

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 502

Maatregelen ter vermindering van  
fijnstofemissie uit pluimveehouderij; validatie  
van een luchtwassysteem met water als  
wasvloeistof bij twee pluimveebedrijven

September 2011



**LIVESTOCK RESEARCH**  
**WAGENINGEN UR**

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie in het kader van het 'Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij' (Ogink en Aarnink, 2008).

## Colofon

### Uitgever

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

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011

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

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal Veterinair Instituut en het Departement Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit de Animal Sciences Group van Wageningen UR.



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

## Abstract

In this study the removal efficiency for fine dust (PM10 and PM2.5) has been determined at two scrubbers located at two different poultry houses. In addition, inlet and outlet concentrations were measured for ammonia, greenhouse gases and odour.

## Keywords

Fine dust, PM10, PM2.5, emission, scrubber, poultry

## Referaat

## Auteurs

R.W. Melse  
J.M.G. Hol  
F. Dousma  
G.M. Nijeboer  
J.W.M. Huis in 't Veld

## Titel

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit pluimveehouderij; validatie van een luchtwassysteem met water als wasvloeistof bij twee pluimveebedrijven

Rapport 502

## Samenvatting

In dit onderzoek zijn de verwijderingsrendementen voor fijnstof (PM10 en PM2,5) bepaald van een tweetal wassers op verschillende pluimveestallen. Additioneel zijn de in- en uitgaande concentraties van ammoniak, broeikasgassen en geur bepaald.

## Trefwoorden

Fijnstof, PM10, PM2.5, fijn stof, pluimvee, wasser



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 502

Maatregelen ter vermindering van  
fijnstofemissie uit pluimveehouderij; validatie  
van een luchtwassysteem met water als  
wasvloeistof bij twee pluimveebedrijven

Measures to reduce fine dust emissions from  
poultry housings; validation of a scrubber  
system with water as scrubbing solution at two  
poultry farms

R.W. Melse

J.M.G. Hol

F.Dousma

G.M. Nijeboer

J.W.M. Huis in 't Veld

September 2011



## **Voorwoord**

In dit onderzoek is de effectiviteit van een tweetal wassers getest met betrekking tot het terugbrengen van de fijnstofemissie van pluimveebedrijven. Dit onderzoek levert op grond van praktijkmetingen aan deze installaties emissiecijfers op die kunnen worden gebruikt ten behoeve van regelgeving en vergunningverlening.

Onze dank gaat uit naar de betrokken pluimveehouders voor hun deelname in het onderzoek en het beschikbaar stellen van hun stallen.

Dr. ir. N.W.M. Ogink  
Coördinator programma 'Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij'  
Wageningen UR Livestock Research



## Samenvatting

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijnstof uit een aantal bronnen terugdringen. In dit kader heeft door Wageningen UR Livestock Research in opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) een plan van aanpak uitgewerkt voor het praktijkklaar maken en testen van beschikbare bedrijfsoplossingen om de fijnstofemissie (PM10) uit de pluimveehouderij te reduceren. Een van de mogelijke oplossingen is de toepassing van luchtwassers.

In onderliggend onderzoek is op twee pluimveebedrijven een zogenaamde 'waterwasser' getest, d.w.z. een wasser waarbij water wordt gerecirculeerd over het pakket, zonder dat dit water gespuid wordt en zonder dat zuur wordt toegevoegd of biologische afbraak van componenten wordt nagestreefd. In het onderzoek zijn de concentraties van fijn stof, ammoniak, geur, methaan en lachgas van de ingaande en uitgaande lucht van de wasser gemeten en zijn op basis daarvan verwijderingsrendementen gemeten. Op bedrijf 1 zijn zeven en op bedrijf 2 zijn zes meetsessies uitgevoerd.

Uit de metingen blijkt dat de waterwassers een aanzienlijke emissiereductie voor fijn stof realiseren. Gemiddeld werd voor de waterwasser op bedrijf 1 een PM10-emissiereductie van 63% (sd=21%) en voor bedrijf 2 een PM10-emissiereductie van 31% (sd=8%) gevonden. Het hogere rendement van de wasser op bedrijf 1 wordt mogelijk veroorzaakt door de langere luchtverblijftijd ten opzichte van de wasser op bedrijf 2. Nader onderzoek is gewenst naar de wijze waarop fijnstofrendementen in wassers tot stand komen en op welke manier dit rendement kan worden beïnvloed.

Wat betreft ammoniak werd verwacht dat de waterwassers geen substantiële verwijdering zouden bewerkstelligen. Voor wasser 2 werd dan ook, conform verwachting, geen significante verandering van de ammoniakconcentratie gevonden ( $p > 0,05$ ). Voor wasser 1 werd een gemiddelde ammoniakverwijdering van 79% (sd=24%) gevonden. Op dit moment is niet duidelijk op welke wijze deze ammoniakverwijdering verklaard kan worden en of deze op de lange termijn stabiel zal zijn. Aanbevolen wordt om hiernaar nader onderzoek uit te voeren.

De metingen van de geurverwijdering wijzen uit dat op bedrijf 1 een rendement van gemiddeld 48% (sd=15%) werd gerealiseerd; op bedrijf 2 werd geen significante verandering van de geurconcentratie gevonden ( $p > 0,05$ ). Het hogere rendement van de wasser op bedrijf 1 wordt ook voor geur mogelijk veroorzaakt door de langere luchtverblijftijd ten opzichte van de wasser op bedrijf 2. Anderzijds zouden verschillen in biologische afbraak een rol kunnen spelen.

In onderstaande tabel worden de bovenstaande resultaten kort samengevat:

**Tabel S1** Verwijderingsrendementen van twee waterwassers bij pluimveestallen.

Bedrijf	PM10 (%)	Ammoniak (%)	Geur (%)
1. Opfokleghennenstal	63	79	48
2. Vleeskuikenstal	31	--- <sup>(1)</sup>	--- <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Het gevonden rendement was niet statistisch significant ( $p > 0,05$ ).

Bij wasser 1 wordt voor de methaanconcentratie van de lucht een afname gevonden van 11% (sd=9,4%); voor lachgas wordt geen significante verandering van de concentratie gevonden ( $p > 0,05$ ). Bij wasser 2 wordt voor zowel methaan als lachgas geen significante verandering van de concentratie gevonden ( $p > 0,05$ ).

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de metingen op bedrijf 2 zijn uitgevoerd conform de huidige meetprotocollen, dat wil zeggen dat evenredig verdeeld over het jaar zes maal een meetsessie is uitgevoerd en dat de metingen verdeeld worden over de groeicyclus. Tijdens twee van de zes meetsessies was de bypass actief, wat wil zeggen dat niet alle maar slechts een deel van de ventilatielucht van de stal door de wasser werd geleid; de lucht die de stal verliet via de bypass is niet bemeten. De meeste metingen op bedrijf 1 zijn uitgevoerd in een korte periode bij relatief oude dieren waardoor deze metingen wat betreft evenredige spreiding over de duur van de productieronde en het kalenderjaar niet voldoen aan het meetprotocol; het is niet duidelijk in hoeverre de gemeten verwijderingsrendementen hierdoor zijn beïnvloed.





## Summary

In order to meet the European requirements for maximum fine dust levels in outdoor air, the Netherlands have to take measures in order to reduce the fine dust (PM10) emissions from several sources, including animal houses. Wageningen UR Livestock Research (WUR-LR) has been asked by the Dutch Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation (EL&I) to develop and test technologies for emission reduction of PM10 from poultry houses in cooperation with industry and farmers. One of these technologies is air scrubbing of animal house ventilation air.

On two poultry farms a scrubber was tested for its PM10 removal efficiency. In these scrubbers just water was recirculated without discharge and without any addition of chemicals (e.g. acid) or aim to achieve biological degradation. Besides PM10 also ammonia, odour, methane and nitrous oxide concentrations were measured. The measurements were carried out seven times at farm 1 and six times at farm 2.

The results show that the scrubbers achieved a significant PM10 emission reduction; for the scrubber on farm 1 (pullet house with manure drying system; scrubber capacity: 480.000 m<sup>3</sup>/hour, minimum air residence time: 0,51 s) a reduction of 63% (sd=21%) and for farm 2 (broiler house; scrubber capacity: 300.000 m<sup>3</sup>/hour; minimum air residence time: 0,36 s; scrubber is equipped with by-pass<sup>1</sup>) a reduction of 31% (sd=8%) was found. The higher emission reduction for farm 1 is possibly caused by the higher air residence time in the scrubber packing.

No substantial ammonia reduction was expected for this type of scrubber. Accordingly, for scrubber 2 no significant change of ammonia concentration was found ( $p > 0.05$ ). However, for scrubber 1 an average ammonia removal efficiency of 79% (sd=24%) was found. It is not clear how the ammonia removal can be explained and if the removal efficiency that was found will be permanent. It is recommended to further investigate this matter.

The odour removal efficiency for scrubber 1 was on average 48% (sd=15%); for scrubber 2 no significant odour removal was found ( $p > 0.05$ ). The higher emission reduction for scrubber 1 may have been caused by the higher air residence time in the scrubber packing. Besides, differences in biological activity could play a role.

**Tabel S2** Removal efficiencies of two scrubbers at poultry farms.

Farm	PM10 (%)	Ammonia (%)	Odour (%)
pullet house	63	79	48
broiler house	31	--- <sup>(1)</sup>	--- <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> The efficiency found was not statistically significant ( $p > 0,05$ ).

For scrubber 1 a methane emission reduction was found of 11% (sd=9,4%); for nitrous oxide no significant change of concentration was found ( $p > 0,05$ ). For scrubber 2 no change of methane or nitrous oxide concentration was found ( $p > 0.05$ ).

Finally, it must be noticed that the measurements on farm 2 were carried out according to the protocol that requires that 6 measurements are carried out distributed evenly across the year and animal growing period. During two measurements the by-pass was in operation which means that part of the ventilation air was treated in the scrubber and part was vented untreated; the air that was by-passed was not included in the measurements. Most measurements at farm 1, however, were carried out within a short time span at relatively old animals; as such, the measurements do not meet the requirements of the protocol. It is not known to what extent this may have influenced the measured removal efficiencies.

<sup>1</sup> The maximum ventilation rate of the house is 600.000 m<sup>3</sup>/hour. If the ventilation rate exceeds the capacity of the scrubber (300.000 m<sup>3</sup>/hour), the surplus air does not enter the scrubber but is vented directly into the atmosphere.



# Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b> .....	<b>3</b>
2.1	Beschrijving luchtwassers .....	3
2.1.1	Bedrijf 1: waterwasser, nageschakeld aan opfokleghennenstal met droogtunnel .....	3
2.1.2	Bedrijf 2: waterwasser, nageschakeld aan vleeskuikenstal met bypass .....	4
2.2	Metingen .....	6
2.2.1	Meetstrategie .....	6
2.2.2	Plaats monsternamepunten .....	7
2.2.3	Stofmetingen .....	7
2.2.4	Ammoniakmetingen .....	9
2.2.5	Geurmetingen .....	9
2.2.6	Broeikasgasmetingen .....	10
2.2.7	Ventilatie debiet .....	10
2.2.8	Metingen temperatuur en RV .....	10
2.2.9	Waswater .....	11
2.3	Verwerking gegevens .....	11
<b>3</b>	<b>Resultaten en discussie</b> .....	<b>13</b>
3.1	Meetomstandigheden .....	13
3.2	Ventilatie debiet .....	14
3.3	Fijnstof .....	16
3.4	Ammoniakverwijdering en samenstelling waswater .....	19
3.5	Geur .....	23
3.6	Broeikasgassen .....	25
<b>4</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>27</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>29</b>
	<b>Bijlagen</b> .....	<b>31</b>
Bijlage 1	Pakkingmateriaal .....	31
Bijlage 2	Foto's meetlocatie bedrijf 1 .....	32
Bijlage 3	Foto's meetlocatie bedrijf 2 .....	33



## 1 Inleiding

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijnstof uit een aantal bronnen terugdringen. In dit kader is in opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie een plan van aanpak uitgewerkt voor het praktijkklaar maken en testen van beschikbare bedrijfsoplossingen om de fijnstofemissie uit de pluimveehouderij te reduceren (Ogink en Aarnink, 2008).

Tot op heden wordt het principe van luchtwassing op grote schaal ingezet binnen de intensieve veehouderij ten einde de emissie van ammoniak (en geur) tegen te gaan. In dergelijke systemen wordt als wasvloeistof aangezuurd water gebruikt (een zogenaamde chemische wasser) of worden bacteriën gebruikt om de verontreinigingen uit de stallucht en het waswater te verwijderen (een zogenaamde biologische luchtwasser). Inherent aan dergelijke systemen is dat er voldoende gespuid moet worden wil de werking van het systeem geen gevaar lopen (ophoping van ammoniumsulfaat dan wel ophoping van bacterieremmende componenten).

Uit verschillende onderzoeken naar luchtwassers voor de behandeling van stallucht is gebleken dat luchtwassers ook een functie kunnen hebben bij de verwijdering van stof uit de te behandelen stallucht (Zhao et al., 2011; Melse et al., 2010, 2011a, 2011b). De principes van stofverwijdering uit lucht worden o.a. beschreven in Perry (1984) en in Starmans et al. (2008). Door de impactie van de met de luchtstroom meebewegende stofdeeltjes op waterdruppels en op de bevochtigde oppervlaktes van het pakkingsmateriaal wordt een deel van de stofdeeltjes uit de aangevoerde stallucht verwijderd. Daarnaast kunnen stofdeeltjes door de hoge relatieve luchtvochtigheid in het systeem vergroot dan wel verzwaard worden waardoor de inertie wordt vergroot en de kans op verwijdering door impactie toeneemt.

