur-tussen (OU _E /m ³)	Geur-uit (OU _E / m ³)	Rendement (%)
27-Nov-07	1.885	2.196	1.079	43
04-Mar-08	3.008	1.582	1.190	60
13-May-08	860	528	169	80
11-Aug-08	836	n.b.	569	32
06-Oct-08	526	531	73 ⁽²⁾	86
01-Dec-08	1.189	644	262	78
09-Feb-09	3.489	1.190	1.982	43
16-Apr-09	913	n.b.	502	45
08-Jun-09	755	n.b.	596	21
07-Sep-09	901	n.b.	564	37

⁽¹⁾ Tussen de derde (13 mei 2008) en de vierde meting (11 augustus 2008) is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

⁽²⁾ Vanwege te weinig monsterlucht niet in duplo maar in simplo uitgevoerd.

Uit Tabel B2.35 volgt dat het gemiddelde geurverwijderingsrendement van deze 10 metingen **54%** bedraagt (sd=22). Verder volgt uit Tabel B2.35 dat (voor zover metingen van de lucht tussen de eerste en tweede wassectie beschikbaar zijn) beide wassecties gemiddeld gezien ongeveer een gelijke geurreductie realiseren van 30 tot 40%. Wanneer in een incidenteel geval (9 februari 2009) de concentratie geur-uit hoger is dan geur-tussen, is dit mogelijk te wijten aan de geurmeetmethode en niet aan een werkelijk geurtoename in de tweede wasstap. Tenslotte valt op dat de gemeten geurconcentraties op 6 oktober 2008, in het bijzonder de lucht na de wasser, zeer laag zijn in vergelijking met de andere metingen.

Tabel B2.36 Fijnstofmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 (n.b. = niet bepaald) ⁽¹⁾.

Datum	PM10-in (mg/m ³)	PM10-uit (mg/m ³)	Rendement PM10 (%) ⁽²⁾	PM2.5-in (mg/m ³)	PM2.5-uit (mg/m ³)	Rendement PM2.5(%) ⁽³⁾
27-Nov-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Mar-08	1,26	n.b.	n.b.	0,054	n.b.	n.b.
13-May-08	1,83	n.b.	n.b.	0,152	n.b.	n.b.
11-Aug-08	1,46	0,14	90	0,054	0,033	38
06-Oct-08	2,79	n.b.	n.b.	0,206	n.b.	n.b.
01-Dec-08	3,92	n.b.	n.b.	0,473	n.b.	n.b.
09-Feb-09	1,17	0,23	80	0,058	0,038	35
16-Apr-09	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
08-Jun-09	1,90	0,90	53	0,085	0,069	19
07-Sep-09	1,60	0,64	60	0,059	0,062	-4

⁽¹⁾ Tussen de derde (13 mei 2008) en de vierde meting (11 augustus 2008) is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

⁽²⁾ Wanneer de PM10 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 60 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

⁽³⁾ Wanneer de PM2.5 concentratie van de ingaande en/of uitgaande lucht < 30 µg/m³ bedraagt, wordt geen waarde voor het rendement gerapporteerd

Uit Tabel B2.36 volgt dat het gemiddelde PM10 verwijderingsrendement **71%** (4 metingen; sd=18) en het PM2.5 verwijderingsrendement **22%** (4 metingen; sd=19) bedraagt.

B2.5.3 Broeikasgasmetingen

In Tabel B2.37 worden de gemeten broeikasgasconcentraties (methaan, lachgas en kooldioxide) gegeven.

Tabel B2.37 Broeikasgasmetingen aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 (n.b. = niet bepaald ⁽¹⁾).

