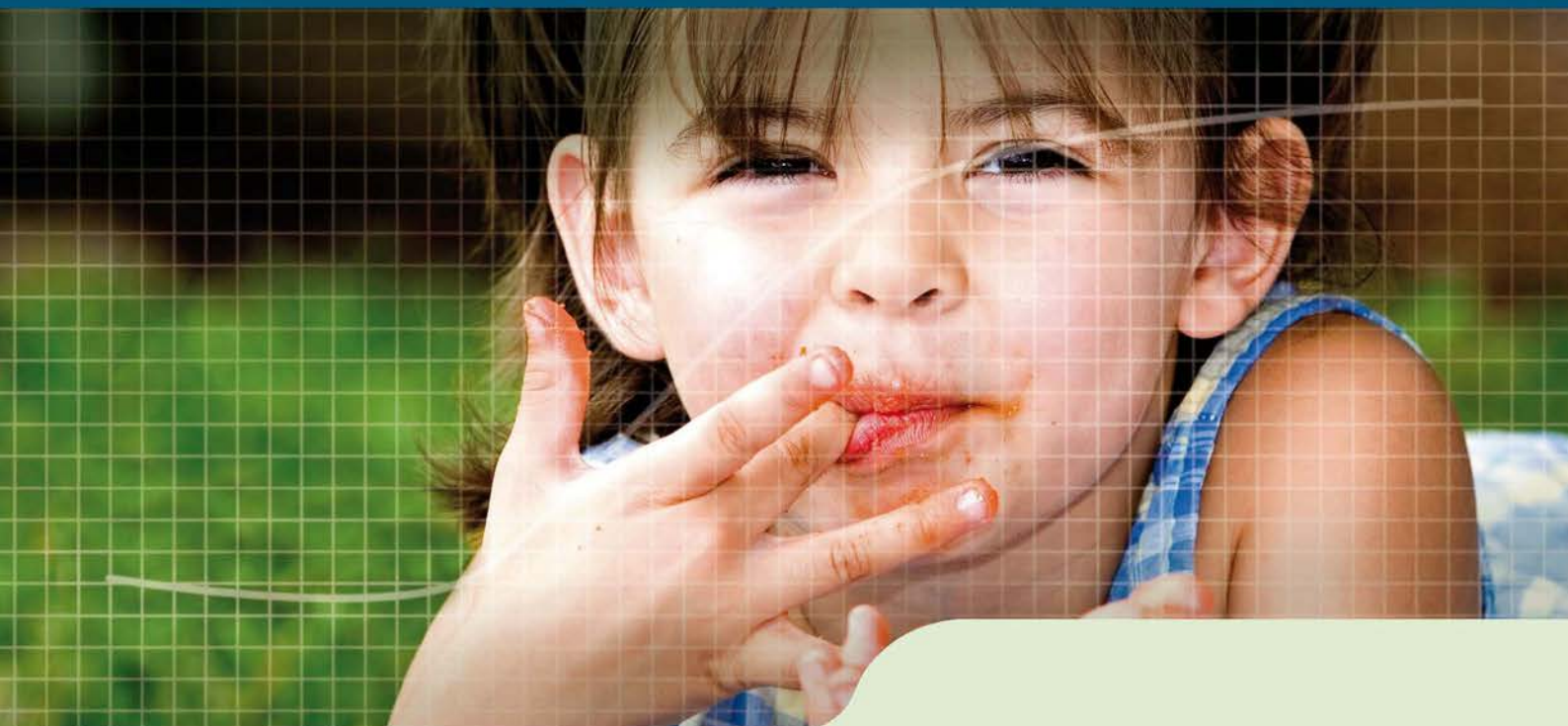


# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 801

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

Oktober 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 onderstrept 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 spraying system was determined through validation measurements in a layer house with aviary housing.

### Keywords

Poultry, laying hens, fine dust, emissions, oil spraying, oil spraying system

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteur(s)

A. Winkel  
J.W.H. Huis in't Veld  
G.M. Nijeboer  
N.W.M. Ogink

### Titel

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

Rapport 801

### Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissiereducties vastgesteld van een oliesysteem door validatiemetingen in een leghennenstal met stallen met volièrehuisvesting.

### Trefwoorden

Pluimvee, leghennen, fijnstof, emissie, oliefilm, oliefilmsysteem



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 801

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

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

A. Winkel

J.W.H. Huis in't Veld

G.M. Nijeboer

N.W.M. Ogink

Oktober 2014



## **Voorwoord**

In dit onderzoek is de effectiviteit van een oliefilmsysteem gevalideerd in een leghennenstal met volièrehuisvesting. Onze dank gaat uit naar de familie Klaassen voor het beschikbaar stellen van hun leghennenstal en voor de prettige samenwerking in dit project. De firma Inter Continental wordt bedankt voor het verder ontwikkelen, installeren en beschikbaar stellen van het oliefilmsysteem. 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 oliefilmsysteem bestaande uit vaste (flexibele) leidingen voor olie en lucht, met nozzles. Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden vaststellen van de emissiereductie van dit systeem in een leghennenstal.

In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van het oliefilmsysteem gevalideerd in een leghennenstal met volièrehuisvesting. De metingen werden uitgevoerd bij een zogenaamde 'case-controlle in de tijd' strategie binnen dezelfde 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 augustus 2013 t/m mei 2014. Bij de meetstrategie en meetmethoden werden de geldende meetprotocollen gevolgd. In totaal werden zes metingen uitgevoerd, welke alle succesvol waren.

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de gemiddelde emissiereductie van het oliefilmsysteem ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM10 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $15 \pm 20\%$ . De gemiddelde PM10 emissiereductie tijdens metingen één t/m drie (bij ca.  $10 \text{ ml/m}^2$ ) bedroeg 12%, tijdens metingen vier t/m zes (bij ca.  $15 \text{ ml/m}^2$ ) was dit 18%;
- de gemiddelde emissiereductie van het oliefilmsysteem ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM2,5 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $24 \pm 21\%$ . De gemiddelde PM2,5 emissiereductie tijdens metingen één t/m drie (bij ca.  $10 \text{ ml/m}^2$ ) bedroeg 22%, tijdens metingen vier t/m zes (bij ca.  $15 \text{ ml/m}^2$ ) was dit 26%;
- de in dit onderzoek gevonden fijnstofreducties bedragen ongeveer de helft van die gevonden in eerder dosis-effect onderzoek onder gecontroleerde omstandigheden, bij dezelfde oliedosering. In het onderhavige onderzoek werd een oliefilm aangebracht in een dosering van 10 tot  $15 \text{ ml/m}^2$  strooiseloppervlak, gerekend met al het in de stal aanwezige strooisel. Op ruim de helft van het totale strooiseloppervlak, gelegen onder de volièrestellingen, kon echter geen oliefilm worden aangebracht. Verder kon de oliefilm bij elke meting omwille van de gekozen meetstrategie slechts eenmalig i.p.v. 'dag op dag' worden aangebracht. Deze afwijkende omstandigheden t.o.v. eerder dosis-effect onderzoek verklaren waarschijnlijk de lagere emissiereducties in de praktijk. Verwacht wordt dat bij 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 oil spraying system consisting of (flexible) tubes for oil and air connected to spraying nozzles. The aim of the current study was to determine the emission reduction of this spraying system 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 spraying system was validated inside a laying hen house with aviary housing. Measurements were carried out by using a 'case-control in time' strategy. At the farm location, we measured concentrations of fine dust (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), ammonia, odour, methane, nitrous oxide, carbon dioxide, and 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 August 2013 and May 2013, following the applicable measurement protocols as close as possible. In total, six 24-hour measurements were carried out, which all yielded valid data.