Wanneer een luchtwasser als enige doel stofverwijdering heeft, hoeft geen zuur toegevoegd te worden (chemische wasser) en hoeft men niet bang te zijn voor remmende condities voor de bacteriën (biologische wasser). Een dergelijke wasser kan dan ook eenvoudiger van ontwerp zijn, zo zal geen meetapparatuur aanwezig hoeven te zijn voor de procesregeling, zoals pH en EC meters. Daarnaast zal volstaan kunnen worden met een veel lagere spuihoeveelheid dan bij chemische en biologische wassers het geval is.

Het doel van onderliggend onderzoek is te kunnen beoordelen of de techniek van luchtwassing met als wasvloeistof alleen water een geschikte methode is voor het reduceren van de fijnstofemissie van pluimveestallen. Hiertoe wordt het fijnstofverwijderingsrendement van een tweetal luchtwassers op twee verschillende bedrijven gemeten; hierbij zijn zowel PM10 als PM2.5 concentraties gemeten. Daarnaast werden de concentraties van ammoniak, geur, methaan en lachgas van de ingaande en uitgaande lucht gemeten. Tevens werd het waswater bemonsterd en geanalyseerd op parameters die inzicht kunnen geven in het verwijderingsproces.

In dergelijke luchtwassers voor stofverwijdering wordt slechts water gerecirculeerd over het pakket, zonder dat zuur wordt toegevoegd of biologische afbraak van componenten wordt nagestreefd. In het vervolg van dit rapport worden dergelijke luchtwassers 'waterwassers' genoemd.



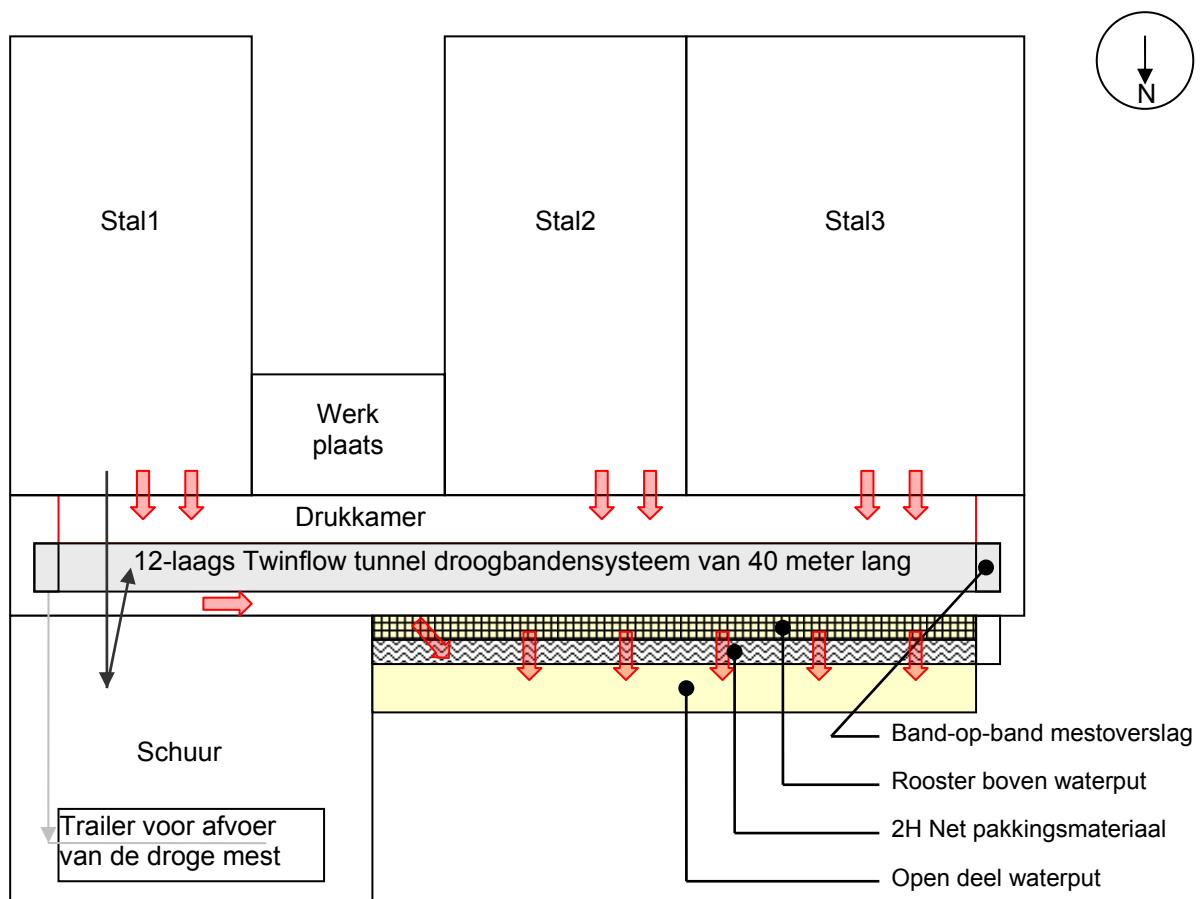
## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Beschrijving luchtwassers

#### 2.1.1 Bedrijf 1: waterwasser, nageschakeld aan opfokleghennenstal met droogtunnel

De metingen vonden plaats op een bedrijf met opfokleghennen en nageschakelde mestdroging. Op dit bedrijf is een waterwasser aanwezig die door de betrokken veehouder zelf is ontwikkeld. Een schematische voorstelling van het onderzochte systeem is weergegeven in Figuur 1.

De lucht uit de stal stroomt door een verticale wand van pakkingsmateriaal heen. Het pakkingsmateriaal (fabrikant 2H, type Net 150) wordt vanaf de bovenzijde continu bevochtigd met water. Het gepakte bed (afmetingen 25 m lang; 4,5 m hoog; 0,60 m diep) heeft een inhoud van 67,5 m<sup>3</sup>. Dit houdt in dat een de lucht minimaal 0,51 seconden in het pakket verblijft (bij maximale ventilatie van 480.000 m<sup>3</sup>/uur, volwassen dieren van 1.700 g). Bij pluimvee wordt aangenomen dat gemiddeld in het jaar 30% van de maximale ventilatiecapaciteit wordt geventileerd. Gemiddeld over een jaar zou de verblijftijd van de lucht dan 1,7 s zijn. In Bijlage 1 is een detailweergave van het pakkingsmateriaal met luchtstroom- en waterstroomrichting en in Bijlage 2 zijn enkele foto's van het wassysteem weergegeven.



**Figuur 1** Bovenaanzicht waterwasser bedrijf 1 met daarin de luchtstroming (dikke pijlen), de meststromen (natte mest donker grijs, droge mest licht grijs)

Het afgevangen stof uit de ventilatielucht wordt meegevoerd met het recirculatiewater van de wasser en komt terecht in een open put of bassin. Dit bassin is 25 m lang, 4 m breed en 1 m diep heeft een volume van ca. 100 m<sup>3</sup>. Van daaruit wordt het water weer opgepompt om opnieuw over het gepakte bed te worden verdeeld. Er wordt gebruik gemaakt van 4 pompen à 3,25 kW met een totale capaciteit van 240 m<sup>3</sup> water per uur. Het elektragebruik bedraagt ca. 300 kWh/dag, of 0,79 kWh per dierplaats per jaar. Een deel van het afgevangen stof zal mogelijk in de bak bezinken. Het opgepompte water wordt via atmosferische uitloop door een aantal verdeelpijpen met uitstroomopeningen over de gehele lengte bovenop het pakket verdeeld. Het geleverde debiet per buis kan per sectie worden aangepast.

Ondanks het feit dat het systeem al 4 jaar draait, is er gedurende deze periode geen vaste fase of water gespuid, volgens de veehouder. Er is wel een rioleringsysteem aanwezig om, indien dit toch gewenst mocht zijn, het water uit de put te kunnen spuien. De verdamping van water wordt gecompenseerd door aanvoer van diep (200 m) grondwater. De gemeten verdamping bedraagt 6 tot 7 m<sup>3</sup> per dag (normale temperatuur) en kan oplopen tot 26 m<sup>3</sup> per dag bij extreem warm weer. Op jaarbasis wordt 15 tot 18 liter water verdampt per dierplaats.

In de drie stallen (zie Figuur 1) is plaats voor 145.000 opfokleghennen. De dieren zijn gehuisvest in een mestbandbatterij met geforceerde mestdroging (code E 1.5.2 volgens de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav)). Op de kop van de stallen is een 12-laags Twinflow droogbandensysteem geplaatst (mestdroogstelsysteem met geperforeerd doek. Rav code E 6.1). Bij deze houderij worden de dieren vanaf kuiken tot aan een eindgewicht van ca. 1.700 g gehouden. Het eindgewicht wordt bereikt in ca. 18 weken. Dit betekent in de praktijk dat de belasting van het droogbandensysteem en de waterwasser toeneemt naarmate de dieren ouder worden. Maar ook dat de belasting van de systemen nagenoeg nul is aan het begin van een productieronde. Het droogbandensysteem, de waterwasser en de ventilatie zijn er op gedimensioneerd om aan het aanbod van mest en stof dan wel de ventilatievraag van de oudste dieren te voldoen. De maximale ventilatiebehoefte van de stallen is 480.000 m<sup>3</sup>/uur (uitgaande van ca 2 m<sup>3</sup>/uur per kg eindgewicht). Eén maal per dag worden de mestbanden gedurende een uur afgedraaid. In Tabel 1 wordt een aantal kenmerken van de wasser samengevat.

### 2.1.2 Bedrijf 2: waterwasser, nageschakeld aan vleeskuikenstal met bypass

De metingen vonden plaats op een vleeskuikenbedrijf, waarbij een waterwasser de ventilatielucht behandelt van twee vleeskuikenstallen. Een schematische voorstelling van het onderzochte systeem is weergegeven in Figuur 2. Het werkingsprincipe komt overeen met de waterwasser op de andere meetlocatie. Het gepakte bed (afmetingen 26 m lang; 3,8 m hoog; 0,30 m diep) heeft een inhoud van 29,6 m<sup>3</sup>. Dit houdt in dat de lucht minimaal 0,36 seconden in het pakket verblijft (bij maximale ventilatie door waterwasser van 300.000 m<sup>3</sup>/uur).

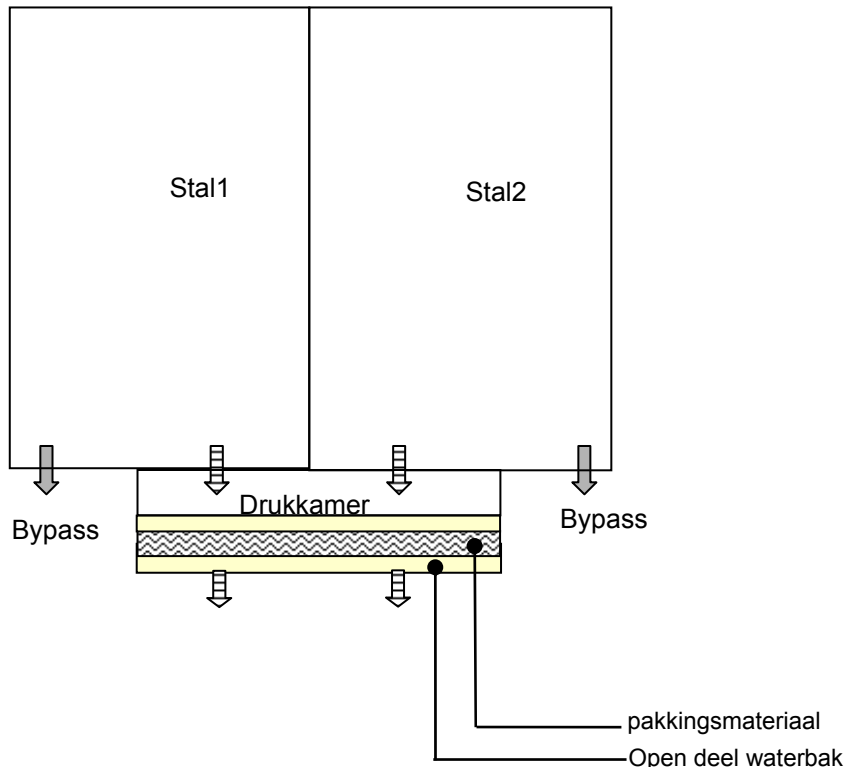
De maximale ventilatiecapaciteit per stal bedraagt 300.000 m<sup>3</sup>/uur, dus in totaal is er sprake van een maximale ventilatie van 600.000 m<sup>3</sup>/uur, terwijl de maximale capaciteit van de waterwasser is gedimensioneerd op 300.000 m<sup>3</sup>/uur. Voor beide stallen geldt dat alle lucht tot 50% van de totale ventilatiecapaciteit door de waterwasser wordt geleid en bij een grotere ventilatievraag door de bypass wordt gevoerd. Bij pluimveestallen kan worden aangenomen dat gemiddeld in het jaar 30% van de maximale ventilatiecapaciteit wordt geventileerd, dit is 180.000 m<sup>3</sup>/uur. Gemiddeld over een jaar zou de verblijftijd van de lucht in de waterwasser dan ruim 0,6 s zijn<sup>1</sup>.