Datum	CH ₄ -in (ppm)	CH ₄ - tussen (ppm)	CH ₄ -uit (ppm)	N ₂ O-in (ppm)	N ₂ O- tussen (ppm)	N ₂ O-uit (ppm)	CO ₂ -in (ppm)	CO ₂ - tussen (ppm)	CO ₂ -uit (ppm)
27-Nov-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Mar-08	2,00	2,09	2,05	n.b.	n.b.	n.b.	3.100	3.240	3.020
13-May-08	2,49	n.b.	2,30	0,52	n.b.	0,47	1.300	n.b.	1.220
11-Aug-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
06-Oct-08	3,04	n.b.	2,49	0,35	n.b.	0,36	1.770	n.b.	1.310
01-Dec-08	2,66	n.b.	3,06	0,21	n.b.	0,21	2.660	n.b.	580
09-Feb-09	2,43	8,99	2,38	0,29	0,34	0,35	3.160	662	3.260
16-Apr-09	2,33	n.b.	2,36	0,30	n.b.	0,31	1.440	n.b.	1.400
08-Jun-09	2,21	n.b.	2,08	0,25	n.b.	0,26	1.470	n.b.	1.220
07-Sep-09	2,61	n.b.	2,55	0,23	n.b.	0,24	1.260	n.b.	1.060

⁽¹⁾ Tussen de derde (13 mei 2008) en de vierde meting (11 augustus 2008) is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

Uit Tabel B2.37 blijkt dat er geen duidelijk toe- of afname van de methaan- en lachgasconcentratie in de luchtwasser optreedt; bij sommige metingen is een toename, bij sommige metingen een afname geconstateerd. Het is niet duidelijk waardoor deze veranderingen worden veroorzaakt.

In Tabel B2.38 worden de overige luchtcondities (temperatuur en relatieve vochtigheid) van de lucht door de wasser weergegeven.

Tabel B2.38 Overige luchtcondities gemeten aan een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 (n.b. = niet bepaald ⁽¹⁾).

Datum	Temperatuur-in (°C)	Temperatuur-uit (°C)	Relatieve vochtigheid-in (%)	Relatieve vochtigheid-uit (%)
27-Nov-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Mar-08	29,06	21,68	58,99	> 95
13-May-08	24,68	n.b.	53,92	n.b.
11-Aug-08	23,51	19,12	69,13	> 95
06-Oct-08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
01-Dec-08	17,35	n.b.	79,22	> 95
09-Feb-09	28,20	21,60	50,54	> 95
16-Apr-09	24,05	18,63	52,51	> 95
08-Jun-09	22,79	n.b.	53,92	> 95
07-Sep-09	24,55	20,31	59,94	> 95

⁽¹⁾ Tussen de derde (13 mei 2008) en de vierde meting (11 augustus 2008) is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

Uit Tabel B2.38 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.

B2.5.4 Analyses water

In Tabel B2.39 en Tabel B2.40 worden de analyses van de watermonsters weergegeven. Tabel B2.39 betreft de monsters die genomen zijn van het waswater van de chemische wassectie en Tabel B2.40 betreft de monsters die genomen zijn van het waswater van de biologische wassectie.

Tabel B2.39 Waswatermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 - chemische wassectie (n.b. = niet bepaald) ⁽¹⁾.

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)
27-Nov-07	2,82	n.b.	n.b.	3,15	18,1	n.b.	1,8	n.b.
21-Dec-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Feb-08	2,98	< 0,010	< 0,010	2,85	15,59	n.b.	5,94	n.b.
04-Mar-08	0,63	< 0,010	< 0,010	0,74	6,23	1,70	1,89	15,04
13-May-08	10,06	< 0,010	0,02	10,29	63,97	n.b.	1,91	80,50
24-Jun-08	3,29	< 0,010	< 0,010	3,40	26,45	n.b.	1,77	37,60
11-Aug-08	1,41	< 0,010	< 0,010	1,48	10,56	n.b.	1,83	20,50
06-Oct-08	3,95	< 0,010	< 0,010	4,44	28,31	3,82	1,51	42,90
01-Dec-08	15,02	< 0,010	< 0,010	15,43	82,49	5,45	2,28	95,00
09-Feb-09	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
16-Apr-09	2,36	< 0,010	< 0,010	2,79	20,74	3,88	1,67	30,80
08-Jun-09	3,56	< 0,010	< 0,010	4,78	30,02	5,19	2,35	37,00
07-Sep-09	1,35	< 0,010	< 0,010	1,77	13,89	4,03	2,19	18,1

⁽¹⁾ Tussen de meting van 24 juni 2008 en de meting van 11 augustus 2008 is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