From this study, the following conclusions are drawn:

- the mean emission reduction ( $\pm$  standard deviation) of the oil spraying system for PM<sub>10</sub> under the tested circumstances amounted  $15 \pm 20\%$ . The mean PM<sub>10</sub> emission reduction during measurements one through three (at circa 10 ml/m<sup>2</sup>) amounted 12%, during measurements four through six (at circa 15 ml/m<sup>2</sup>) this value was 18%;
- the mean emission reduction ( $\pm$  standard deviation) of the oil spraying system for PM<sub>2.5</sub> under the tested circumstances amounted  $24 \pm 21\%$ . The mean PM<sub>2.5</sub> emission reduction during measurements one through three (at circa 10 ml/m<sup>2</sup>) amounted 22%, during measurements four through six (at circa 15 ml/m<sup>2</sup>) this value was 26%;
- the PM emission reduction levels found in the current study are approximately half of those found in previous dose-response research under controlled conditions, at a similar oil spraying rate. In the current study, oil was sprayed at a dose of 15 ml/m<sup>2</sup> of litter floor area, based on the total litter floor surface inside the building. On approximately half of the litter floor, underneath the aviary system, oil could not be applied. Furthermore, the oil film was applied only once during each measurement session instead of 'day by day' because of the chosen 'case-control in time' strategy. This probably explains the lower PM reduction in practice, as compared with previous dose-response research. It is expected that under circumstances of a more frequent application and a more equal distribution of the oil film, higher mean emission reductions can be achieved;
- in agreement 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	Leghennenstal.....	2
2.3	Oliefilmsysteem.....	2
2.4	Metingen .....	3
2.4.1	Meetposities en bemonsteringsduur.....	3
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.....	6
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>5</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>16</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>17</b>
	<b>Bijlagen</b> .....	<b>19</b>
	Bijlage A Beschrijving leghennenbedrijf.....	19
	Bijlage B Gegevenstabel concentraties, debieten en emissies .....	24



## 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 oliefilmsysteem met nozzles en vaste drukleidingen voor olie en lucht. Een dergelijk systeem is bij vleeskuikens beproefd op pilot-schaal (Aarnink et al., 2008; Winkel et al., 2009a) en gevalideerd in praktijkstallen (Winkel et al., 2011). Ook is het systeem beproefd op pilot-schaal bij leghennen (Winkel et al., 2012; Winkel et al., 2009c), waarbij diverse verbeterpunten zijn vastgesteld. Om het systeem beter geschikt te maken voor toepassing in leghennenstallen is het systeem door de leverancier op een aantal punten doorontwikkeld (zie par. 2.3). In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van dit oliefilmsysteem gevalideerd in een leghennenstal met volièrehuisvesting.

Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden en volgens officiële meetprotocollen bepalen van de emissiereductie van het oliefilmsysteem. Hierbij gaat het met name om het verifiëren van de emissiereductie van het systeem in de praktijk (bij een dosering van ca. 15 ml/m<sup>2</sup>) in relatie tot de eerder gevonden dosis-effect relatie bij leghennen onder gecontroleerde omstandigheden (Winkel et al., 2012). 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 vaste leidingensysteem onder praktijkomstandigheden gevalideerd door emissiemetingen uit te voeren aan een leghennenstal met volièrehuisvesting waarin het systeem was geïnstalleerd.

Aan deze stal 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) werden gevolgd. De metingen werden uitgevoerd van augustus 2013 t/m mei 2014. In totaal werden 6 metingen uitgevoerd. Er zijn geen metingen/waarnemingen verricht t.a.v. de persoonlijke blootstelling aan fijnstof of aan de productie, het welzijn of het gedrag van de dieren.

De metingen werden uitgevoerd bij een zogenaamde 'case-control in de tijd' strategie binnen dezelfde proefstal. Tijdens deze metingen werd op dag één gestart met een 24-uursmeting ('controlemeting'; dag 1 en 2) waarbij (nog) geen oliefilm was aangebracht. Op dag twee van deze metingen werd de eerste meetperiode van 24 uur beëindigd. Op de ochtend van dag drie werd een oliefilm aangebracht. Circa twee uren na het oliefilm aanbrengen werd de tweede emissiemeting van 24 uur gestart (proefmeting; dag 3 en 4). De emissiereductie van het systeem is vervolgens bepaald als het gemiddelde relatieve verschil in fijnstofemissies tussen de controlemetingen en de proefmetingen.

### 2.2 Leghennenstal

De metingen werden uitgevoerd in een leghennenstal met volièrehuisvesting (Rav code E 2.11.4) waarin 12.000 dieren waren gehuisvest. De belangrijkste kenmerken van deze leghennenstal worden weergegeven in Bijlage A. In deze bijlage is verder een dwarsdoorsnede tekening opgenomen, alsook foto-impressies van de stal, het oliefilmsysteem en de metingen.

### 2.3 Oliefilmsysteem

Het oliefilmsysteem zoals toegepast in dit onderzoek is in de basis gelijk aan de oliefilmsystemen zoals in eerder onderzoek toegepast bij vleeskuikens (Aarnink et al., 2008; Winkel et al., 2009a; Winkel et al., 2011). Met behulp van een compressor worden zowel een olievoorradvat met olieleidingen als luchtleidingen op druk gezet. De olie- en luchtleidingen voorzien nozzles in de stal van olie en lucht. Met behulp van kleppen in de leidingen, waarvan het open gaan en sluiten aangestuurd wordt door een timer, wordt gedurende een bepaalde tijdspanne olie verneveld. Het systeem zoals toegepast in dit onderzoek kende drie belangrijke aanpassingen t.o.v. eerdere uitvoeringen:

- De leidingen van het huidige systeem bestonden uit dunne persluchtslangetjes i.p.v. uit buizen van PVC of roestvrijstaal (RVS). Deze uitvoering is goedkoper en de slangen zijn door hun buigbaarheid makkelijker in een bestaand houderijsysteem aan te brengen.
- De leidingen werden geïnstalleerd in een circuit (rondgaand) i.p.v. als een eindige leiding.
- De 76 nozzles van het huidige systeem waren elk geïntegreerd met een vernevelkastje met daarin timer gecontroleerde schakelklepjes voor olie en lucht. In eerder onderzoek werd gebruik gemaakt van één klep in de hoofdleiding voor de olie en één klep in de hoofdleiding voor lucht, zodat alle nozzles tegelijk olie aanbrachten. Door de huidige uitvoering konden nozzles individueel geprogrammeerd worden v.w.b. het tijdstip en de tijdsduur (dosering) van aanbrengen. Door nozzles achter elkaar olie te laten aanbrengen en de leidingen in een circuit te monteren, treedt minder drukval in de leidingen op en kan volstaan worden met dunnere leidingen.

Het oliefilmsysteem in dit onderzoek werd ingesteld op een dosering van 15 ml/m<sup>2</sup>.

## 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 op twee plaatsen gemeten: aan het einde van beide strooiselgangen die in de lengterichting door de stal lopen (zie dwarsdoorsnede van de stal en foto's in Bijlage A), vóór de ventilatoren in de eindgevel. Op beide posities werden deze componenten in simplo gemeten en hun gemiddelde werd gebruikt voor het bepalen van emissies. De stalconcentratie van geur werd op één plaats (voor de minimumventilator) gemeten. Buiten de stal 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** Monsteraanapparatuur 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' monsternamemachine. Rechts: de DustTrak model 8520 voor continue/optische meting van PM10

Figuur 1 laat de monsternamemachine-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de referentie monsternamemachines 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 voorafseparator is vervangen door een cycloon voorafseparator. Dit vanwege het gevaar van overbelasting 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 stofmonsternamemachine gewogen onder standaard condities: een temperatuur van 20 °C  $\pm$  1 °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  $<222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $y = 1,0877 x$ ; bij  $>222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $y = 0,8304 x + 57,492$ , 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 monsternameleiding met een constante luchtstroom ( $\sim 1,0 \text{ L}/\text{min}$ ) 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  $\sim 1,0 \text{ L}/\text{min}$ . Deze luchtstroom wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met  $100 \text{ ml } 0,05 \text{ M}$  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.



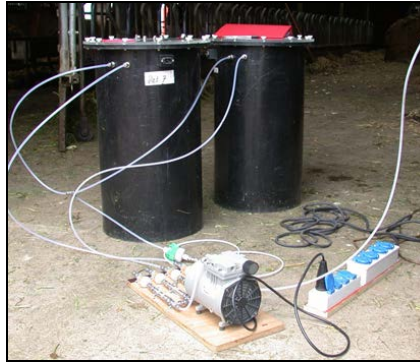
**Figuur 2** Foto's van de natchemische meetmethode voor ammoniak. Links: twee sets van drie in serie geschakelde wasflessen. Midden: de flowmeter. Rechts: de elektropomp met zes pijpen met een kritisch capillair

#### 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  $40 \text{ L}$  nalofaan 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 monsternamen werden 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 monsternamen 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<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O)

Voor het meten van de concentraties van broeikasgassen (koolstofdioxide, methaan en lachgas) werd lucht eveneens bemonsterd in nalofaan zakken 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<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>), Haysep Q (N<sub>2</sub>O); detector: CH<sub>4</sub>: FID, N<sub>2</sub>O: ECD, CO<sub>2</sub>: HWD).

