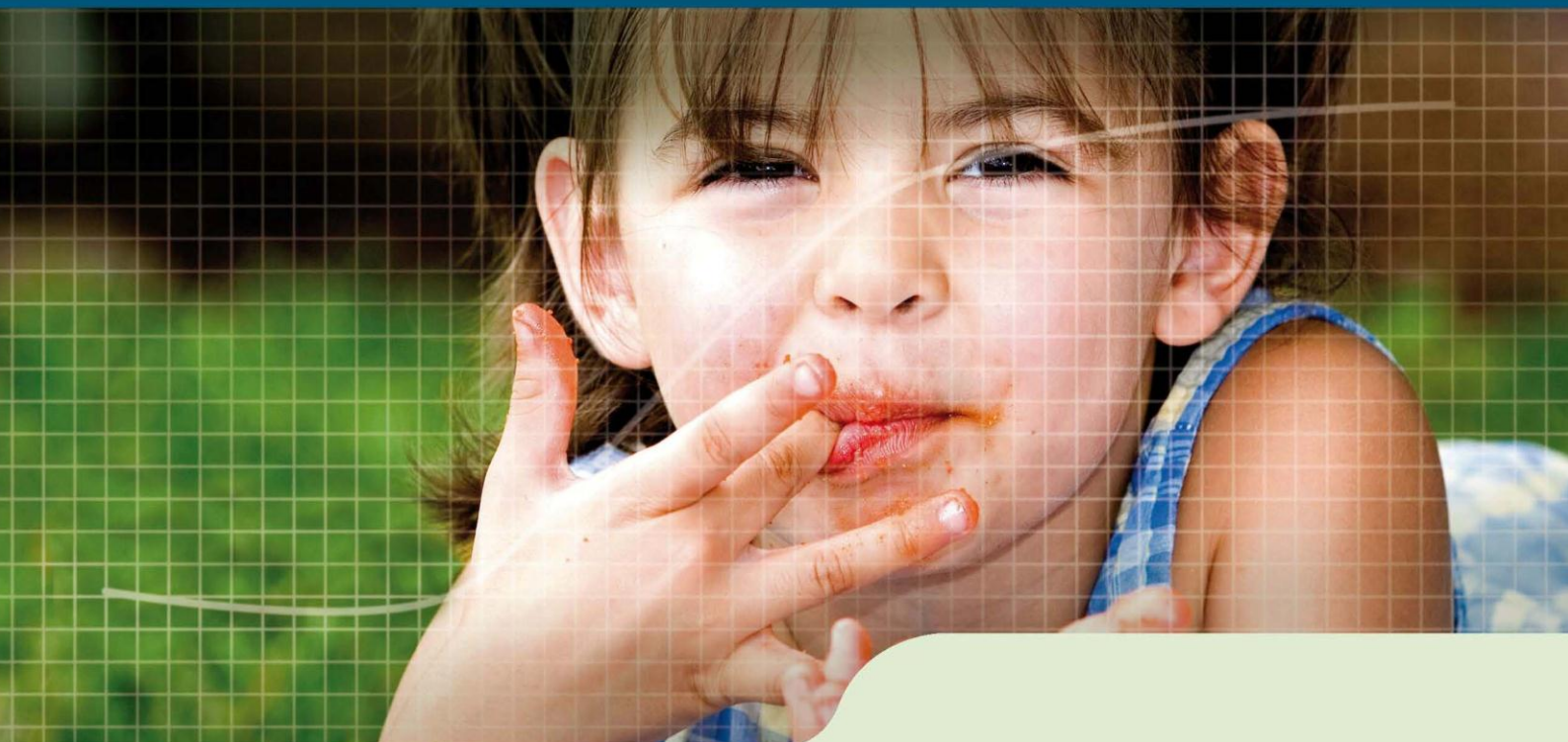


# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 686

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmrobot op een leghennenbedrijf

Juni 2014



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

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en de Provincie Gelderland in het kader van het 'Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij' (Ogink en Aarnink, 2011).

## 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, 2014

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. Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

## Abstract

In this study, the emission reduction of an oil film robot was determined through validation measurements on a layer farm with houses with floor housing.

## Keywords

Poultry, laying hens, fine dust, emissions, oil spraying, oil film robot

## Referaat

ISSN 1570 - 8616

## Auteur(s)

A. Winkel  
J.W.H. Huis in't Veld  
G.M. Nijeboer  
K. Blanken  
H. Schilder  
T.G. van Hattum  
N.W.M. Ogink

## Titel

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmrobot op een leghennenbedrijf

Rapport 686

## Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissiereducties vastgesteld van een oliefilmrobot door validatiemetingen op een leghennenbedrijf met stallen met grondhuisvesting.

## Trefwoorden

Pluimvee, leghennen, fijnstof, emissie, oliefilm, oliefilmrobot



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 686

## Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmrobot op een leghennenbedrijf

### Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of an oil spraying robot on a layer farm

A. Winkel

J.W.H. Huis in't Veld

G.M. Nijeboer

K. Blanken

H. Schilder

T.G. van Hattum

N.W.M. Ogink

Juni 2014



## **Voorwoord**

In dit onderzoek is de effectiviteit van een oliefilmrobot gevalideerd op een leghennenbedrijf met stallen met grondhuisvesting. Onze dank gaat uit naar familie Van Elten voor het beschikbaar stellen van hun leghennenstallen en voor de prettige samenwerking in dit project. De firma JOZ wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van de oliefilmrobot. Dank is ook verschuldigd aan de begeleidingscommissie voor het begeleiden van het onderzoek. De inzet van alle betrokkenen is zeer gewaardeerd.

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



## Samenvatting

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen, waaronder pluimveestallen. Een van de mogelijke oplossingen is het aanbrengen van een zeer dun laagje plantaardige olie (oliefilm) op het strooisel in pluimveestallen. Dit voorkomt dat stofdeeltjes uit de strooisellaag in de lucht worden opgenomen. Deze aanpak dringt niet alleen stofuitstoot terug uit leghennenstallen maar verbetert ook de luchtkwaliteit in de stallen voor mens en dier. Een van de technische mogelijkheden voor het aanbrengen van een oliefilm in leghennenstallen is een autonoom rijdend voertuigje, of oliefilmrobot. Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden vaststellen van de emissiereductie van de oliefilmrobot.

In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van de oliefilmrobot gevalideerd op een leghennenbedrijf met stallen met grondhuisvesting. Tijdens metingen 1 en 2 was de oliefilmrobot in werking in de 'proefstal', terwijl de naastgelegen stal (zonder oliefilmrobot) als 'controlestal' diende. Metingen 3 t/m 6 werden uitgevoerd bij een zogenaamde 'case-controlle strategie in de tijd' binnen de proefstal. Aan deze stallen werden metingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), ammoniak, geur, methaan, lachgas, koolstofdioxide, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid en werden dier- en productiegegevens vastgelegd. Aan de hand van gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties en verzamelde dier- en productie gegevens werd het ventilatiedebiet bepaald middels de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. De metingen werden uitgevoerd van december 2011 t/m december 2012. Bij de meetstrategie en meetmethoden werden de geldende meetprotocollen zo veel mogelijk gevolgd. In totaal werden zes metingen uitgevoerd. Van vijf geslaagde metingen werden betrouwbare resultaten verkregen.

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de gemiddelde emissiereductie van de oliefilmrobot ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM10 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $32,2 \pm 15,6\%$ ;
- de gemiddelde emissiereductie van de oliefilmrobot ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM2,5 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $44,9 \pm 26,6\%$ ;
- in dit onderzoek werd een oliefilm aangebracht in een dosering van 30 ml/m<sup>2</sup> strooiseloppervlak per dag. Doordat vanwege meettechnische redenen de overdekte uitloop gesloten diende te blijven tijdens de metingen, bestond er tijdens de metingen een relatief hoge bezetting van aantallen kippen per oppervlakte-eenheid strooisel. Daarnaast kon ruim 10% van het totale strooiseloppervlak niet worden behandeld met de oliefilm en werd de oliefilm tijdens drie van vijf geslaagde metingen omwille van de gekozen meetstrategie slechts eenmalig i.p.v. 'dag op dag' aangebracht. Verwacht wordt dat bij meer gangbare dierbezettingen en een frequentere en meer egale verspreiding van de oliefilm hogere gemiddelde emissiereducties worden behaald;
- in dit onderzoek werden – in overeenstemming met eerder onderzoek – geen wezenlijk effecten gevonden van het aanbrengen van een oliefilm op de emissies van ammoniak, geur, methaan en lachgas.





## Summary

To be able to comply with European standards on maximum fine dust concentrations in the ambient air, measures need to be taken in The Netherlands to reduce emissions of fine dust from major emission sources, including poultry houses. One of the possible solutions is the application of a very thin film of vegetable oil onto the litter (oil film). This solution not only reduces particulate matter emissions, but also improves the in-house climate for animals and workers. One of the technical methods to apply the oil film is an autonomously moving spraying vehicle, or: oil film robot.

The aim of the current study was to determine the emission reduction of the oil film robot under field conditions, following the applicable measurement protocols. Based on this study, official emission figures can be adopted in regulations and used for environmental permit granting.

In this study, the effectiveness of the oil film robot was validated at a layer farm with two houses with floor housing. During measurements 1 and 2, the oil film robot was functioning in one house, whereas an adjacent, similar house without an oil film robot served as control. Measurements 3 to 6 were carried out by using a 'case-control strategy in time' within the first house. At this farm location, we measured concentrations of fine dust (PM10 and PM2.5), ammonia, odour, methane, nitrous oxide, carbon dioxide, air temperature and air humidity. Furthermore, animal and production characteristics were collected. Based on CO<sub>2</sub>-concentrations and animal and production characteristics, ventilation exchange rates were determined using the CO<sub>2</sub> mass balance method. Measurements were carried out between December 2011 and December 2012, following the applicable measurement protocols as close as possible. In total, six 24-hour measurements were carried out, five of them were successful and yielded valid data.

From this study, the following conclusions are drawn:

- the mean emission reduction ( $\pm$  standard deviation) of the oil film robot for PM10 under the tested circumstances amounted  $32.2 \pm 15.6\%$ ;
- the mean emission reduction ( $\pm$  standard deviation) of the oil film robot for PM2.5 under the tested circumstances amounted  $44.9 \pm 26.6\%$ ;
- in this study, oil was sprayed at a dose of 30 ml/m<sup>2</sup> of litter floor area per day. For measurement reasons, the covered outdoor run remained closed during measurements. This resulted in a relatively high occupation of animals per unit of litter floor surface. Also, about 10% of the litter floor surface could not be treated with the oil film. Third, for three of five successful measurements, the oil film was applied once instead of 'day by day' because of the chosen 'case-control strategy in time'. It is expected that under circumstances of a more representative number of animals per unit of litter floor surface, a more frequent application, and a more equal distribution of the oil film, higher mean emission reductions can be achieved;
- in accordance with the results from previous research, in the current study, no substantial emission reductions were found for ammonia, odour, methane and nitrous oxide.



# Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden</b> .....	<b>2</b>
2.1	Hoofdpijnen van het onderzoek .....	2
2.2	Leghennenstallen op het bedrijf.....	2
2.3	Oliefilmrobot .....	2
2.4	Metingen .....	2
2.4.1	Meetposities en bemonsteringsduur.....	2
2.4.2	Fijnstof (PM10 en PM2,5) .....	3
2.4.3	Ammoniak .....	4
2.4.4	Geur .....	4
2.4.5	Broeikasgassen (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O).....	5
2.4.6	Ventilatie-debiet .....	5
2.4.7	Productiegegevens .....	5
2.4.8	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid.....	5
2.5	Rekenmethoden.....	6
2.5.1	Berekening emissies.....	6
2.5.2	Berekening emissiereducties .....	6
<b>3</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>7</b>
3.1	Meetomstandigheden.....	7
3.2	Ventilatie-debieten.....	9
3.3	Concentraties, emissies en reducties van PM10 en PM2,5 .....	10
3.4	Concentraties en emissies van ammoniak .....	11
3.5	Concentraties en emissies van geur .....	12
3.6	Concentraties en emissies van methaan en lachgas .....	13
<b>4</b>	<b>Discussie</b> .....	<b>14</b>
	<b>Conclusies</b> .....	<b>16</b>



## 1 Inleiding

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. De veehouderij draagt voor ongeveer 20% bij aan de totale, jaarlijkse, primaire emissie van fijnstof in Nederland (Chardon and Van der Hoek, 2002; RIVM, 2011). Het merendeel van het fijne stof uit de landbouw komt uit varkens- en pluimveestallen (Takai et al., 1998). Met name pluimveestallen met strooiselvloeren dragen in belangrijke mate bij aan de emissie van fijnstof in Nederland. Wageningen UR Livestock Research werkt binnen een plan van aanpak aan maatregelen en technieken die de fijnstofemissie uit pluimveestallen substantieel reduceren (Ogink and Aarnink, 2011).

Een van deze oplossingen is het aanbrengen van een zeer dun laagje plantaardige olie (oliefilm) op het strooisel. Deze aanpak dringt niet alleen stofuitstoot terug uit leghennenstallen maar verbetert ook het stalklimaat voor mens en dier. Dagelijkse doseringen olie van 6 tot 24 ml/m<sup>2</sup> per dag kunnen de concentraties en emissies van fijnstof bij vleeskuikens reduceren tot ca. 85% (Aarnink et al., 2008; Winkel et al., 2009a; Winkel et al., 2011). Bij leghennen zijn hogere dagelijkse doseringen nodig, vermoedelijk omdat leghennen actiever zijn op het strooisel waardoor de werking van de oliefilm sneller vermindert. Uit een dosis-effect experiment bij leghennen bleek dat oliedoseringen van 15, 30 en 45 ml/m<sup>2</sup> per dag de PM10 emissies konden verminderen met respectievelijk 31%, 64% en 83% en de PM2,5 emissies met respectievelijk 75%, 85% en 95% (Winkel et al., 2012). Verder is het van belang dat de olie gelijkmatig over (vrijwel) al het strooiseloppervlak wordt aangebracht en dat de stalinventaris en de hennen niet worden geraakt. Naast een juiste dosering is een optimale techniek voor het aanbrengen van de oliefilm voor leghennenstallen cruciaal (Slingerland et al., 2010; Winkel et al., 2012).

Een van de technische mogelijkheden voor het aanbrengen van een oliefilm in leghennenstallen is een autonoom rijdend voertuigje, of oliefilmrobot, met aan boord een olietankje, compressor en vernevelunit (Bokma et al., 2013). In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van deze oliefilmrobot gevalideerd op een leghennenbedrijf met stallen met grondhuisvesting. Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden en volgens officiële meetprotocollen vaststellen van de emissiereductie van de oliefilmrobot. Op grond van dit onderzoek kunnen emissiecijfers worden vastgesteld voor regelgeving en vergunningverlening.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Hoofdpijnen van het onderzoek

In dit onderzoek is de emissiereductie van oliefilmtoediening met een oliefilmrobot onder praktijkomstandigheden gevalideerd door emissiemetingen uit te voeren op een leghennenbedrijf met twee vergelijkbare stallen met grondhuisvesting waarin twee koppels leghennen van hetzelfde merk en dezelfde leeftijd waren gehuisvest. Aan deze stallen zijn waarnemingen/metingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), ammoniak, geur, methaan, lachgas, ventilatiedebiet, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en van de technische resultaten van de hennen, waarbij de geldende meetprotocollen (Groenestein et al., 2011; Mosquera et al., 2011; Ogink, 2011; Ogink et al., 2011a; Ogink et al., 2011b) zo veel mogelijk werden gevolgd. De meetstrategie is in afwijking van de geldende meetprotocollen gebaseerd op het 'case-control' principe dat staat beschreven in het VERA-protocol voor huisvestingssystemen (VERA, 2011). Deze VERA-benadering wordt gelijkwaardig geacht aan de Nederlandse meetprotocollen.

Op het bedrijf was de oliefilmrobot in werking in de 'proefstal', terwijl de naastgelegen stal (zonder oliefilmrobot) als 'controlestal' diende. Deze 'fysieke case-controle strategie' heeft dienst gedaan tijdens metingen 1 en 2. Bij deze metingen werd de oliefilm dagelijks aangebracht bij een dosering van 30 ml/m<sup>2</sup> strooiseloppervlak per dag. Metingen 3 t/m 6 werden uitgevoerd bij een zogenaamde 'case-controle strategie in de tijd' binnen de proefstal. Tijdens deze metingen werd op dag één gestart met een 24-uursmeting ('controlemeting') waarbij (nog) geen oliefilm was aangebracht. Op dag twee van deze metingen werd de eerste meetperiode van 24 uur beëindigd. Op de avond van dag twee (na het op stok gaan van de kippen) werd door de oliefilmrobot een oliefilm aangebracht. Binnen twee uren na het oliefilm aanbrengen werd de tweede emissiemeting van 24 uur gestart (proefmeting). De emissiereductie van het systeem is vervolgens bepaald als het gemiddelde relatieve verschil in fijnstofemissies tussen de controlemetingen en de proefmetingen. Met uitzondering van deze strategie is voor de overige aspecten van de uitvoering aangesloten op de Nederlandse meetprotocollen.

De metingen werden uitgevoerd van december 2011 t/m december 2012. In totaal werden 6 metingen uitgevoerd. Van de proefmeting (dag 2-3) van meting 4 kon door een technische storing geen data worden verkregen. In totaal werden van vijf geslaagde metingen betrouwbare gegevens verkregen.

### 2.2 Leghennenstallen op het bedrijf

De belangrijkste kenmerken van de twee leghennenstallen in dit onderzoek worden weergegeven in Bijlage A. In deze bijlagen zijn verder foto-impressies van de stallen opgenomen.

### 2.3 Oliefilmrobot

De oliefilmrobot in dit onderzoek werd ontwikkeld in een ontwikkelingstraject voorafgaand aan dit onderzoek. Een uitgebreide beschrijving van dit ontwikkeltraject en de technische eigenschappen van de robot wordt gegeven door Bokma et al. (2013).

### 2.4 Metingen

#### 2.4.1 Meetposities en bemonsteringsduur

In dit onderzoek zijn concentratiemetingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), ammoniak, geur, koolstofdioxide, methaan en lachgas. Deze componenten zijn gemeten in de buitenlucht die de stal instroomt (buiten de stal) en in de stal, in de luchtstroom die de stal verlaat, vlak vóór de ventilatoren. De stalconcentraties van PM10, PM2,5, ammoniak, koolstofdioxide, methaan en lachgas zijn in duplo gemeten, de stalconcentratie van geur in enkelvoud. Buiten werden alle componenten in enkelvoud gemeten. De concentratiemetingen van PM10, PM2,5, ammoniak, koolstofdioxide, methaan en lachgas werden uitgevoerd in bemonsteringsperioden van 24 uur, de concentratie van geur gedurende 2 uren.

### 2.4.2 Fijnstof (PM10 en PM2,5)

Tijdens de meetdagen zijn de volgende fijnstofmonsters genomen:

- 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  (PM10);
- 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5);
- minuutmonsters van deeltjes kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  (PM10; alleen in de stal).



**Figuur 1** Monsterapparatuur voor het meten van PM10 en PM2,5 d.m.v. gravimetrische filtratie. Links: een set apparatuur voor gravimetrische meting van PM10 (linker driepoot) en PM2,5 (rechter driepoot). Midden: detailfoto van de 'constant flow' monsternamepomp. Rechts: de DustTrak model 8520 voor continue/optische meting van PM10

Figuur 1 laat de monstername-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de referentie monsternamekoppen in standaard EN 12341 en standaard EN 14907 voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (CEN, 1998, 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 et al., 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: een temperatuur van  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  en een relatieve luchtvochtigheid van  $50\% \pm 5\%$  in het Milieulaboratorium van Wageningen UR, volgens de procedures van dit laboratorium. Deze voorwaarden staan beschreven in EN 14907 (CEN, 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). De 24-uursgemiddelde massaconcentratie werd vervolgens bepaald door de massa aan ingevangen stof te delen door het volume bemonsterde lucht. Voor een uitvoerige beschrijving van het stofmeetprotocol, de achtergronden en de stofmeetapparatuur wordt verwezen naar Hofschreuder et al. (2008), Zhao et al. (2009) en Ogink et al. (2011a). In de eerste publicatie staan tevens correctielijnen vermeld (zie pag. 33) voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternamekoppen naar impactor monsternamekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd voor PM10: bij  $<222,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $y = 1,0877 x$ ; bij  $>222,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $y = 0,8304 x + 57,492$ , waarbij y de gecorrigeerde en x de met cyclonen gemeten concentratie is.

Om een beeld te krijgen van het tijdsverloop in de concentratie van PM10 werden, tegelijk met het uitvoeren van de gravimetrische metingen, continue metingen verricht met een lichtverstrooiingstechniek (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS; Figuur 1). De PM10 concentratie werd elke seconde gemeten, minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van het apparaat en na de metingen gedownload met behulp van de bijbehorende software.

#### 2.4.3 Ammoniak

Ammoniak in de lucht werd bemonsterd door middel van wasflessen/impingers. Bij deze zogenaamde 'natchemische methode' (Wintjes, 1993) wordt de lucht via een monsternamaleiding met een constante luchtstroom (~1,0 L/min) aangezogen met behulp van een Elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS; Figuur 2) en een kritische capillair die de luchtstroom reduceert tot ~1,0 L/min. Deze luchtstroom wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) gezogen, waarbij de ammoniak wordt afgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag van ammoniak wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag van vloeistof naar de elektropomp te voorkomen wordt de lucht na de twee impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (Figuur 2). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden ammoniak spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting wordt de flow door de impingers gemeten m.b.v. een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp., VS; Figuur 2). Op grond van de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het  $\text{NH}_4^+$  gehalte van de wasvloeistof en de hoeveelheid vloeistof wordt de ammoniakconcentratie in de bemonsterde lucht bepaald.

