

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 425

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effect
van een waterfilm op het strooisel op de
fijnstofemissie bij leghennen in
volièresystemen

April 2012



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

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

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2012

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

This reports describes the results of a research
on the effects of spraying water on bedding
material on the fine dust, ammonia and odor
emissions of laying hens in aviary housing
systems.

Keywords

Laying hens, water film, bedding material, fine
dust, ammonia and odor.

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

J. van Harn
H.E. Ellen
R.A. van Emous
J. Mosquera Losada
G.M. Nijeboer
F.A. Gerrits
A.J.A. Aarnink
N.W.M. Ogink

Titel

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effect
van een waterfilm op het strooisel op de
fijnstofemissie bij leghennen in voliëresystemen

Rapport 425

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten beschreven
van een onderzoek naar de effecten van het
aanbrengen van een waterfilm op het strooisel
op de fijnstof-, ammoniak- en geuremissie bij
legghennen in voliëresystemen.

Trefwoorden

Legghennen, waterfilm, strooisel, fijnstof,
ammoniak en geur.



Rapport 425

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effect van een waterfilm op het strooisel op de fijnstofemissie bij leghennen in volièresystemen

Measures to reduce fine dust emission from poultry: effect of water spraying on bedding material on the fine dust emission in aviary housing systems for layers

J. van Harn

H.E. Ellen

R.A. van Emous

J. Mosquera Losada

G.M. Nijeboer

F.A. Gerrits

A.J.A. Aarnink

N.W.M. Ogink



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

April 2012

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het beleidsondersteunend onderzoek in het kader van het EL&I programma Verduurzaming Veehouderijketen incl. dierenwelzijn, projectnummer BO-12.02-009-001-ASG-V-2

Voorwoord

Om te kunnen voldoen aan Europese normen voor de maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. Pluimveestallen 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.

In de leghennensector zijn nog niet veel fijnstofemissie-arme technieken beschikbaar die de fijnstofconcentratie in de stal en de fijnstofemissie uit de stal reduceren. Het is dus zaak dat voor deze sector emissiearme technieken worden ontwikkeld. Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel zou zo'n emissiearme techniek kunnen zijn. In dit onderzoek werd onderzocht of het aanbrengen van een waterfilm daadwerkelijk resulteert in een reductie van de fijnstofemissie uit leghennenstallen met volièrehuisvesting. Daarnaast werd gekeken naar de effecten op: de persoonlijke blootstelling aan PM10, de ammoniakemissie, de geuremissie, de eiproductie, de strooiselkwaliteit en het gedrag en exterieur van de hennen. Het onderzoek werd uitgevoerd in leghennenstal P4 van Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' te Lelystad.

Het hier beschreven onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), in het kader van het onderzoeksprogramma voor het ontwikkelen van stofreducerende maatregelen voor de pluimveehouderij. Via deze weg wil ik de collega's van het Pluimveeproefbedrijf bedanken voor hun inzet en zorgvuldigheid bij het verzorgen van de dieren en het uitvoeren van het experiment.

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

Samenvatting

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijnstof uit belangrijke bronnen terugdringen. De veehouderij draagt voor ongeveer 20% bij aan de totale primaire fijnstofemissie in Nederland. Het merendeel van dit fijnstof komt uit varkens- en pluimveestallen. In de leghennensector zijn nog niet veel technieken beschikbaar die de fijnstofconcentratie in de stal en de fijnstofemissie uit de stal reduceren. Het is dus zaak dat voor deze sector emissiearme technieken worden ontwikkeld. Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel zou zo'n emissiearme techniek kunnen zijn. In dit rapport wordt het onderzoek beschreven dat Wageningen UR Livestock Research heeft gedaan naar de effecten van het aanbrengen van een waterfilm op strooisel op de fijnstof-, ammoniak- en geuremissies. Dit onderzoek werd uitgevoerd binnen het Plan van Aanpak naar maatregelen en technieken die de fijnstofemissie uit pluimveestallen substantieel reduceren en werd gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I).

