

# Voorkomen van verspreiding van ziektekiemen en milieu-emissies via luchtreiniging

André J.A. Aarnink<sup>1</sup>

Wil J.M. Landman<sup>2</sup>

Roland W. Melse<sup>1</sup>

Peter de Gijssel<sup>1</sup>

Ann H.T. Thuy<sup>1</sup>

Teun Fabri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wageningen-UR, Agrotechnology and Food Innovations (A&F)

<sup>2</sup> Gezondheidsdienst voor Dieren (GD)

Rapport nr. 059

# Colophon

Title	Voorkomen van verspreiding van ziektekiemen en milieu-emissies via luchtreiniging
Author(s)	A.J.A. Aarnink, W.J.M. Landman, R.W. Melse, P. de Gijzel, H.T.T. Thuy, T. Fabri
A&F number	Report nr. 059
ISBN-number	90-6754-745-X
Date of publication	February 2004
Confidentiality	N/A
Project code.	650.53619
Price	For free

Agrotechnology and Food Innovations B.V.  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 317 475 024  
E-mail: [info.agrotechnologyandfood@wur.nl](mailto:info.agrotechnologyandfood@wur.nl)  
Internet: [www.agrotechnologyandfood.wur.nl](http://www.agrotechnologyandfood.wur.nl)

© 2004 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.  
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.  
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

## Abstract

Recent outbreaks of highly infectious viral diseases like swine fever and avian influenza have shown that despite extensive bio security measures aiming at minimising contacts between farms, disease spread could not be halted. Dust in exhaust air from swine and chicken houses could provide a favourable environment in which these viruses and other pathogenic microorganisms can survive and be transported over long distances to other farms.

The main objective of air cleaning systems developed so far was to reduce the emission of environmental pollutants. The objectives of the present study was to determine whether commercial air cleaning systems and an experimental air-cleaning device could achieve both, reduction of emissions of mentioned pollutants and stop the spreading of infectious agents.

Two commercially available air-scrubbing systems, biotrickling filter and acid scrubber, were studied with respect to bacterial cleaning. In an experimental set-up different disinfectants (hydrogen peroxide, ozone and per-acetic acid) were studied in an air scrubber with respect to environmental emissions (ammonia, odour, greenhouse gases, dust) and bacterial and virus cleaning.

In the biotrickling filter the bacterial count of the air increased during its passage through the filter by 165% (s.e.m. 202%). The acid scrubber reduced the bacteria emission by 64% (s.e.m. 5%). In the experimental cleaning system with different disinfectants per-acetic acid gave the best results. It reduced bacteria and virus emissions by 100% and ammonia emission by 96%. Odour emission and emission of greenhouse gases were not significantly affected by per-acetic acid. All the disinfectants gave similar dust reductions, varying from 44 to 97%.

From this study it is concluded that the use of per-acetic acid in air cleaning systems can be very effective in preventing the spreading of pathogens to the environment.

**Keywords: air cleaning, infectious diseases, disinfectant, environmental emissions**

**Dit rapport is mogelijk gemaakt door:**

- De financiers van dit project: Provincie Gelderland en Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

**Het project is geleid door de Projectgroep en bestond uit de volgende leden:**

- ing. A.A.L.M. Spekschoor (projectleider, GLTO), ing. J. Baan (ABCTA), Ing. G.M. Kiljan (Provincie Gelderland), dr. T. Fabri en dr. A.L.J. Gielkens (Gezondheidsdienst voor Dieren), Dr. Ir. A.J.A. Aarnink (Agrotechnology and Food Innovations)

**Het project werd begeleid door de Ontwerpgroep luchtbehandeling en bestond uit de volgende leden:**

- Leden van de ontwerpgroep Luchtbehandeling: ir. H. Haaring (Dorset b.v.), ing. H. Radstaak (ABCTA), Drs. C. Timmermans (AM Int. Tesla AG), A. Vreeman en J. Oude Groen (JohnsonDiversey), Dr. W.J.M. Landman (Gezondheidsdienst voor Dieren), ir. A.V. van Wagenberg (ASG-Lelystad), ir. R.W. Melse en Dr. Ir. A.J.A. Aarnink (Agrotechnology and Food Innovations)

# Inhoud

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2. Overzicht luchtreinigingstechnieken</b>	<b>8</b>
2.1 Desinfectie van stallucht	8
2.2 Luchtwastechnieken	12
2.2.1 Algemeen werkingsprincipe	12
2.2.2 Biowasser	12
2.2.3 Chemische wasser	14
2.2.4 Wasser met alleen water	15
2.3 Biofiltratie	16
2.4 Chemische oxidatie	17
2.4.1 Inleiding	17
2.4.2 Chloriden	17
2.4.3 Ozon	18
2.4.4 Waterstofperoxide	20
2.4.5 Per-azijnzuur	21
2.4.6 Peroxone	22
2.4.7 Invloed van stof op verbruik van oxidatiemiddel	23
2.5 Filtratie	23
2.6 Korte golf straling (UV <sub>C</sub> )	24
2.7 Katalytische oxidatie	25
2.8 Fotokatalyse	26
2.9 Vergelijking systemen	26
<b>3. Materiaal en methode metingen praktijkwassers</b>	<b>29</b>
3.1 Biologische luchtwasser	29
3.2 Chemische luchtwasser	29
3.3 Methode metingen aan luchtwassers in de praktijk	30
<b>4. Resultaten metingen praktijkwassers</b>	<b>32</b>
<b>5. Materiaal en methode metingen experimentele wassers</b>	<b>34</b>
5.1 Beschrijving onderzoeksstal	35
5.2 Beschrijving experimentele luchtwasser	35
5.3 Methoden en metingen	37
5.4 Dataverwerking	43
<b>6. Resultaten metingen experimentele wassers</b>	<b>44</b>
6.1 Kiemen en virussen	44
6.2 Ammoniak	44
6.3 Geur	44

6.4	Broeikasgassen	45
6.5	Stof	45
<b>7.</b>	<b>Discussie</b>	<b>49</b>
7.1	Kiemen	49
7.1.1	Metingen praktijkwassers	49
7.1.2	Metingen experimentele wassers	49
7.2	Ammoniak	51
7.3	Geur	51
7.4	Broeikasgassen	52
7.5	Stof	52
7.6	Economische evaluatie	53
7.7	Toepassing in de praktijk	55
7.8	Vervolgonderzoek	56
<b>8.</b>	<b>Conclusies</b>	<b>57</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>58</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>60</b>
	<b>Bijlage I Formules voor berekening van de concentraties</b>	<b>62</b>

# 1. Inleiding

De uitbraken van varkenspest, mond- en klauwzeer en de vogelpest hebben laten zien dat de verspreiding van deze zeer besmettelijke ziekten moeilijk is te stoppen. Dit wordt veroorzaakt door de structuur van de Nederlandse veehouderij met veel transporten en contacten, maar ook door de structuur van de bedrijven zelf. Vaak is er geen strikte scheiding tussen het woongedeelte en het bedrijf. Daarnaast is de uitstoot van stallucht waarschijnlijk een belangrijke besmettingsroute waardoor de ziekte zich als een olievlek uit kan breiden. Ziektekiemen kunnen zich, al dan niet ingekapseld in stofdeeltjes, van bedrijf tot bedrijf verspreiden via de uitgestoten ventilatielucht. Vooral als bedrijven met veel dieren dicht bij elkaar staan, kunnen bepaalde ziektekiemen zich gemakkelijk via de lucht verspreiden en in korte tijd veel dieren besmetten.

Veehouderijbedrijven stoten op dit moment nog teveel milieubelastende stoffen uit. De doelstelling binnen het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4, 2001) is om in 2030 de emissies van ammoniak en fijn stof met respectievelijk 75-85% en 85-95% te verminderen ten opzichte van 1990. De lange termijn doelstelling voor broeikasgassen, waaronder methaan, is een reductie te bereiken van 70% ten opzichte van 1990. De stankemissie moet dusdanig worden gereduceerd dat mensen op het platteland geen ernstige geurhinder meer ondervinden.

In deze studie is onderzocht wat de technische mogelijkheden zijn om de verspreiding van ziektekiemen via de uitgestoten stallucht te beperken of te voorkomen. We richten ons in dit onderzoek op de uitgaande lucht, aangezien dit mogelijkheden biedt om dit probleem te koppelen met het emissieprobleem. Technieken die zowel de verspreiding van ziektekiemen tegengaan als een sterke reductie van de uitstoot van milieubelastende stoffen geven zullen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan een duurzame intensieve veehouderij.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de achtergronden van desinfectie en reiniging van lucht en op de mogelijke technieken voor integrale behandeling van de uitgaande stallucht. Aangegeven wordt wat het (verwachte) effect is op de uitstoot van ziektekiemen (bij een besmetting) en het effect op de emissie van milieubelastende stoffen. De verschillende opties worden vergeleken en de meest perspectiefvolle opties worden aangegeven.

Hoofdstuk 2 diende als basis voor het selecteren van technieken voor het experimentele onderzoek. Het onderzoek dat gedaan is op praktijkbedrijven wordt beschreven in hoofdstukken 3 en 4. Het onderzoek dat gedaan is in een experimentele opstelling wordt beschreven in de hoofdstukken 5 en 6. De resultaten van het onderzoek worden bediscussieerd in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 tenslotte worden de belangrijkste conclusies van dit rapport vermeld.

## 2. Overzicht luchtreinigingstechnieken

In paragraaf 2.1 wordt ingegaan op de verschillende mogelijke principes van desinfectie van stallucht. De verschillende mechanismen van desinfectie worden aangegeven en de factoren die hierbij van belang zijn. In paragrafen 2.2 tot en met 2.8 worden de verschillende mogelijke technieken voor integrale behandeling van de uitgaande stallucht in het kort beschreven. Aangegeven wordt wat het (verwachte) effect is op de uitstoot van ziektekiemen (bij een besmetting) en het effect op de emissie van milieubelastende stoffen. In paragraaf 2.9 worden de verschillende opties met elkaar vergeleken en worden de meest perspectiefvolle opties aangegeven.

### 2.1 Desinfectie van stallucht

Voor deze paragraaf is in belangrijke mate gebruik gemaakt van de volgende bron:

- Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering; Treatment and reuse Fourth Edition. Published by McGraw-Hill, New York.

Desinfectie is het gedeeltelijk vernietigen van ziekte-verwekkende organismen. Bij sterilisatie worden alle micro-organismen vernietigd. In ons onderzoek is gekozen voor desinfectie, omdat een goede desinfectie voldoende geacht wordt.

Desinfectie wordt vooral bereikt door gebruik van:

1. chemische middelen
2. fysische middelen
3. straling
4. combinatie van voorgaande technieken

#### Ad 1. Chemische middelen

De meest gebruikte chemische middelen zijn de oxiderende middelen. Van de oxiderende middelen wordt wereldwijd chloride het meest toegepast. Ozon is ook een zeer effectief desinfectans. Sterke zure of basische oplossingen kunnen ook gebruikt worden voor desinfectie. Water met een pH kleiner dan 3 of groter dan 11 zijn relatief toxisch voor de meeste bacteriën.

#### Ad 2. Fysische middelen

Fysische desinfectans die gebruikt kunnen worden zijn: warmte, licht en geluidsgolven. Verwarmen van water tot kookpunt zal vrijwel alle ziekteverwekkende, niet-sporenvormende bacteriën vernietigen. Voor desinfectie van grote hoeveelheden lucht of water is dit echter niet geschikt vanwege het hoge energiegebruik.

Zonlicht is ook een goed desinfectans, vooral door de UV-straling. De effectiviteit van UV is vooral afhankelijk van bevuilding van lucht of water met andere (organische) stoffen.



### Ad 3. Straling

Mogelijkheden zijn: elektromagnetische straling, akoestische straling en straling met deeltjes. Gamma-straling is o.a. gebruikt voor desinfectie van water en afvalwater.

In Tabel 2.1 worden de belangrijkste karakteristieken gegeven van een aantal desinfecterende middelen.

### Ad 4. Combinatie van technieken

Voorgaande technieken kunnen ook gecombineerd worden toegepast om de efficiëntie te verhogen. Voorbeelden van gecombineerde technieken zijn:

- Katalytische oxidatie. Organische stoffen worden hierbij geoxideerd onder invloed van hoge temperaturen en de aanwezigheid van een katalysator.
- Fotokatalyse. Bij fotokatalyse wordt organische stof afgebroken onder invloed van een lichtbron (b.v. UV<sub>A</sub>-straling) en de aanwezigheid van een katalysator (b.v. TiO<sub>2</sub>).

Desinfectans hebben de volgende werkingsprincipes:

- beschadiging van de celwand
- verandering van de celpermeabiliteit
- verandering van de colloïdale structuur van het protoplasma
- verandering van DNA of RNA
- remming van de enzymactiviteit

Beschadiging of vernietiging van de celwand resulteert in een vernietiging van de cel. Sommige stoffen, zoals penicilline, remmen de vorming van de celwand. Andere desinfectans, zoals fenolen, veranderen de permeabiliteit van de membraan, waardoor vitale componenten, zoals N en P, kunnen ontsnappen. Hitte, straling en zure of alkalische oplossingen veranderen de colloïdale structuur van het protoplasma. Hitte stolt het eiwit en zuren en basen denatureren het eiwit. UV straling kan de vorming van dubbele bindingen veroorzaken, waardoor o.a. het DNA wordt beschadigd. Een andere principe van desinfectie is de remming van de enzymactiviteit. Oxiderende middelen, zoals chloride, kunnen de chemische structuur van enzymen veranderen en op deze manier deze enzymen deactiveren. In Tabel 2.2 staan de mechanismen van desinfectie samengevat voor Chloride, ozon en UV-straling.

Tabel 2.2 Mechanisme van desinfectie voor chloride, ozon en UV-straling (Metcalf en Eddy, 2003).

Chloride	Ozon	UV-straling
1. Oxidatie	1. Directe oxidatie / beschadiging van de celwand	1. Beschadiging van DNA en RNA door vorming van dubbele verbindingen
2. Reactie met beschikbaar chloride	2. Reactie met zuurstof radicalen, gevormd uit ozon	2. De nucleïnezuren zijn de belangrijkste verbindingen die straling in de range van 240-280 nm absorberen.
3. Samenklontering van eiwitten	3. Beschadigen onderdelen van de nucleïnezuren (purine en pyrimidine)	3. DNA en RNA bevatten de genetische informatie voor celvermeerdering. Beschadiging kan dit voorkomen.
4. Veranderen van de celwand permeabiliteit	4. Breken van koolstof-stikstof verbindingen. Dit leidt tot depolymerisatie.	
5. Hydrolyse en mechanische beschadiging		

Bij toepassing van desinfectans moeten de volgende zaken worden overwogen:

1. contacttijd
2. concentratie van de desinfectans
3. intensiteit en manier van gebruik van fysische middelen
4. temperatuur
5. type organisme dat bestreden moet worden
6. het karakter van de te behandelen vloeistof of lucht

De aanwezigheid van organische stof in de te behandelen vloeistof of de lucht zal de effectiviteit van het desinfectans verminderen, enerzijds door absorptie en anderzijds doordat deze stoffen een schild kunnen vormen voor de bacteriën.

In Tabel 2.3 wordt een overzicht gegeven van het desinfecterend vermogen van verschillende behandelingen in afvalwater. In deze tabel is vooral het relatieve effect t.o.v. elkaar belangrijk. De absolute waarde is sterk afhankelijk van de omstandigheden waaronder de behandelingen worden toegepast.

Tabel 2.3 Geschatte waarden van  $C_R t$  (=concentratie of vermogen, in geval van UV, maal de contacttijd) voor verschillende niveaus van inactiveren van micro-organismen bij de verschillende behandelingen voor desinfectie van afvalwater (Metcalf en Eddy, 2003)

Desinfectans	Eenheid	Inactivering micro-organismen			
		90%	99%	99,9%	99,99%
<b>Bacteriën</b>					
Chloride	mg.min/L	0.1-0.2	0.4-0.8	1.5-3	10-12
Ozon	mg.min/L		3-4		
UV straling	mJ/cm <sup>2</sup>		30-60	60-80	80-100
<b>Virussen</b>					
Chloride	mg.min/L		2.5-3.5	4-5	6-7
Ozon	mg.min/L		0.3-0.5	0.5-0.9	0.6-1.0
UV straling	mJ/cm <sup>2</sup>		20-30	50-60	70-90
<b>Cysten van protozoën</b>					
Chloride	mg.min/L	20-30	35-45	70-80	
Ozon	mg.min/L	0.2-0.4	0.5-0.9	0.7-1.4	
UV straling	mJ/cm <sup>2</sup>	5-10	10-15	15-25	

Uit deze paragraaf kan geconcludeerd worden dat er verschillende mogelijkheden zijn van desinfectie. Sterk oxiderende middelen, zoals chloriden en ozon, en UV-straling worden veel gebruikt voor desinfectie van afvalwater. De werkingsmechanismen van de verschillende behandelingen zullen voor lucht echter niet anders zijn. De benodigde concentraties en de minimale contacttijd zullen waarschijnlijk echter niet één op één geëxtrapoleerd kunnen worden van vloeistofbehandeling naar behandeling van lucht.

## 2.2 Luchtwastechnieken

### 2.2.1 Algemeen werkingsprincipe

Een luchtwasser bestaat uit een reactor die gevuld is met een pakkingsmateriaal. Het pakkingsmateriaal heeft een hoge porositeit en een hoog specifiek oppervlak. Door dit zogenaamde filterbed of gepakt bed wordt in het algemeen van onder naar boven ('tegenstroomprincipe') lucht gepompt. Tegelijkertijd wordt periodiek of continu een waterige oplossing over het filterbed gesproeid (wasvloeistof), waardoor een intensief contact tussen lucht- en waterfase wordt verkregen. De wasvloeistof wordt in het algemeen gerecirculeerd om het watergebruik en/of chemicaliëngebruik te verminderen.

Als gevolg van het contact tussen luchtstroom en wasvloeistof, gaan goed oplosbare componenten uit de lucht in oplossing in de vloeistof en worden vaste delen (stofdeeltjes) uit de luchtstroom gewassen. In de vloeistof wordt de component gebonden of (bio)chemisch omgezet naar andere verbindingen. Om accumulatie van de component en van zijn eventuele afbraakproducten te voorkomen moeten deze uit het systeem worden afgevoerd. Deze afvoer kan plaatsvinden als gasvormige verbindingen in de uitgaande luchtstroom of als opgeloste verbinding die het systeem verlaat door het spuien van een deel van de wasvloeistof. Na het spuien van de wasvloeistof dient deze aangevuld te worden. In een wasser wordt in het algemeen gebruik gemaakt van een kunststof dragermateriaal om inklinking van het pakkingsmateriaal te voorkomen en een goede waterafvoer te garanderen (Melse en Willers, 2004).

### 2.2.2 Biowasser

Het principe van de biowasser, of het biotricklingfilter, is gebaseerd op de aanwezigheid van micro-organismen in het systeem die in staat zijn een aantal componenten af te breken. Ammoniak kan zo worden omgezet naar nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ) en nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ), al dan niet gevolgd door omzetting tot stikstofgas ( $\text{N}_2$ ). Een aantal geurverbindingen zal worden afgebroken tot waterm,  $\text{CO}_2$  en sulfaat.

Op het pakkingsmateriaal van de biowasser groeit een biofilm (bacteriën) die bevochtigd wordt door de wasvloeistof; in de wasvloeistof zelf is eveneens bacteriemateriaal gesuspendeerd. De goed oplosbare componenten die zich in de luchtstroom bevinden lossen op in de vochtige biofilm en zijn zo beschikbaar voor biologische afbraak. De pH in het systeem is 6 tot 8. De biologische wasser is commercieel beschikbaar en wordt geleverd door diverse leveranciers. In Tabel 2.4 is een overzicht gegeven van de kenmerken van een biowasser (Melse en Willers, 2004).