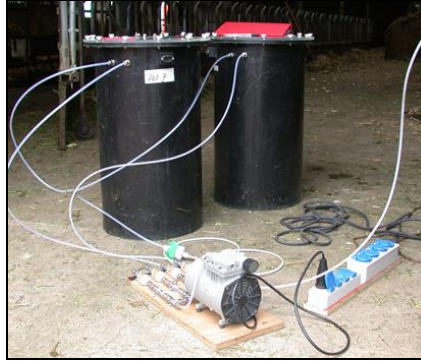


**Figuur 2** Foto's van de natchemische meetmethode voor ammoniak. Links: twee sets van drie in serie geschakelde wasflessen. Midden: de flowmeter. Rechts: de elektropomp met zes pijpjes met een kritisch capillair

#### 2.4.4 Geur

Voor het meten van de geurconcentratie werd lucht bemonsterd volgens de zogenaamde 'longmethode' (Ogink and Mol, 2002). Bij deze methode wordt een 40 L Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een teflon slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak. De lucht wordt aangezogen door een kritisch capillair welke de flow reduceert tot een constante luchtstroom van 0,4 L/min. De monsternamaleiding werd uitgevoerd gedurende twee uren (tussen 10:00 en 12:00 uur; totaal 48 L). Voordat de lucht in een geurvrije zak werd verzameld werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, Ø 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). De geuranalyses werden uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Dit betekent o.a. dat het luchtmonster binnen 30 uur na monsternamaleiding werd aangeboden ter analyse. Het geurlaboratorium is onder nummer L400 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses.





**Figuur 3** Meetopstelling voor het nemen van een luchtmonster middels de longmethode, voor bepaling van concentraties van geur en broeikasgassen

#### 2.4.5 Broeikasgassen ( $CO_2$ , $CH_4$ en $N_2O$ )

Voor het meten van de concentraties van broeikasgassen (koolstofdioxide, methaan en lachgas) werd lucht eveneens bemonsterd volgens de longmethode (zie par. 2.4.4) bij een constante flow van 0,02 L/min gedurende 24 uur. Op deze wijze werd een 24-uurs luchtmonster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ), Haysep Q ( $N_2O$ ); detector:  $CH_4$ : FID,  $N_2O$ : ECD,  $CO_2$ : HWD).

#### 2.4.6 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet ( $V$ ;  $m^3$ /uur per dier) is bepaald met behulp van de  $CO_2$ -massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde  $CO_2$ -concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal verlaat (respectievelijk  $[CO_2]_{buiten}$  en  $[CO_2]_{stal}$ ; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de  $CO_2$ -productie van de dieren ( $m^3 CO_2$ /uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Deze berekening van de  $CO_2$ -productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg) en de eiproductie (kg ei/hen per dag op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht). Het ventilatie-debiet  $V_{totaal}$  ( $m^3$ /uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V_{totaal} = \frac{CO_2 - \text{productie}}{([CO_2]_{stal} - [CO_2]_{buiten}) * 10^{-6}}$$

#### 2.4.7 Productiegegevens

Van elke meetdag werden de volgende gegevens geregistreerd of berekend:

- Aantal opgezette en aanwezige hennen
- Geboortedatum, opzetdatum; dagnummer in kalenderjaar, dagnummer in productie en leeftijd
- Gemiddeld hengewicht (kg)
- Aantal eieren en gemiddeld eigewicht (g)
- Legpercentage (%; berekend als:  $[\# \text{ eieren}] / [\# \text{ hennen}] * 100$ )
- Cumulatieve uitval (%; berekend als:  $(1 - [\# \text{ hennen aanwezig}] / [\# \text{ hennen opgezet}]) * 100$ )

#### 2.4.8 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur ( $T$ ;  $^{\circ}C$ ) en relatieve luchtvochtigheid ( $RV$ ; %) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 1,0$   $^{\circ}C$  en  $\pm 2\%$ . De data werden opgeslagen in een datalogsysteem (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS). Daarnaast werden de meteorologische data van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation verkregen via de website van het KNMI.

## 2.5 Rekenmethoden

### 2.5.1 Berekening emissies

Per meting ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) werden de emissies van PM10, PM2,5, ammoniak, methaan en lachgas bepaald, zowel voor de controlestal als proefstal (locatie 1, metingen 1-2) of voor zowel de 'controledagen' als 'proefdagen' binnen de proefstal (locatie 1, metingen 3 t/m 6). De emissies werden bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet van de stal ( $V_i$ ; m<sup>3</sup>/uur per dier), de 24-uursgemiddelde concentraties in de stal ( $C_{\text{stal}_i}$ ) en de achtergrondconcentratie in de lucht die de stal instroomt ( $C_{\text{buiten}_i}$ ). De emissies werden uitgedrukt per dierplaats m.b.v. het aantal aanwezige dieren tijdens de meting ( $\text{dieren}_{\text{aanwezig}_i}$ ) en het aantal geplaatste dieren ( $\text{dieren}_{\text{geplaatst}_i}$ ), waarna werd vermenigvuldigd met 24 uur en 365 dagen. Tot slot werd gecorrigeerd voor een leegstandsperiode (L) voor leghennen van 5% (Ogink et al., 2011; bijlage C), volgens onderstaande formules:

$$E_{\text{control}_i} = V_i * ([C_{\text{stal}_i}] - [C_{\text{buiten}_i}]) * \left( \frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_i}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_i}} \right) * 24 * 365 * \left( \frac{100-L}{100} \right)$$

$$E_{\text{oliefilm}_i} = V_i * ([C_{\text{stal}_i}] - [C_{\text{buiten}_i}]) * \left( \frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_i}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_i}} \right) * 24 * 365 * \left( \frac{100-L}{100} \right)$$

In de boven weergegeven rekenregels zijn voor NH<sub>3</sub>, PM10, PM2,5, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in stallucht en buitenlucht: g/m<sup>3</sup>;
- ventilatiedebiet: m<sup>3</sup>/uur per hen;
- emissies op jaarbasis per dierplaats: kg per dierplaats per jaar voor NH<sub>3</sub>, en g per dierplaats per jaar voor PM10, PM2,5, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O.

Op vergelijkbare wijze als hierboven beschreven werd de emissie van geur bepaald. Echter, in deze rekenmethode werd niet gecorrigeerd voor een achtergrondconcentratie en werden de emissies uitgedrukt in de tijdseenheid seconde (i.p.v. dag). Voor iedere meting werd van de geuremissie de natuurlijke logaritme (ln) berekend. De berekende ln-getallen werden gemiddeld. Dit geometrisch gemiddelde werd vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt.

### 2.5.2 Berekening emissiereducties

Per meting ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) werd de emissiereductie ( $ER_{ki}$ ; %) van het aanbrengen van een oliefilm bepaald als het relatieve verschil tussen de emissies, volgens de volgende formule:

$$ER_i = \left( 1 - \frac{E_{\text{oliefilm}_i}}{E_{\text{control}_i}} \right) \times 100$$

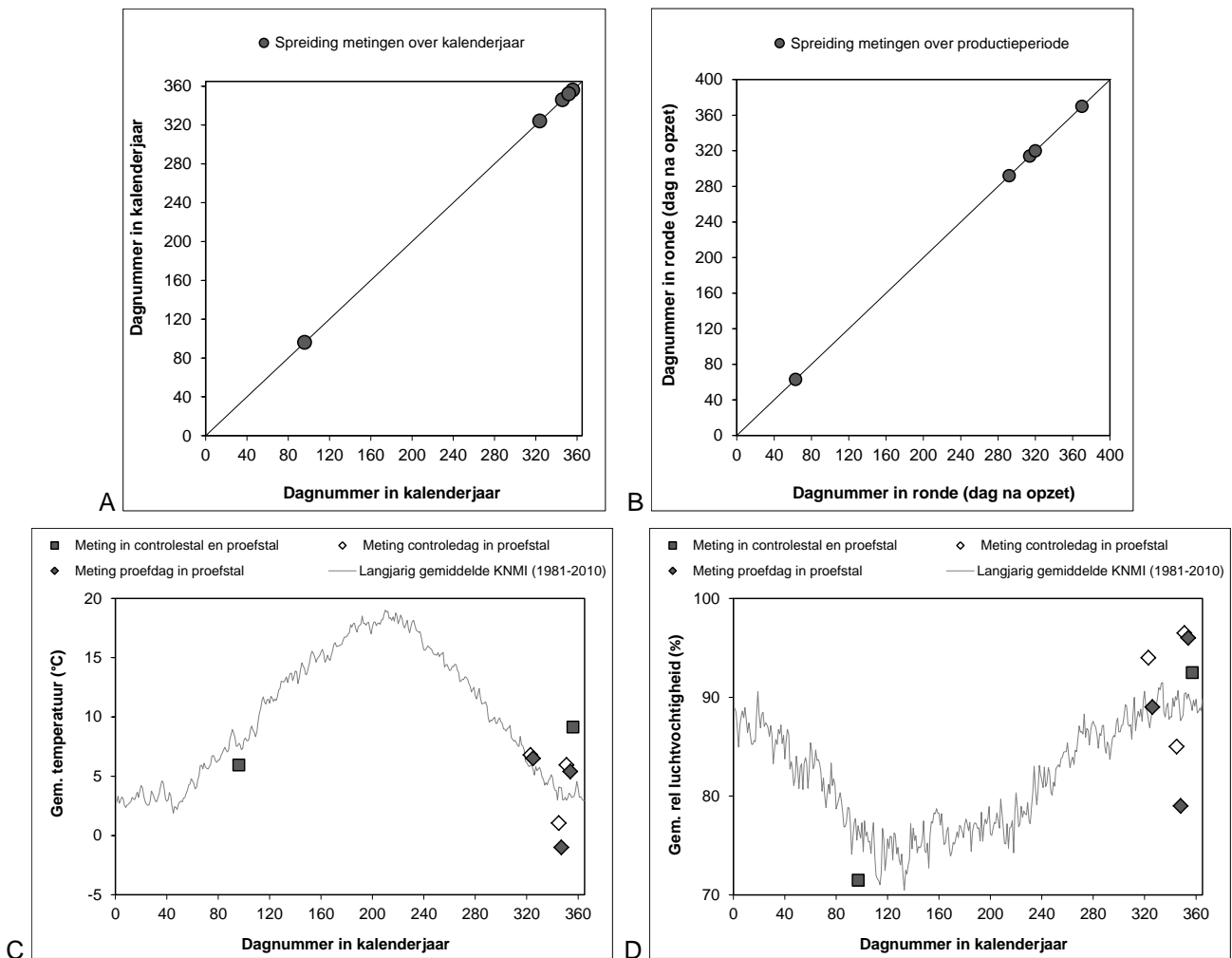
Vervolgens werd de gemiddelde emissiereductie ( $ER$ ; %) bepaald als het gemiddelde van de emissiereducties van de individuele metingen:

$$ER = \overline{ER_i}$$

### 3 Resultaten

#### 3.1 Meetomstandigheden

De van toepassing zijnde meetprotocollen voor fijnstof (Ogink et al., 2011a), ammoniak (Ogink et al., 2011b), methaan (Groenestein et al., 2011), lachgas (Mosquera et al., 2011) en geur (Ogink, 2011) schrijven voor dat voor het bepalen van een emissiefactor metingen dienen plaats te vinden op minimaal vier verschillende bedrijfslocaties. Voor het vaststellen van een verwijderingsrendement of emissiereductie van mitigatie technieken zoals luchtwassers en biofilters geldt dat volstaan kan worden met twee meetlocaties. Per meetlocatie dienen zes metingen uitgevoerd te worden, gespreid over het kalenderjaar. Minimaal 80% van alle uitgevoerde metingen (en tenminste vier metingen per locatie) moeten betrouwbare resultaten opleveren. Figuur 4 en Tabel 1 laten zien hoe de metingen werkelijk uitgevoerd zijn.