De doelstelling van dit onderzoek was het bepalen van het effect van het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel op de fijnstof-, ammoniak- en geuremissie uit een leghennenstal met voliëresystemen. Dit effect werd bepaald bij verschillende waterdoseringen. Naast de effecten op de fijnstof-, ammoniak en geuremissies werd tevens gekeken naar de effecten op de productie, de strooiselkwaliteit en het dierenwelzijn.

Het onderzoek werd uitgevoerd in acht klimaatgescheiden afdelingen van de natuurlijk geventileerde leghennenstal P4 van het Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' te Lelystad. Vier van de acht afdelingen waren ingericht met een voliëresysteem met niet-geïntegreerde legnesten, de andere vier met een portaalsysteem. In de afdelingen met het voliëresysteem met niet-geïntegreerde legnesten werden 620 leghennen geplaatst, in de afdelingen met het portaalsysteem werden 604 leghennen geplaatst. De leghennen, van het merk Lohman Brown Lite, waren van eenzelfde herkomst. Het onderzoek werd uitgevoerd in het leeftijdstraject van 213–247 dagen (lengte proefperiode: 34 dagen). De volgende behandelingen werden in dit onderzoek vergeleken:

1. Controle; Geen waterfilm (totaal: 0 ml water /m²)
2. Aanbrengen van 2x daags 75 ml water/m² (totaal: 150 ml water /m²)
3. Aanbrengen van 2x daags 150 ml water/m² (totaal: 300 ml water /m²)
4. Aanbrengen van 2x daags 300 ml water/m² (totaal: 600 ml water /m²)

Elke behandelingscombinatie waterfilm * voliëresysteem werd in enkelvoud getest. De waterfilm werd handmatig aangebracht met behulp van een accurugspuit met spuitlans. Gemiddelde concentraties, emissies en emissiereducties van PM10 en PM2,5 stof werden bepaald op dag 19, 26 en 33 van de proefperiode. Op deze dagen werden tevens de gemiddelde concentraties, emissies en emissiereducties van ammoniak bepaald. Op dag 26 van de proefperiode werd de geurconcentratie en geuremissie bepaald. Het gemiddelde ventilatie-debiet werd bepaald middels de CO₂-massabalansmethode. De persoonlijke blootstelling aan PM10 stof werd met een optische techniek bepaald op dag 17, 25 en 31 van de proefperiode. De technische resultaten (aantal en kwaliteit eieren en uitval) werden dagelijks bijgehouden. Het scharrel-, stofbadgedrag en de kwaliteit van het verenkleed van de dieren werd visueel beoordeeld op dag 7, 17 en 31 van de proefperiode.

De resultaten laten zien dat het aanbrengen van een waterfilm een zeer perspectievolle techniek is om de fijnstofemissie uit voliërestallen voor leghennen te verminderen. Bij de laagste dosering (150 ml/m²) werd gemiddeld over beide voliëresystemen een emissiereductie gerealiseerd van 18% en 44% voor respectievelijk PM10 en PM2.5. Bij een dosering van 300 ml/m² bedroegen de emissiereducties voor PM10 en PM2.5 respectievelijk 48% en 59% en bij 600 ml/m² was dit 64% voor zowel PM10 als PM2.5. Daarentegen had het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel een negatief effect op de ammoniakemissie. De ammoniakemissie nam toe met 21–64%. Ook de geuremissie lijkt negatief te worden beïnvloed. Hoewel in dit onderzoek een toename van de geuremissie werd gevonden (66–160%) kon dit niet statistisch significant worden aangetoond.

Het aanbrengen van een waterfilm resulteerde in vochtiger en minder rul strooisel. Naarmate er meer water werd aangewend werd het strooisel steeds vochtiger en minder rul. Dit resulteerde in een toename van de bevulling van het verenkleed en de voetzolen en tot een afname van het percentage scharrelende hennen. Het had geen effect op het percentage stofbadende hennen.

Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel had geen effect op het uitvalpercentage, het legpercentage, het percentage tweede soort eieren en het percentage buitennesteieren.