Tabel 2.4 Eigenschappen van een biologische wasser voor de behandeling van stallucht <sup>(1)</sup> (Melse en Willers, 2004)

Eigenschap	Waarde
Ammoniakreductie (gemiddeld)	70% <sup>(2)</sup>
Geurreductie (gemiddeld)	ca. 40 - 50% <sup>(3)</sup>
Broeikasgassen:	
Directe emissie van N <sub>2</sub> O en CH <sub>4</sub>	waarschijnlijk toename
Indirecte emissie (kg CO <sub>2</sub> -eq./kg NH <sub>3</sub> verwijdering) <sup>(4)</sup>	16
Stofreductie	waarschijnlijk afname
Emissie ziektekiemen	waarschijnlijk afname
Productie spuiwater	300 - 1250 liter/kg NH <sub>3</sub> verwijdering
Waterverbruik	500 - 1500 liter/kg NH <sub>3</sub> verwijdering
Chemicaliëngebruik	n.v.t.
Elektriciteitsverbruik	0,057 kWh per 1000 m <sup>3</sup> /uur
Robuustheid proces en betrouwbaarheid	+ / -
Verstoppingsgevaar	--

<sup>(1)</sup> De achterliggende berekeningen zijn gebaseerd op de ammoniakemissie, het ventilatiedebiet en de mestproductie zoals die gelden voor vleesvarkens. Voor andere diersoorten kunnen de getallen enigszins afwijken. Er is uitgegaan van een wasser zonder denitrificatie.

<sup>(2)</sup> In de Richtlijn Ammoniak en Veehouderij (VROM, 2001) is voor de verschillende diercategorieën opgenomen wat de maximale ammoniakemissie van een biologische wasser is.

<sup>(3)</sup> Er is sprake van een grote spreiding. Mogelijk vindt als gevolg van stofverwijdering een nog verdere reductie van de geuremissie plaats, die desondanks niet blijkt uit het gemeten geurrendement. Stof is mogelijk een belangrijke drager van geurcomponenten. Bij het nemen van geurmonsters dient het stof echter uit het luchtmonster gefilterd te worden, omdat stof de olfactometrische bepaling van de geurconcentratie verhindert.

<sup>(4)</sup> Als gevolg van het gebruik van elektriciteit wordt een indirecte emissie van 0,67 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh aan het systeem toegerekend.

Een groot deel van het stof dat zich in de ventilatielucht bevindt zal waarschijnlijk uit de lucht verwijderd worden. Het zal zich ophopen als zwevende stof in het waswater en deels bezinken in het waswaterbassin. Aangezien het waarschijnlijk is dat tenminste een deel van de ziektekiemen gebonden is aan stofdeeltjes, betekent het afvangen van stof mogelijk ook een reductie van de emissie van ziektekiemen. Mogelijk worden ziektekiemen ook (deels) afgedood in het waswater als gevolg van de competitie met de grote hoeveelheid biomassa die zich in het waswater bevindt.

Eventueel zou aan het waswater ook een virusdodend middel (viricide) toegevoegd kunnen worden. Een dergelijk middel dient echter niet vluchtig te zijn vanwege het intense contact tussen lucht en water in de wasser en bovendien dient het geen negatieve invloed te hebben op het functioneren van de bacteriën in het systeem. Tenslotte dient het niet te snel door de aanwezige bacteriën afgebroken te worden.

Voor een nieuwbouwstal bedragen de extra investeringskosten voor een biologische wasser € 45 - 59 per vleesvarkensplaats (excl. BTW); de exploitatiekosten komen uit op € 15 - € 45 per vleesvarkensplaats/jaar (excl. BTW) (Melse en Willers, 2004). Uitgaand van een gemiddeld

ventilatie-debiet van 35 m<sup>3</sup>/vleesvarken/uur bedragen de investeringskosten dus € 1,3 - 1,7 per m<sup>3</sup> lucht/uur en bedragen de exploitatiekosten € 0,05 - 0,15 per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht.

Overigens worden voor toepassing van biotricklingsystemen buiten de landbouw veel hogere investerings- en exploitatiekosten aangenomen, ongeveer een factor 10 hoger (Bemmel en Werf, 2002).

### 2.2.3 Chemische wasser

Het principe van een chemische wasser is dat ammoniak uit de lucht wordt gewassen met behulp van zuur. In de praktijk wordt als zuur veelal zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) gebruikt. De zuurdosering wordt gestuurd met behulp een pH-meting van het recirculatiewater. De frequentie waarmee water gespuid wordt, wordt geregeld op grond van een meting van de geleidbaarheid van de wasvloeistof welke een maat is voor de hoeveelheid ammoniakzout die gevormd is.

Tabel 2.5 Eigenschappen chemische wasser voor de behandeling van stallucht <sup>(1)</sup> (Melse en Willers, 2004)

Eigenschap	Waarde
Ammoniakreductie (gemiddeld)	95% <sup>(2)</sup>
Geurreductie (gemiddeld)	ca. 30% <sup>(3)</sup>
Broeikasgassen:	
Directe emissie van N <sub>2</sub> O en CH <sub>4</sub>	waarschijnlijk neutraal
Indirecte emissie (kg CO <sub>2</sub> -eq./kg NH <sub>3</sub> verwijdering)	12
<sup>(4)</sup>	
Stofreductie	waarschijnlijk afname
Emissie ziektekiemen	waarschijnlijk afname
Productie spuiwater	30 liter/kg NH <sub>3</sub> verwijdering
WATERVERBRUIK	200 liter/kg NH <sub>3</sub> verwijdering
Chemicaliëngebruik	2,9 kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> of 1,5 liter H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (98%) per kg NH <sub>3</sub> verwijdering
Elektriciteitsverbruik	0,057 kWh per 1000 m <sup>3</sup> /uur
Robuustheid proces / betrouwbaarheid	++
Verstoppingsgevaar	-

<sup>(1)</sup> De achterliggende berekeningen zijn gebaseerd op de ammoniakemissie, ventilatie-debiet en mestproductie zoals die het geval zijn voor vleesvarkens. Voor andere diersoorten kunnen de getallen enigszins afwijken.

<sup>(2)</sup> In de Richtlijn Ammoniak en Veehouderij (VROM, 2001) is voor de verschillende diercategorieën opgenomen wat de maximale ammoniakemissie van een chemische wasser is. De wasser kan ook ingeregeld worden op een lagere ammoniakreductie dan 95%.

<sup>(3)</sup> Er is sprake van een grote spreiding. Mogelijk vindt als gevolg van stofverwijdering een nog verdere reductie van de geuremissie plaats, die desondanks niet blijkt uit het gemeten geurrendement. Stof is mogelijk een belangrijke drager van geurcomponenten. Bij het nemen van geurmonsters dient het stof echter uit het luchtmonster gefilterd te worden, omdat stof de olfactometrische bepaling van de geurconcentratie verhindert.

<sup>(4)</sup> Als gevolg van het gebruik van elektriciteit wordt een indirecte emissie van 0,67 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh aan het systeem toegerekend.

De chemische wasser is commercieel beschikbaar en wordt geleverd door diverse leveranciers. In Tabel 2.5 een overzicht gegeven van de kenmerken van een chemische wasser.

Evenals de biowasser zal de chemische wasser waarschijnlijk een groot deel van het stof dat zich in de ventilatielucht bevindt verwijderen. Het zal zich ophopen als zwevende stof in het waswater en deels bezinken in het waswaterbassin. Ook de ziektekiemen die gebonden zijn aan stofdeeltjes zullen worden weggevangen. Dit betekent dat het afvangen van stof mogelijk ook een reductie van de emissie van ziektekiemen geeft. Bovendien zullen de ziektekiemen, naast dat ze uit de lucht worden gewassen, (deels) geïnactiveerd worden als gevolg van de lage pH van het waswater. Indien gewenst kan de afdodende werking van het zuur versterkt worden door de pH in het systeem verder te verlagen door het verhogen van de zuurdosering. Eventueel kan aan het waswater ook een bacteriedodend (bactericide) of virusdodend middel (viricide) toegevoegd worden. Een dergelijk middel dient echter niet vluchtig te zijn vanwege het intense contact tussen lucht en water in de wasser en bovendien werkzaam te zijn bij de heersende pH in het systeem.

Voor een nieuwbouwstal bedragen de extra investeringskosten voor een chemische wasser circa € 42 per vleesvarkensplaats (excl. BTW); de exploitatiekosten komen uit op € 16 per vleesvarkensplaats/jaar (excl. BTW) (Melse en Willers, 2004). Uitgaand van een gemiddeld ventilatiedebiet van 35 m<sup>3</sup>/vleesvarken/uur bedragen de investeringskosten dus € 1,2 per m<sup>3</sup> lucht/uur en bedragen de exploitatiekosten € 0,05 per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht.

## 2.2.4 Wasser met alleen water

Een deel van de werkzaamheid van de biologische en chemische wasser is gebaseerd op het feit dat de lucht intensief in contact wordt gebracht met een waterige oplossing. De bacteriën in de biowasser en de chemicaliën in een chemische wasser zorgen voor afbraak of binding van de milieuverontreinigende componenten, zodat het waswater voor een belangrijk deel kan worden gerecirculeerd. De verwachting is dat het afvangen van stof even goed zal verlopen in een wasser waarin zich alleen water bevindt en die niet geënt wordt met bacteriën of waarbij geen zuur wordt gedoseerd. Aan het waswater kan indien gewenst een bacteriedodend (bactericide) of virusdodend middel (viricide) toegevoegd worden.

Met betrekking tot de verwijdering van ammoniak wordt aangenomen dat deze laag zal zijn, aangezien de hoeveelheid ammoniak die door het water vastgehouden kan worden beperkt is wanneer geen zuur wordt toegevoegd. Enige verwijdering van geur zal mogelijk plaatsvinden wanneer de geurverbindingen goed oplossen in het water. Wanneer het waswater wordt gerecirculeerd zal het na enige verzadigd raken met geurstoffen en ammoniak zodat de uiteindelijke verwijdering van ammoniak en geur voornamelijk af zal hangen van de hoeveelheid water die periodiek of continu gespuid wordt.

## 2.3 Biofiltratie<sup>1</sup>

In tegenstelling tot de biowasser, bestaat het pakkingsmateriaal van het biofilter voor het grootste gedeelte uit materiaal van organische oorsprong (bijv. compost, houtsnippers, boomschors, turf, kokosvezels) dat een zeer groot specifiek oppervlak heeft. In het verleden is onderzoek uitgevoerd naar toepassing van het biofilter voor de reiniging van stallucht (Eggels en Scholtens, 1989; Asseldonk en Voermans, 1989; Sande-Schellekens en Backus, 1993b; Demmers en Uenk, 1996). Uit het onderzoek bleek dat het erg moeilijk is om de vochtigheid in het biobed voldoende hoog te houden en een gelijkmatige verdeling van het vocht in het gehele biobed te bereiken. Wanneer de lucht niet wordt voorbevochtigd droogt het biofilter uit wat tot gevolg heeft dat het transport van ammoniak van de lucht- naar de waterfase vanwege de lage wateractiviteit slecht verloopt en het verwijderingsrendement afneemt. Het probleem van rechtstreekse bevochtiging van het biofilter daarentegen, is dat het erg moeilijk is om een gelijkmatige verdeling van het vocht te bereiken en zo droge en natte plekken in het biobed te voorkomen. Bovendien gaf het invangen van stof in het biobed vaak problemen. Het invangen van stof heeft tot gevolg dat het bed (deels) verstopt raakt waardoor de drukval over het bed oploopt (hoog energieverbruik) en er kortsluitstromen ontstaan. Als gevolg van kortsluitstromen neemt het uitwisselingsoppervlak af en dus ook het verwijderingsrendement.

Daarnaast worden in het biofilter zure producten gevormd; ammoniak wordt in het biofilter namelijk omgezet tot salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ). Om te voorkomen dat het biofilter verzuurt en de bacteriën sterk geremd worden, dienen de afbraakproducten afgevoerd te worden. Dit betekent dat er periodiek een hoeveelheid water op het biofilter moet worden gebracht om het gevormde salpeterzuur als percolaat af te voeren. Om te voorkomen dat het opbrengen van water een hoge drukval en het optreden van kortsluitstromen tot gevolg heeft, dient het biobed een voldoende open structuur te hebben. Wanneer de in het biofilter gevormde zure producten onvoldoende worden afgevoerd, zal de in de ventilatielucht aanwezige ammoniak ervoor zorgen dat er snel verzuring optreedt bij de luchtbelastingen die gangbaar zijn bij biofiltratie (enige honderden  $\text{m}^3$  lucht/ $\text{m}^3$  filtermateriaal/uur). In dat geval zal de werking van het biofilter snel afnemen en zal het filtermateriaal frequent vervangen moet worden, waardoor de exploitatiekosten zeer hoog zullen zijn.

Vanwege de problemen met stof, bevochtiging en verzuring, wordt het biofilter ongeschikt geacht voor de rechtstreekse behandeling van ventilatielucht van een stal. Het biofilter kan echter wel een geschikte techniek zijn voor vergaande geurreductie, wanneer het ingezet wordt ná een processtap waarin ammoniak en stof reeds uit de ventilatielucht is verwijderd. Op deze wijze kan een biofilter gebruikt worden als nageschakelde techniek voor een biowasser of chemische wasser. Door deze nabehandeling is vergaande geurreductie mogelijk. Het is waarschijnlijk dat nabehandeling van lucht in een biofilter eveneens een verdere reductie van ziektekiemen in deze lucht zal geven. Het biofilter is commercieel beschikbaar en wordt geleverd door diverse leveranciers. In het algemeen wordt gesteld dat de kosten van een biofilter 30 - 40% lager zijn dan de kosten van een biowasser (Bemmel en Werf, 2002).

---

<sup>1</sup> Overgenomen uit Melse en Willers, 2004.



## 2.4 Chemische oxidatie

### 2.4.1 Inleiding

Chemische oxidatie zou een belangrijke methode kunnen zijn om gelijktijdig de stallucht te reinigen van ziektekiemen als om milieubelastende stoffen te verwijderen. In Tabel 2.6 wordt de oxidatieve kracht van een aantal componenten weergegeven, relatief t.o.v. die van zuurstof.

Tabel 2.6 Oxidatieve kracht van enkele oxiderende stoffen ten opzichte van zuurstof (naar Ozonia, 1977, geciteerd door Metcalf en Eddy, 2003)

Oxiderende stof	Relatief electrochemisch oxidatievermogen (-)
Zuurstof (O <sub>2</sub> )	1.00
Chloor (Cl <sub>2</sub> )	1.11
Hypochloriet (ClO)	1.22
Waterstofperoxide (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.44
Ozon (O <sub>3</sub> )	1.69

Door de oxidatieve kracht van deze componenten kan niet alleen een desinfectie worden bewerkstelligd, maar kunnen eveneens organische (geur)componenten worden afgebroken. In de volgende paragrafen worden de eigenschappen van de belangrijkste chemische oxidatiemiddelen kort besproken, namelijk chloriden, ozon, waterstofperoxide, per-azijnzuur en peroxone met name in relatie tot hun desinfecterende werking.

### 2.4.2 Chloriden

Van de oxiderende middelen worden chloriden wereldwijd het meest gebruikt voor desinfectie van water. De belangrijkste chloor desinfectans in waterige oplossingen zijn: chloor (Cl<sub>2</sub>), natrium hypochloriet (NaOCl) en calcium hypochloriet (Ca(OCl)<sub>2</sub>). Veel grote steden zijn overgeschakeld van desinfectie met chloor naar natrium hypochloriet, vanwege het gevaar bij gebruik en opslag van chloor.

De oxidatieve stof bij chloride desinfectans is in alle gevallen hypochloorzuur (HOCl). Met ammoniak vormt hypochloorzuur chlooraminen, waarbij chloor één, twee of drie waterstofionen van ammoniak vervangt. De chlooraminen zijn ook desinfectans, maar de desinfecterende werking is veel lager dan die van hypochloorzuur.

#### *Chloor (Cl<sub>2</sub>)*

Chloor kan in gasvorm of in vloeistofvorm aanwezig zijn. Niet afgesloten chloride verdampt snel tot gas, waarbij uit 1 L vloeistof ca. 450 L gas wordt gevormd. Chloor is redelijk oplosbaar in water, tot een maximum van ca. 1% (w/w) bij 10°C.

Hoewel chloride tot nu toe zeer belangrijk is geweest voor desinfectie van water, is het gebruik er van in discussie, vanwege:

1. de toxiciteit van chloor; het transport hiervan via het spoor en met vrachtwagens is daarom gevaarlijk.
2. mogelijk ontsnappingsgevaar; wanneer chloorgas ontsnapt op locatie, is dit erg gevaarlijk voor de omgeving.

3. reacties van chloor met organische stoffen; deze reacties veroorzaken de vorming van geurcomponenten, maar ook van kankerverwekkende stoffen.
4. bevuilding van het oppervlaktewater; de resten van chloor zijn giftig voor het oppervlaktewater.
5. bezorgdheid over het lozen van organische chloorcomponenten, aangezien lange termijn effecten hiervan nog onbekend zijn.

#### *Natrium en Calcium hypochloriet (NaOCl / Ca(OCl)<sub>2</sub>)*

Veel van de zorgen over veiligheid kunnen worden weggenomen wanneer in plaats van chloor, natrium hypochloriet of calcium hypochloriet wordt gebruikt. Natrium hypochloriet is alleen beschikbaar als oplossing. Deze oplossingen bevatten meestal tussen de 12,5 en 17% beschikbaar chloor. Hypochloriet valt sneller uiteen bij hoge concentraties en dit proces wordt tevens versneld o.i.v. licht en temperatuur. De prijs is 1,5 – 2 maal hoger dan van chloor. De bewaring en het gebruik van natrium hypochloriet vergt speciale ontwerpeisen, aangezien dit middel sterk corrosief is en er giftige chloorgassen ontstaan. Het ter plekke maken van dit middel is mogelijk, maar erg complex en er zijn hoge elektrische vermogens nodig. Calcium hypochloriet is commercieel beschikbaar in een droge of vloeistof vorm. In droge vorm is het beschikbaar als poeder, granules, tabletten of pellets. Het middel is zeer goed oplosbaar in water. Vanwege zijn oxidatieve capaciteit moet calcium hypochloride worden opgeslagen op een koele, droge plaats, verwijderd van andere chemicaliën, in corrosiebestendige containers. Calcium hypochloriet wordt vooral toegepast in kleine installaties.

### 2.4.3 Ozon

Ozon is een zeer sterk oxidatiemiddel. De halfwaardetijd van ozon bij 20°C is 45 minuten, daarom moet het vlak voor gebruik worden geproduceerd. De maximale dosis die gegenereerd kan worden, namelijk 5% ozon in 95% zuurstof, ligt nog ver beneden de explosiegrens van 15 tot 20%. Ozon is ongeveer 10x beter oplosbaar in water dan zuurstof. Boven een concentratie van 0,15 tot 0,25 ppm heeft ozon invloed op de ademhaling bij mensen. Ozon heeft een sterk desinfecterende werking. Enkele microgrammen ozon per liter vloeistof is al voldoende voor een meetbaar effect op verschillende micro-organismen. Virussen verschillen t.a.v. hun gevoeligheid voor ozon. De fysische eigenschappen van ozon worden weergegeven in Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Eigenschappen van ozon (Metcalf en Eddy, 2003)

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Moleculair gewicht	g	48.0
Kookpunt	°C	-112
Smeltpunt	°C	-193
Gasdichtheid bij 0°C en 1 atm	g/mL	2.154

In de aquacultuur wordt ozon toegepast voor desinfectie van het recirculerend water, maar tevens voor oxidatie van organische afvalstoffen en nitriet (Summerfelt, 2003). De meeste pathogene micro-organismen kunnen worden geïnactiveerd bij ozon doseringen van 0,5 – 5,0 min mg/l (concentratie x blootstellingstijd). Sommige spoorvormende micro-organismen zijn moeilijk te inactiveren met ozon. Het inactiveren van virussen was geen limiterende factor bij de desinfectie van afvalwater uit viskweeksystemen (Xu e.a., 2002).

Het ozonverbruik is sterk afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige organische stof. Bij gebruik van ozon voor desinfectie van stallucht is het daarom aan te bevelen om eerst het stof weg te vangen. Met behulp van UV<sub>C</sub> straling kunnen eventuele ozonresiduen worden omgezet naar zuurstof.