**Figuur 4** Verdeling van de metingen over het jaar (A), de productieperiode (B), en de buitentemperatuur (C) en relatieve luchtvochtigheid (D) vergeleken met het langjarig gemiddelde over de jaren 1981 t/m 2010 (bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl); als lijn weergegeven)

De metingen zijn in afwijking van de meetprotocollen uitgevoerd aan één bedrijfslocatie omdat één prototype oliefilmrobot voorhanden was om een praktijkvalidatie uit te voeren. In totaal zijn 6 metingen uitgevoerd, waarvan 5 succesvol waren. Door stroomuitval tijdens de tweede meetdag van meting 4 (na het oliefilm aanbrengen) werden van deze dag geen data verkregen. De metingen zijn uitgevoerd over een periode van 384 dagen, oftewel ruim een jaar, tussen december 2011 en december 2012. Tussen metingen 2 en 3 werd gedurende ca. 7 maanden geen meting verricht. Geen van de metingen viel in het zomerseizoen. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 295 (doel: ca. 183 dagen); vier van de vijf metingen werd uitgevoerd in de maand december. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (5,5 °C) is dientengevolge lager dan het langjarige

gemiddelde in Nederland (10,2 °C). Voor de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid op de dagen waarop is gemeten (86,8%) geldt dat deze hoger is dan het langjarige gemiddelde (81,8%). De technische resultaten van de hennen vertoonden een normaal patroon gedurende de meetperiode (Tabel 1).

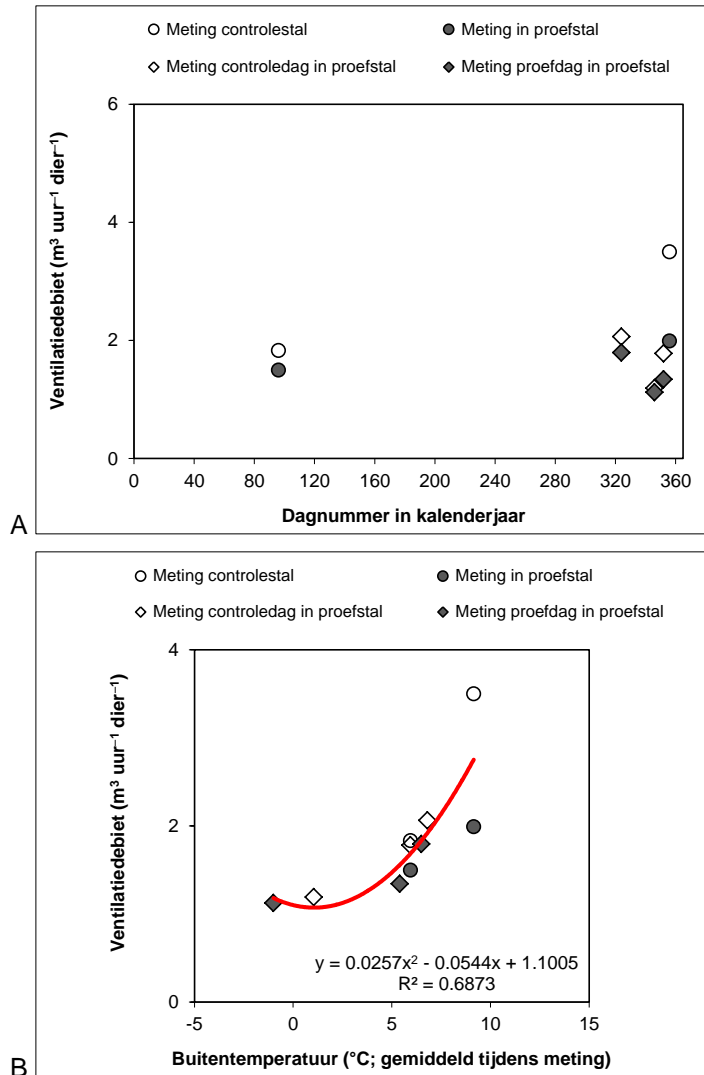
**Tabel 1** Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met het dagnummer in het jaar, het moment in de productiecycclus (dag na opzet), de technische resultaten van de hennen en de klimaatomstandigheden tijdens de metingen

Stal of beh.	Kenmerk	Meting					
		1	2	3	4	5	6
Controle	Datum	22-12-11	5-04-12	19-11-12	4-12-12	11-12-12	17-12-12
	Dag in kalenderjaar	356	96	324	339	346	352
	Leeftijd (weken)	70.3	26.0	58.6	60.7	61.7	62.6
	Dag na opzet	370	63	291	306	313	319
	Aantal kippen aanwezig	8920	9090	5550	5520	5514	5506
	Gem. hengewicht (kg)	1.90	1.82	1.94	1.93	1.92	1.92
	Legpercentage (%)	77.7	90.9	87.0	86.1	86.0	85.8
	Gem. eigewicht (g)	65.1	61.5	63.7	63.8	64.3	63.7
	Cumulatieve uitval (%)	7.9	6.1	7.5	8.0	8.1	8.2
	T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)	10.2	10.2	10.2	6.7	3.3	7.8
	T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)	6.1	-1.1	6.0	-1.2	-0.5	4.1
	T <sub>gem</sub> Buiten (°C)	9.2	6.0	6.8	2.8	1.1	6.0
	RV <sub>gem</sub> Buiten (%)	92.5	71.5	94.0	88.5	85.0	96.5
	T <sub>gem</sub> stal (°C)	19.1	18.3	20.7	20.2	19.9	20.6
	RV <sub>gem</sub> stal (%)	*)	*)	78.6	81.8	77.3	77.7
	Oliefilm	Datum	22-12-11	5-04-12	20-11-12	5-12-12	12-12-12
Dag in kalenderjaar		356	96	324	339	346	352
Leeftijd (weken)		70.3	26.0	58.7	60.9	61.9	62.7
Dag na opzet		370	63	292	307	314	320
Aantal kippen aanwezig		5733	5896	5550	5520	5514	5506
Gem. hengewicht (kg)		1.90	1.82	1.94	1.93	1.92	1.92
Legpercentage (%)		78.7	94.2	87.0	86.1	86.0	85.8
Gem. eigewicht (g)		65.1	61.6	63.7	63.8	64.3	63.7
Cumulatieve uitval (%)		6.5	1.7	7.5	8.0	8.1	8.2
T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)		10.2	10.2	10.6	3.6	0.5	6.1
T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)		6.1	-1.1	3.3	-3.1	-2.6	4.1
T <sub>gem</sub> Buiten (°C)		9.2	6.0	6.5	0.6	-1.0	5.4
RV <sub>gem</sub> Buiten (%)		92.5	71.5	89.0	88.0	79.0	96.0
T <sub>gem</sub> stal (°C)		*)	18.5	20.1	19.7	19.5	20.5
RV <sub>gem</sub> stal (%)		*)	60.3	76.7	81.5	78.1	75.5

\*) Geen waarneming door technische storing

### 3.2 Ventilatie-debieten

In Figuur 5 wordt per meting het ventilatie-debiet weergegeven. In Bijlage B worden ook de CO<sub>2</sub>-concentraties weergegeven op grond waarvan deze debieten zijn bepaald.

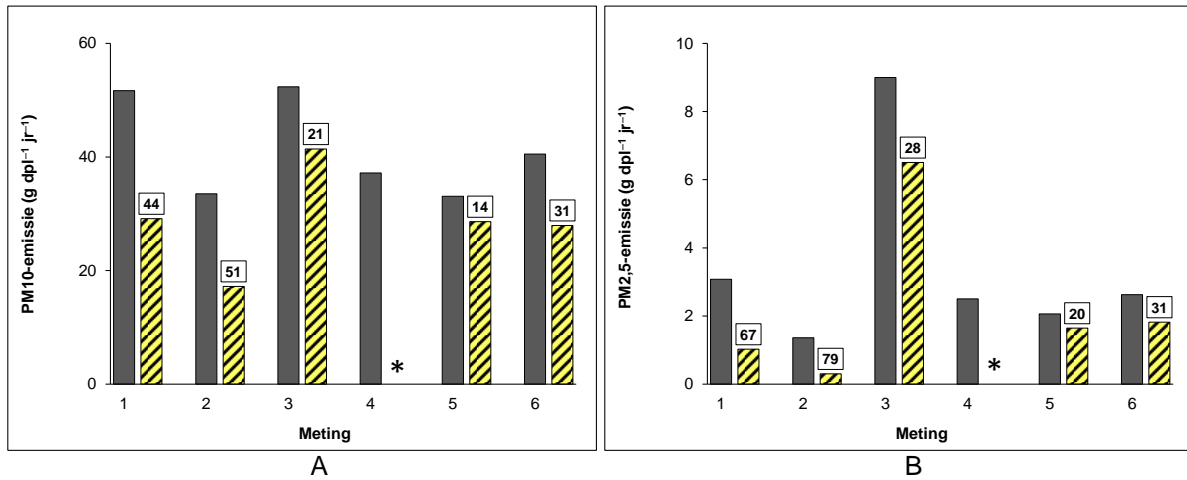


**Figuur 5** Het gemiddelde ventilatie-debiet op de meetdagen, uitgezet tegen het dagnummer in kalenderjaar (A) en de gemiddelde buitentemperatuur (B)

Uit de figuur blijkt dat de metingen werden uitgevoerd bij minimumventilatie-niveaus (1 á 2 m<sup>3</sup>/uur per hen) en daar vlak boven. Wanneer de ventilatie-debieten worden weergegeven als functie van de gemiddelde buitentemperatuur op de meetdag, wordt een logische en consistente trend verkregen van een met de buitentemperatuur toenemend ventilatie-debiet. Tijdens de metingen kwamen geen hoge buitentemperaturen met een hoge ventilatie-behoefte voor. Uit metingen 1 en 2 (proefstal versus controlestal; ronde symbolen) blijkt dat de controlestal een hoger ventilatie-debiet realiseert bij een vergelijkbare buitentemperatuur. Mogelijk kan dit worden verklaard door het iets hogere aantal hennen per m<sup>3</sup> stalinhoud (2,8 voor de controlestal versus 2,0 voor de proefstal) of verschillen in isolatie. Om te corrigeren voor verschillen in ventilatie-debieten tussen proefstal en controlestal (metingen 1 en 2) of tussen proefmeting en controlemeting binnen de proefstal (metingen 3 t/m 6) wordt het effect van het aanbrengen van de olie-film in dit rapport bepaald d.m.v. reducties van emissies (debiet x concentratie). Uit bijlage B blijkt dat tijdens geen van de metingen de CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal de landbouwkundige randvoorwaarde van 3000 ppm, zoals genoemd in de meetprotocollen, overschreed. Het gemiddelde ventilatie-debiet ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg 2,1  $\pm$  0,9 m<sup>3</sup>/uur per hen voor de controle en 1,5  $\pm$  0,3 m<sup>3</sup>/uur per hen voor de olie-film-behandeling.