Uit Tabel B2.39 blijkt dat pH van het waswater van de chemische wassectie regelmatig te hoog is (volgens de beschrijving in Bijlage 1 zou deze zich tussen 1,5 en 4,0 zou moeten bevinden). Wanneer de pH waarde te hoog is bestaat het gevaar dat de ammoniakverwijdering laag is. Verder valt op dat het stikstofgehalte van het waswater relatief laag is in vergelijking met reguliere chemische wassers, waarin stikstofgehalten tot maximaal 30 - 40 g N/liter worden gevonden. Dit hangt er mee samen dat aan het eind van elke ronde het waswater wordt ververst (tezamen met het schoonmaakwater van de waspakketten) en dat niet gewacht wordt totdat hoge stikstofconcentraties zijn bereikt. Het gevolg is dat de hoeveelheid geproduceerd spuiwater relatief hoog is.

Tabel B2.40 Waswatermonsters van een experimentele gecombineerde luchtwasser bij een vleeskuikenstal, pilot 5 - biologische wassectie (n.b. = niet bepaald) ⁽¹⁾.

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)
27-Nov-07	0,286	< 0,01	< 0,01	0,38	1,43	0,77	7,3	3,3
21-Dec-07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
04-Feb-08	0,58	< 0,010	< 0,010	0,55	3,23	0,59	7,19	5,83
04-Mar-08	0,09	< 0,010	< 0,010	0,14	0,98	0,82	6,65	1,66
13-May-08	0,64	< 0,010	< 0,010	0,65	4,46	1,38	6,49	6,91
24-Jun-08	0,12	< 0,010	< 0,010	0,13	1,32	1,09	7,46	2,30
11-Aug-08	0,43	< 0,010	0,01	0,49	3,34	1,61	6,55	5,16
06-Oct-08	1,12	< 0,010	< 0,010	1,15	6,45	1,26	6,78	10,22
01-Dec-08	0,47	< 0,010	< 0,010	0,48	2,58	1,58	7,48	4,98
09-Feb-09	0,05	< 0,010	< 0,010	0,06	0,65	0,69	8,54	14,47
16-Apr-09	0,19	< 0,010	< 0,010	0,24	1,72	1,43	6,86	3,37
08-Jun-09	0,24	< 0,010	< 0,010	0,26	2,24	1,11	6,96	3,55
07-Sep-09	0,12	< 0,010	< 0,010	0,18	2,04	1,2	7,38	2,63

⁽¹⁾ Tussen de meting van 24 juni 2008 en de meting van 11 augustus 2008 is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie Bijlage 1.

Uit Tabel B2.40 blijkt dat pH van het waswater van de biologische wassectie neutraal is (6 - 8), hetgeen erop duidt dat er geen doorslag van zuur van de eerste naar de tweede wasstap. Verder is het stikstofgehalte van het waswater laag (gemiddeld 0,4 g N/kg). De biologische wassectie speelt dan ook een beperkte rol met betrekking tot de verwijdering van stikstof uit de lucht (zie ook Tabel B2.34). Net als voor het waswater van de chemische wassectie geldt dat het stikstofgehalte van het waswater relatief laag is in vergelijking met een reguliere wasser (in dit geval een biowasser), waarin stikstofgehalten tot maximaal 3 - 4 g N/liter worden gevonden. Dit hangt er waarschijnlijk mee samen dat aan het eind van elke ronde het waswater wordt ververst (tezamen met het schoonmaakwater van de waspakketten) en dat niet gewacht wordt totdat hoge stikstofconcentraties zijn bereikt. Het gevolg is dat de hoeveelheid geproduceerd spuiwater relatief hoog is.

B2.5.5 Metingen waterverbruik, elektraverbruik, spuiwaterproductie en drukval

De metingen betreffen een luchtwasser gedimensioneerd voor een stal met 21.000 vleeskuikenplaatsen met een geïnstalleerd ventilatiedebiet van 180.000 m³/uur.

Het waterverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld 1,2 m³/dag.

Het elektraverbruik van de luchtwasser bedroeg gemiddeld over de onderzoeksperiode 54 kWh per dag, oftewel 2,2 kW; aangezien de wasser slecht ca. 2/3 van de tijd in gebruik is (zie Bijlage 1) bedroeg het verbruik gemiddeld 3,4 kW ten tijde dat de wasser was ingeschakeld.