#### 2.4.6 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet ( $V$ ; m<sup>3</sup>/uur per dier) is bepaald met behulp van de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal verlaat (respectievelijk [CO<sub>2</sub>]<sub>buiten</sub> en [CO<sub>2</sub>]<sub>stal</sub>; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de CO<sub>2</sub>-productie van de dieren (m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/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<sub>2</sub>-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  $V_{\text{totaal}}$  (m<sup>3</sup>/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V_{\text{totaal}} = \frac{\text{CO}_2 - \text{productie}}{([\text{CO}_2]_{\text{stal}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}) * 10^{-6}}$$

#### 2.4.7 Productiegegevens

Van elke meting 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: [# eieren] / [# hennen]\*100)
- Cumulatieve uitval (%; berekend als: (1 – [# hennen aanwezig] / [# hennen opgezet] ) \* 100)

### 2.4.8 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (T; °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  $\pm 1,0$  °C en  $\pm 2\%$ . De data werden opgeslagen in een datalogysysteem (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 'controledagen' als 'proefdagen' binnen de proefstal. De emissies werden bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet van de stal ( $V_i$ ; m<sup>3</sup>/uur per aanwezig 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:

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

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

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:

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

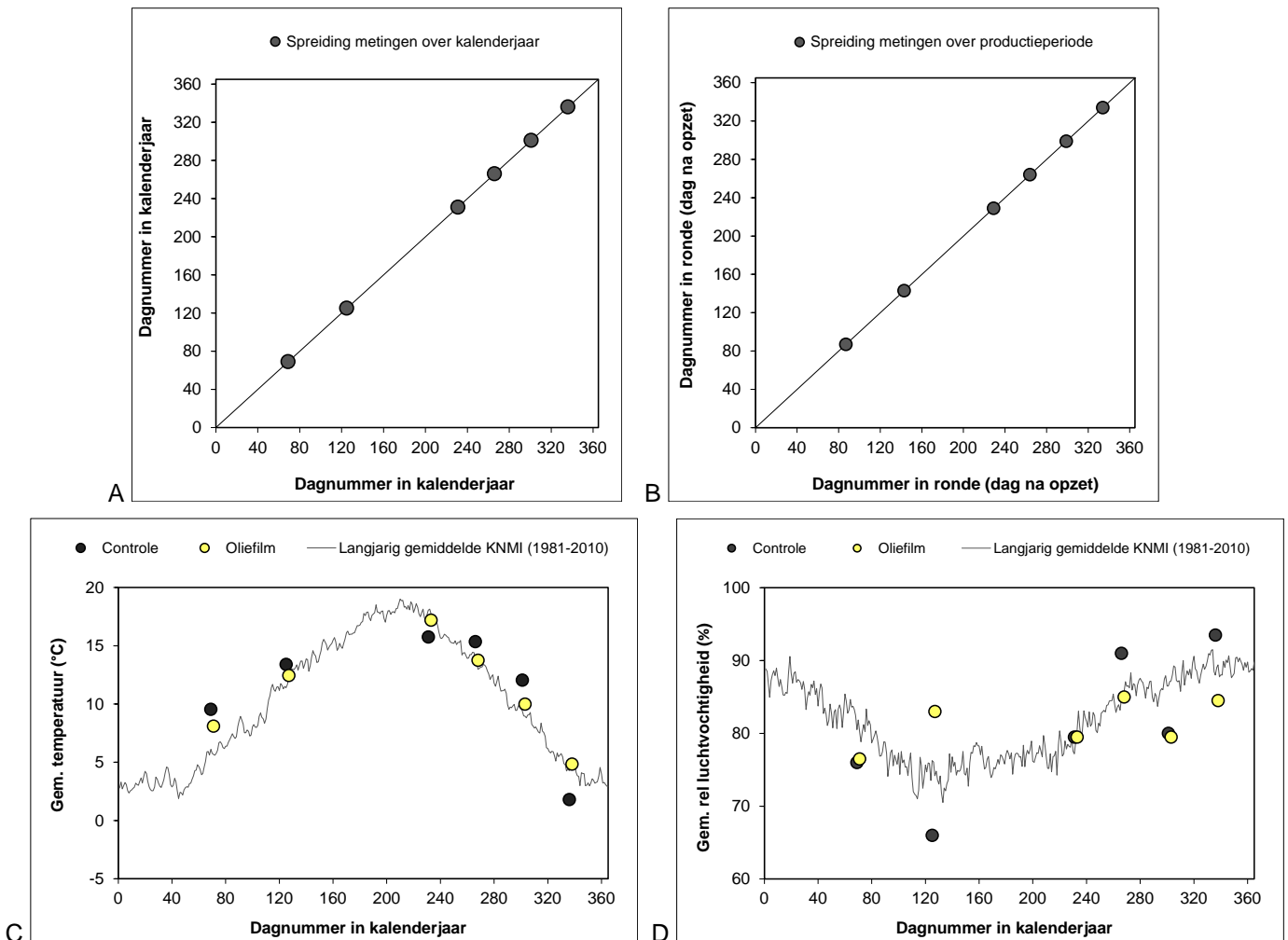
Vervolgens werd de gemiddelde emissiereductie ( $ER$ ; %) bepaald als het gemiddelde van de emissiereducties van de individuele metingen:

$$ER = \overline{ER_i}$$

### 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. Echter, deze meetserie kan in samenhang worden beoordeeld met een eerdere meetserie waarbij een oliefilm in dezelfde dosering werd aangebracht in een leghennenstal uitgerust met een oliefilmrobot (Winkel et al., 2013), en worden vergeleken met de eerder gevonden dosis-effect relatie bij leghennen onder gecontroleerde omstandigheden (Winkel et al., 2012). Een andere noodzakelijke afwijking van het meetprotocol betrof het niet gelijktijdig in twee stallen, maar het volgtijdelijk meten in één stal van de referentie en de proefbehandeling. Voor de uitvoering van dit onderzoek was geen geschikte bedrijfslocatie voorhanden met twee identieke volièrestallen met even oude leghennen.

In totaal zijn 6 metingen uitgevoerd, welke alle succesvol waren. De metingen zijn uitgevoerd over een periode van 262 dagen, oftewel ca. 9 maanden, tussen augustus 2013 en mei 2014. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 222 (doel: ca. 183 dagen). De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (11,2 °C) is vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland (10,2 °C). Ook de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid op de dagen waarop is gemeten (81%) is vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde (81,8%). De technische resultaten van de hennen vertoonden een normaal patroon gedurende de meetperiode (Tabel 1). Na meting 4 zijn de hennen geruid, zodat een nieuwe legperiode gestart werd met hetzelfde koppel.

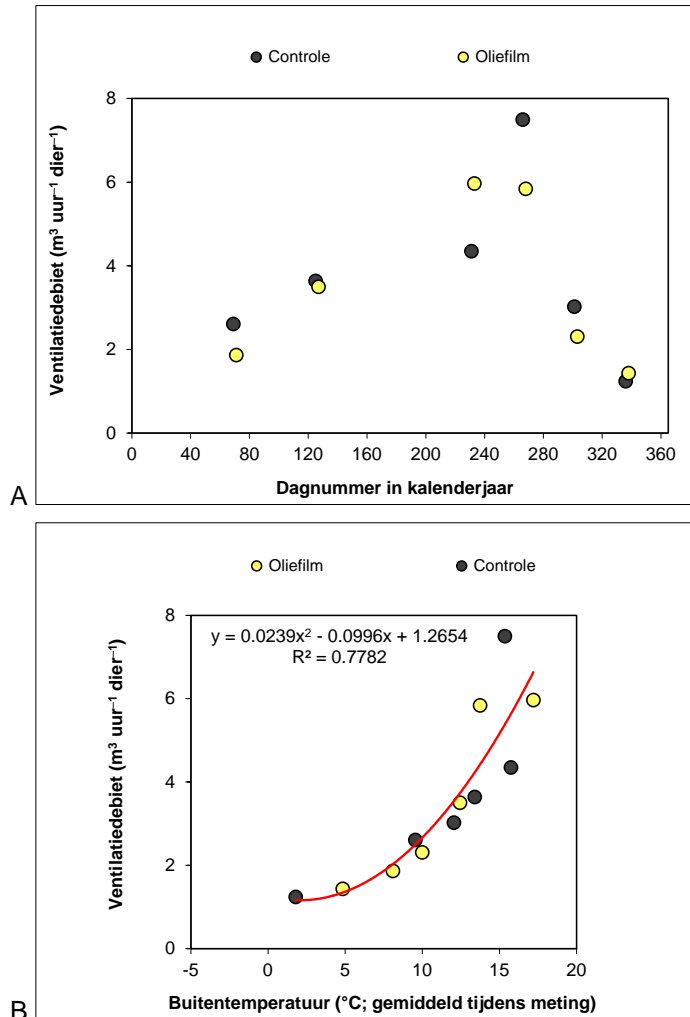
**Tabel 1** Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met het dagnummer in het jaar en het moment in de productiecyclus (dag na opzet), de technische resultaten van de hennen, de klimaatomstandigheden tijdens de metingen en het functioneren van het oliefilmsysteem