De lucht uit de stallen stroomt door een verticale wand van pakkingsmateriaal heen. Het pakkingsmateriaal (fabrikant 2H, type Net 150) wordt vanaf de bovenzijde continu bevochtigd via een atmosferische uitloop door verdeelpijpen met uitstroomopeningen over de gehele lengte van het pakket. Het afgevangen stof uit de ventilatielucht wordt meegevoerd met het recirculatiewater van de wasser en komt terecht in een open bak (26 m lang, 1,45 m breed en 0,6 m diep; volume ca. 23 m<sup>3</sup>). Vanuit dit waswaterreservoir wordt het water weer opgepompt om opnieuw over het gepakte bed te worden verdeeld. Er wordt gebruik gemaakt van 7 dompelpompen met een totale capaciteit van 40 x 7 = 240 m<sup>3</sup> water per uur. Een deel van het afgevangen stof zal mogelijk in het reservoir bezinken. Na iedere productieronde wordt al het waswater afgevoerd en met schoon bronwater (drinkwater

<sup>1</sup> De luchtverblijftijd van 0,6 seconden is berekend op basis van het jaargemiddelde luchtdebiet zonder rekening te houden met een bypass. Aangezien af en toe de bypass actief is zal de gemiddelde luchtverblijftijd in werkelijkheid waarschijnlijk iets hoger liggen.



kwaliteit) de nieuwe ronde opgestart (vleeskuikens hebben een productieronde van ca 6 weken). Tijdens de ronde werd eenmaal het pakkingsmateriaal aan de binnenzijde gereinigd met water met behulp van een hoge drukspuit. Het schoonmaakwater werd toegevoegd aan het waswater. Door middel van een vlottersysteem wordt het waterniveau in het reservoir continu aangevuld met schoon water zodat er gecompenseerd wordt voor de verdamping van het water. Volgens de veehouder kan er wel tot 15 m<sup>3</sup> water per dag worden verdampt. Om het vervuilen van het pakkingsmateriaal te voorkomen werd een bezinkbak geplaatst waarbij stof met behulp van een vlokkenmiddel uit het waswater werd gehaald (het stof bezinkt in de bak). Het waswater werd na behandeling terug in het systeem gepompt. Het bezinksel werd automatisch uit de bezinkbak verwijderd wanneer een bepaald niveau was bereikt. Omdat de bezinkbak niet goed functioneerde werd deze slechts beperkt gebruikt.



**Figuur 2** Bovenaanzicht waterwaster bedrijf 2 met daarin de luchtstroming door de waterwaster (gestreepte pijlen), en door de bypass (grijze pijlen)

Zoals op Figuur 2 te zien is werd een deel van de ventilatielucht uit beide stallen door de waterwaster werd gevoerd. Echter wanneer de ventilatiebehoefte boven 300.000 m<sup>3</sup>/uur kwam werden bypassventilatoren ingeschakeld. De lucht door de bypassventilatoren werd niet behandeld. De ventilatoren door de waterwaster zijn frequentie gestuurd, dit betekent dat ventilatoren één voor één werden bijgeschakeld en gelijkmatig harder en zachter draaien naarmate de ventilatiebehoefte veranderd. De ventilatoren van de bypass staan uit of aan met de volledige capaciteit. De maximale ventilatie per stal was 7,5 m<sup>3</sup>/uur per dier.

Tijdens de meetcyclus van 6 metingen werd tussen de 5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> meting op beide stallen een warmtewisselaar geplaatst. De warmtewisselaars (elk met een capaciteit van 20.000 m<sup>3</sup>/uur) worden gebruikt om de aangezogen buitenlucht voor te verwarmen met de opgewarmde lucht die de stal verlaat. De warmtewisselaars worden alleen gebruikt gedurende de eerste 8 dagen van de ronde. Wanneer de warmtewisselaars in werking zijn wordt de eerste ventilatiebehoefte tot 20.000 m<sup>3</sup>/uur per stal door de warmtewisselaar geventileerd, daarna volgde de waterwaster tot maximaal 300.000 m<sup>3</sup>/uur en tenslotte de bypass.

In Tabel 1 wordt een aantal kenmerken van de wasser samengevat.

**Tabel 1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte waterwassers en de bijbehorende stalsystemen.

Kenmerk	Bedrijf 1	Bedrijf 2
Diergroep(en)	Opfokleghennen	Vleeskuikens
Aantal stallen	3	2
Bijzonderheden stallen	Droogtunnel tussen de uitgaande lucht van de stal en de ingaande lucht van de waterwasser	Bypass bij ventilatiebehoefte boven de 50% (3,75 m <sup>3</sup> /uur/dier)
Aantal dieren totaal	145.000	80.000
Ventilatiecapaciteit stal (m <sup>3</sup> /uur)	480.000	600.000
Capaciteit wasser (m <sup>3</sup> /uur)	480.000	300.000
Capaciteit wasser (m <sup>3</sup> /uur/dier)	3,3	3,75
Hoeveelheid waswater in systeem (m <sup>3</sup> )	ca. 240	ca. 20
Pakkingsvolume (m <sup>3</sup> )	67,5	29,6
Waswaterrecirculatie (m <sup>3</sup> /uur)	240	280
Energieverbruik pompen (kW)	13**	10 - 15***
Dikte waspakket (m)	0,60	0,30
Min. luchtverblijftijd in pakket (sec)*	0,51	0,36
Spuiregeling	Er is in 4 jaar nog niet gespuid	Na iedere ronde wordt al het waswater vervangen door schoon water

\* Dit wordt berekend door het pakkingsvolume (m<sup>3</sup>) te delen door het maximale luchtdebiet (m<sup>3</sup>/s)

\*\* Gemeten waarde.

\*\*\* Ingeschatte waarde.

## 2.2 Metingen

### 2.2.1 Meetstrategie

Tijdens de onderzoeksperiode is een aantal maal het verwijderingsrendement bepaald voor ammoniak, geur en fijnstof van beide waterwassers; daarnaast is de productie dan wel consumptie van broeikasgassen gemeten (zie Tabel 2).

**Tabel 2** Toelichting meting rendementen luchtwasser

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

De gebruikte meetmethoden voor het verwijderingsrendement van ammoniak, geur en fijnstof zijn gebaseerd op de protocollen zoals die zijn opgesteld door Ogink et al. (2011a, 2011b), Groenestein et al. (2011), Hofschreuder et al. (2011) en Mosquera et al. (2011).

De meetprotocollen schrijven onder andere voor dat, op alle bemeten bedrijven, zes maal gemeten moet worden evenredig verdeeld over het jaar. Daarnaast moeten minimaal 80% van deze metingen (dus vijf metingen per locatie) betrouwbare cijfers hebben opgeleverd. De metingen moeten verdeeld over een jaar en over de productieronde verricht worden. Het uitgevoerde meetprogramma wijkt hier op sommige punten vanaf; in paragraaf 3.1 wordt dit nader besproken.

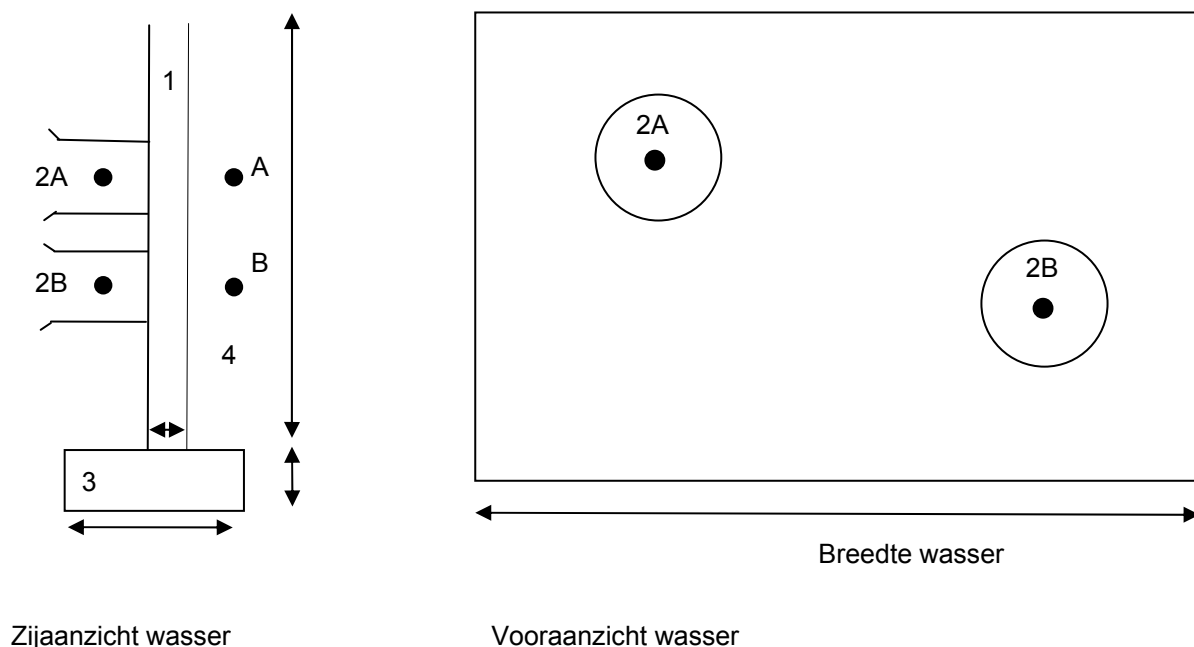
Tijdens de uitvoering van bovengenoemde metingen werden tevens monsters genomen van het waswater en spuiwater van de wassers.

Onderstaand worden de gebruikte meetmethoden en meetapparatuur nader beschreven.

### 2.2.2 Plaats monsternamepunten

De lucht die de waterwassers in ging werd op twee verschillende hoogten gemeten. Tegelijk werd op dezelfde plaatsen aan de andere zijde van het waspakket de lucht bemonsterd die de wasser verliet, middels kokers die tegen het waspakket waren gemonteerd. In Figuur 3 is een en ander schematisch weergegeven.

De kokers (diameter: 90 cm) werden geplaatst om de uitgaande lucht te kunnen bemonsteren zonder hinder van wervelingen van buitenlucht. Bij bedrijf 2 is de onbehandelde stallucht die door de bypass wordt geventileerd niet apart bemonsterd.



**Figuur 3** Schematische weergave van wasser inclusief monsternamepunten, weergegeven met zwarte stippen. Legenda: 1) Pakkingsmateriaal van de waterwasser, 2A en 2B) Kokers met daarin de monsternamepunten van de uitgaande lucht; A staat voor meetpunt 'hoog' en B voor meetpunt 'laag', 3) Waterreservoir voor het recirculeren van het waswater; 4) Drukkamer tussen stal en waterwasser.

### 2.2.3 Stofmetingen

Tijdens de meetdagen zijn de concentratie PM10 en PM2.5 bepaald van zowel de ingaande als de uitgaande lucht van de wasser. Voor zowel ingaande lucht als uitgaande lucht is op twee verschillende hoogten bemonsterd (zie Figuur 3). De monsternameperiode bedroeg 24 uur.



**Figuur 4** Monsterapparatuur voor PM10 en PM2,5. Boven: de 'constant flow' monsternamepomp. Linksonder (van links naar rechts): inlaat, PM10 cycloon, PM2,5 cycloon en filterhouder. Rechtsonder (van links naar rechts): de constructie van de inlaat.

Figuur 4 laat de monstername-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de standaard referentie monsternamekoppen voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en deze standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafscheider is vervangen door een cycloon voorafscheider. Dit vanwege het gevaar van overbelading van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM2,5 (Zhao e.a., 2009).

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonstername gewogen onder standaard condities: temperatuur  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  en  $50\% \pm 5\%$  relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend,  $6\text{ m}^3/\text{uur}$ , Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van  $1,0\text{ m}^3/\text{uur}$  en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten).

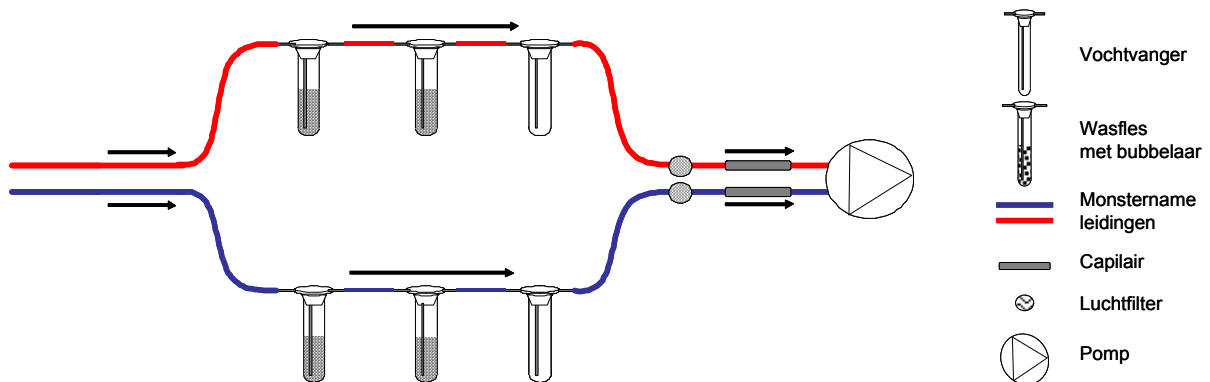
Voor een uitvoerige beschrijving van het stofmeetprotocol, de achtergronden en de stofmeetapparatuur wordt verwezen naar Hofschreuder et al. (2008, 2011) en Ogink et al. (2011a). Daarin staan tevens correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternamekoppen naar impactor monsternamekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

PM10:  $< 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $Y = 1,0877 X$   
 $> 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $Y = 0,8304 X + 57,492$   
 PM2,5: geen correctie

### 2.2.4 Ammoniakmetingen

Tijdens de meetdagen is de ammoniakconcentratie van zowel de ingaande als de uitgaande lucht van de wasser bepaald. Voor zowel ingaande lucht als uitgaande lucht is op twee verschillende hoogten in duplo bemonsterd (zie Figuur 3). De monsternameperiode bedroeg 24 uur.