### 3.3 Concentraties, emissies en reducties van PM10 en PM2,5

In Figuur 6 worden, per meting, de emissies en emissiereducties van PM10 en PM2,5 weergegeven.



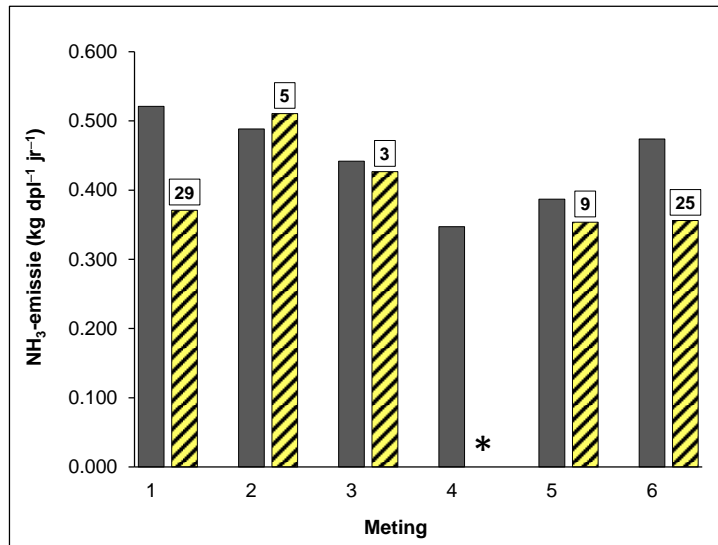
**Figuur 6** A: emissies van PM10 van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele emissiereducties weergegeven. B: Idem, voor PM2,5. Sterren: geen data voor de oliefilmbehandeling van meting 4

De gemiddelde PM10 concentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $2,860 \pm 0,687 \text{ mg/m}^3$  voor de controle en  $2,503 \pm 0,797 \text{ mg/m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde PM10 emissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $42,2 \pm 9,4 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor de controle en  $28,9 \pm 8,6 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde PM10 emissie van de controle is lager dan de emissiefactor van  $84 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor dit stalsysteem, welke is vastgesteld op basis van metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009), mogelijk door het ontbreken van zomermetingen bij hoge ventilatiedebieten. De gemiddelde PM10 emissiereductie bedroeg  $32,2 \pm 15,6\%$ . Tijdens elk van de vijf metingen werd een lagere PM10 emissie gevonden voor de oliefilmbehandeling.

De gemiddelde PM2,5 concentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $0,248 \pm 0,190 \text{ mg/m}^3$  voor de controle en  $0,198 \pm 0,172 \text{ mg/m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde PM2,5 emissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $3,6 \pm 3,1 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor de controle en  $2,3 \pm 2,4 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde PM2,5 emissie van de controle is vergelijkbaar met de waarde van  $4,0 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009). De gemiddelde PM2,5 emissiereductie bedroeg  $44,9 \pm 26,6\%$ . Tijdens elk van de vijf metingen werd een lagere PM2,5 emissie gevonden voor de oliefilmbehandeling.

### 3.4 Concentraties en emissies van ammoniak

In Figuur 7 worden, per meting, de emissies en procentuele emissietoenames/-afnames van ammoniak weergegeven.

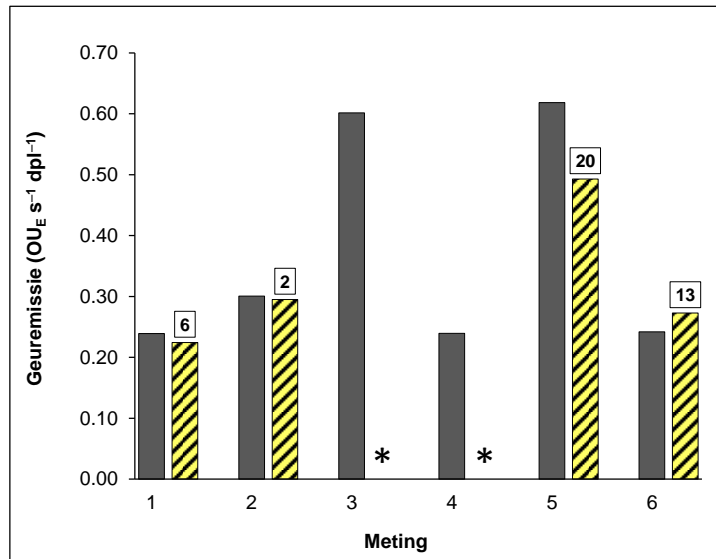


**Figuur 7** Emissies van ammoniak van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven. Ster: geen data voor de oliefilmbehandeling van meting 4

De gemiddelde ammoniakconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $42,4 \pm 12,6$  ppm voor de controle en  $46,7 \pm 8,8$  ppm voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde ammoniakemissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $0,462 \pm 0,051$  kg/dierplaats per jaar voor de controle en  $0,404 \pm 0,067$  kg/dierplaats per jaar voor de oliefilmbehandeling. Deze gemiddelde ammoniakemissies zijn hoger dan de emissiefactor van  $0,315$  kg/dierplaats per jaar en hoger dan de waarde van  $0,419$  kg/dierplaats per jaar voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009). Tijdens drie van de vijf metingen was de ammoniakemissie zeer vergelijkbaar tussen controle en oliefilmbehandeling. Gemiddeld was de ammoniakemissie van de oliefilmbehandeling  $12,2 \pm 14,2\%$  lager dan de controle.

### 3.5 Concentraties en emissies van geur

In Figuur 8 worden, per meting, de emissies en procentuele emissietoenames/-afnames van geur weergegeven.



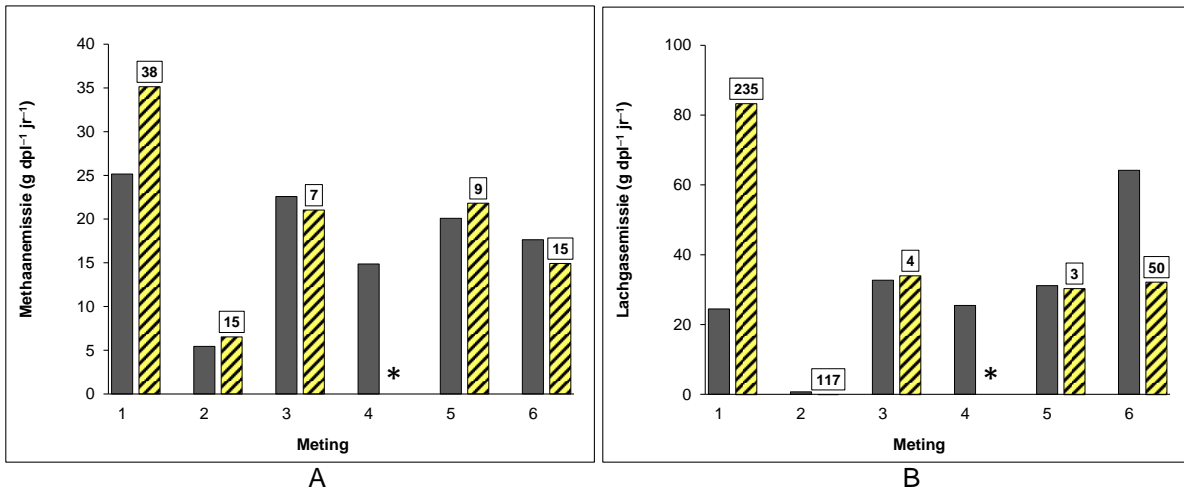
**Figuur 8** Emissies van geur van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven. Ster: geen data voor de oliefilmbehandeling van metingen 3 en 4

De gemiddelde geurconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $920 \pm 669 \text{ OU}_E/\text{m}^3$  voor de controle en  $918 \pm 557 \text{ OU}_E/\text{m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde geuremissie bedroeg  $0,36 \pm 0,19 \text{ OU}_E/\text{dierplaats per s}$  voor de controle en  $0,31 \pm 0,12 \text{ OU}_E/\text{dierplaats per s}$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde geuremissies zijn zeer vergelijkbaar met de emissiefactor van  $0,34 \text{ OU}_E/\text{dierplaats per s}$  en enigszins lager dan de waarde van  $0,24 \text{ OU}_E/\text{dierplaats per s}$  voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009). Tijdens drie van de vijf metingen was de geuremissie zeer vergelijkbaar tussen controle en oliefilmbehandeling. Gemiddeld was de geuremissie van de oliefilmbehandeling  $3,9 \pm 13,6\%$  lager dan de controle.



### 3.6 Concentraties en emissies van methaan en lachgas

In Figuur 9 worden, per meting, de emissies en procentuele emissietoenames/-afnames van methaan en lachgas weergegeven.



**Figuur 9** A: emissies van methaan van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven. B: Idem, voor lachgas. Sterren: geen data voor de oliefilmbehandeling van meting 4

De gemiddelde methaanconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $2,53 \pm 0,81 \text{ mg/m}^3$  voor de controle en  $2,98 \pm 0,90 \text{ mg/m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. Deze stalconcentraties waren slechts licht hoger dan de gemeten achtergrondconcentraties in de buitenlucht (gemiddeld:  $1,29 \pm 0,22 \text{ mg/m}^3$ ). De gemiddelde methaanemissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $18,2 \pm 7,7 \text{ g/dierplaats}$  per jaar voor de controle en  $19,9 \pm 10,5 \text{ g/dierplaats}$  per jaar voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde methaanemissies zijn enigszins lager dan de waarde van  $38,2 \text{ g/dierplaats}$  per jaar voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009). Tijdens vier van de vijf metingen was de methaanemissie zeer vergelijkbaar tussen controle en oliefilmbehandeling. Gemiddeld was de methaanemissie van de oliefilmbehandeling  $7,7 \pm 20,5\%$  hoger dan de controle.