Beh.	Kenmerk	Meting					
		1	2	3	4	5	6
Controle	Datum	19-08-13	23-09-13	28-10-13	02-12-13	10-03-14	05-05-14
	Dag in kalenderjaar	231	266	301	336	69	125
	Leeftijd (weken)	50,9	55,9	60,9	65,9	79,9	87,9
	Dag in legperiode	229	264	299	334	87	143
	Aantal kippen aanwezig	11921	11826	11728	11630	11200	10980
	Gem. hengewicht (kg)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
	Legpercentage (%)	91,9	91,9	90,8	89,7	86,7	85,0
	Gem. eigewicht (g)	60,0	61,0	61,3	61,6	62,5	63,0
	Cumulatieve uitval (%)	1,7	2,5	3,3	4,1	7,6	9,5
	T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)	21,1	20,0	17,4	8,3	18,0	18,4
	T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)	8,4	12,4	7,9	-3,1	6,1	11,5
	T <sub>gem</sub> Buiten (°C)	15,8	15,4	12,1	1,8	9,6	13,4
	RV <sub>gem</sub> Buiten (%)	79,5	91,0	80,0	93,5	76,0	66,0
	T <sub>gem</sub> stal (°C)	22,1	21,8	20,8	20,6	21,6	22,0
RV <sub>gem</sub> stal (%)	63,0	71,9	66,5	69,7	61,0	51,4	
Oliefilm	Datum	21-08-13	25-09-13	30-10-13	04-12-13	12-03-14	07-05-14
	Dag in kalenderjaar	233	268	303	338	71	127
	Leeftijd (weken)	51,1	56,1	61,1	66,1	80,1	88,1
	Dag in legperiode	231	266	301	336	89	145
	Tijdstip aanbrengen oliefilm	8:40	9:40	9:00	9:45	8:40	9:50
	Luchtdruk (bar)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Oliedruk (bar)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	Aantal seconden per nozzle	22	25	25	35	35	35
	Tijdsduur stal (76 nozzles; min.)	28	32	32	44	44	44
	Olieverbruik stal (L)	6,6	6,9	7,17	10,6	10,7	10,3
	Dosering (ml/m <sup>2</sup> )	9,9	10,3	10,7	15,8	16,1	15,4
	Aantal kippen aanwezig	11921	11826	11728	11630	11200	10980
	Gem. hengewicht (kg)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
	Legpercentage (%)	91,9	91,9	90,8	89,7	86,7	85,0
	Gem. eigewicht (g)	60,0	61,0	61,3	61,6	62,5	63,0
	Cumulatieve uitval (%)	1,7	2,5	3,3	4,1	7,6	9,5
	T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)	24,0	18,6	13,6	8,4	16,8	16,2
	T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)	10,5	7,3	7,1	2,5	-0,7	11,3
	T <sub>gem</sub> Buiten (°C)	17,2	13,8	10,0	4,9	8,1	12,5
	RV <sub>gem</sub> Buiten (%)	79,5	85,0	79,5	84,5	76,5	83,0
T <sub>gem</sub> stal (°C)	23,2	21,9	*)	20,6	21,6	21,6	
RV <sub>gem</sub> stal (%)	59,2	69,1	*)	68,6	57,5	64,0	

\*) 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.

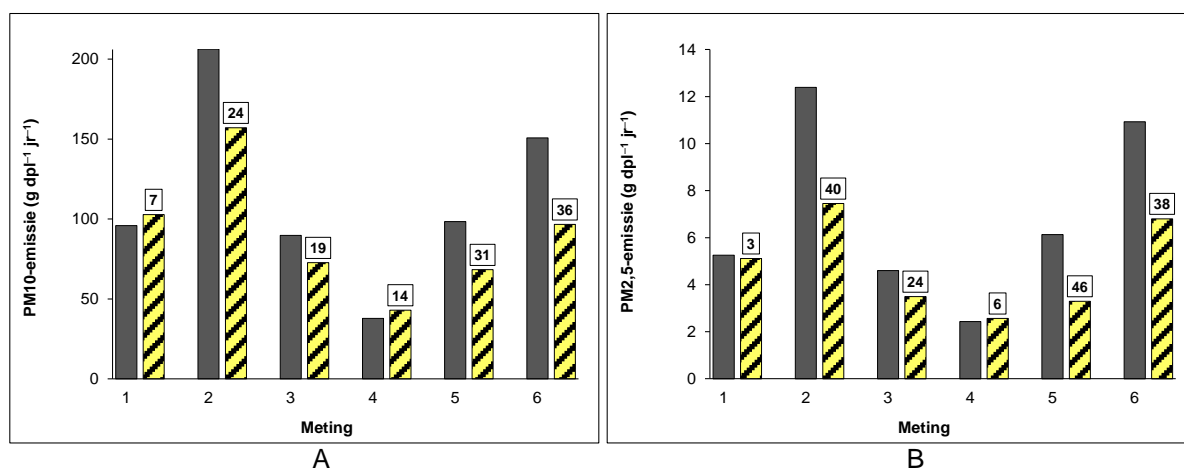


**Figuur 5** Het gemiddelde ventilatie-debiet op de meetdagen, uitgezet tegen het dagnummer in kalenderjaar (A) en de gemiddelde buitentemperatuur (B)

Uit de figuur blijkt dat de metingen werden uitgevoerd over de gehele range van in de praktijk voorkomende ventilatie-debieten: zowel lage minimumniveaus op koude dagen als hoge niveaus op warme dagen. Bij twee van de zes metingen waren de ventilatie-debieten tijdens controle- en oliefilmmetingen zeer vergelijkbaar (een verschil kleiner dan ca. 15%), bij drie twee metingen werd een beperkt verschil waargenomen (verschillen tussen 22 en 28%) en bij één meting bedroeg het verschil 37%. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat de buitentemperatuur op de ene meetdag afweek van de buitentemperatuur op de andere meetdag in dezelfde week: een wijziging in het weerbeeld over drie dagen. Wanneer alle ventilatie-debieten worden weergegeven als functie van de gemiddelde buitentemperatuur op de meetdag (Figuur 5B), wordt een logische en consistente trend verkregen van een met de buitentemperatuur toenemend ventilatie-debiet. 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  $3,7 \pm 2,1$  m<sup>3</sup>/uur per hen voor de controle en  $3,5 \pm 2,0$  m<sup>3</sup>/uur per hen voor de oliefilmbehandeling.