Ozon is een instabiel gas dat geproduceerd wordt wanneer zuurstof moleculen dissociëren in atomair zuurstof. Ozon kan geproduceerd worden via elektrolyse, fotochemische reactie of via radiochemische reactie door elektrische ontlading. Ozon wordt in de natuur geproduceerd door UV-licht en via bliksem. Ozon wordt vaak gegenereerd uit zuurstofgas m.b.v. elektrische ontladingen. Ozonproductie is 2-3 maal efficiënter bij gebruik van zuurstofgas dan bij gebruik van normale lucht. Bij gebruik van zuurstof zal ca. 3 tot 9 gewichtsprocenten aan ozon ontstaan. Het systeem met gebruik van zuurstofgas verbruikt ca. 10 kWh elektriciteit om 1,0 kg ozon te produceren. Het energiegebruik is gespecificeerd in Tabel 2.8. Vanwege de instabiliteit van ozon moet het ter plekke worden geproduceerd. Het gas dat vrijkomt uit de mengkamer van ozon met de vloeistof moet worden behandeld om ozonresten te verwijderen.

Tabel 2.8 Typisch energieverbruik voor de toepassing van ozon (Metcalf en Eddy, 2003).

	KWh/kg ozon
Luchtbereiding (compressor en drogers)	4.4-6.6
Ozon generatie:	
• gebruik lucht	6.6-13.2
• gebruik zuurstof	2.2-6.6
Ozon menging met vloeistof	2.2-6.6
Overig (o.a. vernietiging van residu ozon)	1.2-2.2

Ozon is een blauw gas bij normale temperaturen en heeft een duidelijk waarneembare geur. Vanwege deze geur kan ozon worden geroken voordat er problemen met de gezondheid ontstaan. De stabiliteit van ozon is groter in lucht dan in water, maar in beide gevallen in de orde van minuten. Gasvormige ozon is explosief bij concentraties boven de 240 g/m<sup>3</sup> (20% van het gewicht in lucht).

De vrije radicalen HO<sub>2</sub>• en HO• die uit ozon en water worden gevormd hebben een zeer sterk oxiderend vermogen. Deze vrije radicalen zullen niet alleen zorgen voor desinfectie van de vloeistof, maar tevens andere organische stoffen oxideren. Algemeen wordt aangenomen dat bacteriën direct worden vernietigd door ozon door aantasting van de celwand. Voor virus doding is ozon waarschijnlijk nog effectiever. Ammoniak kan reageren met ozon bij hoge pH.

In Tabel 2.9 wordt het effect van de ozonconcentratie op de kiemreductie in afvalwater weergegeven.

Tabel 2.9. Effect van ozonconcentratie op de kiemreductie in afvalwater (Metcalf en Eddy, 2003).

Ozonconcentratie (mg/L)	Kiemreductie (-log(N/N <sub>0</sub> ))
3.1	1.80
4.0	2.59
4.5	3.68
5.0	4.03
6.5	5.00

Vergelijkbaar met chloride is de vorming van ongewenste bijproducten een van de problemen bij het gebruik van ozon. De mate hiervan is echter afhankelijk van de ozondosering. Bij een lage dosering zullen oxidatieprocessen onvolledig verlopen en zal de kans op vorming van ongewenste bijproducten worden vergroot. Het voordeel van ozon t.o.v. chloride is dat er geen persistente producten worden gevormd die nadelig kunnen zijn voor het milieu. Ook ozon zelf wordt snel afgebroken en zal dus geen nadelige invloed hebben op het milieu.

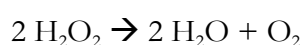
Ozon is ook giftig voor mensen. De MAC-waarde (maximaal aanvaarde concentratie in de lucht op de werkplek) voor ozon is 60 ppb ofwel 0,12 mg/m<sup>3</sup> lucht bij een blootstellingstijd van 1 uur.

De kosten van een ozongeneratiesysteem hangen sterk af van de hoeveelheid ozon die gebruikt wordt voor desinfectie van de lucht. De investeringskosten van een kleinschalig installatie met een capaciteit van 10 g O<sub>3</sub>/uur, bedragen ruim € 11.000 (excl. BTW). De exploitatiekosten (afschrijving: 10%; rente: 6%; onderhoud: 3%; energiegebruik: ca. 20 kWh/kg O<sub>3</sub>) van een dergelijke installatie komen dan uit op ongeveer € 27 per kg O<sub>3</sub>. De energiekosten spelen hierbij slechts een beperkte rol.

Tijdens de experimenten op 't Spelderholt (zie hoofdstuk 3.2) werd 5,5 g O<sub>3</sub> per uur geproduceerd waarmee een luchtstroom van 60 m<sup>3</sup>/uur werd behandeld. De ozonproductie bedraagt dus ongeveer 100 g O<sub>3</sub> per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht en de exploitatiekosten bedragen dan circa € 2,7 per 1000 m<sup>3</sup>. Wanneer een installatie wordt gebouwd met een veel hogere capaciteit, zullen de exploitatiekosten lager uitvallen. Mogelijk kunnen de kosten verder verlaagd worden door voorafgaand aan de ozonbehandeling het stof uit de luchtstroom te verwijderen.

#### 2.4.4 Waterstofperoxide

Waterstofperoxide is welbekend als bleekmiddel en als een stof dat te gebruiken is voor het geurvrij maken van oplossingen. Waterstofperoxide is een heldere, kleurloze en een beetje visceuze vloeistof. Het is iets zwaarder dan water, maar is in alle concentraties oplosbaar in water. De oxiderende werking van waterstofperoxide is gebaseerd op de volgende reactie:



Met behulp van een katalysator kan peroxide ook worden omgezet in hydroxyl radicalen (HO•). In combinatie met ozon (deze combinatie wordt peroxone genoemd) ontstaat een hoge

concentratie van deze hydroxyl radicalen. De oxidatieve werking van hydroxyl is zeer sterk. Alleen fluoride heeft een sterkere oxiderende werking. Desalniettemin is peroxide een natuurlijke stof dat o.a. gevormd wordt bij de afbraak van voedingsstoffen in veel organismen. Waterstofperoxide wordt ook gevormd onder invloed van zonlicht in water. Peroxide is niet schadelijk voor het milieu.

Wanneer alleen waterstofperoxide wordt gebruikt is de desinfecterende werking niet sterk, wanneer dit bijvoorbeeld wordt vergeleken met die van ozon of de chloriden. In combinatie met andere desinfectiemethoden zoals ozon, UV of per-azijnzuur ontstaat een sterk desinfecterend middel.

Waterstofperoxide heeft (vrijwel) geen effect op ammoniak. Ammoniak is erg resistent tegen normale oxidatiemiddelen. Vrije zuurstofradicalen kunnen ammoniak wel oxideren.

De volgende factoren beïnvloeden in belangrijke mate de afbraak van waterstofperoxide:

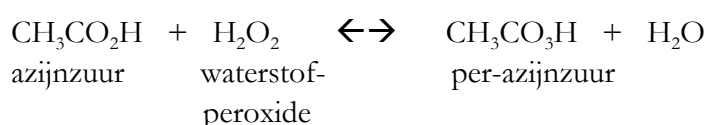
- Temperatuur: bij 10°C temperatuur stijging neemt de afbraaksnelheid toe met een factor 2,2.
- pH: bij een hogere pH neemt de afbraaksnelheid toe.
- Door vervuiling met organische stof of metalen. Vooral metalen als koper, mangaan en ijzer veroorzaken een toename van de afbraak.
- De pH en de vervuiling werken in combinatie versterkend op de afbraak.

Om de afbraak van waterstofperoxide tijdens transport en opslag te voorkomen/reducen worden stabilisatoren toegevoegd. De soort stabilisator die gebruikt wordt in peroxide-oplossingen hangt af van de producent. Gebruikte stabilisatoren zijn: colloïdaal stannaat, natrium pyrofosfaat, organische fosfaten, nitraat (voor pH verlaging en corrosie beperking) en fosforzuur. De werking van peroxide wordt in het algemeen niet beïnvloed door deze stabilisatoren.

De kosten hangen van desinfectie met waterstofperoxide hangen onder andere af van de hoeveelheid waterstofperoxide die gebruikt wordt. Tijdens de experimenten op het Spelderholt (zie hoofdstuk 3.2) werd ongeveer 3 liter H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-oplossing (6%) per dag gebruikt om een luchtstroom van 60 m<sup>3</sup>/uur te behandelen. De marktprijs van waterstofperoxide (50%) ligt ongeveer op € 740 (ex. BTW) per ton. Het waterstofperoxideverbruik (6%) bedraagt dus ongeveer 2,1 liter per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht en de kosten daarvan bedragen dus circa € 0,19.

#### 2.4.5 Per-azijnzuur

Per-azijnzuur wordt al vele jaren gebruikt als desinfectans in ziekenhuizen. Per-azijnzuur is alleen verkrijgbaar in oplossingen waarin een evenwicht is tussen per-azijnzuur, azijnzuur en waterstofperoxide. Het evenwicht ziet er als volgt uit:



Het per-azijnzuur is de belangrijkste desinfectans, alhoewel ook waterstofperoxide hieraan bijdraagt. Belangrijke voordelen van het gebruik van per-azijnzuur zijn: geen vorming van persistente rest- of bijproducten, de werking wordt niet beïnvloed door de pH, korte benodigde contacttijd en zeer effectief tegen zowel bacteriën als virussen.

Alhoewel per-azijnzuur bij lage temperaturen (5-20°C) al een grote werkzaamheid heeft, wordt de desinfectietijd aanzienlijk verkort door het toepassen van temperaturen tot 40°C.

In Tabel 2.10 worden de eigenschappen gegeven van verschillende commercieel verkrijgbare per-azijnzuuroplossingen.

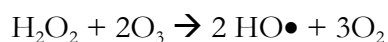
Tabel 2.10 Eigenschappen van verschillende per-azijnzuuroplossingen (Metcalf en Eddy, 2003).

Eigenschap	Eenheid	Per-azijnzuuroplossing, %		
		1,0	5	15
Concentratie per-azijnzuur	%	0,8-1,5	4,5-5,4	11-17
Concentratie waterstofperoxide	%	min. 6	19-22	13,5-16
Concentratie azijnzuur	%	9	10	28
Concentratie beschikbare zuurstof	%	3-3,1	9,9-11,5	9,3-11,1
Aanwezigheid stabilisatoren	Ja / nee	Ja	Ja	Ja
Dichtheid	kg/L	1,10	1,10	1,12

De kosten hangen sterk af van de hoeveelheid per-azijnzuur die gebruikt wordt. Tijdens de experimenten op het Spelderholt (zie hoofdstuk 3.2) werd ongeveer 0,5 liter per-azijnzuuroplossing (5%) per dag gebruikt om een luchtstroom van 60 m<sup>3</sup>/uur te behandelen. De marktprijs van per-azijnzuur ligt ongeveer op € 3,30 (ex. BTW) per liter (5%). Het per-azijnzuurverbruik bedraagt dus ongeveer 0,35 liter per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht en de kosten daarvan bedragen circa € 1,15.

#### 2.4.6 Peroxone

Peroxone is een geavanceerd en zeer sterk oxidatieproduct. Peroxone is een oplossing van ozon en peroxide. Waterstofperoxide wordt toegevoegd aan de oplossing om de afbraak van ozon te versnellen. Dit leidt tot hoge concentraties hydroxyl radicalen (HO•), volgens de volgende reactie:

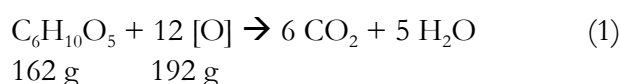


Tot nu toe is gevonden dat peroxone waarschijnlijk effectiever is dan ozon t.a.v. de desinfecterende werking. Aangezien het gebruik van dit middel vrij recent is geïntroduceerd, is er nog weinig bekend over toe te passen concentraties om een bepaalde desinfecterende werking te verkrijgen.

## 2.4.7 Invloed van stof op verbruik van oxidatiemiddel

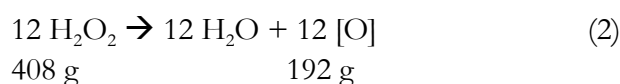
Naast kiemen en geurcomponenten kunnen stofdeeltjes in de lucht eveneens (deels) geoxideerd worden door het betreffende oxidatiemiddel. Stof in stallen bestaat voor een belangrijk deel uit organische stof (Aarnink, Roelofs et al. 1999). Dit stof bestaat voor een belangrijk deel uit zetmeel en eiwit. Wanneer, voor het gemak, aangenomen wordt dat stof voorgesteld kan worden als zetmeel, met een algemene chemische formule van  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , kan berekend worden hoeveel oxidatiemiddel verbruikt wordt voor de oxidatie van stofdeeltjes.

Bij volledige oxidatie geldt:



Hieruit volgt dat voor oxidatie van 1 g stof 1,2 g zuurstof nodig is.

Wanneer waterstofperoxide wordt gebruikt als oxidatiemiddel, valt het op de volgende wijze uiteen:



Uit formule (1) en (2) volgt dan dat voor de oxidatie van 1 g stof een hoeveelheid  $H_2O_2$  nodig is van  $408/162 = 2,5$  g.

Op vergelijkbare wijze kan voor alle verschillende oxidatiemiddelen berekend worden wat het theoretische verbruik is voor de oxidatie van 1 g stof.

## 2.5 Filtratie

Er is een grote verscheidenheid aan stoffilters verkrijgbaar, van groffilters die vooral de grotere stofdeeltjes ( $> 10 \mu m$ ) wegvangen tot fijnfilters, die ook een deel van het fijnstof ( $< 10 \mu m$ ) wegvangen tot absoluutfilters die ook hele kleine deeltjes tegenhouden, zoals bacteriën en virussen.

Aangezien stoffilters slechts een geringe invloed hebben op gasvormige emissies kan het systeem als voor- of nageschakelde techniek worden ingezet. Grof filters zouden bijvoorbeeld een voorgeschakelde techniek kunnen zijn voor biowassers en chemische wassers. Absoluutfilters zouden een nageschakelde techniek kunnen zijn voor biowassers en chemische wassers.

Bij een absoluutfiltersysteem van de inkomende lucht, zoals in een APF- (Air Pathogen Free) stal worden filterpakketten opgebouwd van grof naar fijn. Hierbij moeten de goedkopere grovere filters vaker vervangen worden dan de duurdere absoluutfilters. De extra investeringskosten van een absoluut-filtersysteem, zoals gebruikt in een APF-stal, bedroegen voor een vleesvarkensstal met 23 afdelingen van 80 varkens ca. € 86,- (excl. BTW) per vleesvarkensplaats (Huijben e.a., 1998, met inflatiecorrectie van 3% per jaar). De extra jaarkosten bedragen € 23,- (excl. BTW) per dierplaats. Uitgaande van een gemiddeld ventilatiedebiet van  $35 m^3$  per vleesvarken per uur

bedragen de investeringskosten dan € 2,5 per m<sup>3</sup> lucht per uur en de exploitatiekosten € 0,07 per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht.

Een andere mogelijke techniek voor reiniging van lucht van deeltjes is het gebruik van elektrostatische filters. Een elektrostatisch filter gebruikt elektrisch geladen polipropyleen en poly-urethaan filtermateriaal dat deeltjes tot een diameter van 0,3 µm aantrekt. De elektrische lading ontstaat door de geforceerde luchtstroom door het filter. Het voordeel van elektrostatische filters ten opzichte van gewone filters is dat de drukval over het filter veel kleiner kan zijn om een zelfde reinigende werking te hebben. Over het effect van elektrostatische filters op het wegvangen van kiemen uit de lucht is echter weinig bekend.

## 2.6 Korte golf straling (UV<sub>C</sub>)

Het gebruik van UV<sub>C</sub>-straling is een mogelijkheid om lucht (vrijwel) kiemvrij te maken. Alle micro-organismen zijn gevoelig voor UV<sub>C</sub>-straling. De bestralingsdosis (het product van stralingsintensiteit en tijdsduur van blootstelling) die nodig is om 90% van de micro-organismen onschadelijk te maken verschilt echter van soort tot soort. Bij een stralingsdosis van 300 J/m<sup>2</sup> worden vrijwel alle bacteriën en virussen in de lucht onschadelijk gemaakt. In het algemeen liggen de bestralingsdoses die nodig zijn voor het voor 90% onschadelijk maken van bacteriën en gisten tussen 15 en 80 J/m<sup>2</sup>. Voor de meeste virussen zijn doses tussen 20 en 30 J/m<sup>2</sup> vereist (Roelofs 1999).

Desinfecteren met ultraviolette straling is vooral effectief bij een golflengte van 260 tot 265 nm. DNA en RNA absorberen straling met deze golflengte. Deze golflengte ligt binnen de range voor UV<sub>C</sub>, namelijk tussen 100 en 280 nm.

De fractie micro-organismen die blootstelling aan UV-straling overleeft kan beschreven worden met de volgende formule (Lightning, 1992, geciteerd uit Roelofs, 1999):

$$\frac{N_t}{N_0} \equiv e^{-k \cdot E_{eff} \cdot t}$$

Waarin:

$N_t$  = aantal ziektekiemen op tijd  $t$

$N_0$  = aantal ziektekiemen voor de blootstelling aan UV-straling

$t$  = blootstellingsduur (s)

$E_{eff}$  = effectieve stralingssterkte (W/m<sup>2</sup>)

$k$  = 'killing rate' (m<sup>2</sup>/J)

Deze vergelijking geldt echter alleen voor schone en droge lucht. Bij hoge luchtvochtigheden (> 80%) en bij stofdeeltjes in de lucht wordt de effectiviteit geringer als gevolg van het afschermen van de micro-organismen door water, respectievelijk stof. Dit afschermen kan worden gereduceerd door van alle kanten lampen te plaatsen. Voorfiltratie van de lucht om het stof weg te vangen is echter noodzakelijk. De invloed van omgevingstemperatuur op de gevoeligheid van micro-organismen voor UV<sub>C</sub>-straling is zeer beperkt.



De effecten van UV<sub>C</sub>-straling op de milieu-emissies is waarschijnlijk gering. Bij gebruik van UV<sub>C</sub> zal het daarom gaan om een nageschakelde installatie. UV<sub>C</sub> zou bijvoorbeeld goed nageschakeld kunnen worden na een biowasser of chemische wasser. Deze wassystemen zorgen voor een reductie van de milieu-emissies en zorgen er tevens voor dat het stof uit de stallucht wordt verwijderd. Stofverwijdering is essentieel voor een goede werking van het UV-systeem. UV<sub>C</sub> zou ook heel goed kunnen worden toegepast voor desinfectie van de inkomende lucht.

De investeringskosten voor een compleet UV-behandelingskanaal voor de inkomende lucht van een vermeerderingsstal met 210 zeugen werd door Roelofs (1999) ingeschat op € 9 400,- (excl. BTW). Bij een inflatiecorrectie van 3%/jaar zouden de investeringskosten in 2003 uitkomen op € 10 900,- (excl. BTW), ofwel € 52,- (excl. BTW) per zeug (incl. biggen). Indien de lampen continue branden moeten ze jaarlijks worden vervangen. De kosten voor 48 lampen bedroegen € 2 240,- (excl. BTW). Het elektriciteitsverbruik van een continue werkende systeem is € 9 000,- (excl. BTW) (Roelofs, 1999). Indien het systeem alleen wordt ingeschakeld bij calamiteiten vervallen de kosten voor het vervangen van de lampen en de elektriciteitskosten voor een belangrijk deel. Voor een vleesvarkensstal met 2600 vleesvarkens bedragen de investeringskosten globaal geschat in 2003 ca. € 30 000,- (excl. BTW), ofwel € 11,50 per vleesvarkensplaats. Uitgaand van een gemiddeld ventilatiedebiet van 35 m<sup>3</sup>/vleesvarken/uur bedragen de investeringskosten dus € 0,32 per m<sup>3</sup> lucht/uur. De exploitatiekosten van een continu werkend systeem bedragen circa € 0,11 per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht; de exploitatiekosten van een systeem dat alleen tijdens calamiteiten wordt gebruikt (4 weken per 5 jaar) bedragen circa € 0,01 per 1000 m<sup>3</sup> behandelde lucht

## 2.7 Katalytische oxidatie

Een andere mogelijkheid om stallucht te reinigen is het gebruik maken van thermische processen, zoals katalytische oxidatie. Bij dit proces worden de in de stallucht aanwezige componenten verbrand bij een temperatuur van enige honderden °C in de aanwezigheid van een katalysator. Bij een goedlopend proces wordt ammoniak geoxideerd tot N<sub>2</sub> en methaan tot CO<sub>2</sub>; tevens worden geurverbindingen vergaand verwijderd. Vanwege de lage concentratie van de componenten in stallucht is de energie die vrijkomt bij verbranding echter onvoldoende om het proces in gang te houden. Daarom is het nodig stallucht op te warmen hetgeen een hoog energieverbruik met zich meebrengt.