De ammoniakconcentratie werd volgens de natchemische meetmethode voor  $\text{NH}_3$  (Wintjes, 1993) gemeten. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom ( $\sim 1,0 \text{ l}/\text{min}$ ) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van  $\sim 1,0 \text{ l}/\text{min}$ . Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de  $\text{NH}_3$  wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. De metingen werden per meetplek in duplo uitgevoerd. De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van  $\text{NH}_3$  dat moet worden gebonden; voor deze stallen was deze 0,05 M. Na de bemonsteringstijd (24 uur) wordt de concentratie gebonden  $\text{NH}_3$  spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het  $\text{NH}_4^+$  gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. In Figuur 5 wordt een en ander schematisch weergegeven.



**Figuur 5** Meetopstelling natchemisch methode voor ammoniakemissiemetingen

### 2.2.5 Geurmetingen

Tijdens de meetdagen is de geurconcentratie van zowel de ingaande als de uitgaande lucht van de wasser bepaald. Voor zowel ingaande lucht als uitgaande lucht is op twee verschillende hoogten bemonsterd (zie Figuur 3). Geurmonsters werden genomen tussen 10:00 en 12:00 uur (monsternameperiode bedroeg 2 uur). De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd driemaal gespoeld met geurloze lucht en in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen ( $0,4 \text{ l}/\text{min}$ ), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2  $\mu\text{m}$ , Savillex® Corp., Minnetonka, VS) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te

voorkomen wordt verwarmingslint langs de monsternameleiding aangebracht. Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden deels uitgevoerd door het toenmalige geurlaboratorium van de Animal Sciences Group en deels door Bureau Blauw te Wageningen volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Aan de geuranalyses wordt deelgenomen door een groep van vier tot zes panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden wordt voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en –emissies worden vermeld in respectievelijk  $\text{OU}_E/\text{m}^3$  en  $\text{OU}_E/\text{s}$ . De eenheid ‘ $\text{OU}_E$ ’ staat hierbij voor ‘European Odour Units’. Deze aan de EN 13725 ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied.

### 2.2.6 Broeikasgasmetingen

Tijdens de meetdagen is de concentratie van broeikasgassen van zowel de ingaande als de uitgaande lucht van de wasser bepaald. Voor zowel ingaande lucht als uitgaande lucht is op twee verschillende hoogten bemonsterd (zie Figuur 3). De monsternameperiode bedroeg 24 uur.

De bepaling van de  $\text{CH}_4$ -,  $\text{N}_2\text{O}$ - en  $\text{CO}_2$ -concentraties in de uitgaande stallucht werd op dezelfde wijze gedaan als voor een geurmonster (zie de longmethode hierboven beschreven). De monsterzak werd continu in 24 uur gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 l/min. Op deze wijze werd een tijdsgemiddeld monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), Haysep Q ( $\text{N}_2\text{O}$ ); detector:  $\text{CH}_4$ : FID,  $\text{N}_2\text{O}$ : ECD,  $\text{CO}_2$ : HWD).

### 2.2.7 Ventilatie-debiet

Bij beide waterwassers is een inschatting gemaakt van het ventilatie-debiet gedurende de metingen. Bij de wasser op bedrijf 1 was het onmogelijk om de  $\text{CO}_2$ -massabalansmethode toe te passen omdat de bijdrage van de droogtunnel aan de  $\text{CO}_2$ -concentratie onbekend is. Het ventilatie-debiet is daarom ingeschat op basis van de klimaatcomputer op het bedrijf. Deze registreerde de actuele ventilatiestand echter de gegevens werden niet opgeslagen. De inschatting van het ventilatie-debiet bestaat daarmee uit handmatige registratie op één of meerdere momenten per dag.

Bij de wasser op bedrijf 2 werd het totale ventilatie-debiet berekend op basis van de  $\text{CO}_2$ -massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde  $\text{CO}_2$ -concentratie van de ingaande lucht van de wasser ( $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$ ; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de  $\text{CO}_2$ -productie van de dieren ( $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Door de  $\text{CO}_2$ -productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in kan de totale  $\text{CO}_2$ -productie per afdeling worden berekend, deze worden opgeteld tot de totale productie van de stal. Voor de  $\text{CO}_2$  concentratie in de buitenlucht werd 400 ppm genomen. Het ventilatie-debiet V ( $\text{m}^3/\text{uur}$ ) wordt dan bepaald op basis van:

$$V = \frac{\text{CO}_2 - \text{productie}}{[\text{CO}_2]_{\text{stal}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}}$$

Wanneer het op deze wijze berekende 24-uursgemiddelde ventilatie-debiet boven  $300.000 \text{ m}^3/\text{uur}$  uitkwam, is het zeker dat de bypass ventilatoren gedraaid moeten hebben. Wanneer de bypass ventilatoren echter slechts korte tijd in bedrijf zijn geweest, hoeft dit niet te resulteren in een gemiddeld debiet hoger dan  $300.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

### 2.2.8 Metingen temperatuur en RV

Temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande en uitgaande stallucht werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  en  $\pm 2\%$ , en de data werden opgeslagen in een datalogsysteem (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS).

### 2.2.9 Waswater

Op beide locaties werden op alle meetdagen monsters genomen van het waswater. Deze monsters werden geanalyseerd op totaal-N, ammonium-N, drogestof, asrest, pH en elektrische geleidbaarheid. In het waswater van de biologische wassers werd ook het nitriet-N en nitraat-N bepaald.

## 2.3 Verwerking gegevens

Het verwijderingsrendement van de waterwassers voor fijnstof en ammoniak werd berekend met behulp van de volgende formule, waarbij  $C_{\text{ingaaand}}$  staat voor de concentratie van de betreffende component in de stallucht (ingaaandde lucht van de wasser) en  $C_{\text{uitgaand}}$  staat voor de concentratie van de betreffende component in de behandelde lucht (uitgaandde lucht van de wasser):

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

Op elke meetdag werd per meethoogte (meetpunt A of B) een rendement volgens bovenstaande formule berekend; vervolgens werd het gemiddelde berekend van deze twee hoogten. Deze laatste gemiddelde waarden werden tenslotte gebruikt om het gemiddelde rendement van de luchtwasser over de gehele meetperiode te berekenen



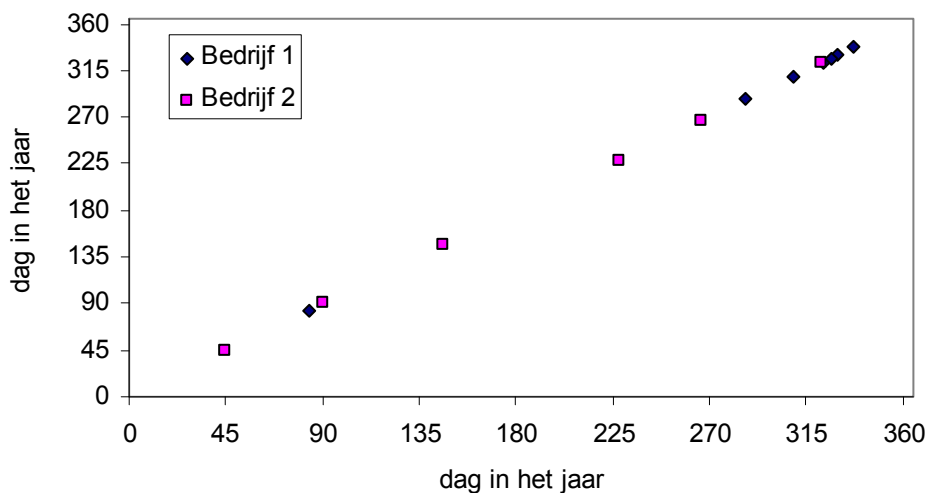


### 3 Resultaten en discussie

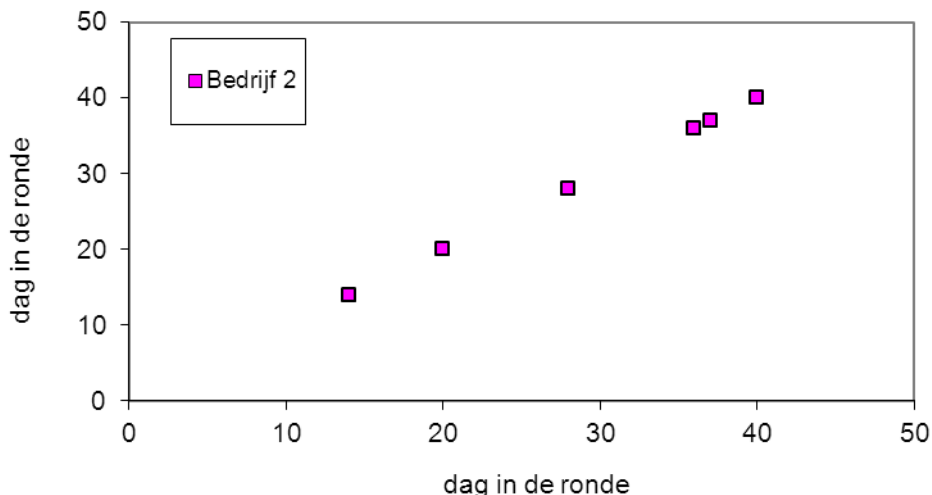
#### 3.1 Meetomstandigheden

Zoals vermeld in paragraaf 2.2 wijkt het uitgevoerde meetprogramma op sommige punten af van de genoemde meetprotocollen waarin voorgeschreven is dat op alle bemeten bedrijven zes maal gemeten moet worden. Minimaal 80% van deze metingen (vijf metingen per locatie) moet betrouwbare resultaten opleveren. Daarnaast dienen de metingen verdeeld zijn over het jaar en over de productieronde. Figuur 6 laat zien hoe de metingen per bedrijf in dit onderzoek in werkelijkheid verdeeld waren over het jaar en de productieronden.

Bij bedrijf 1 (opfokleghennen met droogtunnel) werden 7 metingen uitgevoerd waarvan de eerste 4 metingen werden verricht in de laatste weken van de opfokperiode om zodoende bij de zwaarste stofbelasting van de waterwasser te kunnen meten. Het doel van eerste 4 metingen was de mogelijkheden voor stofreductie van een waterwasser bij een pluimveebedrijf te bepalen. Op basis van deze resultaten is vervolgonderzoek opgestart en zijn nog 3 metingen uitgevoerd. Deze 3 metingen op dit bedrijf zijn meer gespreid in de tijd uitgevoerd, echter ook hierbij is gekozen om de stofbelasting van de wasser zo hoog mogelijk te maken en dus de metingen uit te voeren bij oudere dieren. De metingen bij bedrijf 1 voldoen daardoor niet aan bovengenoemde meetprotocollen met betrekking tot de voorgeschreven spreiding over de duur van de productieronde en het kalenderjaar. De 6 metingen op het tweede bedrijf (vleeskuikens met bypass) zijn wel volgens de meetstrategie van de meetprotocollen uitgevoerd (zie Figuur 6 en 7).



**Figuur 6** Verdeling van de metingen over het jaar.



**Figuur 7** Verdeling metingen over de ronde bij bedrijf 2

Een overzicht van de meetdata en meetomstandigheden wordt voor beide meetlocaties weergegeven in Tabel 3.

**Tabel 3** Data waarop metingen zijn uitgevoerd, de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens: temperatuur [ $^{\circ}\text{C}$ ] ingaande lucht van de wasser gemeten in de drukkamer (T-ingaand) en uitgaande lucht van de wasser (T-uitgaand), en relatieve luchtvochtigheid [%] ingaande lucht van de wasser gemeten in de drukkamer (RV-ingaand) en uitgaande lucht van de wasser (RV-uitgaand). Bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; Bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

Bedrijf	Meting	Meting						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Datum	05-11-2008	19-11-2008	26-11-2008	03-12-2008	25-03-2009	14-10-2009	23-11-2009
	T-in	<sup>1)</sup>	21,7	21,3	20,9	21,3	20,8	20,9
	RV-in	<sup>1)</sup>	72	69	63	69	68	78
	T-uit	<sup>1)</sup>	17,6	<sup>1)</sup>	9,5	11,7	10,8	17,2
	RV-uit	<sup>1)</sup>	100	<sup>1)</sup>	100	100	95	100
2	Datum	23-09-2009	18-11-2009	24-02-2010	31-03-2010	26-05-2010	16-08-2010	<sup>2)</sup>
	T-in	21,0	18,6	<sup>1)</sup>	22,9	21,6	25,9	<sup>2)</sup>
	RV-in	87	75	<sup>1)</sup>	70	70	76	<sup>2)</sup>
	T-uit	19,6	15,8	<sup>1)</sup>	18,5	19,0	22,1	<sup>2)</sup>
	RV-uit	<sup>1)</sup>	100	<sup>1)</sup>	93	95	97	<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Ontbrekende of onbruikbare data (technische storingen)

<sup>2)</sup> Niet gemeten

### 3.2 Ventilatie-debiet

In Tabel 4 is voor beide bedrijven is per meting het totale ventilatie-debiet per dier weergegeven. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende stallen. Voor bedrijf 2 was het alleen mogelijk om aan te geven of de bypass gedurende een meting heeft gedraaid of stil heeft stil gestaan; het is niet bekend welk deel van de lucht door de bypass is afgevoerd.