De gemiddelde lachgasconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $2,92 \pm 1,95 \text{ mg/m}^3$  voor de controle en  $3,61 \pm 2,04 \text{ mg/m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. Deze stalconcentraties waren duidelijk hoger dan de gemeten achtergrondconcentraties in de buitenlucht (gemiddeld:  $0,70 \pm 0,11 \text{ mg/m}^3$ ). Alleen tijdens meting 2 werden stalconcentraties gemeten die vergelijkbaar waren met de achtergrondconcentratie in de buitenlucht, resulterend in een emissie van ca. nul. De gemiddelde lachgasemissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $30,6 \pm 22,7 \text{ g/dierplaats}$  per jaar voor de controle en  $35,9 \pm 30,0 \text{ g/dierplaats}$  per jaar voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde lachgasemissies zijn hoger dan de waarde van  $15,3 \text{ g/dierplaats}$  per jaar voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009). De vijf metingen laten zowel hogere als lagere lachgasemissies zien voor zowel de controle als oliefilmbehandeling.

## 4 Discussie

In dit onderzoek is de effectiviteit van het aanbrengen van een oliefilm met een oliefilmrobot gevalideerd op een leghennenbedrijf met stallen met grondhuisvesting. Tijdens meting 1 en 2 werd in de proefstal dagelijks een oliefilm van 30 ml/m<sup>2</sup> aangebracht, terwijl een vergelijkbare, naastliggende stal als referentie diende. Na deze twee metingen (in december 2011 en april 2012) is er gedurende ca. 7 maanden niet gemeten omdat optimalisaties van onderdelen van de oliefilmrobot noodzakelijk bleken, met name t.a.v. grip, wendbaarheid en autonome route-uitvoering. De vernevelunit van de oliefilmrobot heeft doorgaans goed gefunctioneerd. In de proefstal kwamen in de loop van de legperiode grote verschillen voor in strooisellaagdikte. Deze zijn voorafgaand aan metingen 3 t/m 6 geëgaliseerd om de omstandigheden voor de oliefilmrobot te verbeteren. Vanwege de egalisatie in de proefstal en het niet geheel identiek ventileren van proefstal en controlestal (metingen 1 en 2), is voor het vervolg van het onderzoek een 'case-control strategie in de tijd' binnen dezelfde proefstal toegepast (par. 2.1). Een belangrijke reden om deze meetstrategie toe te passen was het verkrijgen van een zo zuiver mogelijke vergelijking tussen proefmeting en controlemeting. Een mogelijke keerzijde van deze meetstrategie is dat slechts het effect kon worden vastgesteld van het eenmalig aanbrengen van olie. Het is niet uitgesloten dat het 'dag op dag' (cumulatief) aanbrengen van olie tot een hogere gemiddelde emissiereductie zou hebben geleid, hoewel voor een toename van fijnstofreducties in de tijd in semi-praktijkonderzoek geen aanwijzingen werden gevonden (Winkel et al., 2012).

**Tabel 2** Studies van Wageningen UR Livestock Research naar het effect van het aanbrengen van een oliefilm op de reductie van fijnstof in pluimveestallen

Dier	Studie	Auteur en jaar	Dosering in ml/m <sup>2</sup>	Reductie PM10 (%)	Reductie PM2,5 (%)
Vlees- kuikens	Haalbaarheidsstudie (Stal P1, Spelderholt)	Aarnink et al. (2008)	0, 6, 8, 12, 16, 18 en 24 (via leidingensysteem; vanaf dag 12)	58–85%; dosis- effect relatie	Constant ca. 80%
	Optimalisatiestudie (Stal P1, Spelderholt)	Winkel et al. (2009a)	8 of 15 'dagelijks' 8 of 15 'om de dag' (via leidingensysteem; vanaf dag 21)	59–64%	74–81%
	Validatiestudie (2 Praktijkbedrijven)	Winkel et al. (2011)	15 (via leidingensysteem; vanaf dag 21)	54%	48%
Leg- hennen	Haalbaarheidsstudie (Stal P4, Spelderholt)	De Buisonjé et al. (2009)	20	25–40%	38–59%
	Technische studie (Stal P4, Spelderholt)	Winkel et al. (2009b)	12 (via leidingensysteem; suboptimale verspreiding)	0–18%	0–65%
	Optimalisatiestudie: effecten van dosering (Stal P4, Spelderholt)	Winkel et al. (2012)	15 30 45 (via zeer gelijkmatige, handmatige verspr.)	31% 64% 83%	75% 85% 95%
	Validatiestudie (Praktijkbedrijf, 2 stallen)	Dit rapport	30 (via oliefilmrobot)	32%	45%

In dit onderzoek werd een gemiddelde emissiereductie gevonden van 32% voor PM10 en 45% voor PM2,5 bij een oliedosering van 30 ml/m<sup>2</sup>. In Tabel 2 worden deze emissiereducties vergeleken met eerder onderzoek. Hieruit blijkt dat ook in eerdere studies een hogere emissiereductie werd gevonden voor PM2,5 dan PM10; vermoedelijk worden de kleine PM2,5 deeltjes makkelijker in het strooisel gebonden.

Uit de tabel blijkt verder dat de in het onderhavige onderzoek gevonden emissiereducties lager zijn dan de 64% (PM10) en 85% (PM2,5), gevonden in een semi-praktijkonderzoek naar dosis-effectrelaties (Winkel et al., 2012). Een aantal aspecten kan hiertoe hebben bijgedragen:

- In de stal werd een geleiderail voor de oliefilmrobot gemonteerd aan de naar binnen stekende spanten in de linker zijgevel (zie schematische staltekening Bijlage A). Hierdoor kon geen olie worden aangebracht op de strook strooisel tussen zijgevel en geleiderail. De breedte van deze

strook bedroeg ca. 50 cm over een lengte van ca. 37,5 m, zodat geen olie kon worden aangebracht op ca. 19 m<sup>2</sup> of ruim 10% van het strooiseloppervlak.

- De controlestal en proefstal beschikten over een overdekte uitloop en een buitenuitloop. Gedurende de emissiemetingen werden de kippen binnengehouden omdat met geopende uitloopschuiven de onderdruk in de stal weg zou vallen, kortsluitstromen zouden ontstaan en accurate metingen van concentraties en ventilatiedebieten niet mogelijk zouden zijn. De keerzijde hiervan was dat de kippen alleen de binnenuimte ter beschikking hadden, waardoor er een relatief hoog aantal kippen aanwezig was per m<sup>2</sup> strooisel. De verhouding kippen/strooiseloppervlak bedroeg 40,1 kippen per m<sup>2</sup> strooisel. In het semi-praktijkonderzoek naar dosis-effectrelaties (Winkel et al., 2012) bedroeg deze verhouding ca. 15 kippen per m<sup>2</sup> strooisel. De hogere bezetting van kippen op het strooisel heeft de stofreducerende werking van de oliefilm vermoedelijk sneller verstoord dan in het genoemde onderzoek en dan bij toekomstige praktijktoepassing het geval zal zijn.

Verwacht wordt dat bij lagere (gangbare) bezettingen van kippen op het strooisel, een 100% bedekking van het strooiseloppervlak met olie en het 'dag op dag' aanbrengen van de oliefilm hogere gemiddelde emissiereducties kunnen worden behaald dan de 32% en 45% gevonden in dit onderzoek.

De 5 geslaagde metingen in dit onderzoek zijn uitgevoerd in december 2011, april 2012 en december 2012. Daarmee is niet gemeten in het midden van het kalenderjaar bij doorgaans hogere temperaturen en ventilatiedebieten. Het is niet uitgesloten dat hiermee een niet geheel representatief beeld is verkregen voor de jaargemiddelde emissiereductie voor fijnstof van de oliefilmrobot. In de middenperiode van het kalenderjaar kunnen aspecten als hogere temperaturen, lagere luchtvochtigheden, hogere drogestofgehalten van het strooisel en hogere luchtsnelheden in de stal van invloed zijn op de emissiereductie van de oliefilm. Verwacht wordt echter dat het effect van dergelijke over het kalenderjaar wisselende omstandigheden gering is, omdat ze geen wezenlijk onderdeel vormen van het werkingsprincipe van de oliefilm, namelijk het afsluiten van de toplaag van de strooisellaag. Uit eerder onderzoek (Tabel 2) komt eveneens naar voren dat het aanbrengen van een oliefilm – bij een zekere dosering en in een bepaald houderijsysteem – in een vrij herhaalbare, robuuste gemiddelde emissiereductie resulteert.

In het onderhavige onderzoek werd – in overeenstemming met eerder onderzoek – geen wezenlijk effect gevonden van het aanbrengen van een oliefilm op de emissies van ammoniak, geur, methaan en lachgas.

## Conclusies

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de gemiddelde emissiereductie van de oliefilmrobot ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM10 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $32,2 \pm 15,6\%$ ;
- de gemiddelde emissiereductie van de oliefilmrobot ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM2,5 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $44,9 \pm 26,6\%$ ;
- in dit onderzoek werd een oliefilm aangebracht in een dosering van  $30 \text{ ml/m}^2$  strooiseloppervlak per dag. Doordat vanwege meettechnische redenen de overdekte uitloop gesloten diende te blijven tijdens de metingen, bestond er tijdens de metingen een relatief hoge bezetting van aantallen kippen per oppervlakte-eenheid strooisel. Daarnaast kon ruim 10% van het totale strooiseloppervlak niet worden behandeld met de oliefilm en werd de oliefilm tijdens drie van vijf geslaagde metingen omwille van de gekozen meetstrategie slechts eenmalig i.p.v. 'dag op dag' worden aangebracht. Verwacht wordt dat bij meer gangbare dierbezettingen en een frequentere en meer egale verspreiding van de oliefilm hogere gemiddelde emissiereducties worden behaald;
- in dit onderzoek werden – in overeenstemming met eerder onderzoek – geen wezenlijk effecten gevonden van het aanbrengen van een oliefilm op de emissies van ammoniak, geur, methaan en lachgas.