Om te voorkomen dat het katalysatorbed verstopt raakt dient de te behandelen lucht eerst te worden ontdaan van het in deze lucht aanwezige stof. Stofverwijdering kan plaatsvinden door middel van filtratie (zie paragraaf 2.5) of door wassing (zie paragraaf 2.2).

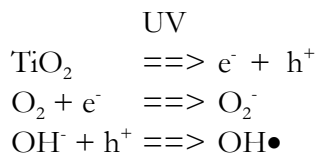
Als gevolg van de verwarmingstap tijdens het fotokatalytische proces zullen ziektekiemen, die zich eventueel nog in de lucht bevonden na de stofverwijderingsstap, worden geïnactiveerd. Bovendien zullen de uit organische stoffen bestaande ziektekiemen tijdens de oxidatiestap worden afgebroken.

Uit kostenberekeningen van Monteny et al. (1998) blijkt dat de investeringskosten van een dergelijk katalytisch verbrandingssysteem ongeveer € 135 per vleesvarkensplaats zijn (incl. inflatiecorrectie); dit is 2 tot 3 maal zo hoog als de investeringskosten van een biologisch of chemisch luchtwassysteem. De energiekosten van het katalytische oxidatie systeem zijn zelfs 100 maal zo hoog, circa € 430 per vleesvarkensplaats per jaar (incl. inflatiecorrectie; Monteny et al., 1998). De exploitatiekosten komen zo uit op ongeveer € 450 per vleesvarkensplaats per jaar, en zijn daarmee 10 tot 30 maal zo hoog als de biologische en chemische wasser. Mogelijk dat nader onderzoek, bijvoorbeeld naar het gebruik van andere katalysatoren, een kostenverlaging met zich mee zal brengen.

## 2.8 Fotokatalyse

In een fotokatalytisch proces vindt afbraak plaats onder invloed van een lichtbron ( $UV_A$ ) in de aanwezigheid van een katalysator (bijvoorbeeld titaniumdioxide). Blootstelling aan UV licht heeft als gevolg dat er elektronen ( $e^-$ ) vrijkomen uit het  $TiO_2$ . Tegelijkertijd worden positieve gaten gevormd ( $h^+$ ). De elektronen en de positieve gaten veroorzaken de vorming van super oxide ( $O_2^-$ ) en hydroxyl radicalen ( $OH^\bullet$ ) uit waterdamp en lucht:

Hieronder wordt dit proces schematisch weergegeven:



Deze radicalen kunnen vervolgens reageren met de af te breken organische verbindingen (bijv. bacteriën of virussen) zodat een kettingreactie van radicaalvorming en oxidatie wordt gestart. Wanneer de oxidatie volledig is, zijn de eindproducten van de reactie hoofdzakelijk water en kooldioxide. Als lichtbron wordt meestal  $UV_A$  licht gebruikt (365 nm) hetgeen onschadelijk is voor de menselijk huid en ogen. Fotokatalyse systemen worden op kleine schaal toegepast voor de behandeling van lucht en waterstromen in de industrie en bestaan ook als airconditionings units voor luchtbehandeling van huizen en kantoren. Naar alle waarschijnlijkheid zullen ziektekiemen die zich in de lucht bevinden een fotokatalysebehandeling niet overleven. Om te voorkomen dat het katalysatorbed verstopt raakt dient de te behandelen lucht eerst te worden ontdaan van het in deze lucht aanwezige stof. Stofverwijdering kan plaatsvinden door middel van filtratie (zie paragraaf 2.5) of door wassing (zie paragraaf 2.2). De kosten van dit systeem lijken vooralsnog te hoog voor toepassing in de veehouderij.

## 2.9 Vergelijking systemen

Hieronder zijn in tabelvorm de verschillende systemen voor luchtreiniging beoordeeld op milieueffecten, effect op kiemreductie (bacteriën en virussen) en op de kosten (Tabel 2.11). De beoordeling is gebaseerd op de literatuurstudie zoals die in dit hoofdstuk is beschreven. Een aantal van de effecten zijn daadwerkelijk gemeten. Een aantal andere effecten zijn ingeschat op

basis van de verwachtingen ingegeven door het werkingsprincipe van het systeem. Sommige effecten zijn in het geheel niet in te schatten en zijn daarom niet beoordeeld (een vraagteken in de tabel).

Tabel 2.11 Voor en nadelen van de verschillende opties voor reiniging van stallucht.<sup>1</sup>

Systeem	Milieueffecten					Kiem-emissies	Onderhoud	Kosten		Totaal
	NH <sub>3</sub>	Geur	CH <sub>4</sub>	Stof	Overig			Vaste	Var.	
Biowasser	+++	+++	0	+++	0	?	0	--	-	++
Chemische water	++++	+	0	+++	-	+	0	--	-	++
Wasser met alleen water	+	+	0	+++	0	+	0	--	-	+
Biofiltratie	++	++++	0	+	0	?	---	-	-	0
Chemische oxidatie <sup>2</sup>										
• Chloriden	++	+	0	+++	---	++++	0	--	--	-
• Ozon	+	+	0	+++	0	+++	0	---	-	+
• H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> <sup>3</sup>	0	+	0	+++	0	++	0	--	--	+
• Per-azijnzuur	++++	?	0	+++	0	++++	0	--	----	++
• Peroxone	+	+	0	+++	0	++++	0	---	---	+
Filtratie										
• Grof	0	+	0	++	0	+	-	-	--	0
• Absoluut	0	+	0	++++	0	++++	-	--	----	+
UV <sub>c</sub>	0	0	0	0	0	++++	0	-	---	+
Katalytische oxidatie	+++	++++	0	0	0	++++	-	---	----	--
Fotokatalyse	+	++	0	0	0	+++	-	----	--	0

<sup>1</sup>) De beoordeling heeft een schaal van ---- (sterk negatief effect) tot ++++ (sterk positief effect); 0 = geen effect; ? = effect op dit moment nog niet in te schatten.

<sup>2</sup>) Chemische oxidatie wordt toegepast in een wassysteem met water waaraan het oxidatiemiddel is toegevoegd.

<sup>3</sup>) = waterstofperoxide

Op basis van deze vergelijking komen de volgende systemen positief naar voren:

- De verschillende wassystemen: biowasser, chemische water en de water met alleen water. Deze systemen komen positief naar voren, omdat ze vooral goed scoren op de milieu-emissies. Aangezien ze waarschijnlijk ook een belangrijk deel van het stof wegvangen zal de kiememissie waarschijnlijk ook gereduceerd worden. Dit effect zal echter nader moeten worden onderzocht. Daarnaast zijn de kosten van deze systemen, wanneer ze vergeleken worden met de andere systemen, niet al te hoog.
- De chemische oxidatiemiddelen ozon, waterstofperoxide, per-azijnzuur en peroxone. De voordelen van deze middelen zitten vooral in de reductie van de stofemissie (door het wassysteem) en de reductie van de kiememissie (door de oxidatieve werking van het middel). Het effect op de ammoniak- en geuremissie is van deze middelen nog

onvoldoende bekend en dient nader te worden onderzocht. Bij per-azijnzuur kan al wel worden aangegeven dat het ammoniak zal binden door de zure werking van azijnzuur.

- Korte golf straling met UV<sub>C</sub>. Het grote voordeel van UV<sub>C</sub>-straling is dat het zeer effectief is in het afdoden van kiemen, zowel bacteriën als virussen. Aangezien UV<sub>C</sub> geen effect heeft op de milieu-emissies kan dit systeem ook voor de ingaande lucht worden toegepast. Over de mogelijke toepassing van UV<sub>C</sub> in de varkenshouderij is reeds een uitgebreid rapport verschenen (Roelofs, 1999).
- Absoluut filtratie. Het grote voordeel van absoluutfiltratie is dat het alle deeltjes afvangt, zowel stof als ziektekiemen en virussen. Het doet echter weinig aan de milieuemissies. Het systeem kan zowel bij de ingaande als de uitgaande lucht worden toegepast. Over het gebruik van absoluut filters in een APF stal is reeds een uitgebreid rapport verschenen (Huijben e.a., 1998)
- Fotokatalyse. Dit is een vrij nieuwe techniek. Effecten zijn daarom nog moeilijk aan te geven. De techniek zou misschien perspectief kunnen bieden voor toepassing in de intensieve veehouderij.

Op basis van deze beoordeling wordt geadviseerd om de volgende systemen te onderzoeken:

- *Wassystemen*. Biologische en chemische wassers worden reeds toegepast in stallen, met name varkensstallen. De effecten op de milieu-emissies zijn voor een belangrijk deel al onderzocht. Het onderzoek zal zich daarom vooral moeten richten op de kiememissies.
- *Chemische oxidatiemiddelen*. Er worden in de praktijk nog geen luchtwassystemen toegepast die deze middelen gebruiken. Dit onderzoek zal daarom in een proefopstelling moeten worden gedaan.
- *Fotokatalyse*. Over fotokatalyse is nog heel weinig bekend. Het werkingsprincipe kan perspectiefvol zijn.

Aangezien het budget binnen dit project een limiterende factor is, is besloten om ons in dit project te concentreren op onderzoek aan wassystemen die in de praktijk al draaien en op onderzoek aan chemische oxidatiemiddelen. In twee praktijkstallen zijn metingen gedaan aan een biologische en een chemische wasser. In een onderzoeksstal van de Gezondheidsdienst voor Dieren op 't Spelderholt is onderzoek gedaan aan een experimentele wasser waar verschillende oxidatiemiddelen aan zijn toegevoegd.

In hoofdstukken 3 en 4 worden respectievelijk de Materiaal en methode en de Resultaten van de metingen aan praktijkwassers beschreven en in hoofdstukken 5 en 6 de Materiaal en methode en de Resultaten van de metingen aan de experimentele wasser met verschillende oxidatiemiddelen.

### 3. Materiaal en methode metingen praktijkwassers

De metingen zijn gedaan aan twee luchtwassers:

1. biologische luchtwasser
2. chemische luchtwasser

In de volgende paragrafen wordt een beschrijving gegeven van deze luchtwassers en wordt een beschrijving gegeven van het meetprotocol.

#### 3.1 Biologische luchtwasser

In paragraaf 2.2.2 is reeds een uitgebreide beschrijving gegeven van het werkingsprincipe van de biologische luchtwasser. De luchtwasser waaraan de metingen zijn uitgevoerd, behandelde de lucht uit een vleesvarkensstal en bestond uit verschillende onderdelen:

1. een unit waarin de daadwerkelijke wassing van de lucht plaatsvond;
2. een waterbassin dat uit drie in serie geschakelde kleinere bassins bestond.

De wasunit had een rechthoekig grondoppervlak van 1,5 x 2,0 m en een hoogte van 4,5 m. In deze unit bevond zich een kunststof filterpakket met een open structuur, een hoogte van 1,1 m en een volume van 3,3 m<sup>3</sup> waar de lucht van onder naar boven doorheen stroomde (tegenstroomprincipe). De wasser was gedimensioneerd voor een luchtdebiet van 20.000 m<sup>3</sup>/uur. Aan de bovenzijde werd water over het pakket verdeeld met een aantal sproeiers. Op deze manier werd de ammoniak uit de lucht gewassen. Aan de onderzijde van de wasunit stroomde het water naar het eerste bassin (volume ca. 9 m<sup>3</sup>), waarin het nitrificatieproces plaats diende te vinden. Daarna stroomde het water over naar het tweede bassin (volume ca. 25 m<sup>3</sup>), waarin het denitrificatieproces plaats diende te vinden. In zowel het eerste als het tweede bassin bevonden zich pakketten vulmateriaal. Tenslotte stroomde het water over naar een bezinkingsruimte (volume ca. 20 m<sup>3</sup>). Vanuit de bezinkingsruimte werd het water deels gerecirculeerd en naar de wasunit teruggeluid en deels gespuid. Indien nodig werd vers water toegevoegd aan het systeem om de hoeveelheid water die verdampte en die gespuid werd aan te vullen.

#### 3.2 Chemische luchtwasser

In paragraaf 2.2.3 is reeds een uitgebreide beschrijving gegeven van het werkingsprincipe van de chemische luchtwasser. De luchtwasser waaraan de metingen zijn uitgevoerd, behandelde de lucht uit een zeugenstal en was gedimensioneerd voor een luchtdebiet van 30.000 m<sup>3</sup>/uur. De luchtwasser bestond uit een zogenaamd lamellenfilter, waar de lucht van links naar rechts doorheen werd geleid (dwarstroomprincipe). Het lamellenfilter had een inhoud van circa 2,9 m<sup>3</sup> (l x b x h = 3,0 m x 1,0 m x 0,95 m). De lamellen werden bevochtigd met een zwavelzuuroplossing. Wanneer de lucht langs de lamellen werd geleid, werd de ammoniak uit de ventilatielucht door het zwavelzuur gebonden tot ammoniumsulfaat dat zich ophoopte in de wasvloeistof. De wasvloeistof druppelde van de lamellen af naar beneden en werd opgevangen in een bak van circa 600 liter. Vanuit deze bak werd de wasvloeistof deels gerecirculeerd en deels gespuid, afhankelijk van het zoutgehalte van de vloeistof. Het niveau van de bak werd automatisch op peil gehouden door de toevoer van vers water.

### 3.3 Methode metingen aan luchtwassers in de praktijk

De biowasser en de chemische wasser zijn elk op één bedrijf gemeten. Beide bedrijven waren varkensbedrijven. De biowasser behandelde de lucht uit een vleesvarkensstal en de chemische wasser behandelde de lucht uit een zeugenstal.

Bij de biowasser zijn de volgende metingen uitgevoerd om ca. 8:30, 12:00 en 16:00 uur:

- Totaal kiemconcentratie in de in- en uitgaande lucht van de wasser.
- Ventilatie-debiet over de wasser.
- Ammoniakconcentratie van de in- en uitgaande lucht van de wasser.
- Temperatuur en luchtvochtigheid van de in- en uitgaande lucht van de wasser.

Het ventilatie-debiet over de wasser is twee maal gemeten om 12:30 en 16:00 uur. De tweede meting was echter niet betrouwbaar vanwege problemen met de hittedraadanemometer en is daarom niet meegenomen in de resultaten. Op dit bedrijf is tevens een kiemconcentratie bepaald van de lucht in de stal zelf. Dit werd gedaan om de mate van bacteriële luchtverontreiniging in de stal zelf vast te stellen. De monsters van de uitgaande lucht zijn ca. 15 minuten na de monsters van de ingaande lucht genomen. Daarnaast is een monster genomen van het in- en uitgaande waswater in de biowasser en van het water in het denitrificatie bassin. Dit waswater is geanalyseerd op ammonium-N, nitraat-N, nitriet-N, pH en totaal kiemgetal.

Bij de chemische wasser zijn de volgende metingen uitgevoerd om ca. 10:30, 13:30 en 16:00 uur:

- Totaal kiemconcentratie in de in- en uitgaande lucht van de wasser.
- Ammoniakconcentratie van de in- en uitgaande lucht van de wasser.
- Temperatuur en luchtvochtigheid van de in- en uitgaande lucht van de wasser.

Het ventilatie-debiet over de wasser is twee maal gemeten om 11:30 en 16:30 uur. De monsters van de uitgaande lucht zijn ca. 15 minuten na de monsters van de ingaande lucht genomen. Daarnaast is één monster genomen van het waswater in de opvangbak. Dit waswater is geanalyseerd op ammonium-N, nitraat-N, nitriet-N, pH en totaal kiemgetal.

#### *Totaal kiemconcentratie*

De afvangcapaciteit van de luchtwasser werd gemeten door luchtmonsters voor bacteriologisch onderzoek vóór en na de luchtwasser te nemen. Hiertoe werd een Sartorius MD8 airscan gebruikt (Sartorius, Nieuwegein) voorzien van steriele gelatine filters met poriën van 3 µm en 80 mm diameter (type 17528-80-ACD, Sartorius, Nieuwegein) (Figuur 3.1). De monsternametijd was 5 min à 3000 L/uur (250 L lucht).

Bacteriologisch onderzoek van de gelatine filters werd verricht door ze op te lossen in 50 ml gebufferd pepton water (BPW) (Biotrading, Mijdrecht) gehouden op 37° C. Zes verdunningen ( $10^{-1}$  t/m  $10^{-6}$ ) werden gemaakt (ISO 6887) van de BPW oplossing. Vervolgens werd 0,1 ml onverdund en per verdunning op een schapenbloedagarplaat gepipeteerd. De agarplaten werden bij 37° C overnacht bebroed, waarna de kolonies werden geteld. Identificatie van *E. faecalis* werd gedaan zoals reeds beschreven (Landman et al., 1994). De detectiegrens voor de MD8 airscan was  $10^{3,3}$  kve/m<sup>3</sup> lucht.



Figuur 3.1 MD8 airscan gebruikt voor het meten van de afvangefficiëntie van de luchtwasser.

#### *Ventilatie-debiet*

Het ventilatie-debiet bij de biowasser werd bepaald door de luchtsnelheid te meten in het aanvoerkanaal naar de wasser. De luchtsnelheid werd op 5 representatieve plaatsen van een doorstroomoppervlak gemeten met een vleugelradanemometer (Type 110, Wilh. Lambrecht GmbH, Göttingen, Duitsland).

Het ventilatie-debiet bij de chemische wasser werd bepaald door de luchtsnelheid te meten in de uitstroomopeningen (3 stuks) van de wasser. De luchtsnelheid werd op 3 representatieve plaatsen van de drie doorstroomoppervlakken gemeten met een hittedraad anemometer (Type 642 ST, Wilh. Lambrecht GmbH, Göttingen, Duitsland).

#### *Ammoniakconcentratie*

De ammoniakconcentratie werd gemeten met gasdetectiebuisjes (Kitagawa, Japan) in de ingaande en uitgaande luchtstroom van de wasser.

#### *Temperatuur en luchtvochtigheid*

De temperatuur en luchtvochtigheid werden gemeten met een gecombineerde temperatuur / luchtvochtigheidssensor (type Hygroclip S, Rotronic ag, Zwitserland).

## 4. Resultaten metingen praktijkwassers

In Tabellen 4.1 en 4.2 worden de resultaten weergegeven van de metingen die gedaan zijn aan een biologische luchtwasser op een vleesvarkensstal en een chemische wasser op een zeugenstal. Uit Tabel 4.1 blijkt dat de lucht ca. 4°C afkoelt in de wassers. Dit wordt veroorzaakt door koeling als gevolg van verdamping van water in de wasser. De luchtvochtigheid neemt als gevolg van deze verdamping en de afkoeling van lucht in de wasser duidelijk toe. De indicatieve metingen met gasdetectiebuisjes laten zien dat de biologische wasser de ammoniakconcentratie reduceerde met gemiddeld 66% en de chemische wasser met ca. 90%.

De kiemmetingen laten een heel verschillend beeld zien voor de beide wassers. Gemiddeld nam de kiemconcentratie toe bij gebruik van een biologische wasser. De variatie tussen de metingen was echter zeer groot. De chemische wasser liet gemiddeld een reductie zien van 70%. De spreiding rond dit gemiddelde is veel kleiner dan die voor de biologische wasser. In de stal met de biologische wasser werden  $10^{5,2}$  kve aërobe bacteriën/m<sup>3</sup> stallucht gevonden.

Het watermonster genomen aan het begin van de biologische wasser bevatte  $10^{7,8}$  kve/liter en aan het einde daarvan  $10^{8,5}$  kve/liter. Bij de chemische wasser waren deze getallen  $10^{8,2}$  en  $10^{5,5}$  kve/liter, respectievelijk. Enterobacteriaceae werden niet aangetoond.

Tabel 4.1 Gemeten ventilatiedebiet over de wassers en de gemeten temperatuur, luchtvochtigheid en ammoniakemissie van de lucht voor en na de wassers. Tussen haakjes staat de standaard fout van het gemiddelde van 3 waarnemingen aangegeven.