**Tabel 4** Leeftijd van de dieren (dagen) en het bijhorende geschatte totale ventilatiedebiet ( $m^3$ /uur/dier). Bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; Bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

Meting	Datum	Bedrijf 1		datum	Bedrijf 2	
		Leeftijd dieren (weken)	Debiet ( $m^3$ /uur/dier)		Leeftijd dieren (dagen)	Debiet ( $m^3$ /uur/dier) totaal Bypass
1	05-11-2008	12	1,4	23-09-2009	26	6,5 Aan
2	19-11-2008	14	1,6	18-11-2009	40	5,0 Aan
3	26-11-2008	15	1,3	24-02-2010	37	2,6 Uit <sup>1)</sup>
4	03-12-2008	16	1,4	31-03-2010	20	0,9 Uit <sup>1)</sup>
5	25-03-2009	11	0,9	26-05-2010	28	1,6 Uit
6	14-10-2009	9	<sup>2)</sup>	16-08-2010	14 <sup>3)</sup>	0,8 Uit
7	23-11-2009	15	<sup>2)</sup>			

<sup>1)</sup> door technische storing in de meetapparatuur is niet rechtstreeks geregistreerd of de bypass aan was. Op basis van het gemeten ventilatiedebiet wordt echter aangenomen dat de bypass uit was.

<sup>2)</sup> niet geregistreerd.

<sup>3)</sup> aangezien de leeftijd van de dieren tijdens deze meting 14 dagen bedroeg, wordt aangenomen dat de warmtewisselaars niet waren ingeschakeld (zie paragraaf 2.1.2).

Daarnaast is in Tabel 5 het totale luchtdebiet door de wassers weergegeven ( $m^3$ /uur) ten tijde van de metingen en de daaruit berekende luchtverblijftijd in het waspakket (op basis van lege ruimte).

**Tabel 5** Totale ventilatiedebiet van de stallen ( $m^3$ /uur) en de hieruit berekende luchtverblijftijd (s) in het waspakket (op basis van lege ruimte. Bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; Bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

Meting	Bedrijf 1		Bedrijf 2	
	Debiet ( $m^3$ /uur)	Luchtverblijftijd in waspakket (s)	Debiet ( $m^3$ /uur)	Luchtverblijftijd in waspakket (s)
1	181.500	1,3	516,000	<sup>1)</sup>
2	202.500	1,2	401,200	<sup>1)</sup>
3	162.000	1,5	207,900	0,51
4	185.000	1,3	72,600	1,47
5	121.500	2,0	125,800	0,85
6	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	22,800 <sup>3)</sup>	4,7
7	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>		

<sup>1)</sup> niet bekend, er is slechts geregistreerd of de bypass aan was en niet welk deel van de lucht door de wasser en welk deel door de bypass is gegaan.

<sup>2)</sup> niet geregistreerd.

<sup>3)</sup> aangezien de leeftijd van de dieren tijdens deze meting 14 dagen bedroeg, wordt aangenomen dat de warmtewisselaars niet waren ingeschakeld (zie paragraaf 2.1.2).

Uit Tabel 5 blijkt dat de luchtbelasting van de wasser bij bedrijf 1 gemiddeld  $170.000 m^3$ /uur bedroeg wat 36% is van de maximale luchtbelasting (te weten  $480.000 m^3$ /uur). Dit kan beschouwd worden als een normale situatie. Voor bedrijf 2 is voor de eerste twee metingen onbekend wat de luchtbelasting van de wasser was; de gemiddelde luchtbelasting van de wasser tijdens de overige metingen (3 t/m 6) bedroeg  $76.000 m^3$ /uur wat 25% is van de maximale luchtbelasting (te weten  $300.000 m^3$ /uur).

### 3.3 Fijnstof

In Tabel 6 worden per bedrijf de gemeten PM10 concentraties voor en na de wasser weergegeven.

**Tabel 6** PM10-concentratie in mg/m<sup>3</sup> voor en na de waterwassers op de verschillende meetpunten en het berekende gemiddelde met de standaarddeviatie. Bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; Bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

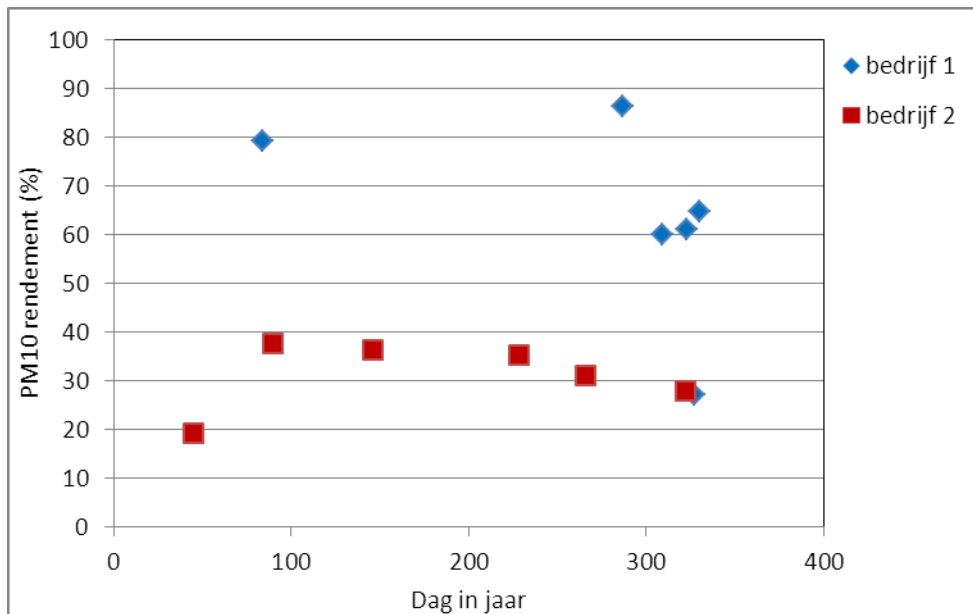
Metingnummer	Concentratie (mg/m <sup>3</sup> )				Rendement (%)
	Ingaand		Uitgaand		
<i>Bedrijf 1</i>	Meetpunt A	Meetpunt B	Meetpunt A	Meetpunt B	
1	0,880	0,767	0,341	0,317	60,1
2	0,807	0,672	0,249	0,325	61,1
3	0,776	0,682	<sup>1)</sup>	0,258	64,7
4	0,589	0,490	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>
5	0,596	0,426	0,124	0,089	79,2
6	0,613	0,457	0,117	0,030	86,3
7	0,808	0,680	0,636	0,450	27,0
<i>Gemiddeld</i>	<i>0,660 ± 0,140</i>		<i>0,267 ± 0,177</i>		<i>63 ± 21</i>
<i>Bedrijf 2</i>					
1	1,378	1,375	0,938	0,959	31,1
2	1,496	1,439	1,052	1,061	28,0
3	1,659	1,752	1,270	1,482	19,3
4	1,678	<sup>2)</sup>	1,055	1,041	37,6
5	2,352	2,251	1,596	1,330	36,4
6	0,664	0,706	0,434	0,452	35,3
<i>Gemiddeld</i>	<i>1,523 ± 0,526</i>		<i>1,056 ± 0,353</i>		<i>31 ± 6,9</i>

<sup>1)</sup> geen resultaat door technische storing meetapparatuur

<sup>2)</sup> resultaat was dusdanig afwijkend (0,38 mg/m<sup>3</sup>) dat deze beschouwd wordt als uitbijter en daarom niet meegenomen is in de berekeningen

De gemeten PM10 concentraties in de ingaande lucht zijn bij bedrijf 1 aanzienlijk lager dan bij bedrijf 2. Bij bedrijven met leghennen in volièrehuisvesting werden, in eerder recent uitgevoerd onderzoek, concentraties tussen de 1 en 11 mg/m<sup>3</sup> gemeten (Winkel et al., 2009a). Het lage niveau dat bij bedrijf 1 wordt gemeten, wordt mogelijk veroorzaakt door de aanwezigheid van de droogtunnel; uit eerder onderzoek is gebleken dat een droogtunnel de fijnstofconcentratie vermindert (Winkel et al., 2009b). De aanwezigheid van de droogtunnel heeft mogelijk ook tot gevolg dat de distributieverdeling van de PM10 fractie gaat afwijken, gemiddeld gezien zal deze fractie waarschijnlijk minder zware deeltjes bevatten. Aangenomen kan worden dat het gemeten afscheidingsrendement beïnvloed wordt door de gewijzigde distributieverdeling. Het niveau van de PM10 concentraties voor bedrijf 2 was vergelijkbaar met recent uitgevoerde metingen bij vleeskuikenstallen (Winkel et al., 2009c).

In Figuur 8 wordt het rendement voor PM10 op de verschillende meetdagen voor beide bedrijven weergegeven.



**Figuur 8** PM10-verwijderingsrendementen van de waterwassers; bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

Uit Figuur 8 blijkt dat het rendement voor PM10 voor bedrijf 1 over het algemeen hoger was dan bedrijf 2. Bedrijf 1 heeft een gemiddeld rendement van  $63 \pm 21\%$ , voor bedrijf 2 is het gemiddelde rendement  $31 \pm 6,9\%$ . Voor het lagere rendement bij bedrijf 1 (27% reductie op meetdag 330) is geen verklaring gevonden. Op deze dag waren de concentraties van de ingaande lucht vergelijkbaar met de overige metingen, echter de concentraties in de uitgaande lucht waren relatief hoog. Het rendement van de waterwaster bij bedrijf 2 was vrij constant, ondanks de variatie in de meetomstandigheden (leeftijd dieren en tijdstip in het jaar). Het laagste rendement werd berekend in de winter bij dieren die aan het einde van de productieperiode zaten (meting 3) en het hoogste rendement werd berekend in het voorjaar bij dieren die midden in de productieperiode zaten (meting 4).

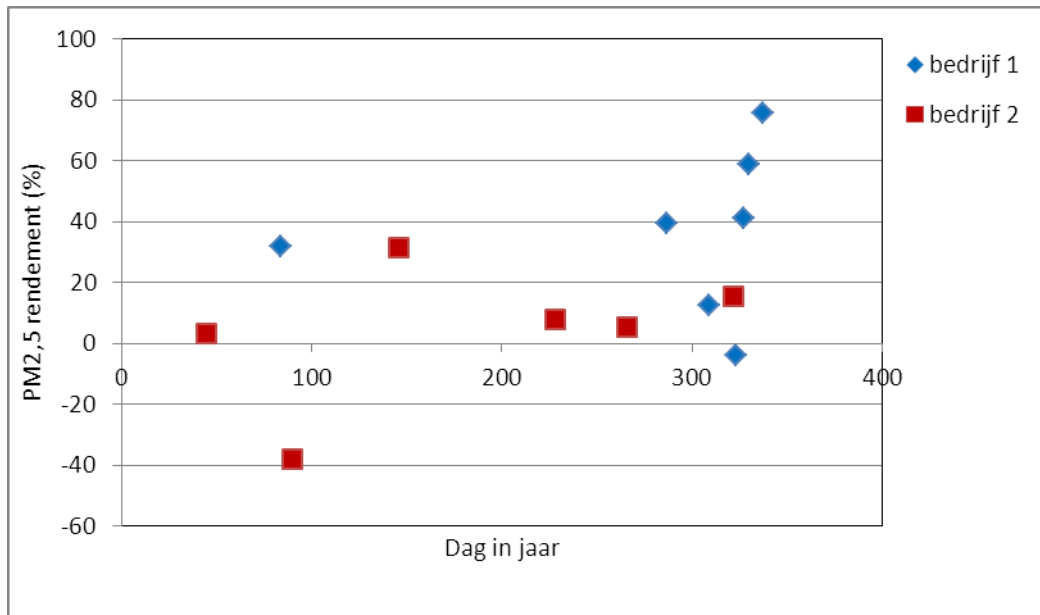
In Tabel 7 worden per bedrijf de gemeten PM<sub>2,5</sub> concentraties voor en na de wasser weergegeven.

**Tabel 7** PM<sub>2,5</sub>-concentratie in mg/m<sup>3</sup> voor en na de waterwassers op de verschillende meetpunten, en het berekende gemiddelde met de standaarddeviatie.