## Literatuur

- Aarnink, A. J. A., J. v. Harn, T. G. v. Hattum, Y. Zhou, J. W. Snoek, I. Vermeij, and J. Mosquera Losada. 2008. *Reductie stofemissie bij vleeskuikens door aanbrengen oliefilm = Reduction of dust emission from broilers by application of an oil film*. Report 254. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Bokma, S., R. A. Van Emous, and T. G. Van Hattum. 2013. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ontwikkeling olierobotje voor het aanbrengen van een oliefilm (in druk)*. Report 630. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- CEN. 1998. EN 12341:1998. Air quality - Determination of the PM 10 fraction of suspended particulate matter - Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- CEN. 2003. EN 13725:2003. Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- CEN. 2005. EN 14907:2005. Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM<sub>2.5</sub> mass fraction of suspended particulate matter. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- Chardon, W. J., and K. W. Van der Hoek. 2002. *Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw [Calculation method for emission of fine dust from agriculture]*. Alterra-report 682 / RIVM-report 773004014. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Alterra and the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- CIGR. 2002. *4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik)*. International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Section II.
- De Buissonjé, F. E., N. G. J. Hannink, G. H. Vunderink, F. Pouls, J. Mosquera Losada, and A. J. A. Aarnink. 2009. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effect van een oliefilm op het strooisel in volièrehuisvesting voor leghennen = Measures to reduce fine dust emissions from poultry houses: effect of an oil film on the litter in aviary housing for layers*. Report 195. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Groenestein, C. M., J. Mosquera, and N. W. M. Ogink. 2011. *Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Measurement protocol for methane emission from housing systems in livestock production 2010]*. Report 493. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Hofschreuder, P., Z. Yang, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2008. *Measurement protocol for emissions of fine dust from animal houses: considerations, draft protocol and validation*. Report 134. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Mosquera, J., A. Winkel, F. Dousma, E. Lovink, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009. *Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in scharrelhuisvesting [Dust emission from animal houses: layer hens in floor housing]*. Report 279. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Mosquera, J., C. M. Groenestein, and N. W. M. Ogink. 2011. *Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Measurement protocol for nitrous oxide emission from housing systems in livestock production 2010]*. Report 494. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., and 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. Wageningen, the Netherlands: IMAG.
- Ogink, N. W. M. 2011. *Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Protocol for the measurement of odour emissions from housings in animal production 2010]*. Report 491. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., and A. J. A. Aarnink. 2011. *Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij [Plan of action for particulate matter mitigation solutions in poultry]*. Report 113. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Ogink, N. W. M., P. Hofschreuder, and A. J. A. Aarnink. 2011a. *Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Protocol for the measurement of fine emissions from housings in animal production 2010]*. Report 492. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., J. Mosquera, and J. M. G. Hol. 2011b. *Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2010]*. Report 454. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp, and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review (Manuscript BC 08 008). *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal X*.
- RIVM. 2011. Annual national emissions of PM<sub>10</sub>; in total and per sector/source, for 2011. Bilthoven, the Netherlands: Emissieregistratie, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) [Pollutant Release

- and Transfer Register, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)]. Available at: <http://www.emissieregistratie.nl>. Accessed 18 June 2013.
- Slingerland, R., A. v. t. Ooster, J. v. Harn, T. G. v. Hattum, and A. J. A. Aarnink. 2010. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: alternatieve manieren van aanbrengen oliefilm op strooisel = Measures to reduce fine dust from poultry houses : alternative ways of oil film application on litter*. Report 348. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert, and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70(1):59-77.
- VERA. 2011. *Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, version 2 / 2011-29-08*.
- Winkel, A., M. Cambra-López, J. van Harn, T. G. van Hattum, and A. J. A. Aarnink. 2009a. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie van een oliefilmsysteem bij vleeskuikens [Measures to reduce fine dust emission from poultry: optimization of an oil spraying system for broilers]*. Report 204. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Winkel, A., T. G. van Hattum, and A. J. A. Aarnink. 2009b. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ontwikkeling van een oliefilmsysteem voor leghennen in volièrehuisvesting [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: development of an oil spraying system for layers in aviary housing]*. Report 286. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. van Harn, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op vleeskuikenbedrijven [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of an oil spraying system on broiler farms]*. Report 392. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., R. A. van Emous, J. Mosquera Losada, G. M. Nijeboer, T. G. van Hattum, J. W. van Riel, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2012. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie aanbrengen oliefilm op strooisel bij leghennen in volièrehuisvesting [Measures to reduce fine dust emission from poultry: optimization of oil application on litter of aviary housing for layers]*. Report 597. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Wintjes, Y. 1993. *Gaswasfles. In: Meetmethoden NH3-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij* 16. Wageningen, the Netherlands: DLO.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2009. Evaluation of an impaction and a cyclone pre-separator for sampling high PM10 and PM2.5 concentrations in livestock houses. *J. Aerosol Sci.* 40(10):868-878.

## **Bijlagen**

## Bijlage A Beschrijving leghennenbedrijf

### Belangrijkste kenmerken controlestal en proefstal

Kenmerk	Beschrijving controlestal	Beschrijving proefstal
Rav code en omschrijving	E 2.7 Grondhuisvesting van legrassen (circa 1/3 strooiselvloer + circa 2/3 roostervloer) (BWL 2001.09)	<i>Idem</i>
Emissiefactoren	Emissie PM10: 84 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,315 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OUE/dierplaats per seconde	<i>Idem</i>
Aantal hennen bij opzet	Ca. 9685	Ca. 6130
Afmetingen stal (l x b x h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> )	73,7 x 15,6 x 2,0 x 5,0 m	39,6 x 19,9 x 2,2 x 7,0 m
Staloppervlak en bezettingsgraad	Oppervlak beun: 704 m <sup>2</sup> Oppervlak strooiselvloer in stal: 222 m <sup>2</sup> (43,7 hennen per m <sup>2</sup> ) Oppervlak stal: 926 m <sup>2</sup> (10,5 hennen per m <sup>2</sup> ) Oppervlak overdekte uitloop: 209 m <sup>2</sup> Totaal oppervlak stal + uitloop: 1135 m <sup>2</sup> (8,5 hennen per m <sup>2</sup> ) Verhouding strooisel/beun: 1/3 versus 2/3 Inhoud stal excl. uitloop: 3477 m <sup>3</sup> (2,8 hennen per m <sup>3</sup> )	Oppervlak beun: 468 m <sup>2</sup> Oppervlak strooiselvloer in stal: 153 m <sup>2</sup> (40,1 hennen per m <sup>2</sup> ) Oppervlak stal: 621 m <sup>2</sup> (9,9 hennen per m <sup>2</sup> ) Oppervlak overdekte uitloop: 171 m <sup>2</sup> Totaal oppervlak stal + uitloop: 792 m <sup>2</sup> (7,7 hennen per m <sup>2</sup> ) Verhouding strooisel/beun: 1/3 versus 2/3 Inhoud stal excl. uitloop: 3116 m <sup>3</sup> (2,0 hennen per m <sup>3</sup> )
Merk dieren	Lohmann Brown Classic	Lohmann Brown Classic
Luchtinlaat	Grote inlaatkleppen in de linker zijgevel en 18 inlaatventielen in de rechter zijgevel	10 inlaatventielen per zijgevel en 6 in de voorgevel, in totaal 26 stuks
Luchtuitlaat	Lengteventilatie met ventilatoren in de eindgevel: 3 v-snaarventilatoren, Ø 125 cm, elk max. ca. 35.000 m <sup>3</sup> /uur  Totaal: ca. 105.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 10,8 m <sup>3</sup> /uur per hen) Op basis van staltemperatuur en onderdruk ('s nachts) Ca. 19 °C	Lengteventilatie met ventilatoren in de eindgevel: 1 v-snaarventilator, Ø 125 cm, elk max. ca. 35.000 m <sup>3</sup> /uur 2 v-snaarventilatoren, Ø 76 cm, elk max. ca. 13.500 m <sup>3</sup> /uur Totaal: ca. 62.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 10,1 m <sup>3</sup> /uur per hen) Op basis van staltemperatuur en onderdruk ('s nachts)
Ventilatieregeling	Geen	<i>Idem</i>
Streef temperatuur	Ca. 19 °C	<i>Idem</i>
Verwarming en klimaatvoorzieningen	Geen	<i>Idem</i>
Huisvestingssysteem	Grondhuisvesting, met strooiselvloer, verhoogde beun met legnesten, mestopslag onder de beun. Geen mestbanden of mestbandbeluchting	<i>Idem</i>
Voersysteem, voer en voertijden	Voerkettingen over de beun in 4 circuits. Voer: Legmeel 1, 2 en 3. Voertijden: 9:30–9.50, 14:00–14:15, 17:00–17:25 en 18:40–19:00 uur	Voerkettingen over de beun in 4 circuits. Voer: Legmeel 1, 2 en 3. Voertijden: 8.45–9.00, 14:05–14:20, 16:30–16:40 en 18:50–19:05 uur
Drinksysteem en drinktijden	2 waterlijnen met drinknippels en lekschotelletjes; één aan elke zijde van het legnest. Watertijden: 02:45–19:45	2 waterlijnen met drinknippels en lekschotelletjes; één aan elke zijde van het legnest. Watertijden: 02:45–19:45
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met houtkrullen. Er wordt geen strooisel verwijderd tijdens de legperiode	<i>Idem</i>
Lichtregime	16L:8D, licht aan van 03:00 tot 19:00 uur (wintertijd)	<i>Idem</i>
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 17 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 76 weken Leegstand: ca. 4 weken	<i>Idem</i> <i>Idem</i> <i>Idem</i>