Wasser	Ventilatiedebiet (m <sup>3</sup> /(uur))	Temperatuur		RV		[NH <sub>3</sub> ]		
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Reductie
Biologisch	16 500	18.9 (0.5)	14.8 (0.5)	68.7 (3.6)	98.4 (1.5)	18.0 (1.2)	6.0 (1.3)	66 (8)
Chemisch	12 177	21.9 (0.7)	17.9 (0.3)	72.3 (7.0)	94.2 (0.8)	35.5 (1.3)	3.5 (0.3)	90 (1)

Tabel 4.2 Kiemreductie bij een biologische wasser (vleesvarkensstal) en een chemische wasser (zeugenstal). Tussen haakjes staat de standaard fout van het gemiddelde van 3 waarnemingen aangegeven.

Wasser	Kiemen voor wasser (kve <sup>1</sup> /m <sup>3</sup> )	Kiemen na wasser (kve/m <sup>3</sup> )	Kiemreductie (%)
Biologisch	6.1 x 10 <sup>4</sup> (2.0 x 10 <sup>4</sup> )	24.4 x 10 <sup>4</sup> (33.8 x 10 <sup>4</sup> )	-279 (202)
Chemisch	27 x 10 <sup>4</sup> (3.8 x 10 <sup>4</sup> )	8.4 x 10 <sup>4</sup> (3.6 x 10 <sup>4</sup> )	70 (8)

<sup>1)</sup> Kolonievormende eenheden

In Tabel 4.3 worden de analyses van het waswater van de twee wassers gegeven.



Uit de analyses voor de biologische wasser blijkt dat het ammoniumgehalte en de pH aan de hoge kant zijn; in een goed functionerende biowasser is het  $\text{NH}_4\text{-N}$  gehalte normaliter  $\leq 400$  mg/l en  $6,5 < \text{pH} < 7,5$ . Hierdoor wordt het nitrificatieproces mogelijk geremd. Het denitrificatieproces dat zou moeten plaatsvinden in het denitrificatiebassin treedt niet of nauwelijks op, zoals blijkt uit de gelijke samenstelling van het influent en effluent van de wasser. Dit duidt erop dat het ammoniakverwijderingsproces op de lange duur niet stabiel zal verlopen.

Tabel 4.3 Analyses van waswater van biologische wasser (vleesvarkensstal) en chemische wasser (zeugenstal).

Wasser	$\text{NH}_4\text{-N}$ (g/l)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l)	pH (mg/l)	$\text{SO}_4^{2-}$ (g/l)
Biologisch - influent <sup>1</sup>	1,02	150	940	7,6	n.v.t.
Biologisch - effluent <sup>2</sup>	1,03	151	943	7,7	n.v.t.
Chemisch	19,7	n.v.t.	n.v.t.	< 1	86,8

<sup>1</sup> Dit is de waterstroom die uit het denitrificatiebassin komt en naar de wasser gaat.

<sup>2</sup> Dit is de waterstroom die uit de wasser komt en naar het denitrificatiebassin gaat.

## 5. Materiaal en methode metingen experimentele wassers

Uit de deskstudie is naar voren gekomen dat oxidatiemiddelen toegepast in een luchtwassysteem perspectief bieden om milieu- en kiememissies te reduceren. Aan een experimentele luchtwasser zijn verschillende oxidatiemiddelen toegevoegd om het effect op kiem- en milieu-emissies te bepalen. De volgende oxidatiemiddelen zijn getest:

1. waterstofperoxide
2. per-azijnzuur
3. ozon

Om het effect van deze middelen te kunnen bepalen zijn tevens metingen gedaan aan een controlebehandeling waarbij de lucht alleen werd gewassen met water. Het luchtwassysteem is getest in de onderzoeksstal van de Gezondheidsdienst voor Dieren (GD) op 't Spelderholt in Beekbergen. De uitgaande lucht van 4 gesloten units, met in elk 7 hanen, werd met dit systeem gewassen. Deze units zijn speciaal gemaakt voor infectiestudies. Om het effect van het wassysteem op de kiememissie te bepalen werden extra kiemen ingebracht in de units. In de volgende paragrafen wordt een meer gedetailleerde beschrijving gegeven van het gebruikte materiaal en de gehanteerde methoden.



Figuur 5.1 Isolatoren met hanen in de onderzoeksstal van de Gezondheidsdienst voor Dieren in Beekbergen.

## 5.1 Beschrijving onderzoeksstal

In de onderzoeksstal van de Gezondheidsdienst voor Dieren (GD) op 't Spelderholt in Beekbergen is lucht uit 4 units, met daarin 7 hanen per unit, behandeld met één luchtwasser. De units zijn speciaal gemaakt voor infectiestudies (Figuur 5.1). De in- en uitgaande lucht van de units werd daarom door een absoluutfilter geleid om bacteriën en virussen af te vangen. De units worden ook wel isolatoren genoemd (leverancier Beyer en Eggelaar, Utrecht). De luchtwasser was geplaatst tussen de isolatoren en het absoluutfilter van de uitgaande lucht (Figuur 5.2). Tijdens het experiment zijn vier behandelingen getest op het rendement van de luchtwasser op de kiem-, ammoniak-, geur-, broeikasgas- en stofverwijdering.

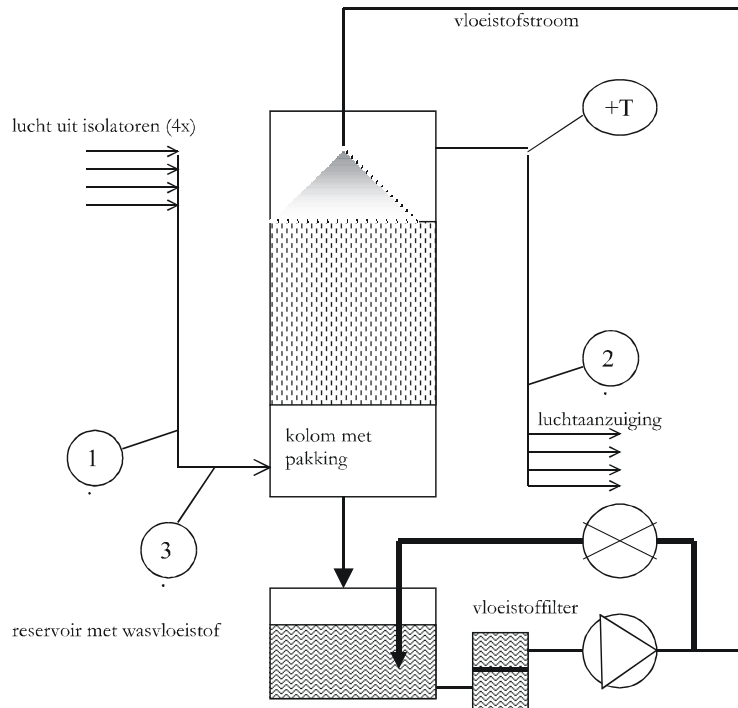


Figuur 5.2 De luchtwasser die in het onderzoek gebruikt werd voor het wassen van de lucht uit de isolatoren.

## 5.2 Beschrijving experimentele luchtwasser

Het principe van een wasser gaat uit van het bereiken van een groot contactoppervlakte tussen lucht en wasvloeistof. De luchtwasser in Beekbergen bestond uit een verticale koker met daarin pakingsringen, en een vloeistof recirculatiestroom (zie Figuren 5.2 en 5.3). Door de koker werd lucht vanuit de isolatoren van onderaf ingebracht en aan de bovenkant afgezogen en afgevoerd. Het luchtdebiet bedroeg circa  $60 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Met een vol-kegel sproeier van Lechler (typenr.

460.888.17.CE) werd de vloeistof, vanuit een reservoir, aan de bovenkant van de wasser gelijkmatig over de pakkingsringen verdeeld. Hierdoor werd de lucht van de isolatoren in contact gebracht met de vloeistof uit het reservoir. De uitstroomopening van de sproeier bevond zich ca. 20 cm boven het pakkingsmateriaal.



Figuur 5.3 Schema van de gebruikte luchtwater in het onderzoek op 't Spelderholt. 1 = aanvoerbuis lucht naar wasser; 2 = afvoerbuis lucht van wasser; 3 = T/RV sensor in aanvoerlucht

De kolom van de wasser was van transparant perspex en had een interne diameter van 29 cm. De hoogte van het pakkingsmateriaal bedroeg 50 cm en had dus een totaal bulkvolume van circa 31 L; de superficiële luchtverblijftijd bedroeg ruim 2 seconden. De lucht aan- en afvoerslangen (4 voor de ingaande lucht en 4 voor de uitgaande lucht) waren van gewapend, buigzaam pvc en hadden een diameter van 50 mm. Deze slangen waren aangesloten op de pvc 'meetbuizen' (1 en 2) met een lengte van 1,6 m en een diameter van 225 mm. Ter voorkoming van condensvorming werd de afvoerbuis (2; Figuur 5.3) van buitenaf verwarmd m.b.v. verwarmingslint (50°C) en geïsoleerd. Tevens werd de uitgaande lucht voorverwarmd met elektrische verwarming tot ca. 26,0°C (s.d. 3.7) om condensvorming in het absoluutfilter te voorkomen. De verhoogde temperatuur resulteerde in een luchtvochtigheid van gemiddeld 45,0% (s.d. 5,8) De pakkingsringen waarmee de reactor was gevuld waren thermoplastische hiflowrings van Rauschert, type 25-7  $d=2,6$  cm, spec. opp.  $214 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ .

Het vloeistofreservoir stond op een weegbalans, en had een inhoud van ca. 30 L. Een bypass zorgde voor een goede menging in het reservoir. Met de regelbare pomp (Grundfos, crn3), en de klep van de bypass werd het sproeidebiet ingesteld op ca. 6 L/min. Door de zwaartekracht werd

de vloeistof weer teruggebracht in het reservoir. Een filterkaars met een perforatieopening van 100  $\mu\text{m}$  in de vloeistofstroom voorkwam verstoppingen in het systeem. Alle onderdelen die met de wasvloeistof in aanraking kwamen waren van rvs of kunststof.

### 5.3 Methoden en metingen

Het onderzoek werd gedaan aan 3 oxiderende stoffen, waterstofperoxide, per-azijnzuur en ozon. Om de effecten van deze oxiderende middelen goed te kunnen bepalen werd eerst een controle behandeling ingezet waarin alleen water werd gebruikt als wasvloeistof. In volgorde van onderzoek werden de volgende wasvloeistoffen getest:

1. water
2. water met gestabiliseerde waterstofperoxide (gebruikte verdunning: 0,6%  $\text{H}_2\text{O}_2$ )
3. water met per-azijnzuur (verdunning: 0,13%  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$  en 0,6%  $\text{H}_2\text{O}_2$ )
4. water met ozon ( $\text{O}_3$ ; 0,15 mg/L, gereguleerd op basis van redoxpotentiaal)

De wasvloeistof bestond uit 30 L water, inclusief het oxiderend middel. Vanwege verdamping van het water in de wasser, moest regelmatig, ca. 1x per 2 dagen, ca. 5 L water worden bijgevoerd.

Bij elke behandeling zijn op tenminste drie verschillende dagen metingen door A&F (ammoniak, geur,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  en stof), en op één dag metingen door de GD (kiemen) uitgevoerd. De metingen door A&F werden uitgevoerd tussen dag 0 en 6 na de start van de behandeling. De metingen van de GD werden uitgevoerd op dag 7 na de start. Bij de metingen werden de in- en uitgaande luchtstroom respectievelijk bemonsterd bij 1 en 2 (Figuur 5.3). Tevens werd bij elke meting een monster van de vloeibare fractie verzameld. Hierin werden de pH, suspended solids (SS),  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ -concentraties bepaald. Bij de behandeling met per-azijnzuur is een analyse gedaan van een aantal geurcomponenten in de in- en uitgaande lucht om te bepalen of de geur in de uitgaande lucht werd veroorzaakt door vervluchtigd azijnzuur uit de wasvloeistof.

#### *Kiemconcentratie*

Bekende hoeveelheden *Enterococcus faecalis* of Gumboro virus zijn (op dag 7) verneveld (Figuur 5.4) in één van de vier isolatoren. Het kiemreducerend effect van de luchtwasser is onderzocht door middel van bacteriologisch en virologisch onderzoek van luchtmonsters die op verschillende tijdstippen na aërosol generatie genomen zijn vóór en na de luchtwasser.

Voor *E. faecalis* is gekozen omdat deze bacterie een darmbewoner is waarvan verwacht mag worden dat hij ook in pluimveemest en stof aanwezig zal zijn, bovendien bestaat bij de GD ruime ervaring met aërosolstudies met *E. faecalis* (Landman & Van Eck, 2001; Landman *et al.*, 2004). Ten aanzien van virussen is gekozen voor het Gumboro vaccinvirus omdat het een naakt virus is en erg resistent is, en verwacht mag worden dat hij stabiel blijft in aërosol.



Figuur 5.4 Verneveling van *E. faecalis* in de isolator. De aërosol die ontstaat, is duidelijk zichtbaar als een 'blauwe' mist.

De *E. faecalis* aërosolen werden opgewekt met 80 ml vloeistof waar 40 ml pepton water en 40 ml *E. faecalis* dagcultuur à  $10^9$  kve/ml (kve=kolonievormende eenheden). Het pepton water bevatte 10 g pepton, 5 g natrium chloride, 3,5 g dinatrium fosfaat en 1,5 g kalium diwaterstof fosfaat per liter water. Als *E. faecalis* inoculum werd een arthropathogene en amyloïdogene veldstam gebruikt (chicken/NL/Doorn/SP6085/94) (Landman et al., 1994; 1997) die na kweek op schapenbloedagar en biochemische identificatie bij  $-70^\circ\text{C}$  op kralen werd bewaard. Het *E. faecalis* inoculum werd bereid door één kraal over een schapenbloed agarplaat te rollen en vervolgens de plaat overnacht bij  $37^\circ\text{C}$  te bebroeden. Daarna werden de kolonies afgeschraapt en gesuspenderd in pepton fysiologisch zout (8,5 g natrium chloride en 1 g bacteriologisch pepton per liter water) (ISO 6887). Controle van de bacteriële concentraties werd gedaan d.m.v. tellingen volgens de internationale standaard (ISO 7402).

De Gumboro virus aërosolen werden eveneens opgewekt met 80 ml vloeistof. Deze vloeistof werd voorbereid door 12 ampullen Gumboro vaccinvirus op te lossen in 24 ml aq. dest. (2 ml per ampul) en vervolgens 56 ml pepton toe te voegen. Het vaccin bevatte per dosis  $10^{4.0}$  CCID<sub>50</sub> (Cell Culture Infective Dose 50%), iedere ampul bevatte 1000 doses.

Voor de aërosol productie werd een lucht compressor gebruikt (Mecha Concorde, type 7SAX, 100l, 10 bar/max, SACIM, Verona, Italië) die gekoppeld was aan een sproeikop (Walther Pilot I spraykop met 0,5 diameter, Walther Spritz- und Lackiersysteme, Wuppertal, Duitsland) (Figuur 5.5 en 3.7). Het volume van 80 ml werd onder een druk van 2 bar en een luchtopbrengst van 30

l/min verneveld. Het volume van iedere isolator was  $1,3125 \text{ m}^3$  (1,40 m lang, 0,75 m breed en 1,25 m hoog). De isolator temperatuur was ca. 18-20° C.



Figuur 5.5 Mecha Concorde compressor waarmee de aërosolen werden opgewekt.

De aërosol efficiëntie werd gecontroleerd d.m.v. luchtbemonstering in de isolator 3 min na het starten van de verneveling. De monsters werden genomen met een Sartorius MD2 apparaat (Sartorius, Nieuwegein) (Figuur 5.7) voorzien van steriele gelatine filters met poriën van  $3 \mu\text{m}$  en 50 mm diameter (type 11307-050-ACN, Sartorius, Nieuwegein). De monsternametijd was 2 min à 1500 l/uur (50 l lucht).

Bacteriologisch onderzoek van de gelatine filters werd verricht door ze op te lossen in 50 ml gebufferd pepton water (BPW) (Biotrading, Mijdrecht) gehouden op 37° C. Zes verdunningen ( $10^{-1}$  t/m  $10^{-6}$ ) werden gemaakt (ISO 6887) van de BPW oplossing. Vervolgens werd 0,1 ml onverdund en per verdunning op een schapenbloedagarplaat gepipeteerd. De agarplaten werden bij 37° C overnacht bebroed, waarna de kolonies werden geteld. Identificatie van *E. faecalis* werd gedaan zoals reeds beschreven (Landman et al., 1994). De detectiegrens voor de MD2 was  $10^4$  kve/ $\text{m}^3$  lucht.



Figuur 5.6 Walther Pilot I spraykop.

De gelatine filter voor het virologisch onderzoek werd opgelost in 50 ml HBSS (Hanks Balanced Salt Solution, cat.nr. 24020-091, Gibco, Invitrogen Corporation, United Kingdom) met antibioticum (benzyl penicilline natrium  $10^6$  IE (AUV 61440) per 500 ml HBSS, streptomycine 250 mg/ml (AUV 64508) en fungizone  $2000\mu\text{g/ml}$  (Bristol Meyers Squibb 43760). Van deze oplossing werd 2 ml bewaard bij  $-70^\circ\text{C}$  tot nader laboratorium onderzoek. Na het ontdooien werden tienvoudig verdunningen gemaakt ( $10^{-1}$  t/m  $10^{-5}$ ) met spoelmedium bestaand uit HBSS met antibioticum en 2 ml  $\text{NaHCO}_3$  7,5%. Van iedere verdunning en het onverdunde monster werd 0,2 ml geïnoculeerd op de chorioallantoïsmembraan van 8 dagen oude SPF embryo's. De virustiter werd berekend op basis van de sterfte en/of afwijkingen van de chorioallantoïsmembraan van SPF embryos na 6 à 7 dagen bebroeden gebruik makend van de formule van Reed en Muench (1938). De detectiegrens was  $10^{3,7}$   $\text{ID}_{50}/\text{m}^3$  lucht.



Figuur 5.7 MD2 luchtbemonsteringsapparaat gebruikt voor het controleren van de aërosol efficiëntie.



De afvangcapaciteit van de luchtwasser werd gemeten door luchtmonsters voor bacteriologisch en virologisch onderzoek vóór en na de luchtwasser gelijktijdig te nemen. Hiertoe werd een Sartorius MD8 airscan gebruikt (zie paragraaf 3.3) welke in de buis van de aan- en afvoerende lucht werden geplaatst. Voor het plaatsen van de gelatinefilterhouders werden luikjes in genoemde buizen gemaakt. Na het plaatsen van de houders werden de luiken afgeplakt om het aanzuigen van valse lucht te voorkomen (Figuur 5.8). De monsternametijd was 2 min à 2000 l/uur (67 l lucht). Luchtmonsters werden genomen vóór het starten van de aërosol, 3, 10, 20 en 30 min na start. Bacteriologisch onderzoek van de gelatinefilters werd verricht zoals hiervoor is beschreven. De detectiegrens voor de MD8 airscan was  $10^{3,9}$  kve/m<sup>3</sup> lucht.



Figuur 5.8 Aftapluik voor het nemen van luchtmonsters vóór de biowasser.

Behalve luchtmonsters werden ook watermonsters genomen van de wateropvangbak vóór en na de aërosol toepassing voor bacteriologisch onderzoek. Steeds werd een volume van 100 ml verzameld in steriele flesjes. De detectiegrens voor het bacteriologisch onderzoek van het water was  $10^4$  kve/l.

Virologisch onderzoek van de gelatine filters werd verricht zoals eerder is beschreven. Alleen de monsters van experiment 3 werden onderzocht. Uitgezonderd werden de luchtmonsters vóór de aërosol productie en op 10 min na start, en de watermonsters. Van de vaccinoplossing werden verdunningen  $10^{-1}$  t/m  $10^{-6}$  gemaakt. De detectiegrens van MD8 was  $10^{3,6}$  EID<sub>50</sub>/m<sup>3</sup>.