Bedrijf 1	Concentratie (mg/m <sup>3</sup> )				Rendement (%)
	Ingaand		Uitgaand		
	Meetpunt A	Meetpunt B	Meetpunt A	Meetpunt B	
1	0,090	0,070	0,070	0,071	12,4
2	0,081	0,068	0,090	0,065	-3,8
3	0,090	0,078	0,067	0,002	58,8
4	0,069	0,066	0,009	0,024 <sup>1)</sup>	75,8
5	0,018	0,017	0,012		32,0
6	0,023	0,019	0,018	0,007	39,3
7	0,129	0,119	0,074	0,071	41,2
<i>Gemiddeld</i>	<i>0,067 ±0,036</i>		<i>0,045 ±0,032</i>		<i>37 ± 26</i>
<i>Bedrijf 2</i>					
1	0,070	0,081	0,058	0,086	5,5
2	0,096	0,083	0,059	0,092	15,4
3	0,075	0,074	0,071	0,073	3,2
4	0,039	0,030	0,055	0,041	-38,05
5	0,099	0,082	0,069	0,056	31,3
6	0,019	0,021	0,017	0,019	7,9
<i>Gemiddeld</i>	<i>0,064 ±0,029</i>		<i>0,058 ±0,023</i>		<i>4,2 ± 23</i>

<sup>1)</sup> geen resultaat door technische storing meetapparatuur

De gemeten PM<sub>2,5</sub> concentraties in de ingaande lucht zijn voor beide bedrijven vergelijkbaar. Het niveau van de PM<sub>2,5</sub> concentraties voor beide bedrijven was lager dan de recent uitgevoerde metingen bij stallen voor leghennen en vleeskuikens (Winkel et al., 2009a). Voor bedrijf 1 zou de toepassing van de droogtunnel mogelijk ook voor PM<sub>2,5</sub> de lagere concentraties kunnen verklaren (Winkel, 2009b). In Figuur 9 wordt het rendement voor PM<sub>2,5</sub> op de verschillende meetdagen voor beide bedrijven weergegeven. Voor bedrijf 1 is gemiddelde rendement van 37 ± 26%, voor bedrijf 2 is het gemiddelde rendement 4,2 ± 23%. Deze resultaten geven aan dat de verschillen tussen de metingen groot waren. Bij beide bedrijven werd eenmaal een negatief rendement berekend. Hiervoor is geen verklaring gevonden. Een negatief rendement zou enerzijds veroorzaakt kunnen worden door de productie van aerosolen en/of zoutkristallen in de wasser, anderzijds zou het verschil in relatieve vochtigheid voor en na de wasser de meetresultaten beïnvloed kunnen hebben (Harn et al., 2010; Ogink et al., 2010; Melse et al., 2010, 2011b).



**Figuur 9** PM 2,5-verwijderingsrendementen van de waterwassers; bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

Het verschil in fijnstofverwijderingsrendement wordt mogelijk verklaard door het verschil in luchtverblijftijd in de wasser (zie Tabel 1 en 5: de wasser op bedrijf 1 heeft een langere luchtverblijftijd), aangezien in het algemeen aangenomen kan worden dat een langere luchtverblijftijd resulteert in een hoger fijnstofverwijderingsrendement (Melse et al, 2010, 2011b).

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de metingen bij bedrijf 1 uitgevoerd zijn bij relatief oude dieren (zie paragraaf 3.1). Als gevolg hiervan mag aangenomen worden dat de stofbelasting (kg stof/uur) van de wasser relatief hoog is. Tegelijkertijd zijn de de metingen bij wasser 1 uitgevoerd in relatief koude perioden (1 meting in maart, 1 meting in oktober, 4 metingen in november en 1 meting in december). Het gevolg hiervan is dat de luchtbelasting van de wasser ( $m^3$  lucht/uur) relatief laag is. Een relatief hoge stofbelasting tezamen met een relatief lage luchtbelasting heeft waarschijnlijk tot gevolg gehad dat de fijnstofconcentratie in de ingaande lucht relatief hoog is. Aangezien de stofdeeltjes bij een lager luchtdebiet meer tijd krijgen om te groeien als gevolg van wateropname zou het verwijderingsrendement enerzijds kunnen toenemen. Anderzijds zou een lagere luchtsnelheid tot gevolg kunnen hebben dat de stofafvang afneemt vanwege een lagere impactie-energie. Het is niet duidelijk wat het netto-effect van deze verschijnselen is en in hoeverre de gemeten verwijderingsrendementen van PM10 en PM2.5 hierdoor zijn beïnvloed.

### 3.4 Ammoniakverwijdering en samenstelling waswater

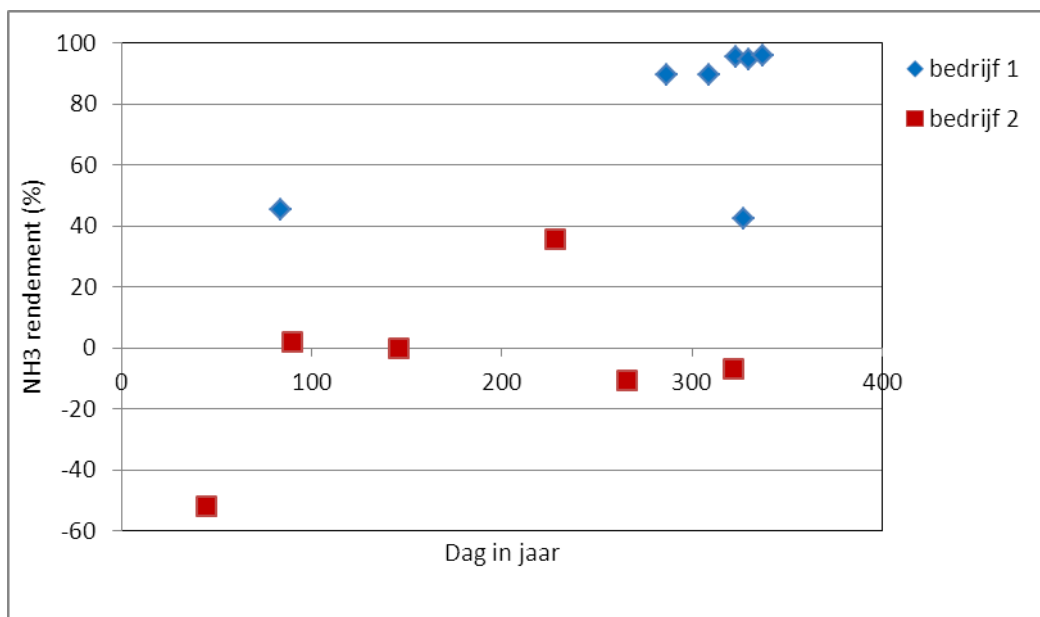
In Tabel 8 worden per bedrijf de gemeten ammoniakconcentraties voor en na de wasser en de hieruit berekende rendement weergegeven. Opvallend is dat er bij bedrijf 1 grote verschillen in ammoniakconcentratie worden gevonden tussen meetpunt A (boven) en meetpunt B (onder). Dit is waarschijnlijk te wijten aan de mestdrooginstallatie ('droogtunnel') die zich vlak voor de wasser bevindt, waardoor een gelaagdheid ontstaat van lucht met hoge en lage ammoniakconcentratie. Daarnaast worden in Figuur 10 de ammoniakverwijderingsrendementen van beide waterwassers grafisch weergegeven. Tenslotte wordt in Tabel 9 de samenstelling van het waswater weergegeven voor beide wassers.

**Tabel 8** NH<sub>3</sub>-concentratie in ppm voor en na de waterwassers op de verschillende meetpunten en het berekende gemiddelde met de standaarddeviatie.

Metingnummer	Concentratie (ppm) <sup>1)</sup>				Rendement (%)
	Ingaand		Uitgaand		
	Meetpunt A	Meetpunt B	Meetpunt A	Meetpunt B	
<i>Bedrijf 1</i>					
1	12,5	5,9	1,6	0,3	89,6
2	11,5	4,3	0,6	0,1	95,5
3	9,2	5,1	0,3	0,5	94,5
4	6,6	4,2	0,2	0,2	96,0
5	11,5	6,3	5,6	4,2	45,1
6	12,2	10,6	1,7	0,7	89,4
7	8,9	8,9	4,8	5,5	42,1
<i>Gemiddeld</i>		<i>8,4 ±3,0</i>		<i>1,9 ±2,1</i>	<i>79 ±24</i>
<i>Bedrijf 2</i>					
1	6,0	4,5	6,2	5,5	-10,6
2	2,8	3,6	3,1	3,8	-7,1
3	2,2	3,1	3,0	- <sup>2)</sup>	39,9 <sup>2)</sup>
4	1,8	1,8	1,7	1,9	1,8
5	6,8	7,2	6,7	7,3	-0,1
6	0,6	0,6	0,4	0,4	35,6
<i>Gemiddeld</i>		<i>3,4 ±2,3</i>		<i>3,6±2,5</i>	<i>3,4 ±24</i>

1) 1 ppm NH<sub>3</sub>= 0,71 mg/m<sup>3</sup> NH<sub>3</sub>

2) De duplo waarden wijken dusdanig sterk af dat geen concentratie wordt gerapporteerd. Het rendement van meting 3 is daarom alleen berekend op basis van meetpunt B.



**Figuur 10** NH<sub>3</sub>-verwijderingsrendementen van de waterwassers; bedrijf 1: opfokleghennen droogtunnel; bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.



**Tabel 9** Samenstelling waswater voor beide waterwassers. Bedrijf 1: opfoklegghennen; Bedrijf 2: vleeskuikens.

Bedrijf	Meting						
	1	2	3	4 <sup>1)</sup>	5	6	7
1 Datum	05-11-2008	19-11-2008	26-11-2008	03-12-2008	25-03-2009	14-10-2009	23-11-2009
Ammonium-N, g/kg	6,03	6,59	6,27	6,87	5,14	5,33	6,56
Totaal-N, g/kg	12,43	12,99	13,25	13,10	11,32	11,48	13,88
Drogestof, g/kg	30,43	43,08	40,84	38,90	32,42	36,20	44,12
As, g/kg	5,18	4,13	3,56	5,40	6,93	6,68	6,38
pH	5,80	5,44	5,49	5,40	6,93	6,68	6,38
EC, mS/cm	53,40	57,30	53,00	60,50	47,00	49,10	59,70
Nitriet-N, g/kg	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Nitraat-N, g/kg	5,50	6,52	6,37	5,19	5,47	5,96	7,59
2 Datum	23-09-2009	18-11-2009	24-02-2010	31-03-2010	26-05-2010	16-08-2010	
Ammonium-N, g/kg	0,03	0,19	0,12	0,07	0,16	0,03	
Totaal-N, g/kg	0,29	0,32	0,30	0,11	0,20	0,04	
Drogestof, g/kg	1,29	2,28	2,64	0,96	1,07	0,66	
As, g/kg	0,55	0,60	0,62	0,35	0,61	0,51	
pH	6,94	6,93	6,68	6,70	7,57	7,38	
EC, mS/cm	2,29	2,89	1,82	1,30	2,23	1,00	
Nitriet-N, g/kg	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
Nitraat-N, g/kg	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	

<sup>1)</sup> Sulfaatgehalte: 0,198 g/kg. Ter vergelijking: de drinkwaternorm bedraagt 0,150 g/kg

Uit Tabel 8 en Figuur 10 blijkt dat er een groot verschil is tussen het ammoniakrendement van de wassers. Voor de wasser op bedrijf 1 werd na de wasser een significant ( $p < 0,01$ ) lagere ammoniakconcentratie gevonden dan voor de wasser. De gemiddelde ammoniakverwijdering voor deze wasser bedroeg 79% (sd=24%). Voor de wasser op bedrijf 2 werd geen significant verschil tussen ingaande en uitgaande ammoniakconcentratie gevonden. Het hoogste rendement dat bij bedrijf 2 werd gemeten was tijdens een meting waarbij de kuikens slechts een paar dagen oud waren (meting 6).

Het verschil in concentratie van de ingaande lucht tussen de twee meetpunten bij bedrijf 1 zou kunnen betekenen dat de lucht na de droogtunnel niet volledig werd gemengd in de ruimte voor de wasser (de 'drukkamer'). Het is niet duidelijk in hoeverre dit de gemiddelde rendementen heeft beïnvloed. Bij bedrijf 2 is het verschil tussen de meetpunten kleiner.

Het is niet duidelijk waarop de verschillen in ammoniakrendement tussen de wassers bij bedrijf 1 en 2 zijn terug te leiden. Bij een biologische wasser en een chemische wasser mag verwacht worden dat er een substantiële ammoniakverwijdering plaats zal vinden (zie ook de Inleiding). Bij de beide waterwassers wordt echter geen zuur toegevoegd en wordt geen water gespuid, verwacht mag dan worden dat er (in ieder geval op de lange termijn) geen substantiële ammoniakverwijdering plaatsvindt.

Het is dan ook conform verwachting dat voor de wasser op bedrijf 2, zoals gezegd, gemiddeld gezien geen significante ammoniakverwijdering gevonden ( $p > 0,05$ ). De pH is neutraal tot licht alkalisch en er is nauwelijks stikstof opgelost in het waswater; daarnaast kon geen nitraat of nitriet worden aangetoond (zie Tabel 9). Dat de pH niet verder stijgt, is mogelijk te wijten aan het invangen van CO<sub>2</sub> in het waswater wat een licht pH-verlagend effect zal hebben. Wanneer er tijdens individuele metingen toch een toe- of afname wordt gevonden, is dit mogelijk te wijten aan nalevering van ammoniak uit het waterbassin dan wel opname van ammoniak in het waterbassin als gevolg van fluctuerende ammoniakgehalten in de lucht. Verder dient opgemerkt te worden dat het volledige waswaterbassin elke vleeskuikenronde (ca. elke 6 weken) wordt ververs met schoon water. Tenslotte kunnen niet-representatieve monsternamen of andere meetfouten een rol spelen.

Zoals gezegd wordt voor de wasser op bedrijf 1 een aanzienlijke ammoniakverwijdering gevonden. Gemiddeld gezien bedraagt het ammoniakaanbod van de wasser 0,92 kg NH<sub>3</sub>/uur (meting 1 t/m 5) oftewel 0,76 kg NH<sub>3</sub>-N/uur. Uit het gewogen gemiddelde van de metingen volgt dat 0,65 kg NH<sub>3</sub>-N/uur uit de lucht wordt verwijderd.