### 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.



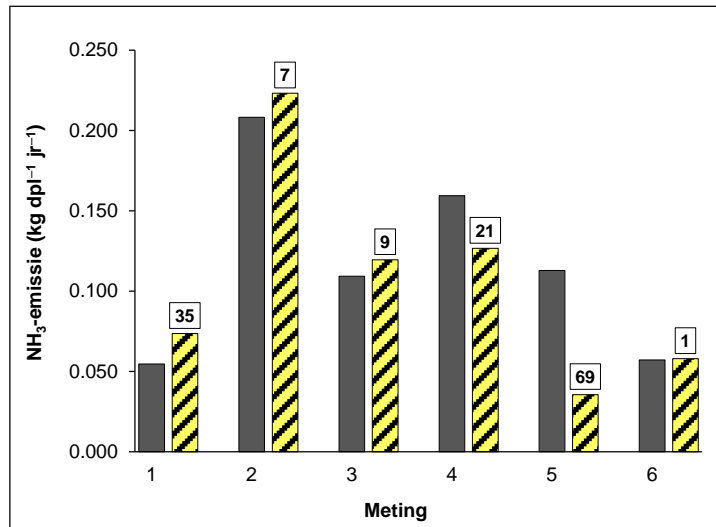
**Figuur 6** A: emissies van PM10 van controle (grijze staven) en oliebehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliebehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven. B: Idem, voor PM2,5

De gemiddelde PM10 concentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $4,060 \pm 1,065$  mg/m<sup>3</sup> voor de controle en  $3,640 \pm 0,902$  mg/m<sup>3</sup> voor de oliebehandeling. De gemiddelde PM10 emissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $113,1 \pm 58,0$  g/dierplaats per jaar voor de controle en  $90,0 \pm 39,2$  g/dierplaats per jaar voor de oliebehandeling. De gemiddelde PM10 emissie van de controledagen op dit specifieke praktijkbedrijf is hoger dan de emissiefactor van 65 g/dierplaats per jaar voor dit stalsysteem, welke is vastgesteld op basis van metingen aan vier leghennenstallen met volièrehuisvesting (Winkel et al., 2009b). De gemiddelde PM10 emissiereductie bedroeg  $15 \pm 20\%$ . Tijdens de eerste drie metingen (bij ca. 10 ml/m<sup>2</sup>) bedroeg de gemiddelde PM10 emissiereductie 12%, tijdens metingen vier tot zes (bij ca. 15 ml/m<sup>2</sup>) was dit 18%. Tijdens vier van de zes metingen werd een lagere PM10 emissie gevonden voor de oliebehandeling (range: 19 tot 36%), tijdens twee metingen (metingen 1 en 4) was de PM10 emissie juist licht hoger (7 en 14 procent). De resultaten kunnen in samenhang te worden beoordeeld met eerdere resultaten van studies naar oliefilmtoediening in leghennenstallen (Winkel et al., 2013; Winkel et al., 2012).

De gemiddelde PM2,5 concentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $0,261 \pm 0,100$  mg/m<sup>3</sup> voor de controle en  $0,212 \pm 0,053$  mg/m<sup>3</sup> voor de oliebehandeling. De gemiddelde PM2,5 emissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $7,0 \pm 3,9$  g/dierplaats per jaar voor de controle en  $4,8 \pm 2,0$  g/dierplaats per jaar voor de oliebehandeling. De gemiddelde PM2,5 emissie van de controledagen op dit specifieke praktijkbedrijf is hoger dan de waarde van 3,9 g/dierplaats per jaar voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Winkel et al., 2009b). De gemiddelde PM2,5 emissiereductie bedroeg  $24 \pm 21\%$ . Tijdens de eerste drie metingen (bij ca. 10 ml/m<sup>2</sup>) bedroeg de gemiddelde PM2,5 emissiereductie 22%, tijdens metingen vier tot zes (bij ca. 15 ml/m<sup>2</sup>) was dit 26%. Tijdens vijf van de zes metingen werd een lagere PM2,5 emissie gevonden voor de oliebehandeling.

### 3.4 Concentraties en emissies van ammoniak

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

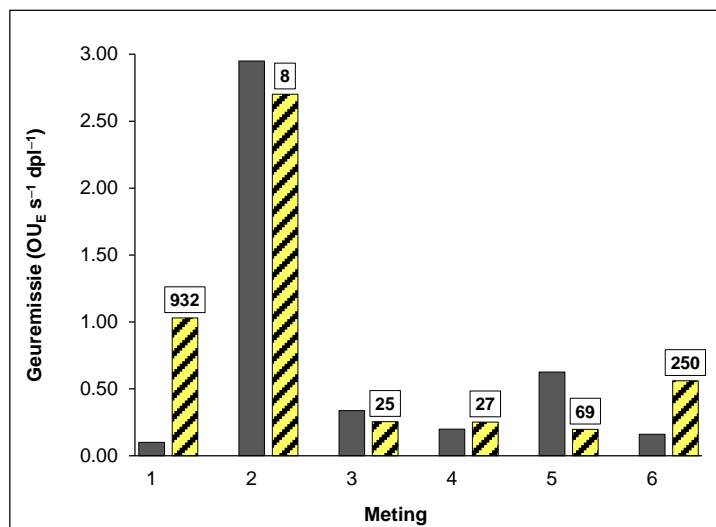


**Figuur 7** Emissies van ammoniak van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven

De gemiddelde ammoniakconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $8,0 \pm 7,7$  ppm voor de controle en  $6,8 \pm 5,0$  ppm voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde ammoniakemissie (gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg  $0,117 \pm 0,059$  kg/dierplaats per jaar voor de controle en  $0,106 \pm 0,067$  kg/dierplaats per jaar voor de oliefilmbehandeling. Deze gemiddelde ammoniakemissies zijn hoger dan de emissiefactor voor dit systeem van  $0,037$  kg/dierplaats per jaar (zie Bijlage A). De mestbandbeluchting van het volièresysteem (zie Bijlage A) was continu in werking. Tijdens twee van de zes metingen was de ammoniakemissie lager na het aanbrengen van de oliefilm, tijdens drie metingen hoger, en tijdens 1 meting vergelijkbaar. Gemiddeld was de ammoniakemissie van de oliefilmbehandeling  $6,1 \pm 35,3\%$  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.



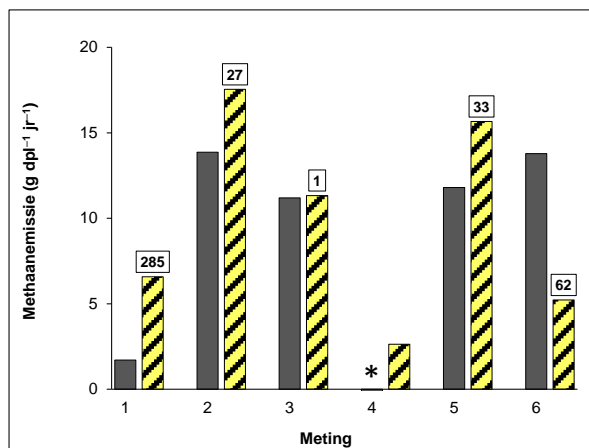
**Figuur 8** Emissies van geur van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven

De gemiddelde geurconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $610 \pm 513$  OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> voor de controle en  $743 \pm 486$  OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde geuremissie bedroeg  $0,35 \pm 1,10$  OU<sub>E</sub>/dierplaats per s voor de controle en  $0,52 \pm 0,97$  OU<sub>E</sub>/dierplaats per s voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde geuremissies zijn vergelijkbaar met de emissiefactor van  $0,34$  OU<sub>E</sub>/dierplaats per s. De metingen laten een zeer variabel beeld in emissies zien: zowel in de tijd over metingen heen, als binnen metingen; tussen controledagen en dagen waarop een oliefilm was aangebracht.



### 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** Emissies van methaan van controle (grijze staven) en oliefilmbehandeling (gele, gestreepte staven). Ster: negatieve emissie voor de controledag van meting 4. Op de staven van de oliefilmbehandeling zijn de procentuele toe- of afnames weergegeven

De gemiddelde methaanconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $2,12 \pm 0,62 \text{ mg/m}^3$  voor de controle en  $2,21 \pm 0,80 \text{ mg/m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. Deze stalconcentraties waren slechts licht hoger dan de gemeten achtergrondconcentraties in de buitenlucht (gemiddeld:  $1,84 \pm 0,56 \text{ mg/m}^3$ ). Tijdens de controledag van meting 4 werd een negatieve methaanemissie berekend door een lagere concentratie in de stal t.o.v. buiten. Dit betreft geen werkelijke negatieve emissie, maar een effect van toevallige, kleine meetfouten bij deze zeer lage concentratieniveaus. De gemiddelde methaanemissie bedroeg  $7,9 \pm 7,7 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor de controle en  $9,8 \pm 6,0 \text{ g/dierplaats per jaar}$  voor de oliefilmbehandeling. De gemiddelde methaanemissies op dit specifieke praktijkbedrijf zijn lager dan de waarde van  $26,2 \text{ g/dierplaats per jaar}$ , gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met volièrehuisvesting (Winkel et al., 2009b).

De gemiddelde lachgasconcentratie ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg  $0,76 \pm 0,04 \text{ mg/m}^3$  voor de controle en  $0,77 \pm 0,05 \text{ mg/m}^3$  voor de oliefilmbehandeling. Deze stalconcentraties waren niet te onderscheiden van de gemeten achtergrondconcentraties in de buitenlucht (gemiddeld:  $0,75 \pm 0,04 \text{ mg/m}^3$ ). Derhalve konden geen emissies worden vastgesteld.