Aan het eind van elke ronde werden de opvangbassins van de zure wasstap en de waterwasstap (elk 4,6 m³) naar een gezamenlijke opslag gepompt. Op deze wijze wordt aan spuiwater ca. 190 liter/dag geproduceerd. Vanwege technische problemen met de spuiwatermeters zijn deze waarden niet nagemeten.

De drukval over de wasser bedroeg 5 tot 98 Pa; het gemiddelde van de metingen bedroeg 29 Pa.

B2.5.6 Discussie

Voor zowel ammoniak als geur geldt dat het gemiddelde verwijderingsrendement gemiddeld ruim 50% bedroeg. De ammoniakverwijdering vond hoofdzakelijk plaats in de chemische wasstap, terwijl in het geval van gemiddeld gezien ongeveer een gelijke reductie (in procenten) in beide wasstappen werd bereikt. De gemiddelde verwijdering van fijnstof (PM10) bedroeg 71% (n=4; sd=18).

De luchtwasser slaagde er dus niet om de gewenste rendementen van 70% voor ammoniak en geur te bereiken. Wanneer het ontwerp van de wasser wordt vergeleken met andere luchtwassers valt op dat de wasser, ondanks het feit dat deze tijdens het onderzoek nog is vergroot (zie Bijlage 1), zeer klein is gedimensioneerd; de minimale luchtverblijftijd bedraagt 0,12 (voor ombouw) dan wel 0,16 seconden (na ombouw). Het is waarschijnlijk noodzakelijk om het waspakket nog verder te vergroten wanneer hogere efficiëntie worden nodig geacht.

In de praktijk blijkt het nodig te zijn om de (met stof vervuilde) luchtwasser na elke vleeskuikenronde schoon te spuiten en wordt het opvangbassin van de wasser leeggepompt tezamen met het schoonmaakwater. Door de veehouder wordt aangegeven dat dit een tijdrovende activiteit is en dat het gewenst is om deze vervuiling (deels) te voorkomen, bijvoorbeeld door voorafschieding van stof. Verder kan de hoeveelheid geproduceerd spuiwater mogelijk worden gereduceerd wanneer het als gescheiden stroom wordt behandeld en niet opgemengd wordt met schoonmaakwater. Dit zou dan ook kunnen betekenen dat waswater uit een ronde in de volgende ronde weer wordt hergebruikt totdat op grond van de oplopende de stikstofconcentratie wordt besloten om het waswater te spuien.

Tijdens de meetperiode (november 2007 - september 2009) zijn de veehouder en de leverancier van de luchtwasser er niet in geslaagd om de werking van de luchtwasser te verbeteren, dat wil zeggen om de gewenste rendementen van 70% voor zowel ammoniak, geur als fijnstof (PM10) te bereiken. Daarom is na de laatste meting door de opdrachtgever besloten om het meetprogramma niet verder voort te zetten.

B2.6 Samenvatting resultaten en discussie

In onderliggend onderzoek is gedurende een periode van circa 2 jaar de werking van een vijftal experimentele gecombineerde luchtwassers gemonitord in de praktijk. Deze gecombineerde wassers waren geplaatst op 2 pluimvee- en 3 varkensbedrijven. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten samengevat en wordt een aantal conclusies geformuleerd.

Ten eerste wordt in Tabel B2.41 is het gemeten elektraverbruik van de wassers op de verschillende pilotlocaties samengevat. Het elektraverbruik is uitgedrukt zowel op basis van de geïnstalleerde ventilatiecapaciteit, op basis van het verwachte jaargemiddelde ventilatiedebiet als op basis van het aantal dierplaatsen.

Tabel B2.41 Gemeten elektraverbruik van de experimentele gecombineerde luchtwassers, exclusief het elektraverbruik van het ventilatiesysteem (n.b. = niet bepaald).