#### *Temperatuur en luchtvochtigheid*

De temperatuur en luchtvochtigheid van de ingaande lucht in de wasser werden elk half uur gemeten met een gecombineerde temperatuur- / luchtvochtigheidssensor (type Hygroclip S, Rotronic ag, Zwitserland). Deze werd in pvc meetbuis 1 (zie Figuur 5.3) gehangen; uitlezen

gebeurde achteraf met behulp van een pc. De uitgaande luchtstroom werd gemeten met een hand-Rotronic (Rotronic ag, Zwitserland) met afleesunit.

#### *Ventilatie-debiet*

De ventilatie door de wasser werd gemeten met een hittedraadanemometer (Type 642 ST, Wilh. Lambrecht GmbH, Göttingen, Duitsland). Het debiet werd zo ingesteld dat elke isolator een verversing had van ca.  $15 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ . Dit werd gedaan met behulp van kleppen aan de isolatoren, en gemeten in de flexibele pvc buizen van de ingaande luchtstroom. Het totale luchtdebiet werd gemeten bij 1 en 3 (Figuur 5.3).

#### *Stof*

De concentratie en deeltjesgrootteverdeling van stof in de in- en uitgaande lucht werden bepaald met behulp van massabepalingen van filters en de luchtstroom door de filters. Het systeem waarmee de bemonstering uitgevoerd werd was van het merk Respicon (Buck-gecic vss-5 pomp en Respicon Particle Sampler van TSI). In beide bemonsteringsbuizen bij 1 en 2 (Figuur 5.3) werd een Respicon geplaatst. In de Respicon bevonden zich 3 filters waardoor met een pomp monsterlucht werd geleid, voor elke filter met een andere snelheid ( $2.7$ ,  $0.3$  en  $0.1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Figuur 5.9). Door bepaling van de hoeveelheid stof op deze filters konden de volgende fracties van het stof worden bepaald: inhaalbaar stof (deeltjes  $< 100 \mu\text{m}$ ), thoracaal of fijn stof (deeltjes



Figuur 5.9 Foto van de Respicon stofmeter en de luchtpomp gebruikt in het onderzoek aan de experimentele luchtwater op 't Spelderholt.

### *Geur*

De geurmetingen werden uitgevoerd volgens het meetprotocol voor geuremissies uit de veehouderij (Werkgroep Emissiefacoren, 1996). De te analyseren lucht werd bij 1 en 2 (Figuur 5.3) voor een duur van ca. 2 uur aangezogen door een pomp. De bemonstering werd uitgevoerd met behulp van de zogenaamde longmethode. Hierbij werd een lege monsterzak, die zich in een gesloten vat bevond, via een teflonslang gevuld met lucht uit de installatie. Door de lucht uit het vat te zuigen (0,5 L/min) ontstond in het vat een onderdruk en werd lucht aangezogen. De lucht werd vóór het monstervat gefilterd met een stoffilter (poriediameter 1-2 $\mu$ m).

De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium van A&F volgens de voornorm NVN2820 met wijzigingsblad A1 (1995). De geurconcentraties werden uitgedrukt in  $OU_E/m^3$ . De uitdrukking 'OU<sub>E</sub>' staat voor 'European Odour Unit'.

### *Broeikasgassen*

De luchtmonsters waarin de broeikasgassen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O bepaald werden, werden verzameld met spuitjes van 20 ml in de ingaande en de uitgaande lucht van de wasser (punten 1 en 2, Figuur 5.3). De bepalingen werden gedaan met een gaschromatograaf.

### *NO<sub>x</sub> en H<sub>2</sub>S*

Wasterstofsulfide en stikstofoxiden werden gemeten met gasdetectiebuisjes (Kitagawa, Japan). Hierbij werd met een pomp 100 ml lucht door de buisjes geleid. De concentratie werd direct afgelezen. De NO<sub>x</sub> buisjes hadden een meetbereik van 0,5-30ppm. De watersofsulfide buisjes hadden een maximum bereik van 6 ppm, en een detectiegrens van 0,2ppm.

### *Geurcomponenten*

Met GC-MS en SPME (solid phase micro extraction) werden geurcomponenten in het systeem bepaald. Een SPME fiber van CW/DVB (carbowax divinylnbenzeen) werd hierbij voor 10 minuten in de luchtstroom gebracht. Geurcomponenten werden hierbij geadsorbeerd aan de fiber. Analyse gebeurde in de GC-MS (Gaschromatograaf – Massa Spectrofotometer). De fiber werd in de injector gebracht waar de componenten thermisch werden gedesorbeerd in de kolom. Na scheiding van de componenten in de GC werden deze gedetecteerd via MS. Met behulp van Xcalibur en AMDIS software werden de verkregen chromatogrammen verwerkt.

## **5.4 Dataverwerking**

De verschillende berekeningen die gedaan zijn om de concentraties van de verschillende gassen en stof in de in- en uitgaande lucht te bepalen zijn opgenomen in Bijlage I.

### *Statistische analyse*

Om verschillen tussen behandelingen aan te tonen is een statistische analyse uitgevoerd. Hiervoor is de procedure ANOVA van GenStat gebruikt (GenStat 6th Edition).

## 6. Resultaten metingen experimentele wassers

In Tabel 6.1 worden de resultaten gegeven van de metingen aan de verschillende oxiderende middelen. In de hierna volgende paragrafen worden de verschillende resultaten in het kort besproken.

### 6.1 Kiemen en virussen

Uit de resultaten van de kiemtellingen blijkt dat het gebruik van waterstofperoxide of ozon weinig of geen extra effect sorteerde ten opzichte van het gebruik van alleen water. Het gebruik van per-azijnzuur in de wasser gaf echter een 100% reductie van het aantal kiemen (Tabel 6.1). Dit betekent dat er in de uitgaande lucht geen kiemen konden worden aangetoond. Hetzelfde geldt voor het toegediende Gumboro vaccivirus. Ook deze werd door per-azijnzuur voor 100% gereduceerd. Vanwege de hoge kosten van de virusbepalingen is besloten alleen de virusconcentraties te bepalen voor de per-azijnzuur behandeling. De virusconcentratie van de in- en uitgaande lucht van de wasser is op 3, 20 en 30 min na het verspreiden van het virus bepaald. In de bepaling na 30 min kon al geen virus meer worden aangetoond in de ingaande lucht, daarom is deze bepaling niet meegenomen voor het berekenen van de reductie.

In de watermonsters van het waswater, die werden genomen voor en na de kiemmetingen, konden bij geen van de behandelingen (inclusief alleen water) kiemen worden aangetoond.

### 6.2 Ammoniak

Uit de ammoniakmetingen blijkt dat per-azijnzuur veruit de grootste reductie geeft van ammoniak (96%; Tabel 6.1). Waterstofperoxide lijkt de ammoniakemissie meer te reduceren dan water. Dit verschil was echter niet significant bij een onbetrouwbaarheidsgrens van 5%. Wel viel dit verschil binnen een onbetrouwbaarheidsgrens van 10%. Ook blijkt uit Tabel 6.2 dat waterstofperoxide hogere ammoniumconcentraties en lagere pH's van het waswater had dan water en ozon. Het effect van ozon op de ammoniakemissie is gering ten opzichte van die van water.

### 6.3 Geur

De geuremissie was niet significant verschillend voor de verschillende behandelingen. De controlebehandeling met alleen water als wasvloeistof liet zelfs de grootste reductie zien. Waterstofperoxide en ozon veroorzaken zelf geen sterke geur, dit in tegenstelling tot per-azijnzuur. Het azijnzuur zal voor een deel vervluchtigen uit het waswater en daarmee de geurconcentratie van de uitgaande lucht verhogen. Om de bijdrage van azijnzuur aan de geur in de uitgaande lucht in te kunnen schatten is een GC-MS analyse gedaan van de ingaande en de uitgaande lucht in de wasser. De resultaten van deze analyse worden weergegeven in Tabel 6.3.

Uit deze Tabel blijkt dat een groot deel van de geurcomponenten die in de inkomende lucht aanwezig waren worden verwijderd in de wasser. In de uitgaande lucht blijkt echter veel azijnzuur

aanwezig te zijn (stijging van piekoppervlak van 5,4 naar 28,0). Daarnaast werd een opvallend hoog gehalte aan ethyl citraat in de lucht na de wasser waargenomen. Ethyl citraat is een complexe verbinding die ontstaan kan zijn door koppeling van verschillende azijnzuurmoleculen. 2, 4, 6 trimethyl benzoic acid en formyl-, methyl ester van carbamodithioic acid zijn waarschijnlijk ontstaan door een reactie van per-azijnzuur met andere componenten in de lucht. In hoeverre deze laatste componenten geur veroorzaken is niet bekend. Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de verwijdering van een groot aantal geurcomponenten door de wasser teniet werd gedaan door vervluchtiging van azijnzuur in de wasser. De gevormde complexe verbindingen door reacties met per-azijnzuur hebben mogelijk ook een bijdrage geleverd aan de geurconcentratie in de lucht na de wasser.

## 6.4 Broeikasgassen

Uit Tabel 6.1 blijkt dat geen van de behandelingen invloed had op de emissie van methaan en lachgas. Het effect op de kooldioxide concentratie is ook opgenomen in de Tabel. Kooldioxide is in dit geval afkomstig van hernieuwbare grondstoffen en wordt als zodanig niet aangemerkt als een broeikasgas. Het enige effect van de behandelingen lijkt te zijn dat er enige kooldioxide oplost in het water. Het reductie-effect is echter zeer gering (niet significant) of helemaal afwezig.

## 6.5 Stof

De stofconcentratie in de ingaande lucht was zeer laag (Tabel 6.1). Dit in combinatie met een relatief korte periode van monsternamen veroorzaakte een grote spreiding in de metingen. De afvang van stof door de wasser varieerde gemiddeld tussen de behandelingen van 48 tot 88% voor inhaleerbaar stof, van 45 tot 84% voor thoracaal stof en van 44 tot 97% voor respirabel stof. Vanwege de grote spreiding waren deze verschillen echter niet significant.

Tabel 6.1 Emissiereductie van kiemen en milieucomponenten bij wassers met verschillende oxiderende stoffen in de proefstal op 't Spelderholt.

Wasser	Aantal waarnemingen	Voor water	Na water	Reductie <sup>1)</sup> (%)
<b>Kiemen (kve/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	4	2.0 x 10 <sup>7</sup>	8.0 x 10 <sup>6</sup>	47 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	4	2.0 x 10 <sup>8</sup>	8.0 x 10 <sup>7</sup>	53 <sup>a</sup>
Per-azijnzuur	4	2.0 x 10 <sup>8</sup>	0.0 x 10 <sup>0</sup>	100 <sup>b</sup>
Ozon	4	1.0 x 10 <sup>8</sup>	6.0 x 10 <sup>7</sup>	54 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		5.7 x 10 <sup>7</sup>	2.5 x 10 <sup>7</sup>	7
<b>Virussen (EID<sub>50</sub><sup>3)</sup>/m<sup>3</sup>)<sup>4)</sup></b>				
Per-azijnzuur	2	1.6 x 10 <sup>4</sup>	0.0 x 10 <sup>0</sup>	100
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		1.3 x 10 <sup>4</sup>	0	0
<b>Ammoniak (mg/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	25.1	18.8	25 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	3	22.9	7.8	64 <sup>ab</sup>
Per-azijnzuur	3	18.7	0.7	96 <sup>b</sup>
Ozon	3	20.6	11.8	42 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		2.2	2.8	12
<b>Geur (OU<sub>E</sub>)</b>				
Water	3	7637	3159	55 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	3	4337	4031	7 <sup>a</sup>
Per-azijnzuur	4 <sup>5)</sup>	4070	4426	-15 <sup>a</sup>
Ozon	3	6228	6579	-4 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		1800	1000	21
<b>Methaan (mg/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	1.76	1.76	0 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	2 <sup>6)</sup>	1.87	1.87	0 <sup>a</sup>
Per-azijnzuur	3	2.09	2.07	1 <sup>a</sup>
Ozon	3	1.94	2.00	-4 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		0.09	0.11	3
<b>Lachgas (N<sub>2</sub>O, mg/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	0.53	0.54	-4 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	2 <sup>6)</sup>	0.60	0.61	0 <sup>a</sup>
Per-azijnzuur	3	0.56	0.56	-1 <sup>a</sup>
Ozon	3	0.54	0.57	-5 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		0.02	0.04	7
<b>Kooldioxide (CO<sub>2</sub>, g/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	3.4	2.8	18 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	2 <sup>6)</sup>	3.4	3.1	8 <sup>a</sup>
Per-azijnzuur	3	3.5	3.3	5 <sup>a</sup>
Ozon	3	3.4	3.4	1 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		0.2	0.1	6

Wasser	Aantal waarnemingen	Voor water	Na water	Reductie <sup>1)</sup> (%)
<b>Inhaleerbaar stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	0.53	0.09	88 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide <sup>7)</sup>	0	-	-	-
Per-azijnzuur	3	0.48	0.10	78 <sup>a</sup>
Ozon	3	0.24	0.15	48 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		0.12	0.07	19
<b>Thoracaal / fijn stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	0.42	0.09	84 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide <sup>7)</sup>	0	-	-	-
Per-azijnzuur	3	0.39	0.11	71 <sup>a</sup>
Ozon	3	0.26	0.15	45 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		0.08	0.06	15
<b>Respirabel stof (mg/m<sup>3</sup>)</b>				
Water	3	0.25	0.03	97 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide <sup>7)</sup>	0	-	-	-
Per-azijnzuur	3	0.28	0.05	81 <sup>a</sup>
Ozon	3	0.16	0.10	44 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		0.05	0.03	15

<sup>1)</sup> Gemiddelden in de kolom verschillen significant (P<0,05) als er geen overeenkomende superscript letters voorkomen.

<sup>2)</sup> *s.e.m.* = standaardfout van het gemiddelde

<sup>3)</sup> EID<sub>50</sub> = 50% Egg Infectious Dose

<sup>4)</sup> De virussen zijn alleen geanalyseerd voor per-azijnzuur

<sup>5)</sup> Vanwege de grote variatie in geurconcentraties bij per-azijnzuur is hier een extra monster genomen.

<sup>6)</sup> Bij waterstofperoxide is één monster minder verzameld.

<sup>7)</sup> Van waterstofperoxide zijn geen nauwkeurige metingen verzameld.

Tabel 6.2. Samenstelling van het waswater van de wassers met verschillende oxiderende stoffen in de proefstal op 't Spelderholt.

Wasser	Aantal waarnemingen	NH <sub>3</sub> -N <sup>1)</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> -N <sup>1)</sup> (mg/L)	pH <sup>1)</sup> (-)	Zwevende deeltjes <sup>1)</sup> (mg/L)
Water	3	224 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	9.0 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>
Waterstofperoxide	4	425 <sup>ab</sup>	1.9 <sup>a</sup>	8.0 <sup>b</sup>	10.0 <sup>a</sup>
Per-azijnzuur	4	803 <sup>bc</sup>	0.0 <sup>a</sup>	5.1 <sup>c</sup>	5.4 <sup>a</sup>
Ozon	2	106 <sup>a</sup>	26.3 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>
<i>s.e.m.</i> <sup>2)</sup>		140	7.2	0.2	2.2

<sup>1)</sup> Gemiddelden in de kolom verschillen significant (P<0,05) als er geen overeenkomende superscript letters voorkomen.

<sup>2)</sup> *s.e.m.* = standaardfout van het gemiddelde

Tabel 6.3 Aanwezigheid van geurcomponenten in de in- en uitgaande lucht van de wasser bij gebruik van per-azijnzuur.

Naam	Voor wasser	Na wasser	Reductie
	(Piekkoppervlakte *10 <sup>6</sup> )		
Acetic acid	5.4	28	-419
Dimethyl sulfone	0.2	-	100
Butanoic acid	5.7	0.14	97
2-Butanol	32	-	100
Oxime-, methoxy-phenyl-	18	0.27	98
N-(2-Dimethylamino-6-ethoxy-4-oxo-7,8-diphenyl-4,6-dihydropyrrolo(1,2-a)pyrimidin-6-yl)-acetamide	4.4	-	100
meso-Hydrobenzoin	1.1	-	100
Benzene, 2,4-diisocyanato-1-methyl-	15	-	100
2H-Benzimidazol-2-one, 1,3-dihydro-5-methyl-	7	4.6	34
2H-Benzimidazol-2-one, 1,3-dihydro-5-methyl-	14	9	37
Ethyl citrate	-	110	
Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methoxy-4-methylphenyl)-	1.6	-	100
2,5,8-Triphenyl benzotriazole	12	-	100
Benzoic acid, 2,4,6-trimethyl-	-	4.1	
Ethyl 6-hydroxy-4-oxohexanoate ethylene ketal	4.3	3.9	9
Carbamodithioic acid, formyl-, methyl ester	-	4.2	

- = niet gedetecteerd

Tabel 6.4 Chemicaliën- en energieverbruik van de wassers met verschillende oxiderende stoffen in de proefstal op 't Spelderholt.

Wasser	Chemicaliën- en energiegebruik	
	bij 60 m <sup>3</sup> /uur	per 1000 m <sup>3</sup> lucht
Water	n.v.t.	n.v.t.
Waterstofperoxide opl. (6%)	3 liter/dag	2,1 liter
Per-azijnzuur opl. (5%)	0,5 liter/dag	0,35 liter
Ozon	5,5 g O <sub>3</sub> /uur; 20 kWh /kg O <sub>3</sub> <sup>1</sup>	100 g O <sub>3</sub> ; 2 kWh

<sup>1</sup> Aanname op grond van literatuur (zie paragraaf 2.4.3).



## 7. Discussie

In dit hoofdstuk wordt het effect van de verschillende luchtwastechnieken op de kiememissies en op de verschillende milieuemissies bediscussieerd. In de paragrafen 7.1. tot 7.5 worden de resultaten van de de verschillende emissies besproken en bediscussieerd. In paragraaf 7.6 worden de kosten van de luchtbehandeling besproken, terwijl in paragraaf 7.7 de mogelijke toepassing van deze luchtreinigingstechnieken in de praktijk wordt bediscussieerd. Dit onderzoek is een eerste oriënterend onderzoek geweest. In paragraaf 7.8 wordt ingegaan op de vragen die nog beantwoord moeten worden voor verantwoorde en brede toepassing van deze systemen in de praktijk.

### 7.1 Kiemen

#### 7.1.1 Metingen praktijkwassers

De biologische luchtwater had in de huidige opstelling geen kiemreducerend effect op de stallucht. Sterker nog het aantal kiemen in de uitgaande lucht was een factor 4 hoger dan van de inkomende lucht in de wasser. De volgende vragen kunnen op basis van dit onderzoek niet worden beantwoord: 1) zijn de kiemen in de uitgaande lucht dezelfde zijn als die van de ingaande lucht? 2) wat gebeurt er met ziekteverwekkende kiemen? Worden deze door de 'goede' bacteriën verdrongen of kunnen ze zich juist sterk vermeerderen in de biowasser, waardoor de emissie van ziekteverwekkende kiemen sterk zal toenemen. Verder onderzoek is nodig om deze vragen te beantwoorden.

Het kiemreducerend effect van de chemische wasser was gemiddeld 70%. Vanuit bacteriologisch oogpunt is dit een geringe reductie, aangezien nog grote aantallen kiemen emitteren. De resultaten van het onderzoek van het water van de luchtwater komen overeen met die van de luchtmonsters van beide wassers. Evenals voor de luchtmonsters is bij de biologische luchtwater een toename te zien in de concentratie van aërobe kiemen in het water aan het einde van de luchtwater. Bij de chemische wasser werd een reductie van 99,8% gemeten. Met nog meer dan 300.000 aërobe kiemen aanwezig per liter is het water van de chemische wasser echter nog niet steriel.

Opgemerkt dient te worden dat de resultaten van de praktijkmetingen niet één op één te vergelijken zijn met de metingen aan de experimentele wassers. Bij de praktijkwassers is gekeken naar het totaal kiemgetal. Deze kiemen waren afkomstig uit de stal zelf. Bij de experimentele wassers is een kiem, *E. faecalis*, in een grote hoeveelheid in de lucht gesprayd. Voor een goed vergelijk van de praktijkwassers met de experimentele wassers zouden de praktijkwassers ook in de experimentele opstelling met dezelfde kiemen moeten worden getest.