## 4 Discussie

In dit onderzoek is de effectiviteit van het aanbrengen van een oliefilm gevalideerd in een leghennenstal met volièrehuisvesting bij een dosering van  $15 \text{ ml/m}^2$ . Na installatie van het systeem in maart 2013 is het systeem getest. Hierbij is het sproeibeeld bij verschillende instellingen voor olie- en luchtdruk vastgesteld in een deel van de stal waarvan de vloer bedekt was met kuikenpapier. Gezocht is naar een optimum tussen een sproeibeeld met voldoende worplengte en het voorkomen van drift van olienevels in deze specifieke stal. Op grond van deze testen is het systeem ingesteld op een oliedruk van 2,0 bar en een luchtdruk van 1,5 bar (Figuur 10). Daarnaast werd bij elke verneveling 3 seconden voor- en nageblazen met alleen lucht om de nozzle te reinigen en eventuele nalekkende druppels na het vernevelen te vernevelen.



**Figuur 10** Foto van het sproeibeeld bij 2,0 bar oliedruk en 1,5 bar luchtdruk. De nozzles zijn 'om en om' gemonteerd aan de staanders van de volièrestellingen en vernevelen naar de vloer in de richting van de stelling aan de overzijde.

Tijdens het testen van het systeem bleek verder dat in sommige vernevelkastjes storingen optraden doordat vuil zich ophoopte rondom stekker en contact (stekkers voor de aansturing van de vernevelkastjes) en binnen in de vernevelkastjes zelf, door de sluitnaden van de behuizing heen. De vervuiling bestond voor een aanzienlijk deel uit bloedluizen. Hierop zijn alle 76 vernevelkastjes door de leverancier uit de stal verwijderd, in een stoof verhit (om de bloedluizen te doden), geopend en intern gereinigd, weer in elkaar gezet met toepassing van een kitafdichting van de naden van de kastjes, en terug gemonteerd in de stal. Verder zijn voorafgaand aan alle metingen de stekkers gereinigd. Met deze aanpak heeft het systeem tijdens alle metingen goed gefunctioneerd. Om deze problemen in de toekomst te voorkomen, kunnen gegoten stekker/contactverbindingen en waterdichte behuizingen van vernevelkastjes soelaas bieden.

Gestreefd is om een oliefilm aan te brengen in een dosering van  $15 \text{ ml/m}^2$  gerekend op basis van de gehele aanwezige strooiselvloer ( $669 \text{ m}^2$ ). Hierbij werd telkens ca. 10 L olie aangebracht. Omdat de olie alleen aangebracht kon worden op de strooiselpaden tussen de volièrestellingen (zie Figuur 10 en Bijlage A voor een dwarsdoorsnede van de stal) en niet op het strooisel onder de volièrestellingen was de oliedosering ter plaatse van het strooiselpad in Figuur 10 circa tweemaal zo hoog. Tijdens de eerste drie metingen is minder olie aangebracht dan gepland (ca.  $10 \text{ ml/m}^2$ ; zie Tabel 1). Door het verhogen van de verneveltijden werd tijdens de laatste drie metingen de doeldosering nauwkeurig gerealiseerd.

In deze studie is een 'case-control in de tijd' strategie toegepast binnen dezelfde proefstal. 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). Een tweede keerzijde van de toegepaste 'case-control in de tijd' strategie is een mogelijke verandering in de omstandigheden tussen controle- en oliefilmmeting (twee dagen later). Hiermee kan het 'ceteris paribus' principe (alleen de interventie van het olie aanbrengen wijzigt terwijl alle overige

omstandigheden gelijk blijven) minder strikt worden gehanteerd. Zo kan met name het ventilatiedebiet toe- of afnemen doordat weersomstandigheden veranderen, ook al vinden controle- en oliefilmmeting plaats met een tussenpoos van slechts een dag. Om desondanks tot een zuivere vergelijkingsbasis te komen, wordt in dit rapport de fijnstofreductie bepaald op grond van de emissies van deze dagen (emissie = ventilatiedebiet x stofconcentratie). Door deze werkwijze worden versturende verdunningseffecten t.g.v. verschillen in debieten (hoge stofconcentraties bij lage ventilatiedebieten en lage stofconcentraties bij hoge ventilatiedebieten) zo veel mogelijk gecompenseerd.

**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. (2009c)	12 (via leidingensysteem; suboptimale verspreiding)	0–18%	0–65%
	Optimalisatiestudie: effecten van dosering (Stal P4, Spelderholt)	Winkel et al. (2012)	15	31%	75%
			30	64%	85%
			45 (via zeer gelijkmatige, handmatige verspr.)	83%	95%
	Validatiestudie (Praktijkbedrijf, 2 stallen)	Winkel et al. (2013)	30 (via oliefilmrobot)	32%	45%
Validatiestudie (Praktijkstal)	Dit rapport	10 tot 15 (via leidingensysteem)	15%	24%	

In dit onderzoek werd een gemiddelde emissiereductie gevonden van 15% voor PM10 en 24% voor PM2,5 bij een oliedoosering van 10 tot 15 ml/m<sup>2</sup>. Tijdens de eerste drie metingen (bij ca. 10 ml/m<sup>2</sup>) bedroeg de gemiddelde emissiereductie 12% voor PM10 en 22% voor PM2,5. Tijdens metingen vier tot zes (bij ca. 15 ml/m<sup>2</sup>) bedroeg de gemiddelde emissiereductie 18% voor PM10 en 26% voor PM2,5. 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. Verder valt op dat in de validatiestudies naar het aanbrengen van een oliefilm bij leghennen (Winkel et al. (2013) en dit rapport) reducties worden gevonden die ongeveer de helft bedragen van de reducties gevonden in een dosis-effectstudie in experimentele stalafdelingen op pilotschaal (Winkel et al., 2012). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in de laatst genoemde dosis-effectstudie de olie 'dag op dag' en zeer gelijkmatig over al het strooisel werd aangebracht, terwijl in de twee validatiestudies de oliefilmrobot en het leidingensysteem niet in staat waren al het strooisel te voorzien van een oliefilm, en de 'case-control in de tijd' strategie in de validatiestudies met zich mee bracht dat de olie niet 'dag op dag' kon worden aangebracht.

In het onderhavige onderzoek werden geen waarnemingen verricht t.a.v. de productie, het welzijn of het gedrag van de leghennen. Door de toegepaste 'case-control in de tijd' strategie was geen referentiestal voorhanden waarmee deze resultaten zouden kunnen worden vergeleken. Daarnaast is niet waarschijnlijk dat bij het in totaal zes maal verspreid over het jaar aanbrengen van een oliefilm effecten op deze parameters gevonden zouden kunnen worden.

In het onderhavige onderzoek werd – in overeenstemming met eerder onderzoek zoals samengevat in Tabel 2 – geen wezenlijk effect gevonden van het aanbrengen van een oliefilm op de emissies van ammoniak, geur, methaan en lachgas.

## 5 Conclusies

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de gemiddelde emissiereductie van het oliefilmsysteem ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM10 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $15 \pm 20\%$ . De gemiddelde PM10 emissiereductie tijdens metingen één t/m drie (bij ca.  $10 \text{ ml/m}^2$ ) bedroeg 12%, tijdens metingen vier t/m zes (bij ca.  $15 \text{ ml/m}^2$ ) was dit 18%;
- de gemiddelde emissiereductie van het oliefilmsysteem ( $\pm$  standaarddeviatie) voor PM2,5 onder de geteste omstandigheden bedroeg  $24 \pm 21\%$ . De gemiddelde PM2,5 emissiereductie tijdens metingen één t/m drie (bij ca.  $10 \text{ ml/m}^2$ ) bedroeg 22%, tijdens metingen vier t/m zes (bij ca.  $15 \text{ ml/m}^2$ ) was dit 26%;
- de in dit onderzoek gevonden fijnstofreducties bedragen ongeveer de helft van die gevonden in eerder dosis-effect onderzoek onder gecontroleerde omstandigheden, bij dezelfde oliedosering. In het onderhavige onderzoek werd een oliefilm aangebracht in een dosering van 10 tot  $15 \text{ ml/m}^2$  strooiseloppervlak, gerekend met al het in de stal aanwezige strooisel. Op ruim de helft van het totale strooiseloppervlak, gelegen onder de voliërestellingen, kon echter geen oliefilm worden aangebracht. Verder kon de oliefilm bij elke meting omwille van de gekozen meetstrategie slechts eenmalig i.p.v. 'dag op dag' worden aangebracht. Deze afwijkende omstandigheden t.o.v. eerder dosis-effect onderzoek verklaren waarschijnlijk de lagere emissiereducties in de praktijk. Verwacht wordt dat bij 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. 2008. *Reductie stofemissie bij vleeskuikens door aanbrengen oliefilm (Reduction of dust emission from broilers by application of an oil film; in Dutch, with English summary)*. Report 254. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- 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., 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. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1):59-77.
- 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., J. Mosquera, J. M. G. Hol, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009b. *Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting [Dust emission from animal houses: layer hens in aviary systems]*. Report 278. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., T. G. van Hattum, and A. J. A. Aarnink. 2009c. *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; in Dutch, with English summary]*. 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.
- Winkel, A., J. W. H. Huis in't Veld, G. M. Nijeboer, K. Blanken, H. Schilder, T. G. Van Hattum, and N. W. M. Ogink. 2013. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmrobot op een leghennenbedrijf [Measures to reduce fine dust emission from poultry: validation of an oil spraying robot on a layer farm]*. Report 686. 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. *Journal of Aerosol Science* 40(10):868-878.