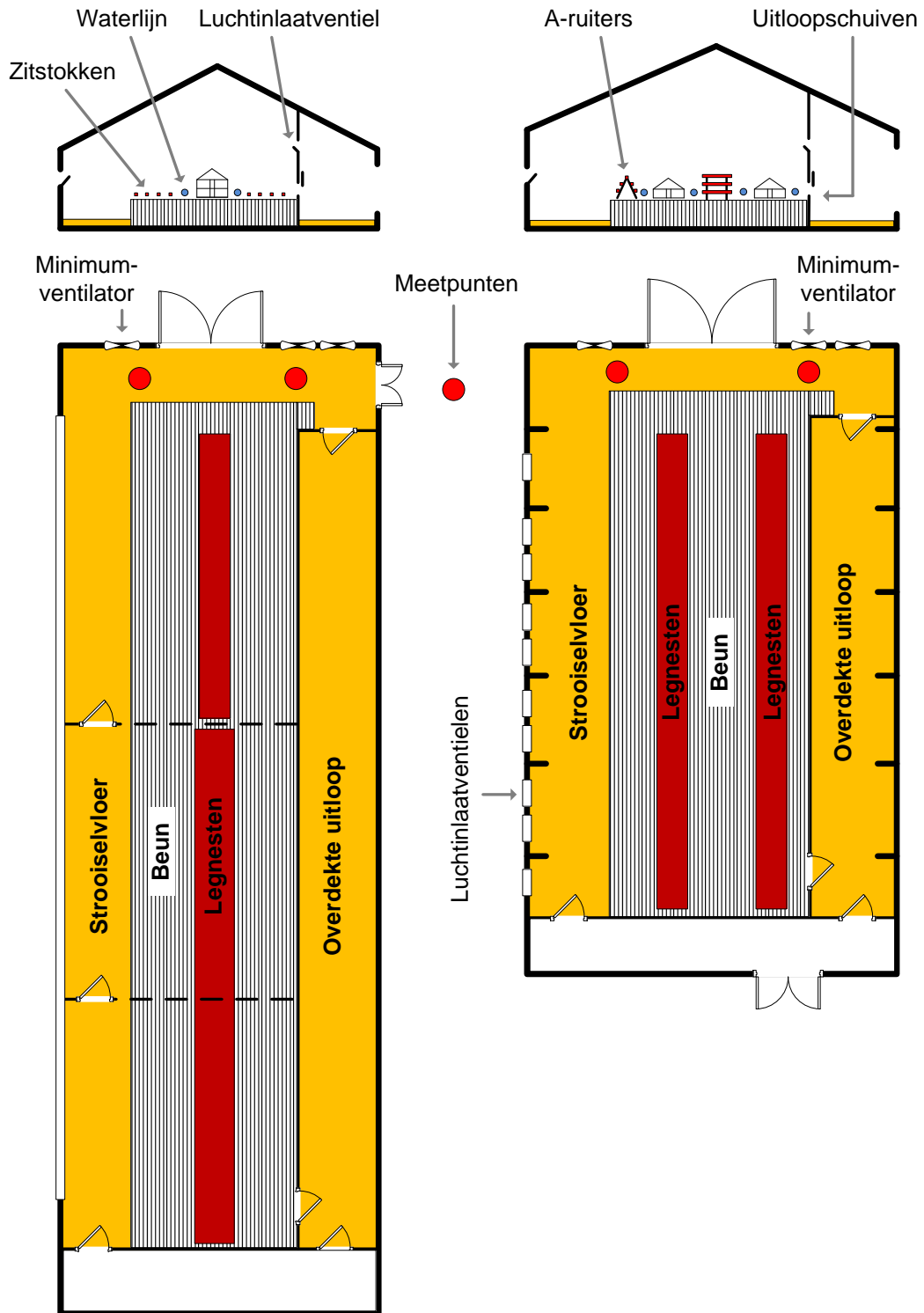
*Satellietfoto bedrijfssituatie*



- C:** controlestal
- P:** proefstal uitgerust met oliefilmrobot
- U:** buitenuitloop
- W:** woonhuis

De onderste stal (zonder letter) betreft een leghennenstal met volièrè inrichting welke niet in dit onderzoek betrokken was

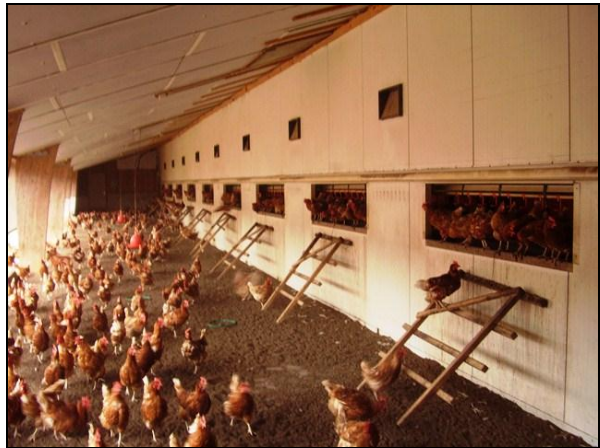
Schematische tekening controlestal (links) en proefstal (rechts)



Foto's proefstal



Voorzijde van de proefstal met de oliefilmrobot. Links is de uitloop van de controlestal zichtbaar



Overdekte uitloop aan de rechterzijde van de proefstal



Rechterzijde van de proefstal, met gesloten windbreekgaas gordijn van de uitloop



Achterzijde van de proefstal met twee kleine ventilatoren links en één grote rechts





Strooiselvloer aan de linkerzijde van de proefstal, met inlaatventiel in zijgevel



Twee kleine ventilatoren in de achtergevel van de proefstal



Strooiselvloer aan de linkerzijde van de proefstal, met A-ruiters op de verhoogde beun



Binnenaanzicht op de rechter zijgevel (met inlaatventielen en uitloopopeningen) en de beun (met rij legnesten en drinklijnen)

*Foto's controlestal*

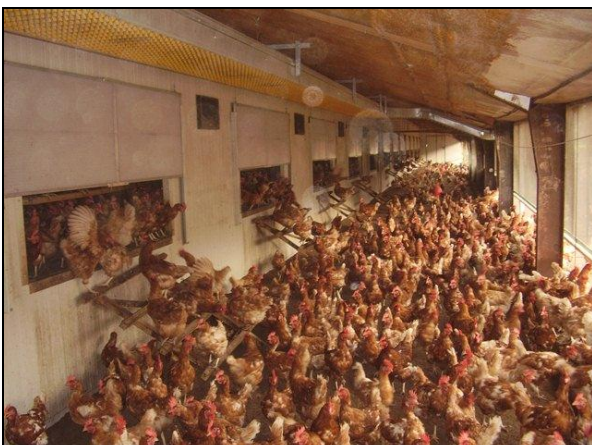


Foto van de overdekte uitloop en de buitenuitloop aan de rechter zijgevel van de controlestal



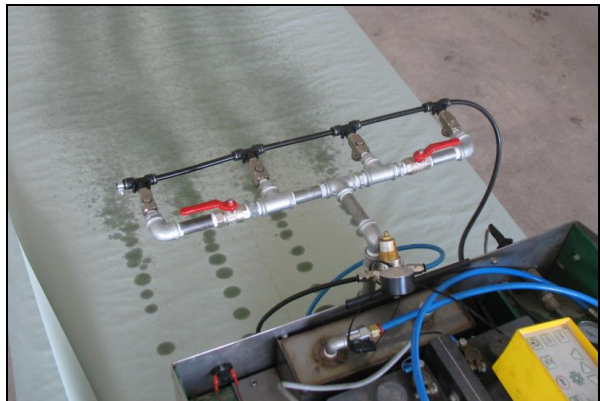
Detailfoto van de beun met legnesten (L), een waterlijn, circuits voerkettingen en zitstokken



Achterzijde van de controlestal met de beun, achtergevel en ventilator



Foto van de autonoom rijdende oliefilmrobot op een traject van kuikenpapier. Op het kuikenpapier is een donkere strook van aangebrachte olie zichtbaar



Detailfoto van de vernevelunit met vier nozzles



**Bijlage B Gegevenstabel concentraties, debieten en emissies**

Kenmerk	Meting					
	1	2	3	4	5	6
CO <sub>2</sub> -concentratie controle, stal (ppm)	1185	1650	1680	2265	2380	1905
CO <sub>2</sub> -concentratie controle, buiten (ppm)	554	466	586	480	493	645
CO <sub>2</sub> -concentratie oliefilm, stal (ppm)	1665	1920	1740	*)	2340	2001
CO <sub>2</sub> -concentratie oliefilm, buiten (ppm)	554	466	481	*)	563	514
Ventilatiedebiet controle (m <sup>3</sup> /uur per hen)	3.5	1.8	2.1	1.3	1.2	1.8
Ventilatiedebiet oliefilm (m <sup>3</sup> /uur per hen)	2.0	1.5	1.8	*)	1.1	1.3
PM10 concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	1.948	2.394	3.314	3.867	3.644	3.001
PM10 concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.023	0.053	0.019	0.011	0.008	0.021
PM10 concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	1.904	1.458	3.022	*)	3.372	2.761
PM10 concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.023	0.053	0.024	*)	0.042	0.035
PM10 emissie controle (g/dierpl. per jr)	51.7	33.5	52.3	37.2	33.1	40.5
PM10 emissie oliefilm (g/dierplaats per jr)	29.1	17.2	41.4	*)	28.6	27.9
PM10 emissiereductie (%)	44	51	21	*)	14	31
PM2,5 concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0.121	0.113	0.577	0.268	0.227	0.200
PM2,5 concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.006	0.018	0.010	0.008	0.001	0.007
PM2,5 concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0.072	0.043	0.477	*)	0.205	0.191
PM2,5 concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.006	0.018	0.006	*)	0.014	0.014
PM2,5 emissie controle (g/dierpl. per jr)	3.08	1.36	9.00	2.50	2.06	2.63
PM2,5 emissie oliefilm (g/dierplaats per jr)	1.03	0.31	6.50	*)	1.64	1.82
PM2,5 emissiereductie (%)	67	79	28	*)	20	31
NH <sub>3</sub> concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	19.76	34.43	27.95	36.08	42.62	34.97
NH <sub>3</sub> concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.34	0.32	0.14	0.07	0.08	0.10
NH <sub>3</sub> concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	24.28	41.97	31.12	*)	41.44	35.04
NH <sub>3</sub> concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.34	0.32	0.21	*)	0.27	0.32
NH <sub>3</sub> emissie controle (kg/dierpl. per jr)	0.521	0.488	0.442	0.347	0.387	0.474
NH <sub>3</sub> emissie oliefilm (kg/dierplaats per jr)	0.371	0.511	0.427	*)	0.354	0.356
NH <sub>3</sub> emissiereductie (%)	29	-5	3	*)	9	25
Geur concentratie controle, stal (OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )	267	629	1135	744	2036	533
Geur concentratie oliefilm, stal (OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )	434	721	*)	*)	1719	797
Geur emissie controle (OU <sub>E</sub> /dierpl. per s)	0.24	0.30	0.60	0.24	0.62	0.24
Geur emissie oliefilm (OU <sub>E</sub> /dierpl. per s)	0.22	0.29	*)	*)	0.49	0.27
Geur emissiereductie (%)	6	2	*)	*)	20	-13
CH <sub>4</sub> concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	2.21	1.41	2.50	2.91	3.57	2.95
CH <sub>4</sub> concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	1.27	1.03	1.07	1.36	1.36	1.65
CH <sub>4</sub> concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	3.54	1.56	2.79	*)	3.90	3.10
CH <sub>4</sub> concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	1.27	1.03	1.26	*)	1.36	1.65
CH <sub>4</sub> emissie controle (g/dierpl. per jr)	25.2	5.4	22.6	14.9	20.1	17.6
CH <sub>4</sub> emissie oliefilm (g/dierpl. per jr)	35.1	6.5	21.0	*)	21.8	14.9
CH <sub>4</sub> emissiereductie (%)	-38	-15	7	*)	-9	15
N <sub>2</sub> O concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	1.69	0.60	2.68	3.23	4.05	5.57
N <sub>2</sub> O concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.77	0.55	0.62	0.59	0.63	0.85
N <sub>2</sub> O concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	6.15	0.54	3.15	*)	4.25	3.98
N <sub>2</sub> O concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0.77	0.55	0.69	*)	0.72	0.84
N <sub>2</sub> O emissie controle (g/dierpl. per jr)	24.5	0.7	32.7	25.4	31.1	64.2
N <sub>2</sub> O emissie oliefilm (g/dierpl. per jr)	83.3	-0.1	34.0	*)	30.3	32.1
N <sub>2</sub> O emissiereductie (%)	-235	117	-4	*)	3	50

\*) Geen data wegens technische storing