#### 7.1.2 Metingen experimentele wassers

De kiemtellingen van de *E. faecalis* cultuur in de 4 experimenten (water, waterstofperoxide, perazijnzuur en ozon) was gemiddeld  $10^{8,7}$  kve/ml. In totaal werden  $10^{10,2}$  kve *E. faecalis*/m<sup>3</sup> per

experiment verneveld. Drie minuten na de start van de aërosol verneveling werden concentraties gemeten van  $10^{9,3}$ ,  $10^{9,2}$ ,  $10^{8,6}$  en  $10^{9,1}$  kve *E. faecalis*/m<sup>3</sup> lucht in respectievelijk experiment 1, 2, 3 en 4. Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de *E. faecalis* aërosolen met succes zijn gegenereerd en reproduceerbaar zijn.

In alle experimenten tonen nagenoeg alle metingen vóór de luchtwasser verricht op 3 min na het starten van de aërosol productie maximale waardes. Vervolgmetingen laten zien dat de gevonden concentraties *E. faecalis* gehandhaafd blijven zolang de aërosol productie loopt. Dit betekent dat binnen drie minuten de 'steady-state' wordt bereikt en dat de controle metingen uitgevoerd in de isolator zelf op 3 min 'plateauwaardes' vertegenwoordigen.

Bij wassen met water, waterstofperoxide- en ozonoplossing vindt gemiddeld 47, 53 en 54% kiemreductie plaats na de luchtwasser. Vanuit bacteriologisch oogpunt hebben deze reducties echter weinig betekenis. Anders verliepen de metingen in het experiment met per-azijnzuur. Uit de luchtmonsters die verzameld waren na de luchtwasser konden hier geen kiemen meer geïsoleerd worden (onder de detectiegrens).

Geconcludeerd kan worden dat de luchtwasser de besmette lucht onvoldoende decontamineert wanneer gewassen wordt met alleen water of met waterstofperoxide of ozon toegevoegd. Echter wanneer per-azijnzuur wordt toegevoegd als desinfectans vindt een reductie van 100% plaats (reductie tot onder de detectiegrens).

Het is niet bekend in welke concentraties *E. faecalis* bacteriën nog aanwezig zijn onder de detectiegrens. Deze vraag kan mogelijk beantwoord worden door tijdens vervolgonderzoek grotere volumes lucht na de luchtwasser te bemonsteren, kleinere volumes gebufferd pepton water te gebruiken om de filters op te lossen en/of grotere volumes gebufferd pepton water waarin de gelatinefilters zijn opgelost uit te platen.

Van de vier uitgevoerde Gumboro aërosol experimenten zijn slechts de virustitraties van de monsters van het experiment met per-azijnzuur uitgevoerd. De hoge kosten van het virologisch onderzoek waren aanleiding om de titraties te beperken tot het experiment met de meest belovende uitkomsten zoals aangegeven door het bacteriologisch onderzoek.

De virustitraties toonden aan dat de luchtwasser in combinatie met per-azijnzuur Gumboro virus tot onder de detectiegrens vernietigde. Omdat het een naakt virus betrof dat vrij resistent is tegen omgevingsfactoren, mag verwacht worden dat het kiemreducerend effect van de luchtwasser ten opzichte van virussen met een mantel op z'n minst gelijk zal zijn indien per-azijnzuur aan het water wordt toegevoegd. Aangetekend moet worden dat vanwege de vriesdooistap  $\pm 1$  log verlies optreedt. Hierdoor zouden monsters die nu onder de detectiegrens liggen in werkelijkheid infectieus virus kunnen bevatten. Herhaling van het onderzoek waarbij virustitraties direct na monsternamen worden ingezet, wordt derhalve aanbevolen.

## 7.2 Ammoniak

De ammoniakemissie reducties die werden gemeten op de praktijkbedrijven voor de biologische en chemische wasser komen overeen met de reducties die in het verleden zijn gemeten voor dit type wassers.

De experimentele wasser met per-azijnzuur gaf, zoals verwacht, een sterke reductie van de ammoniakemissie. De basis per-azijnzuuroplossing die in dit onderzoek is gebruikt bestond voor ca. 5% uit per-azijnzuur, voor ca. 22% uit waterstofperoxide en voor 10% uit azijnzuur. Bij gebruik in de wasser werd deze oplossing 40x verdund. Het azijnzuur in de oplossing zorgde ervoor dat ammoniak werd gebonden. Het waswater had gemiddeld een pH van 5,1. Bij deze pH lost ammoniak gemakkelijk op in water, aangezien het evenwicht dan sterk bij ammonium ligt. De pH van het waswater bij ozon en bij alleen gebruik van water ligt bijna 4 pH-eenheden hoger. Bij een pH van 9 ligt het evenwicht tussen de gasvormige ammoniak en het opgeloste ammonium sterk bij de gasvorm. De pH van deze oplossingen wordt vooral bepaald door ammoniak zelf. Opgelost ammonium heeft namelijk een zuurconstante ( $pK_z$ ) van 9,2. De gemeten pH bij gebruik van ozon en water ligt dicht in de buurt van deze constante.

Opvallend is het relatief hoge ammoniumgehalte in het waswater bij gebruik van waterstofperoxide. Waterstofperoxide is namelijk een heel zwak zuur, met een zuurconstante ( $pK_z$ ) van 11,6. In de gebruikte oplossing was glycerine als stabilisator toegevoegd. Glycerine is enigszins zuur. Dit verklaart waarschijnlijk het relatief hoge ammoniumgehalte in het waswater bij gebruik van de waterstofperoxideoplossing in ons onderzoek. Opvallend is dat alleen voor ozon enig nitraat werd gevonden in het waswater. Blijkbaar is de oxiderende werking van de middelen onvoldoende om ammoniak te oxideren. Misschien zou met behulp van een katalysator wel oxidatie bereikt kunnen worden. Verder onderzoek hiernaar is gewenst.

## 7.3 Geur

Op het eerste gezicht lijken de verschillende oxidatiemiddelen in de experimentele wasser weinig effect te hebben op de afbraak van geurcomponenten uit de isolatoren met kippen. De geurconcentraties in de uitgaande lucht waren niet of nauwelijks verschillend van die van de inkomende lucht. De wasser met alleen water gaf zelfs de grootste geuremissiereductie, alhoewel de verschillen tussen de behandelingen niet significant waren. Uit Tabel 6.3 blijkt echter dat een groot aantal geurcomponenten wel degelijk worden geoxideerd door per-azijnzuur. Echter door de emissie van azijnzuur uit het waswater nam de geurconcentratie over de wasser niet af. Bij gebruik van per-azijnzuur in een luchtwassysteem in plaats van het tot nu toe gebruikte zwavelzuur, zal iets aan deze azijnzuuremissie gedaan moeten worden. Een tweede wasstap met alleen water of met een basische oplossing van b.v. natronloog is dan noodzakelijk om ook de geuremissie te kunnen beperken.

Waterstofperoxide is van zichzelf vrijwel reukloos, dus zal het geringe effect op de geuremissie vooral veroorzaakt worden doordat waterstofperoxide als oxidant niet sterk genoeg is om de geurcomponenten af te breken. Ten aanzien van ozon kan wat dit betreft nog geen duidelijk conclusie worden getrokken. Ozon is minder geurend dan azijnzuur, maar zeker niet reukloos.

Een deel van de geur in de uitgaande lucht zou daarom veroorzaakt kunnen zijn door ozon. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de ozonconcentratie in de tijd snel afneemt (halfwaardetijd 45 min.). Tussen de monsternamen van lucht en de bepaling van de geurconcentratie via olfactometrie zit een tijd die varieert van een paar uur tot maximaal 30 uur. Mocht er een significante hoeveelheid ozon in de lucht hebben gezeten dan is deze hoeveelheid op moment van de concentratiebepaling van geur al belangrijk afgenomen. Hieruit lijkt geconcludeerd te kunnen worden dat de gehanteerde concentratie ozon slechts een geringe afbraak van geurcomponenten bewerkstelligt.

## 7.4 Broeikasgassen

De emissie van de broeikasgassen methaan en lachgas werden niet beïnvloed door het gebruik van oxiderende middelen in de experimentele wasser. Voor methaan was dit volgens verwachting, aangezien methaan bij deze temperaturen moeilijk is te oxideren. Van tevoren was moeilijk te voorspellen wat het effect van de oxiderende middelen op de oxidatie van ammoniak zou zijn. In paragraaf 7.2 is al aangegeven dat alleen bij gebruik van ozon een geringe hoeveelheid nitraat in het waswater is gevonden. De gebruikte oxiderende middelen blijken ammoniak niet of nauwelijks om te kunnen zetten bij de heersende temperatuur van ca. 20°C. In een klein lab-experiment werd wel gevonden dat bij een temperatuur van ca. 40°C wel een reactie plaatsvond tussen waterstofperoxide en ammoniak. Welke producten hierbij werden gevormd is niet bepaald. Lachgas is een product dat kan ontstaan in het oxidatieproces. Van microbiële omzettingen van ammoniak naar nitraat in een zuurstofrijke omgeving (nitrificatie) en de omzetting van nitraat naar stikstofgas in een zuurstofarme omgeving (denitrificatie) is bekend dat lachgas kan ontstaan (Groenestein and Faassen, 1996). Bij de heersende temperaturen in afwezigheid van micro-organismen zijn deze omzettingen blijikbaar te verwaarlozen.

Kooldioxide is in dit onderzoek alleen voor de volledigheid meegenomen. Kooldioxide was in dit onderzoek vooral afkomstig van de respiratie van de dieren. Dit kooldioxide is niet van fossiele oorsprong en wordt daarom niet als een bijdrage aan het broeikaseffect gezien. De oxiderende middelen hebben, zoals verwacht, geen invloed op de kooldioxideconcentratie. De enigszins lagere concentratie in de uitgaande lucht wordt veroorzaakt doordat kooldioxide in geringe mate oplost in water.

## 7.5 Stof

Bij de experimentele wasser waren er in het begin van het onderzoek problemen met de nauwkeurigheid waarmee de stofemissiereductie kon worden bepaald. Dit werd vooral veroorzaakt door de relatief geringe hoeveelheid stof die werd geëmitteerd in combinatie met de relatief korte bemonsteringsperiode. Door bij de wegingen alleen de filters te wegen in plaats van de filters met de petrischaaltjes, waarin ze werden bewaard, kon de nauwkeurigheid worden verhoogd. Desalniettemin blijkt uit Tabel 6.1 dat de variatie in de metingen nog steeds aanzienlijk is. Er kon geen verschil worden vastgesteld in de stofreductie tussen de verschillende behandelingen. Dit was ook de verwachting, aangezien de hypothese van tevoren was dat het stofreducerend effect vooral veroorzaakt zou worden door het waseffect van het water en niet

door het oxiderende vermogen van de oxidanten. Vanwege de grote variatie is het moeilijk om vast te stellen wat de precieze potentie van de wasser is om stof te reduceren. Men zou mogen verwachten dat de wasser de grote deeltjes eerder zou verwijderen dan de kleinere deeltjes. Dit blijkt echter niet uit de gemeten reductiepercentages voor de verschillende deeltjesgroottes.

Van tevoren werd een hogere reductie van stof verwacht dan de gemeten verwijdering die varieerde van 44 tot 97%. Er werd een reductie in stof verwacht van bijna 100%. Een mogelijke oorzaak van de lagere gemeten reductie zou kunnen zijn dat kleine waterdruppeltjes die met de luchtstroom werden meegevoerd zwevende stofdeeltjes bevatten die vervolgens op de stoffilters neersloegen. Een druppelvanger na de wasser zou emissie van stofdeeltjes via deze weg waarschijnlijk belangrijk kunnen voorkomen.

## 7.6 Economische evaluatie

In hoofdstuk 2 is voor verschillende luchtreinigingssystemen aangegeven wat de investerings- en exploitatiekosten zijn. In principe kan het kostenplaatje van de chemische wasser als uitgangspunt genomen worden voor de kosten van andere wassystemen. Het belangrijkste verschil is dat er andere chemicaliën worden gebruikt en dat het spuiwater een andere samenstelling en hoeveelheid heeft. De jaarkosten van een chemische wasser voor de behandeling van stallucht bedragen € 12,60 (excl. BTW) per vleesvarkensplaats (Melse en Willers, 2004). Uitgaand van het chemicaliëngebruik zoals dit het geval was tijdens de experimenten (zie Tabel 6.4), kan voor waterstofperoxide, per-azijnzuur en ozon globaal berekend worden wat de exploitatiekosten zijn van luchtwassing. Aangezien er in de experimenten nog geen poging is gedaan om het gebruik van chemicaliën te optimaliseren, dat wil zeggen vast te stellen welke hoeveelheid chemicaliën nodig is om een gewenste kiemreductie te bereiken, zal het chemicaliëngebruik in werkelijkheid waarschijnlijk lager liggen dan in de experimenten. Daarom wordt in de indicatieve kostenberekening in Tabel 7.1 aangenomen dat het chemicaliëngebruik een factor 10 lager ligt dan in de experimenten.

Verder worden twee situaties doorgerekend: 1) Continu in bedrijf: het systeem draait 24 uur per dag, 365 dagen per jaar, en 2) Discontinu in bedrijf: het systeem draait alleen in geval van calamiteiten. Tenslotte moet opgemerkt worden dat opschaling van laboratoriumschaal naar praktijschaal in het bijzonder voor ozongeneratie een flinke kostenreductie met zich mee zal brengen. De reden hiervoor is dat de kosten van ozon grotendeels gevormd worden door de investeringskosten voor het ozongeneratiesysteem.

Uit Tabel 7.1 volgt dat de kosten van het verbruik voor zwavelzuur relatief laag zijn ten opzichte van de totale jaarkosten. Voor de andere chemicaliën, vooral voor per-azijnzuur en ozon, geldt dat de kosten van een continu bedreven installatie zeer hoog zijn. Wanneer het systeem echter alleen in geval van calamiteiten wordt gebruikt zijn de kosten veel lager, zoals uit de laatste kolom van Tabel 7.1 blijkt. Wanneer de wasser buiten de calamiteiten om wordt gebruikt voor ammoniakverwijdering met zwavelzuur, worden extra kosten van € 2,2 per vleesvarkensplaats per jaar gemaakt.

**Tabel 7.1** Indicatieve exploitatiekosten van verschillende wassystemen voor stallucht (€ per vleesvarkensplaats per jaar, excl. BTW) <sup>(1)</sup>.

Type wasser	Continu in bedrijf			Alleen bij calamiteiten (4 weken per 5 jaar)
	Exploitatiekosten excl. chemicaliën (€/ (vlv*jaar)) <sup>(2)</sup>	Chemicaliën (€/ (vlv*jaar)) <sup>(3)</sup>	Totaal (€/ (vlv*jaar))	Totaal (€/ (vlv*jaar))
Zwavelzuur <sup>(4)</sup>	12,6	2,2	15	12,6
Water	idem	0	13	12,6
Waterstofperoxide	idem	5,7 <sup>(5)</sup>	18	12,7
Per-azijnzuur <sup>(6)</sup>	idem	35 <sup>(5)</sup>	48	13,1
Ozon	idem	83 <sup>(7)</sup>	95	15,1

<sup>(1)</sup> Er is geen rekening gehouden met een kostenreductie als gevolg van opschaling van het proces. De kosten zijn exclusief afzet van het spuiwater.

<sup>(2)</sup> vlv = vleesvarkensplaats.

<sup>(3)</sup> Kosten zijn berekend uit hoofdstuk 2.2 en Tabel 6.4. Aangenomen wordt dat het gemiddelde ventilatiedebiet 35 m<sup>3</sup> per vleesvarkensplaats per uur bedraagt.

<sup>(4)</sup> Dit is de chemische wasser zoals beschreven in paragraaf 2.2.3.

<sup>(5)</sup> Er wordt vanuit gegaan dat het chemicaliëngebruik als gevolg van optimalisatie 10 maal zo laag is dan in Tabel 6.4.

<sup>(6)</sup> Behalve desinfectie wordt ook de emissie van ammoniak sterk verminderd.

<sup>(7)</sup> Berekening van de exploitatiekosten van ozongeneratie is overgenomen uit paragraaf 2.4.3. Wanneer de benodigde hoeveelheid ozon 10 maal zo laag is, wordt aangenomen dat de kosten van ozongeneratie met een factor 5 dalen.

In Tabel 7.2 zijn tenslotte de kosten weergegeven van twee andere systemen voor desinfectie van stallucht, te weten UV<sub>C</sub> bestraling en absoluut filtratie. De kosten van deze systemen zijn eveneens aangegeven voor continu bedrijf en voor gebruik alleen in geval van calamiteiten.

**Tabel 7.2** Exploitatiekosten van UV<sub>C</sub> behandeling en absoluutfiltratie van stallucht (€ per vleesvarkensplaats per jaar, excl. BTW) <sup>(1)</sup>.

Behandeling	Continu in bedrijf	Alleen bij calamiteiten (4 weken per 5 jaar)
UV <sub>C</sub>	32,3	2,3
Absoluutfiltratie	22,5	17,6

<sup>(1)</sup> Kosten zijn berekend uit hoofdstuk 2.5 en 2.6.

Uit vergelijking van Tabel 7.1 en Tabel 7.2 volgt dat het volgende voor twee situaties:

- *Installatie continu in gebruik voor desinfectie van lucht*

Voor een continu bedreven installatie zijn desinfectie met waterstofperoxide en absoluutfiltratie de goedkoopste systemen. Echter, desinfectie met waterstofperoxide bleek onvoldoende te zijn (zie hoofdstuk 6) zodat absoluutfiltratie als goedkoopste methode voor desinfectie overblijft. Bij absoluutfiltratie is er echter geen sprake van ammoniakverwijdering. Wanneer naast volledige

kiemverwijdering ook de verwijdering van ammoniak een vereiste is, is wassing met per-azijnzuur de beste keuze.

- *Installatie alleen in gebruik voor desinfectie van lucht bij calamiteiten*

Wanneer de installatie voor kiemverwijdering alleen tijdens periodes van calamiteiten dient te functioneren, is UV<sub>C</sub> behandeling de goedkoopste methode. Bij behandeling van stallucht met UV<sub>C</sub> is er echter geen sprake van ammoniakverwijdering. Wanneer naast volledige kiemverwijdering ook de verwijdering van ammoniak een vereiste is, is wassing met per-azijnzuur de beste keuze. Buiten calamiteitsperiodes om kan zwavelzuur worden gebruikt voor het wassen van de lucht. Tijdens calamiteiten kan zwavelzuur vervangen (of indien mogelijk) aangevuld met per-azijnzuur voor desinfectie van de lucht.

## 7.7 Toepassing in de praktijk

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat er mogelijkheden zijn om technieken die ingezet worden om milieuemissies uit de intensieve veehouderij te bestrijden tevens ingezet kunnen worden om verspreiding van ziektekiemen te voorkomen. Dit is een belangrijk extra voordeel voor het gebruik van luchtwassers in de praktijk. Per-azijnzuur blijkt zeer effectief te zijn in het afdoden van kiemen (bacteriën en virussen) in de lucht. Per-azijnzuur zorgt daarnaast ook voor een zeer sterke reductie van de ammoniakemissie. Door een tweede, relatief simpele, luchtreinigingsstap met alleen water of met een basische oplossing erachter te koppelen, kan ook de geuremissie belangrijk worden gereduceerd. Op dit moment is per-azijnzuur echter te duur om continue in een luchtwasser in te zetten. Zwavelzuur is nog vele malen goedkoper. Bij bulkproductie zal per-azijnzuur in de toekomst waarschijnlijk een stuk goedkoper geproduceerd kunnen worden. Per-azijnzuur heeft als voordeel t.o.v. zwavelzuur dat het een goed afbreekbare organische stof is en in die zin milieuvriendelijker is. Mogelijkheden zullen in de toekomst moeten worden onderzocht om het gevormde azijnzuur en waterstofperoxide weer op te waarderen, zodat het hergebruikt kan worden.