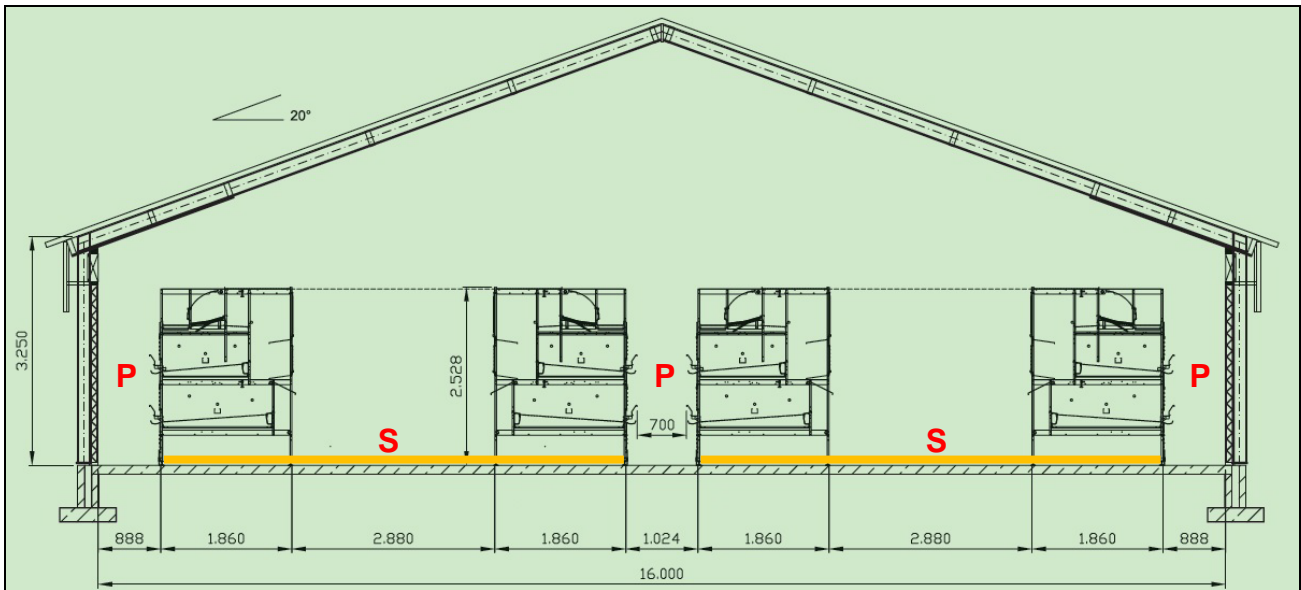
## Bijlagen

### Bijlage A Beschrijving leghennenbedrijf

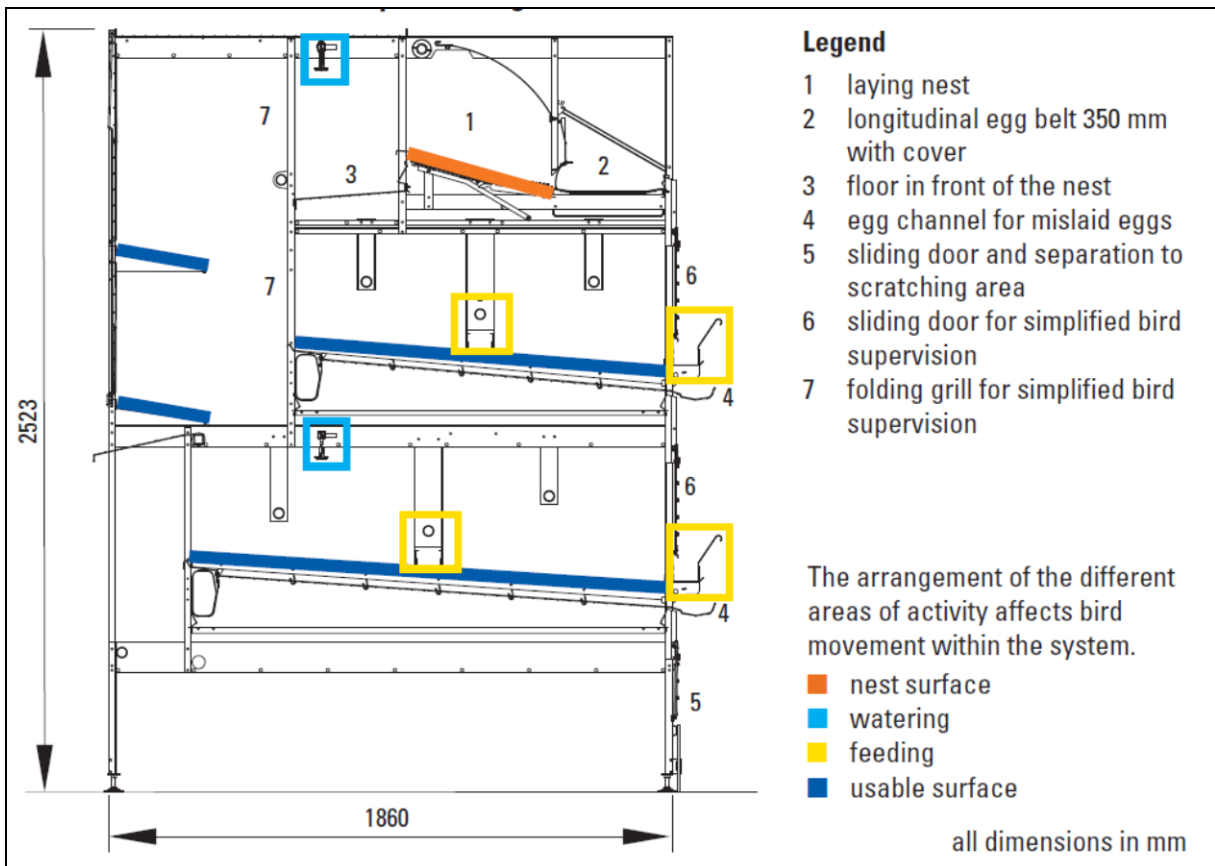
#### 1. Belangrijkste stalenmerken

Kenmerk	Beschrijving
Rav code en omschrijving	E 2.11.4 volièrehuisvesting, 55-60 % van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,7 m <sup>3</sup> per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages (BWL 2005.05.V1)
Emissiefactoren	Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,037 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OUE/dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b x h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> )	50,6 x 16,0 (breedte strooiselvloer: 6,6 + 6,6 m) x 3,25 x 6,4 m
Oriëntatie van de stal	WZW (voorgevel) – ONO (eindgevel met ventilatoren)
Aantal hennen bij opzet	Ca. 12.125
Staloppervlak en stalinhoud	Oppervlak strooiselvloer in stal: 669 m <sup>2</sup>
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 18 kippen per m <sup>2</sup> strooiselvroeroppervlak
Merk dieren	Lohman Brown Lite leghennen
Luchtinlaat	Via mestbandbeluchting: 0,7 m <sup>3</sup> /uur per hen (bron: stallucht en/of buitenlucht via luchtmenkast) + 22 inlaatventielen per zijgevel
Luchtuitlaat	Lengteventilatie met ventilatoren in de eindgevel: 3 v-snaarventilatoren (1 aan/uit- en 2 frequentiegeremd), Ø 120 cm, elk max. ca. 42.000 m <sup>3</sup> /uur (bij 10 Pa) Totaal: ca. 126.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 10,4 m <sup>3</sup> /uur per hen)
Ventilatieregeling	Op basis van staltemperatuur en onderdruk
Streef temperatuur	Ca. 19–20 °C
Verwarming en klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingsysteem	Volièrehuisvesting in 4 systeemrijen, 2 strooiselgangen en 3 kip- en strooiselvrije gangpaden. Het systeem is 21 secties van elk 2,41 m lang (systeemplengte: ca. 50,6 m). De stellingen zijn aan de voorzijde voorzien van scharnierende roosters/spijlen: de roosters van leefniveaus 2 en 3 zijn doorgaans gesloten. De kippen worden elke nacht automatisch vastgezet in het systeem door de roosters van het onderste leefniveau te sluiten. Deze gaan rond 10:00 weer open
Voersysteem, voer en voertijden	Voerkettingen door het volièresysteem: twee circuits per systeemrij. Voer: Legmeel 1, 2 en 3. Voertijden: vijf- tot zesmaal per dag, verspreid over de lichtperiode
Drinksysteem en drinktijden	Waterlijnen met drinknippels en lekschoteltes: twee lijnen per systeemrij. Watertijden: tijdens lichttijden
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met een kleine hoeveelheid koolzaadstro. Dit is na enkele weken geheel verdwenen. Gedurende de legperiode wordt één- of tweemaal per week een kruiwagen snijmaïs over het strooisel verspreid als ruwvoer. Verder wordt incidenteel strooisel uitgereden met een zitmaaier met strooiselschuif
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 04:00–19:00 uur (wintertijd)
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 18 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 80 weken. N.B. Tijdens dit onderzoek zijn de leghennen geruid (13-12-2013), waarna dezelfde dieren aan een tweede legperiode begonnen. Leegstand: ca. 2 weken

2. Dwarsdoorsnede van de leghennenstal en het volièresysteem



**P:** drie kipvrije gangpaden zonder strooisel  
**S:** strooiselvloer met kippen



Bron: Big Dutchman, 2010. Brochure 'Natura 60 & Natura 70 – The modern aviaries for barn and free range egg production'. Vechta, Duitsland: Big Dutchman International GmbH.



3. Foto's van de stal en het oliefilmsysteem



Zijgevel met inlaatventielen onder winddrukcap



Achtergevel met drie ventilatoren



Volièresysteem en strooiselvloer. Zichtbaar zijn de gesloten roosters van leefniveaus 2 en 3 en het geopende rooster van het onderste leefniveau



Centrale gang vóór de stallen



Ruimte tussen het einde van een systeemrij en de achtergevel. In de zijgevel is de lichtstraat en een inlaatventiel zichtbaar



Binnenaanzicht op de eindgevel met drie ventilatoren



Kipvrij gangpad tussen de buitenste systeemrij en de rechter zijgevel. Aan/in de wand zijn de lampen en inlaatventielen zichtbaar



Meting van de binnenkomende lucht



Meting van de uitgaande lucht