Pilot	Diersoort	Korte omschrijving water	Gemiddelde elektraverbruik (kW per 100.000 m ³ /uur geïnstalleerde ventilatiecapaciteit) ⁽¹⁾	Gemiddelde elektraverbruik (kW per 100.000 m ³ /uur jaargemiddeld debiet) ⁽²⁾	Gemiddelde elektraverbruik (kW per 1.000 dierplaatsen)
1	Vleeskuikens	Biowasser + denitrificatie ⁽⁴⁾	4,1	8,6 ⁽³⁾	0,10
2	Kraam-zeugen en biggen	Chemische water + biowasser	n.b.	n.b.	n.b.
3	Guste en dragende zeugen	Zure water + biowasser	2,8	7,3	4,2
4	Vleesvarkens	Biowasser + denitrificatie	2,0	4,0	1,2
5	Vleeskuikens	Zure water + biowasser	1,2	4,4	0,11

⁽¹⁾ Berekend als het gemiddelde elektraverbruik (kW) gedeeld door de geïnstalleerde ventilatiecapaciteit (m³/uur)

⁽²⁾ Berekend als het gemiddelde elektraverbruik (kW) gedeeld door het jaargemiddelde ventilatiedebiet (m³/uur) volgens de gebruikershandleiding V-Stacks vergunning, waarbij rekening wordt gehouden met onder andere de groeifasen en seizoensinvloeden (VROM, 2010)

⁽³⁾ In verband met de aanwezige koeling van de ingaande lucht wordt in dit geval voor de berekening van het gemiddelde debiet een waarde van 50% aangehouden van de waarde uit de gebruikershandleiding V-stacks vergunning

⁽⁴⁾ De ingaande lucht van de stal gaat door een warmtewisselaar waarin de lucht wordt geconditioneerd met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar

De waarden die in Tabel B2.41 worden gepresenteerd hangen af van de diersoort (met het bijbehorende ventilatieverloop gedurende het jaar en een eventuele groeicurve), de wijze waarop de water wordt gebruikt (management), het ontwerp van het ventilatiesysteem en het ontwerp van de water. Hierdoor is het moeilijk om het energieverbruik van verschillende wassers met elkaar te vergelijken.

Wanneer bijvoorbeeld het energieverbruik van pilot 1 en 5 met elkaar worden vergeleken op basis van het ventilatiedebiet, lijkt het energieverbruik van pilot 1 veel hoger te zijn. Vanwege het koelsysteem dat aanwezig is in pilot 1 is en het als gevolg hiervan lagere ventilatiedebiet is het energieverbruik uitgedrukt per dier daarentegen gelijk. Wanneer het energieverbruik per dier echter zou uitgedrukt worden op basis van de draaiuren, zou het energieverbruik van pilot 5 weer hoger uitvallen aangezien deze water slechts 2/3 van de tijd in bedrijf is (zie Bijlage 1). Daarnaast moet bedacht worden dat een zinvolle vergelijking van het energiegebruik alleen mogelijk is wanneer de wassers stabiel en overwegend storingsvrij in bedrijf zijn en een gelijkwaardig rendement realiseren; een water kan wellicht een laag energiegebruik hebben maar als gevolg van een te kleine dimensionering een onvoldoende hoog rendement bereiken. Er dient dan ook de nodige voorzichtigheid te worden betracht bij het vergelijken van het energieverbruik van luchtwassers.

Ook voor de spuiwatersamenstelling en spuiwaterhoeveelheid geldt dat een zinvolle vergelijking alleen mogelijk is wanneer de wassers stabiel en overwegend storingsvrij in bedrijf zijn en het beoogde rendement realiseren. Aangezien dit niet het geval bleek te zijn tijdens dit onderzoek wordt deze vergelijking niet nader uitgewerkt.

Vervolgens worden in Tabel B2.42 de gemiddelde rendementen voor de verwijdering van ammoniak, geur en fijnstof weergegeven zoals deze zijn gemeten voor de gecombineerde luchtwassers op de verschillende meetlocaties. Tabel B2.42 is hiermee een samenvatting van de tabellen die in het voorgaand hoofdstuk zijn gepresenteerd. Tevens wordt in Tabel B2.42 een korte karakterisering van de luchtwasser gegeven en wordt aangegeven wat de minimale en gemiddelde verblijftijd van de lucht is die door de wassers wordt geleid.

Tabel B2.42 Samenvatting van de gemiddelde verwijdering van ammoniak, geur en fijnstof door de experimentele gecombineerde luchtwassers (n.b. = niet bepaald).