Per-azijnzuur zou alleen ingezet kunnen worden bij calamiteiten zoals varkens- of vogelpest. Bij een uitbraak kunnen bedrijven met een chemische wasser het zwavelzuur vervangen door per-azijnzuur. Op deze manier kan voorkomen worden dat deze ziekten zich als een olievlek over het land verspreiden als gevolg van ongecontroleerde verspreiding van kiemen, al dan niet ingekapseld in stof, via de lucht. Een voorwaarde is dan wel dat het merendeel van de bedrijven in een bepaald gebied beschikt over een chemische wasser en dat snel gehandeld wordt indien een besmetting wordt geconstateerd.

Een belangrijk discussiepunt bij het voorkomen van ziekteverspreiding via de lucht is de vraag of je de inkomende of de uitgaande lucht moet behandelen. Het directe belang van de individuele veehouder is veeleer om de inkomende lucht te behandelen. Dan kan hij zijn dieren immers effectief tegen ziekten beschermen. Uit sector oogpunt is echter het voorkomen van verspreiding van kiemen via de uitgaande lucht van groter belang. Een bedrijf kan immers via verschillende routes besmet worden. Verspreiding van de kiemen via de lucht is slechts één van deze routes. Bij besmetting van een bedrijf via een bepaalde route wordt voorkomen dat de kiemen zich verder

verspreiden. In het geval dat alle bedrijven in een bepaald gebied de inkomende lucht zuiveren vervalt dit voordeel, aangezien de kiemen die verspreid worden door het besmette bedrijf dan niet via de lucht binnen kunnen dringen op andere bedrijven.

Naast voorgaande redenen, was een belangrijke reden om in dit onderzoek te kijken naar het voorkomen van ziekteverspreiding via de uitgaande lucht de mogelijkheid om dit te combineren met technieken om milieuemissies te voorkomen. Luchtwassers worden op een aantal bedrijven reeds ingezet. Bestaande technieken kunnen daarom niet alleen ingezet worden voor bestrijding van milieuemissies, maar tevens voor het voorkomen van verspreiding van ziektekiemen via de lucht.

## 7.8 Vervolgonderzoek

Dit onderzoek is een eerste oriënterend onderzoek geweest om te kijken naar het effect van luchtwassers op de verspreiding van kiemen. Er zijn echter nog verschillende vragen te beantwoorden. Voordat per-azijnzuur op praktijkbedrijven ingezet kan worden zullen in ieder geval de volgende vragen moeten worden beantwoord:

- Hoe kan het per-azijnzuur op een veilige manier worden opgeslagen op het bedrijf en worden toegediend aan het waswater? Per-azijnzuur is in geconcentreerde vorm een zeer agressief middel. Het opslaan van dit middel op het bedrijf zal aan bepaalde veiligheidsvoorschriften moeten voldoen. Daarnaast zal het middel automatisch moeten worden toegediend aan het waswater. In dit onderzoek is steeds zoveel middel toegevoegd dat de pH van het waswater daalde tot 4. De vraag is of de pH de beste sturende parameter is. Dit zal verder moeten worden bekeken.
- Wat is de optimale concentratie van per-azijnzuur in het waswater? In het onderzoek is gewerkt met een uiteindelijke concentratie in het waswater van 0,6% op basis van waterstofperoxide. Dit kwam overeen met een concentratie van 0,12% per-azijnzuur. Lagere concentraties zijn misschien mogelijk met een vergelijkbaar effect. Verder onderzoek hiernaar is nodig.
- Kan per-azijnzuur als aerosol in de lucht worden opgenomen en, zo ja, wat kan gedaan worden om dit te voorkomen.

Daarnaast is het relevant om extra onderzoek te doen op de volgende punten:

- Verbetering van de huidige wassers met zwavelzuur t.a.v. kiemdoding. Het verbeteren van het contact tussen lucht en water en het werken met hogere concentraties zwavelzuur zouden mogelijkheden kunnen zijn om een hogere kiemreductie te bewerkstelligen.
- Onderzoek aan andere sterk oxiderende stoffen, zoals peroxone (combinatie van ozon en waterstofperoxide).
- Onderzoek naar mogelijkheden om de kosten van luchtwassers te reduceren. Variabele kosten a.g.v. verbruik van zuur zouden b.v. gereduceerd kunnen worden door recycling van het zuur.



## 8. Conclusies

- De huidige luchtwassers in de praktijk, de biowasser en de chemische wasser, voldoen om de ammoniak- (en geuremissie) te reduceren, maar geven onvoldoende reductie van de kiememissies om de verspreiding van besmettelijke dierziekten via uitgestoten ventilatielucht gegarandeerd tegen te kunnen gaan.
- Wassen met alleen water geeft geen emissiereductie van methaan en lachgas, een beperkte reductie van kiemen, ammoniak en geur en een sterke reductie van stof.
- Een sterk oxiderende stof zoals per-azijnzuur is nodig om de kiemen (bacteriën en virussen) voor (vrijwel) 100% te reduceren in de uitgaande lucht.
- Het gebruik van 0,6% peroxide oplossing of een oplossing met 0,15 mg/L ozon heeft geen aantoonbaar groter effect dan het gebruik van alleen water voor het reinigen van stallucht t.a.v. ammoniak, geur, broeikasgassen en stof.
- Per-azijnzuur heeft als voordeel ten opzichte van water, waterstofperoxide of ozon dat het tevens de lucht voor bijna 100% reinigt van ammoniak. Een groot aantal geurcomponenten in de ingaande lucht worden tevens voor vrijwel 100% afgebroken. Het nadeel van per-azijnzuur is echter dat het zelf een bron is van geuremissie. Een extra wastrap met water of een basische oplossing zou deze geur weg kunnen vangen.
- Voor continue desinfectie van de lucht is absoluutfiltratie op dit moment het goedkoopste systeem. Wanneer echter naast kiemverwijdering ook verwijdering van ammoniak een vereiste is, is wassing met per-azijnzuur de beste keuze.
- Bij desinfectie alleen ten tijde van calamiteiten is UV<sub>C</sub> behandeling de goedkoopste methode. Wanneer echter naast kiemverwijdering ook de verwijdering van ammoniak een vereiste is, is wassing met per-azijnzuur de beste keuze. Buiten calamiteitsperioden om kan zwavelzuur worden gebruikt voor het wassen van de lucht.
- Dit project is een eerste oriënterend onderzoek geweest naar mogelijkheden om kiemverspreiding via de uitgaande lucht tegen te gaan, in combinatie met reductie van milieuemissies. Het is aan te bevelen dit onderzoek voort te zetten om het effect van concentratie (per-azijnzuur en ozon) en andere oxiderende middelen (b.v. peroxone) te onderzoeken.
- Dit onderzoek heeft aangetoond dat luchtwassystemen niet alleen ingezet kunnen worden voor de reductie van ammoniak (en geur), maar tevens kunnen voorkomen dat besmettelijke kiemen, al dan niet ingekapseld in stof, zich via de lucht kunnen verspreiden. Uit dit onderzoek is per-azijnzuur naar voren gekomen als een zeer goed desinfectans. Vervolgonderzoek zal moeten aangeven wat de optimale concentratie is van per-azijnzuur en of er eventueel nog andere desinfectans gebruikt kunnen worden.

## Literatuur

- Aarnink, A. J. A., P. F. M. M. Roelofs, H. Ellen & H. Gunnink (1999). "Dust sources in animal houses." Proceedings Int. Symp. on Dust Control in Animal Production Facilities, 30 May - 2 June, Aarhus (D), p. 34-40.
- Asseldonk M. M. L. van & J. A. M Voermans (1989) Toepassing van biobedden in de veehouderij. Proefverslag nummer P 1.47. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.
- Bemmel, J.B.M. van & A.W. van der Werf (2002) Haalbaarheidsstudie naar de toepassing van biologische technieken voor de behandeling van methaan houdende lucht uit stallen en mestopslagen. Projectcode 2000-1366. Bioclear, Groningen (opgenomen als bijlage in Melse, R.W. (2003) Biologisch filter voor verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen. Rapport 2003-16. Agrotechnolgy & Food Innovations, Wageningen. ISBN 90-5406-240-1.)
- Demmers T. G. M. & G.H. Uenk (1996) Experimenten met een biofilter op kleine schaal. Nota P 96-37. IMAG, Wageningen.
- Eggels P. G. & R. Scholtens (1989) Biofiltratie van ammoniakbevattende stallucht bij de intensieve veehouderij, fase 3: Onderzoek aan een praktijk biofilter. MT-TNO/IMAG, Wageningen.
- Groenestein, C. M. & H. G. van Faassen (1996). "Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs." J. agric. Engng Res. 65: 269-274.
- ISO 6887 (1983). Microbiology - General guidance for the preparation of dilutions for microbiological examination. International Standard Organisation, 1st Edn, Geneva.
- ISO 7402 (1985). Microbiology - General guidance for the enumeration of Enterobacteriaceae without resuscitation - MPN technique and colony count technique. International Standard Organisation, 1st Edn, Geneva.
- Landman, W.J.M., E. Gruys. & R.M. Dwars (1994). A syndrome associated with growth depression and amyloid arthropathy in layers: a preliminary report. Avian Pathology, 23, 461-470.
- Landman, W.J.M., N.H.M.T. Peperkamp, C.A.M. Koch, P.C.J. Tooten, P.A.P. Crauwels & E. Gruys (1997) Induction of amyloid arthropathy in chickens. Amyloid: the International Journal of Experimental and Clinical Investigation, 4, 87-97.
- Landman, W.J.M. & J.H.H. van Eck (2001). Aerosolization of Newcastle Disease Vaccine Virus and Enterococcus faecalis. Avian Diseases, 45, 648-687.
- Landman, W.J.M., E.A. Corbinie, A. Feberwe & J.H.H. Van Eck (2004). Aerosolization of Mycoplasma synoviae compared to M. Galliseptium and Enterococcus faecalis. Avian Pathology, in press.
- Melse, R.W & H.C. Willers (2003) Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. In voorbereiding. Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen.
- Melse, R.W & H.C. Willers (2004) Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij, Fase 1: Techniek en kosten. In voorbereiding. Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen.
- Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering; Treatment and reuse Fourth Edition. Published by McGraw-Hill, New York.
- Monteny G. J., M. Verhaak, E. Hartung (1998) Technical and economical feasibility of integration of a catalytic reactor system for removal of aerial pollutants from livestock

- operations. Framework BRITE-EURAM project, BEST-CT97-0556. Nota V 98-45. IMAG-DLO, Wageningen.
- NMP4 (2001) Een wereld en een wil; werken aan duurzaamheid. Nationaal Milieubeleidsplan 4. <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=9334>.
- NNI (1995) NVN 2880/A1 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, maart 1995. (met wijzigingsblad A1, in brief aan geaccrediteerde instellingen, 1996).
- Reed, L.J. & H. Muench (1938). A simple method for estimating fifty percent endpoint. *American Journal of Hygiene*, 27, 493-497.
- Roelofs, P. (1999). Desinfectie binnenkomende lucht met UV-straling. *Periodiek Varkenshouderij*, Proefstation voor de Varkenshouderij.
- Sande-Schellekens A. L. P. van de & G. B. C. Backus (1993) Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO. Proefverslag nummer P 1.99. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.
- Summerfelt, S.T. (2003). Ozonation and UV irradiation – an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering* 28: 21-36.
- VROM (2001) Ontwerp-Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij. Staatscourant 23 mei 2001, nr. 99, en de hierbij behorende wijzigingen van recenter datum (ook bekend onder de naam "AMvB Huisvesting").
- Werkgroep Emissiefactoren (1996) Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Verkrijgbaar via het Ministerie van landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Wintjes, Y. (1993) Gaswasfles. In: E.N.J. van Ouwekerck (ED.): Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 38-40

## Samenvatting

De uitbraken van varkenspest, mond- en klauwzeer en de vogelpest hebben laten zien dat de verspreiding van deze zeer besmettelijke ziekten moeilijk is te stoppen. De uitstoot van stallucht is waarschijnlijk een belangrijke besmettingsroute waardoor de ziekte zich als een olievlek uit kan breiden. Ziektekiemen kunnen zich, al dan niet ingekapseld in stofdeeltjes, van bedrijf tot bedrijf verspreiden via de uitgestoten ventilatielucht. Daarnaast stoten veehouderijbedrijven op dit moment nog teveel milieubelastende stoffen uit. De doelstelling van dit onderzoek was om te onderzoeken of er technieken voor handen zijn die zowel de verspreiding van ziektekiemen tegen kunnen gaan als een sterke reductie van de uitstoot van milieubelastende stoffen geven. Dit soort technieken kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de ontwikkeling van een duurzame intensieve veehouderij.

Het onderzoek is gestart met een deskstudie naar mogelijke technieken die aan voorgaande randvoorwaarden zouden kunnen voldoen. Op basis van deze studie kwamen de volgende technieken positief naar voren:

- De verschillende wassystemen: biowasser, chemische wasser (zwavelzuur) en de wasser met alleen water. Deze systemen komen positief naar voren, omdat ze vooral goed scoren op de milieu-emissies. Aangezien ze waarschijnlijk ook een belangrijk deel van het stof wegvangen zal de kiememissie waarschijnlijk ook gereduceerd worden. Dit effect zal echter nader moeten worden onderzocht. Daarnaast zijn de kosten van deze systemen, wanneer ze vergeleken worden met de andere systemen, niet al te hoog.
- De chemische oxidatiemiddelen ozon, waterstofperoxide, per-azijnzuur en peroxone. De voordelen van deze middelen zitten vooral in de reductie van de stofemissie (door het wassysteem) en de reductie van de kiememissie (door de oxidatieve werking van het middel). Het effect op de ammoniak- en geuremissie is van deze middelen nog onvoldoende bekend en dient nader te worden onderzocht. Bij per-azijnzuur kan al wel worden aangegeven dat het ammoniak zal binden door de zure werking van azijnzuur.
- Korte golf straling met  $UV_C$ . Het grote voordeel van  $UV_C$ -straling is dat het zeer effectief is in het afdoden van kiemen, zowel bacteriën als virussen. Aangezien  $UV_C$  geen effect heeft op de milieu-emissies kan dit systeem ook voor de ingaande lucht worden toegepast. Over de mogelijke toepassing van  $UV_C$  in de varkenshouderij is reeds een uitgebreid rapport verschenen.
- Absoluut filtratie. Het grote voordeel van absoluutfiltratie is dat het alle deeltjes afvangt, zowel stof als ziektekiemen en virussen. Het doet echter weinig aan de milieuemissies. Het systeem kan zowel bij de ingaande als de uitgaande lucht worden toegepast. Over het gebruik van absoluut filters in een APF stal is reeds een uitgebreid rapport verschenen.
- Fotokatalyse. Dit is een vrij nieuwe techniek. Effecten zijn daarom nog moeilijk aan te geven. De techniek zou misschien perspectief kunnen bieden voor toepassing in de intensieve veehouderij.

Er werd besloten om ons in dit project in het verdere experimentele onderzoek te concentreren op wassystemen die in de praktijk al draaien en op onderzoek aan chemische oxidatiemiddelen. In twee praktijkstallen zijn metingen gedaan aan een biologische en een chemische wasser. In een onderzoeksstal van de Gezondheidsdienst voor Dieren op 't Spelderholt is onderzoek gedaan aan een experimentele wasser waar verschillende oxidatiemiddelen aan het waswater zijn toegevoegd,

namelijk waterstofperoxide, per-azijnzuur en ozon. Ter vergelijking werd een controlebehandeling meegenomen waarbij de lucht alleen met water werd gewassen.

Uit de resultaten van de metingen aan de praktijkwassers en de experimentele wasser met toegevoegde oxidatiemiddelen konden de volgende conclusies worden getrokken:

- De huidige luchtwassers in de praktijk, de biowasser en de chemische wasser, voldoen om de ammoniak- (en geuremissie) te reduceren, maar geven onvoldoende reductie van de kiememissies om de verspreiding van besmettelijke dierziekten via uitgestoten ventilatielucht gegarandeerd tegen te kunnen gaan.
- Wassen met alleen water geeft geen emissiereductie van methaan en lachgas, een beperkte reductie van kiemen, ammoniak en geur en een sterke reductie van stof.
- Een sterk oxiderende stof zoals per-azijnzuur is nodig om de kiemen (bacteriën en virussen) voor (vrijwel) 100% te reduceren in de uitgaande lucht.
- Het gebruik van 0,6% peroxide oplossing of een oplossing met 0,15 mg/L ozon heeft geen aantoonbaar groter effect dan het gebruik van alleen water voor het reinigen van stallucht t.a.v. ammoniak, geur, broeikasgassen en stof.
- Per-azijnzuur heeft als voordeel ten opzichte van water, waterstofperoxide of ozon dat het tevens de lucht voor bijna 100% reinigt van ammoniak. Een groot aantal geurcomponenten in de ingaande lucht worden tevens voor vrijwel 100% afgebroken. Het nadeel van per-azijnzuur is echter dat het zelf een bron is van geuremissie. Een extra wastrap met water of een basische oplossing zou deze geur weg kunnen vangen.
- Voor continue desinfectie van de lucht is absoluutfiltratie op dit moment het goedkoopste systeem. Wanneer echter naast kiemverwijdering ook verwijdering van ammoniak een vereiste is, is wassing met per-azijnzuur de beste keuze.
- Bij desinfectie alleen ten tijde van calamiteiten is UV<sub>C</sub> behandeling de goedkoopste methode. Wanneer echter naast kiemverwijdering ook de verwijdering van ammoniak een vereiste is, is wassing met per-azijnzuur de beste keuze. Buiten calamiteitsperioden om kan zwavelzuur worden gebruikt voor het wassen van de lucht.
- Dit project is een eerste oriënterend onderzoek geweest naar mogelijkheden om kiemverspreiding via de uitgaande lucht tegen te gaan, in combinatie met reductie van milieuemissies. Het is aan te bevelen dit onderzoek voort te zetten om het effect van concentratie (per-azijnzuur en ozon) en andere oxiderende middelen (b.v. peroxone) te onderzoeken.
- Dit onderzoek heeft aangetoond dat luchtwassystemen niet alleen ingezet kunnen worden voor de reductie van ammoniak (en geur), maar tevens kunnen voorkomen dat besmettelijke kiemen, al dan niet ingekapseld in stof, zich via de lucht kunnen verspreiden. Uit dit onderzoek is per-azijnzuur naar voren gekomen als een zeer goed desinfectans. Vervolgonderzoek zal moeten aangeven wat de optimale concentratie is van per-azijnzuur en of er eventueel nog andere desinfectans gebruikt kunnen worden.

## Bijlage I Formules voor berekening van de concentraties

Uit de analyses van de ammoniak- en broeikasgasmonsters konden de betreffende concentraties als volgt worden berekend.

$$\text{Ammoniak: } C_{NH_3} = \frac{v.c}{t.s} * 10^9$$

waarbij:

$C_{NH_3}$  = ammoniakconcentratie in luchtstroom wasser ( $mg.m^{-3}$ )

v = volume salpeterzuur na bemonstering (l)

c = concentratie ammoniak gaswasflesmonster ( $g.l^{-1}$ )

t = tijd monsterneming (minuten)

s = snelheid monsterneming ( $ml.minuut^{-1}$ )

$$\text{Broeikasgassen: } C_{bg} = \frac{M.P.c_{bg}}{R.T} * 10^{-3}$$

waarbij:

$C_{BG}$  = broeikasgasconcentratie ( $mg.m^{-3}$ )

M = molmassa broeikasgas ( $g.mol^{-1}$ )

P = standaard luchtdruk ( $1,01325.10^5$  Pa)

$c_{bg}$  = gemeten concentratie broeikasgas (ppm)

R = molaire gasconstante ( $8,3145 J.mol^{-1}.K^{-1}$ )

T = temperatuur tijdens meting (K)

De stofconcentratie van de lucht werd als volgt berekend:

$$\text{Stof: } C_{stof} = \frac{m_e - m_b}{t.s} * 10^6$$

waarbij:

$C_{stof}$  = stofconcentratie ( $mg.m^{-3}$ )

$m_e$  = massa filter na bemonstering (mg)

$m_b$  = massa filter voor bemonstering (mg)

*Ventilatiedebiet*

De luchtsnelheid werd in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  weergegeven. Omrekenen naar  $\text{m}^3\cdot\text{uur}^{-1}$  gebeurde door:

$$D = 3600V\pi r^2$$

waarbij:

D = debiet ( $\text{m}^3\cdot\text{uur}^{-1}$ )

V = luchtsnelheid ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

r = straal buis (m)