Tevens wordt een vrij hoge stikstofconcentratie in het waswater gevonden (zie Tabel 9); de ammonium-N concentratie bedraagt ca. 6 g/l en de nitraat-N concentratie eveneens. Sinds de opstart van deze wasser is het waterbassin nooit ververst. Uit deze concentraties volgt dat er waarschijnlijk ooit biologische omzetting heeft plaatsgevonden van ammoniak naar nitraat. De concentratie van nitraat in het waswater lijkt over de tijd gezien constant te zijn, fluctuaties in de gemeten concentraties zijn waarschijnlijk te weten aan meetfouten.

De vraag die resteert, is waar de uit de lucht verwijderde NH<sub>3</sub>-N gebleven is, per slot van rekening wordt een aanzienlijke ammoniakverwijdering gevonden. Onderstaand worden zes mogelijke verklaringen besproken voor het gat in de stikstofbalans van de waterwasser bij bedrijf 1.

#### 1) Ophoping in waswater

Wanneer de ammoniak-N die uit de stallucht verwijderd wordt bij bedrijf 1 zich zou ophopen in het waswater, zou er een toename van het N-totaal gehalte van het waswater optreden. Berekend kan worden dat de N-totaal concentratie van het waswater dan elke dag met ca. 0,186g N/kg/dag zou toenemen. Tussen meting 1 en 5 (140 dagen verschil) zou de N-totaal concentratie van het waswater dan met 22 g/l zijn toegenomen, wat duidelijk niet het geval is.

#### 2) Gebruik desinfectiemiddelen

Na elke ronde (ca. 17 weken) wordt de stal ontsmet met formaline m.b.v. een *pulsfog*-installatie. Een deel van het desinfectiemiddel zou via de ventilatielucht in het waswater van de waterwasser kunnen terechtkomen. Op deze wijze zou een deel van de ammoniak gebonden kunnen worden (formaldehyde reageert met ammoniak tot urotropine). Gezien de hoeveelheden desinfectiemiddel die normaliter worden gebruikt is het niet mogelijk de gevonden ammoniakverwijdering hierdoor te verklaren.

#### 3) Spuiwaterafvoer

Zolang de waterwasser bij bedrijf 1 in werking is, zou er geen afvoer van spuiwater hebben plaatsgevonden. Mogelijk zou een lekkage van het bassin toch kunnen resulteren in een extra stikstofafvoer uit het systeem. Uitgaand van een N-totaal gehalte van het waswater van 12 g N/liter zou er dan 54 liter water per uur uit het bassin moeten lekken, of ongeveer 1,3 m<sup>3</sup> per dag. Ter vergelijking: op basis van de het debiet en de relatieve vochtigheid van de lucht door de wasser kan berekend worden dat per dag ongeveer 6 - 9 m<sup>3</sup> water verdampt en aangevuld met vers water. Een eventueel lek zou het waterverbruik van de wasser dus doen toenemen met 15 tot 20%. Verder is opvallend dat de pH van het waswater van de wasser op bedrijf 2 relatief laag is (5,4 - 6,9), terwijl een alkalische pH verwacht zou worden wanneer geen spuiwater wordt afgevoerd. Als gevolg van ophoping van voor de biologie remmende componenten zou namelijk verwacht worden dat zuurvorming (als gevolg van teruglopende nitrificatie) afneemt en de pH vervolgens gaat stijgen als gevolg van het invangen van ammoniak. Zoals al opgemerkt kan het invangen van CO<sub>2</sub> in het waswater (deels) verantwoordelijk zijn voor deze lage pH. De afname van de CO<sub>2</sub>-concentratie van de lucht bij wasser 1 (zie paragraaf 3.6) kan eveneens verklaard worden op deze manier: CO<sub>2</sub> (een zuur) wordt ingevangen in de wasvloeistof en afgevoerd met het spuiwater zodat steeds weer opnieuw CO<sub>2</sub> kan oplossen in het waswater.

#### 4) N<sub>2</sub>O productie

In principe zou een deel van de stikstof kunnen ontwijken als lachgas dat een (bij)product is van het (de)nitrificatieproces. Om na te gaan of er wellicht sprake zou zijn van een hoge lachgasproductie bij de waterwasser bij bedrijf 1, is behalve meting van het N<sub>2</sub>O gehalte van de lucht ook een indicatieve meting gedaan van mogelijk emissie van N<sub>2</sub>O vanaf het open oppervlak van het waterbassin. De N<sub>2</sub>O emissie vanaf het wateroppervlak blijkt echter zeer beperkt te zijn (0,13 g N<sub>2</sub>O-N/uur, indicatieve meting) en de hoeveelheid lachgas in de ventilatielucht blijkt gemiddeld gezien zelfs af te nemen (zie Tabel 12). Er zijn dus geen aanwijzingen dat er een substantiële omzetting van ammoniak in lachgas plaatsvindt die het gevonden ammoniakverwijderingsrendement zou kunnen verklaren. Bedacht moet worden dat lachgas vrij goed oplost in water (ongeveer 0,7 g N/liter) waardoor zich een hoeveelheid lachgas zou kunnen ophopen in het waswater. Anderzijds kan ophoping van N<sub>2</sub>O-N in het waswater niet de NH<sub>3</sub>-N verwijdering verklaren zoals deze bij voortdurend is gevonden; uitgaand van

een oplosbaarheid van 0,7 g N/liter zou het waterbassin maximaal een hoeveelheid N<sub>2</sub>O kunnen bevatten die overeenkomt met de gevonden ammoniakverwijdering in een periode van 4 tot 5 dagen.

#### 5) N<sub>2</sub> productie

Behalve de productie van N<sub>2</sub>O (zie boven) kan als gevolg van optredende denitrificatie een deel van de stikstof ontweken zijn als N<sub>2</sub>. Wanneer dit de juiste verklaring is voor het gat in de stikstofbalans, zou dit betekenen dat er bij deze wasser sprake is van een zeer succesvol nitrificatie/denitrificatiesysteem met een actieve microbiologische populatie. Per slot van rekening worden hoge ammoniakverwijderingsrendementen behaald terwijl er geen spuiwater wordt geproduceerd. In de praktijk wordt bij denitrificatiesystemen altijd een (kleine) hoeveelheid water gespuid (bijv. 10%) om te voorkomen dat zich hoge zoutconcentraties voordoen die remmend kunnen werken op de bacteriën. Wanneer namelijk geen spuiwater wordt afgevoerd (naar verluid is dit al 4 jaar niet gebeurd), mag verwacht worden dat zich op den duur zouten gaan ophopen in het waswater. Elke dag wordt namelijk een grote hoeveelheid water verdampt dat weer aangevuld wordt met vers water dat een hoeveelheid zouten (bijv. calcium, magnesium, sulfaat etc.) bevat. Deze zouten blijven steeds achter in het resterende waswater wanneer het water verdampt waardoor de EC zal oplopen. De EC van het waswater bij bedrijf 1 (Tabel 9: 50 - 60 mS/cm) lijkt echter geheel toe te schrijven te zijn aan de in het water aanwezige nitraat en ammonium, namelijk ongeveer 5 mS/cm per gram N (Melse en Ploegaert, 2011).

#### 6) Meetopzet

Tenslotte zou het gemeten ammoniakverwijderingsrendement (deels) te wijten kunnen zijn aan niet representatieve monsternamen over de gehele wand. De wand heeft een oppervlak van ruim 100 m<sup>2</sup> terwijl de de lucht op slechts 2 punten wordt gemeten. Wanneer er sprake is van een slechte luchtverdeling of onvoldoende menging in de drukkamer, of wanneer er sprake is van delen van de waswand die verstopt zijn, bestaat de kans dat de gerapporteerde metingen niet representatief zijn. Zoals al opgemerkt, blijkt uit de resultaten van Tabel 8 blijkt dat er bij bedrijf 1 grote verschillen zijn gevonden tussen de gemeten concentraties op de meetpunten A en B wat. Dit geeft aan dat er in de drukkamer geen goede menging is opgetreden waardoor de concentratiemetingen mogelijk niet representatief zijn voor de gemiddelde concentratie van fijnstof in de lucht. Op basis van vergelijking van de rendementen zoals deze per meethoogte zijn gevonden (rendement meet punt A versus rendement meetpunt B) wordt echter niet verwacht dat dit een dusdanig grote invloed kan hebben dat dit de gevonden ammoniakverwijdering zou verklaren.

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de metingen bij bedrijf 1 uitgevoerd zijn bij relatief oude dieren (zie paragraaf 3.1). Het is niet duidelijk in hoeverre de gemeten ammoniakverwijdering hierdoor zijn beïnvloed.

### 3.5 Geur

In Tabel 10 worden per bedrijf de gemeten geurconcentraties voor en na de wasser en de hieruit berekende rendement weergegeven. Daarnaast worden in Figuur 11 de geurverwijderingsrendementen van beide waterwassers grafisch weergegeven.

**Tabel 10** Geurconcentratie in  $\text{OU}_E/\text{m}^3$  voor en na de waterwassers op de verschillende meetpunten, en de mediaan.

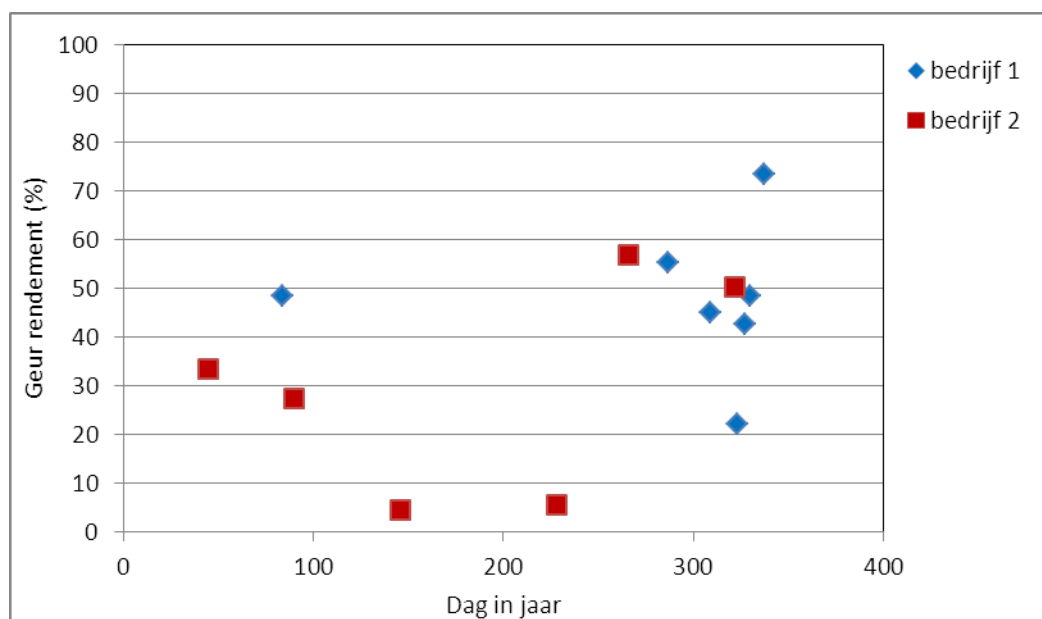
Metingnummer	Concentratie ( $\text{OU}_E/\text{m}^3$ )				Rendement (%)
	Ingaand		Uitgaand		
<i>Bedrijf 1</i>	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 1	Meetpunt 2	
1	681	1080	321	681	44,9
2	528	468	632	169	22,1
3	718	585	432	250	48,5
4	391	468	159	58	73,5
5	528	1886	323	791	48,4
6	2301	1586	1794	180	55,3
7	423	279	227	170	42,7
<i>Mediaan</i>		694		310	$48 \pm 15^2)$

<i>Bedrijf 2</i>					
1	758	<sup>1)</sup>	328	968	56,7
2	831	1262	413	884	50,3
3	597	364	196	365	33,4
4	553	660	435	438	27,5
5	517	436	280	597	4,5
6	918	919	743	990	5,7
<i>Mediaan</i>		669		491	$30 \pm 22^2)$

<sup>1)</sup> geen resultaat door technische storing meetapparatuur

<sup>2)</sup> gemiddelde met standaarddeviatie



**Figuur 11** Geurverwijderingsrendementen van de waterwassers; bedrijf 1: opfokleghennen met droogtunnel; bedrijf 2: vleeskuikens met bypass.

Uit Tabel 10 volgt dat er bij de wasser op bedrijf 1 een significant ( $p < 0,05$ ) verschil tussen ingaande en uitgaande geurconcentratie wordt gevonden; de geurverwijdering bedraagt gemiddeld 48% ( $sd=15\%$ ). Voor de wasser op bedrijf 2 wordt geen significant ( $p > 0,05$ ) verschil tussen ingaande en uitgaande geurconcentratie gevonden. De gemiddelde ingaande geurconcentraties waren ongeveer gelijk voor bedrijf 1 en 2. Het verschil in rendement wordt mogelijk verklaard door het verschil in luchtverblijftijd in de wasser (zie Tabel 1 en 5: de wasser op bedrijf 1 heeft een langere luchtverblijftijd), aangezien in het algemeen aangenomen kan worden dat een langere luchtverblijftijd resulteert in een hoger geurverwijderingsrendement. Anderzijds zouden verschillen in biologische afbraak een rol kunnen spelen. Zoals besproken is in zie paragraaf 3.4 worden wat betreft de ammoniakverwijdering grote verschillen gevonden tussen de waterwassers op de twee bedrijven. Wanneer de hoge ammoniakverwijdering bij de wasser op bedrijf 1 het gevolg is van de aanwezigheid van een actieve microbiële populatie (nitrificatie/denitrificatie), is het denkbaar dat als gevolg hiervan ook een hoger geurverwijdering wordt gevonden. Tenslotte zouden verschillen in geursamenstelling en -karakteristiek een rol kunnen spelen bij de gevonden verschillen tussen de twee wassers.