Pilot	Korte omschrijving wasser	Minimale ⁽¹⁾ en gem. ⁽²⁾ luchtverblijf tijd (s)	Diersoort	Rendement NH ₃ (%)	Rendement geur (%)	Rendement PM10 (%)	Rendement PM2.5 (%)
1	Biowasser + denitrificatie ⁽³⁾	0,43; 1,9	Vleeskuikens	46 (n=8; sd=30)	27 (n=7; sd=37)	34 (n=7; sd=7,3)	41 (n=1)
2	Chemische wasser + biowasser	0,29; n.b. (voor ombouw); 0,52; n.b. (na ombouw) ⁽⁴⁾	Kraam-zeugen en biggen	87 (n=2; sd=4,2)	-3 (n=2; sd=69)	50 (n=1)	n.b.
3	Zure wasser + biowasser	0,43; 0,69	Guste en dragende zeugen	84 (n=9; sd=25)	26 (n=10; sd=45)	45 (n=6; sd=7,8)	44 (n=1)
4	Biowasser + denitrificatie	4,8; 8,7 ⁽⁵⁾	Vleesvarkens	85 (n=9; sd=13)	36 (n=9; sd=23)	70 (n=7; sd=9,8)	n.b.
5	Zure wasser + biowasser	0,12; n.b. (voor ombouw); 0,16; 0,42 (na ombouw) ⁽⁶⁾	Vleeskuikens	53 (n=9; sd=18)	54 (n=10; sd=22)	71 (n=4; sd=18)	22 (n=4; sd=19)

⁽¹⁾ Engels: Empty Bed Residence Time (EBRT). De minimale luchtverblijftijd wordt berekend als het pakketvolume (m³) gedeeld door de ventilatiecapaciteit van de stal (m³/s). Deze parameter bepaalt de grootte van de wasser en is daarmee van grote invloed op de prestaties en de kosten van de betreffende luchtwasser.

⁽²⁾ De gemiddelde luchtverblijftijd wordt berekend als het pakketvolume (m³) gedeeld door het gemiddelde ventilatiedebiet tijdens de metingen (m³/s).

⁽³⁾ De ingaande lucht van de stal gaat door een warmtewisselaar waarin de lucht wordt geconditioneerd met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar.

⁽⁴⁾ Tussen de eerste en de tweede meting is het ontwerp van de wasser aangepast.

⁽⁵⁾ Het gaat hierbij om een tegenstroomwasser waarbij zich zowel boven als onder het pakkingsmateriaal een aanzienlijke vochtige ruimte bevindt; deze is meegenomen bij het berekenen van de luchtverblijftijd (zie verder Bijlage 1).

⁽⁶⁾ Halverwege het meetprogramma is het volume van de tweede wasstap vergroot, zie verder Bijlage 1.

Uit Tabel B2.42 volgt dat, zowel voor de verwijdering van ammoniak als voor geur en fijnstof, de gemiddelde rendementen van wasser tot wasser sterk verschillen. Daarnaast is er sprake van een sterke variatie tussen verschillende metingen aan één wasser. Geconcludeerd kan worden dat geen van de in het onderzoek opgenomen gecombineerde luchtwassers voldoet aan de eerder geformuleerde eis dat voor zowel ammoniak, geur als fijnstof een gemiddeld rendement van 70% dient gerealiseerd te worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de meeste wasser regelmatig storingen en operationele problemen vertoonden. Ook al kan een deel van de lage rendementen hierdoor verklaard worden (in het bijzonder geldt dit voor ammoniak), er zijn geen aanwijzingen dat de rendementen voor geur en fijnstof hierdoor sterk zijn beïnvloed.

De conclusie dient dan ook getrokken te worden dat het ontwerp van de experimentele gecombineerde luchtwassers die in dit onderzoek zijn gevolgd niet voldoet en verbeterd dient te worden. De verwijdering van ammoniak verloopt in het algemeen vrij goed maar er is weinig bekend over de manier waarop de verwijdering van in het bijzonder geur en fijnstof kan worden verbeterd. Nader onderzoek naar de principes voor de verwijdering van geur en fijnstof in relatie tot wasserontwerp en relevante procesparameters wordt daarom zinvol geacht.



Wageningen UR Livestock Research

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

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