Detailfoto van het oliefilmsysteem in werking: aan de standers van de volièrestellingen zijn links en rechts ('om en om') vernevelkastjes gemonteerd (zie rode pijlen), welke één voor één de koolzaadolie met een kegelvormige sproeibeeld aanbrengen op de strooiselvloer.

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

Kenmerk	Meting					
	1	2	3	4	5	6
CO <sub>2</sub> -concentratie controle, stal (ppm)	1013	860	1210	2380	1455	1110
CO <sub>2</sub> -concentratie controle, buiten (ppm)	500	562	472	582	602	500
CO <sub>2</sub> -concentratie oliefilm, stal (ppm)	905	879	1450	2040	1780	1145
CO <sub>2</sub> -concentratie oliefilm, buiten (ppm)	531	497	483	484	588	510
Ventilatiedebiet controle (m <sup>3</sup> /uur per hen)	4,4	7,5	3,0	1,2	2,6	3,6
Ventilatiedebiet oliefilm (m <sup>3</sup> /uur per hen)	6,0	5,8	2,3	1,4	1,9	3,5
PM10 concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	2,700	3,409	3,710	3,918	5,062	5,560
PM10 concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,007	0,019	0,023	0,095	0,158	0,063
PM10 concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	2,160	3,357	3,939	3,773	4,940	3,671
PM10 concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,057	0,045	0,027	0,015	0,181	0,007
PM10 emissie controle (g/dierpl. per jr)	95,8	206,2	89,7	37,9	98,3	150,8
PM10 emissie oliefilm (g/dierplaats per jr)	102,7	157,0	72,7	43,0	68,3	96,7
PM10 emissiereductie (%)	-7	24	19	-14	31	36
PM2,5 concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0,150	0,211	0,194	0,257	0,341	0,416
PM2,5 concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,002	0,007	0,005	0,011	0,035	0,017
PM2,5 concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0,211	0,099	0,113	0,076	0,281	0,083
PM2,5 concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,774	0,550	0,689	0,000	0,719	0,845
PM2,5 emissie controle (g/dierpl. per jr)	5,26	12,39	4,60	2,43	6,14	10,93
PM2,5 emissie oliefilm (g/dierplaats per jr)	5,12	7,46	3,50	2,57	3,30	6,81
PM2,5 emissiereductie (%)	3	40	24	-6	46	38
NH <sub>3</sub> concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	1,61	3,55	4,52	16,41	5,86	2,21
NH <sub>3</sub> concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,08	0,13	0,03	0,31	0,23	0,12
NH <sub>3</sub> concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	1,66	4,78	6,51	11,13	2,67	2,25
NH <sub>3</sub> concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,15	0,07	0,08	0,05	0,20	0,06
NH <sub>3</sub> emissie controle (kg/dierpl. per jr)	0,055	0,208	0,109	0,159	0,113	0,057
NH <sub>3</sub> emissie oliefilm (kg/dierplaats per jr)	0,074	0,223	0,120	0,127	0,036	0,058
NH <sub>3</sub> emissiereductie (%)	-35	-7	-9	21	69	-1
Geur concentratie controle, stal (OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )	84	1452	416	600	934	175
Geur concentratie oliefilm, stal (OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )	632	1707	411	658	411	637
Geur emissie controle (OU <sub>E</sub> /dierpl. per s)	0,10	2,95	0,34	0,20	0,63	0,16
Geur emissie oliefilm (OU <sub>E</sub> /dierpl. per s)	1,03	2,70	0,25	0,25	0,20	0,56
Geur emissiereductie (%)	-932	8	25	-27	69	-250
CH <sub>4</sub> concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0,91	2,64	2,18	2,30	2,46	2,25
CH <sub>4</sub> concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,86	2,41	1,72	2,79	1,88	1,74
CH <sub>4</sub> concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	1,03	2,34	2,40	2,05	3,50	1,96
CH <sub>4</sub> concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,90	1,97	1,79	1,82	2,41	1,77
CH <sub>4</sub> emissie controle (g/dierpl. per jr)	1,7	13,9	11,2	-4,9	11,8	13,8
CH <sub>4</sub> emissie oliefilm (g/dierpl. per jr)	6,6	17,5	11,3	2,6	15,7	5,2
CH <sub>4</sub> emissiereductie (%)	-285	-27	-1	154	-33	62
N <sub>2</sub> O concentratie controle, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0,71	0,79	0,72	0,80	0,74	0,77
N <sub>2</sub> O concentratie controle, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,70	0,76	0,74	0,78	0,78	0,77
N <sub>2</sub> O concentratie oliefilm, stal (mg/m <sup>3</sup> )	0,72	0,79	0,70	0,84	0,80	0,77
N <sub>2</sub> O concentratie oliefilm, buiten (mg/m <sup>3</sup> )	0,74	0,71	0,67	0,80	0,76	0,77
N <sub>2</sub> O emissie controle (g/dierpl. per jr)	0,6	1,7	-0,4	0,2	-0,8	0,1
N <sub>2</sub> O emissie oliefilm (g/dierpl. per jr)	-0,9	3,4	0,5	0,5	0,6	-0,2
N <sub>2</sub> O emissiereductie (%)	252	-97	253	-98	172	244



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)