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de metingen bij bedrijf 1 uitgevoerd zijn bij relatief oude dieren (zie paragraaf 3.1). Het is niet duidelijk in hoeverre de gemeten geurverwijderingsrendementen hierdoor zijn beïnvloed.

### 3.6 Broeikasgassen

In Tabel 11 en Tabel 12 worden de gemeten methaan- en lachgasconcentraties voor en na de wassers weergegeven.

**Tabel 11** CH<sub>4</sub>-concentratie in ppm voor en na de waterwassers op de verschillende meetpunten en het berekende gemiddelde met de standaarddeviatie.

Metingnummer	Concentratie (ppm) <sup>1)</sup>			
	Ingaand		Uitgaand	
<i>Bedrijf 1</i>	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 1	Meetpunt 2
1	5,26	3,03	3,74	2,88
2	3,62	2,88	3,26	3,09
3	4,66	4,51	3,80	4,11
4	5,03	2,68	4,01	3,59
5	2,69	2,79	2,41	2,15
6	3,48	3,51	2,86	2,68
7	3,64	3,65	3,61	3,76
<i>Gemiddeld</i>	<i>3,67 ± 0,87</i>		<i>3,28 ± 0,61</i>	
<i>Bedrijf 2</i>				
1	2,24	2,86	2,17	2,17
2	2,95	3,11	2,03	2,03
3	2,17	2,27	2,21	2,21
4	2,22	2,13	2,23	2,23
5	2,67	2,31	2,43	2,43
6	1,99	2,47	1,95	1,95
<i>Gemiddeld</i>	<i>2,45 ± 0,36</i>		<i>2,85 ± 1,57</i>	

<sup>1)</sup> 1 ppm CH<sub>4</sub> = 0,67 mg/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>

**Tabel 12** N<sub>2</sub>O-concentratie in ppm voor en na de waterwassers op de verschillende meetpunten en het berekende gemiddelde met de standaarddeviatie.

Metingnummer	Concentratie (ppm) <sup>1)</sup>			
	Ingaand		Uitgaand	
<i>Bedrijf 1</i>	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 1	Meetpunt 2
1	0.26	0.25	0.33	0.27
2	0.17	0.18	0.25	0.21
3	0.17	0.17	0.20	0.17
4	2.10	0.28	0.28	0.30
5	1.80	1.15	0.42	0.47
6	0.22	0.24	0.26	0.22
7	0.64	0.61	0.37	0.90
<i>Gemiddeld</i>	<i>0,59 ± 0,64</i>		<i>0,33 ± 0,18</i>	

<i>Bedrijf 2</i>	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 1	Meetpunt 2
1	0,26	0,27	0,26	0,26
2	0,28	0,41	0,25	0,65
3	0,49	0,84	0,40	0,31
4	0,22	0,24	0,23	0,33
5	0,28	0,29	0,28	0,48
6	0,55	0,26	0,38	0,77
<i>Gemiddeld</i>	<i>0,37 ± 0,18</i>		<i>0,38 ± 0,17</i>	

<sup>1)</sup> 1 ppm N<sub>2</sub>O = 0,55 mg/m<sup>3</sup> N<sub>2</sub>O

Uit Tabel 11 blijkt dat er voor wasser 1 sprake is van een significante ( $p < 0,05$ ) afname van de methaanconcentratie; de methaanverwijdering bedraagt gemiddeld 11% (sd=9,4%). Voor de lachgasconcentratie (Tabel 12) wordt geen significante ( $p > 0,05$ ) toe- of afname gevonden bij wasser 1. Daarnaast is een significante ( $p < 0,05$ ) afname van de CO<sub>2</sub> concentratie gevonden bij wasser 1; de concentratie neemt af met gemiddeld 20% (sd=17%) van ca. 2.000 ppm tot 1.600 ppm.

Het is niet duidelijk waardoor de verschillen tussen ingaande en uitgaande lucht zijn veroorzaakt. Enerzijds kan werkelijk sprake zijn van opname, consumptie of productie van methaan en kooldioxide, anderzijds kunnen systematische meetfouten een rol hebben gespeeld.

Voor wasser 2 wordt voor zowel methaan, lachgas en kooldioxide geen significant ( $p > 0,05$ ) verschil tussen ingaande en uitgaande concentratie gevonden.

## 4 Conclusies

Uit de metingen aan twee waterwassers (dat wil zeggen luchtwassers waarbij als wasvloeistof water wordt gebruikt zonder toevoeging) op pluimveebedrijven blijkt dat deze een aanzienlijke emissiereductie voor PM10 (fijn stof) kunnen realiseren. Gemiddeld werd voor de waterwasser op bedrijf 1 (opfokleghennen stal met mestdroogtunnel) een PM10-emissiereductie van 63% (sd=21%) en voor bedrijf 2 (vleeskuikenstal met bypass) een PM10-emissiereductie van 31% (sd=6,9%) gevonden. Het verschil in fijnstofverwijderingsrendement wordt mogelijk verklaard door het verschil in luchtverblijftijd in de wassers: de wasser op bedrijf 1 heeft een langere luchtverblijftijd dan de wasser op bedrijf 2. In het algemeen kan worden aangenomen dat een langere luchtverblijftijd resulteert in een hoger fijnstofverwijderingsrendement (Melse et al., 2010, 2011b). Nader onderzoek is gewenst naar de wijze waarop fijnstofrendementen in wassers tot stand komen en op welke manier dit rendement kan worden beïnvloed.

Wat betreft ammoniak werd verwacht dat de waterwassers geen substantiële verwijdering zouden bewerkstelligen. Voor wasser 2 werd dan ook, conform verwachting, geen significante verandering van de ammoniakconcentratie gevonden. Voor wasser 1 werd echter een gemiddelde ammoniakverwijdering van 79% (sd=24%) gevonden. Op dit moment is niet duidelijk op welke wijze deze ammoniakverwijdering verklaard kan worden. Aanbevolen wordt om hiernaar nader onderzoek uit te voeren.

De metingen van de geurverwijdering wijzen uit dat op bedrijf 1 een rendement van gemiddeld 48% (sd=15%) werd gerealiseerd; op bedrijf 2 werd geen significante verandering van de geurconcentratie gevonden. Het hogere rendement van de wasser op bedrijf 1 wordt mogelijk veroorzaakt door de langere luchtverblijftijd ten opzichte van de wasser op bedrijf 2. Anderzijds zouden verschillen in biologische afbraak een rol kunnen spelen.

Voor lachgas worden geen significante verschillen gevonden tussen ingaande en uitgaande lucht. Bij wasser 1 wordt wel een significante afname van de methaan- en de kooldioxideconcentratie gevonden.

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de metingen op bedrijf 2 zijn uitgevoerd conform de huidige meetprotocollen, dat wil zeggen dat evenredig verdeeld over het jaar zes maal een meetsessie is uitgevoerd en dat de metingen wordt verdeeld over de groeicyclus. Tijdens twee van de zes meetsessies was de bypass actief, wat wil zeggen dat niet alle maar slecht een deel van de ventilatielucht van de stal door de wasser werd geleid. De meeste metingen op bedrijf 1 zijn uitgevoerd in een korte periode bij relatief oude dieren waardoor deze metingen wat betreft evenredige spreiding over de duur van de productieronde en het kalenderjaar niet voldoen aan het meetprotocol; het is niet duidelijk in hoeverre de gemeten verwijderingsrendementen hierdoor zijn beïnvloed.





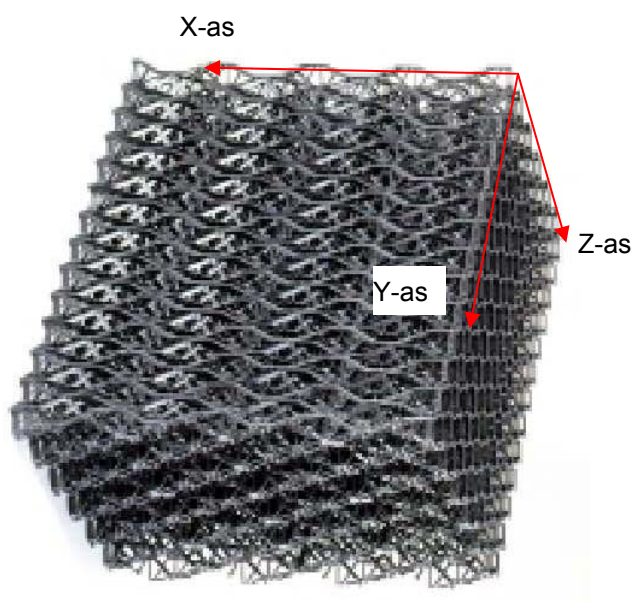
## Literatuur

- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Groenestein, C.M.; J. Mosquera; N.W.M. Ogink; J.M.G. Hol. 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. *In voorbereiding*.
- Harn, J. van, F. Dousma, A.J.A. Aarnink, 2010. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; perspectieven van een eenvoudige vernevelingswasser. Rapport 326. Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad.
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A. J. A. Aarnink, en N. W. M. Ogink. 2008. Measurement protocol for emissions of fine dust from animal housings. Considerations, draft protocol and validation. Report 134, Animal Sciences Group, Lelystad.
- Hofschreuder, P.; N.W.M. Ogink; J. Mosquera; A.J.A. Aarnink. 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. *In voorbereiding*.
- Melse, R.W.; P. Hofschreuder; N.W.M. Ogink. 2010. Fine dust (PM10) removal by air scrubbers treating animal house exhaust air. An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 1009986. ASABE Annual International Meeting, June 20-23, 2010, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Melse, R.W.; J.M.G. Hol; J. Mosquera; G.M. Nijeboer; J.W.H. Huis in 't Veld; T.G. van Hattum; R.K. Kwikkel; F. Dousma; N.W.M. Ogink. (2011). Meetrapport pilot-installaties gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven. Programma Gecombineerde Luchtwassers. Rapport 380. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. *In voorbereiding*.
- Melse, R.W.; J.P.M. Ploegaert. (2011a). Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid. Rapport 435. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Melse, R.W.; P. Hofschreuder; N.W.M. Ogink (2011b). Fine dust (PM10) removal by air scrubbers at livestock facilities: results of an extensive farm monitoring program. *Submitted*.
- Mosquera, J.; C.M. Groenestein; N.W.M. Ogink; J.M.G. Hol. 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. *In voorbereiding*.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M., A.J.A. Aarnink, J. van Harn, R.W. Melse, M. Cambra-Lopez. 2010. Development of water scrubbers to reduce fine dust emission from poultry houses. International Conference on Agricultural Engineering AgEng 2010, September 6-8, Clermont-Ferrand, France.
- Ogink, N.W.M., G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.
- Ogink, N.W.M., A.J.A. Aarnink. 2008. Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij. Rapport 113, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, J.M.G. Hol. 2011a. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 454, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Ogink, N.W.M.; J. Mosquera; J.M.G. Hol. 2011b. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. *In voorbereiding*.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M. J. W. Heetkamp, and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- Perry, R.H. 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6th ed. MacGraw-Hill.
- Starmans, D.A.J., N.W.M. Ogink, C.M. Groenestein. 2008. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit pluimveehouderij: inventarisatie waterwas-systemen. Rapport 158, Animal Sciences Group, Wageningen UR.

- Winkel, A., J. Mosquera, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009a. Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 278, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel, A., J. Mosquera, H.H. Ellen, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009b. Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in stallen met droogtunnel. Rapport 280, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel, A., J. Mosquera, R.K. Kwikkel, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009c. Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens. Rapport 275 – herziene versie januari 2011. Rapport 278, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. *Journal of Aerosol Science* 40, 868-878.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, M. C. M. de Jong, N. W. M. Ogink, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2011. Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *T ASABE* 54(1) 285-293.

## Bijlagen

### Bijlage 1 Pakkingmateriaal



Bovenaanblik van het pakkingmateriaal (fabrikant 2H, type Net) gebruikt in beide waterwassers

**Bijlage 2 Foto's meetlocatie bedrijf 1**



Meetpunt A, uitgaande lucht droogtunnel (rechts zichtbaar op de foto) ofwel ingaande lucht van de waterwasser. Opstelling hangt aan het plafond, meting van de lucht aan de bovenkant van de wasser.



Meetpunt B, uitgaande lucht droogtunnel (links zichtbaar op de foto) ofwel de ingaande lucht van de waterwasser. Opstelling op de grond, meting van de lucht aan de onderkant van de wasser



Meetpunt A, uitgaande lucht waterwasser. De cyclonen voor fijnstof en de monsternaleidingen zijn in de koker geplaatst zodat alleen uitgaande lucht van de waterwasser wordt gemeten en geen buitenlucht.

**Bijlage 3 Foto's meetlocatie bedrijf 2**



meetpunten uitgaande lucht stal (rechts zijn de jaloezieën van de ventilatoren zichtbaar op de foto) ofwel de ingaande lucht van de waterwasser. Meetpunt op de voorgrond is de meting van de lucht aan de bovenkant van de wasser, Verder naar achteren is het meetpunt van de lucht aan de onderkant van de wasser zichtbaar.



Meetpunten uitgaande lucht waterwasser. De cyclonen voor fijnstof en de monsternameleidingen zijn in de koker geplaatst zodat alleen uitgaande lucht van de waterwasser wordt gemeten en geen buitenlucht



De bypass van de stal, 3 ventilatoren staan aan. De overige staan stil. Deze stallucht wordt direct naar buiten geventileerd zonder behandeling door een wasser.





Wageningen UR Livestock Research

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

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)