Wanneer de negatieve effecten op de ammoniakemissie (en geuremissie) kunnen worden weggenomen dan is het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel een zeer perspectievolle techniek om de fijnstofemissies uit volièresystemen voor leghennen te verminderen. Het frequenter aanbrengen van de waterfilm of het gebruik van additieven (bijv. zuren) zou de negatieve effecten op de ammoniak- en geuremissie mogelijk kunnen verminderen of opheffen.

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. In view of this, the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation has commissioned Wageningen UR Livestock Research to set up a plan of action for the development of practical and effective solutions for the reduction of dust emissions from poultry facilities. Spraying water on the litter floors of aviary housing systems for laying hens could be a (cost) effective method, but the effect on fine dust emission is currently unknown. This study was performed within the framework of the 'Plan of action practical solutions for fine dust reduction from poultry houses' and was sponsored by the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation. The objective of this study was to determine the effect of spraying water on the bedding material on the fine dust, ammonia and odor emissions from aviary housing systems for laying hens.

The study was performed in eight climate separated rooms of the natural ventilated layer house P4 of the experimental poultry farm 'Het Spelderholt' in Lelystad, The Netherlands. Four of the eight rooms were furnished with an aviary system with non-integrated nestboxes, the other four with a portal aviary system. In the rooms with the aviary system with non-integrated nestboxes 620 laying hens (Lohman Brown Lite) were placed and 604 in the rooms with the portal aviary system. The following treatments were studied:

Treatment	Daily water dose and frequency of application
1	0 ml/m ²
2	150 ml/m ² (2 x 75 ml/m ²)
3	300 ml/m ² (2 x 150 ml/m ²)
4	600 ml/m ² (2 x 300 ml/m ²)

Each treatment was replicated once per aviary system. The water film was applied manually using a battery backpack sprayer. The experiment was conducted during 34 days (age laying hens: 213–237 days). Mean concentrations, emissions and emission reductions of PM10 and PM2.5 dust were determined gravimetrically on days 19, 26 and 33 of the experimental period. On these days the mean concentrations, emissions and emission reductions of ammonia were determined as well. On day 26 the odor concentrations and emission were determined. On the measuring days of PM2.5, PM10 and ammonia, a 24-hour average air sample was taken and analyzed for CO₂-concentration which was used to determine ventilation rates (CO₂ mass balance method). Personal PM10 exposure was measured with a light scattering device on days 17, 25 and 31. Technical results were determined each day (number and quality of eggs; mortality). Behavior (scratching and dust bathing), foot pad condition and plumage condition were observed on days 7, 17 and 31 of the experimental period.

Spraying water on the litter floor in aviary housing systems for laying hens can be an effective method for abatement of fine dust emissions. Spraying 150 ml/m² resulted in a reduction of PM10 and PM2.5 emissions of 18% and 44%, respectively. An increase of the amount of water sprayed on the litter floor resulted in a proportional increase of reductions. Spraying 300 ml/m² resulted in PM10 and PM2.5 emission reduction of 48% and 59%, while 600 ml/m² resulted in a reduction of 64% for both PM10 and PM2.5. However, spraying water on the litter floor resulted in an increase of the ammonia emission. Spraying 150, 300 and 600 ml/m² resulted in an increase of ammonia emission with 21%, 65% and 64%. The odor emissions also increases, but this increase was not significant.

Spraying water on the bedding material had a negative effect on the litter quality. The litter was less dry and less friable. Due to the worse litter quality severe smoothening of the plumage and foot pad occurred. The severity of the smoothening of the plumage and foot pads increased with the water dose. Also, the percentage of laying hens displaying scratching behavior decreased. The reduced litter quality had no adverse effect on plumage condition and dust bathing behavior of the laying hens. Spraying water on the bedding material had no effect on the mortality rate, laying percentage, percentage of second grade eggs and percentage of floor eggs.

When the negative effects on ammonia (and odor) emissions could be reduced, spraying water on litter floors can be a prospective technique to reduce fine dust emissions from aviary houses for laying hens. Increasing the frequency of application or the use of water additives may possibly reduce these negative effects.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Accommodatie	2
2.2	Dieren	2
2.3	Proefbehandelingen	5
2.4	Aanbrengen waterfilm	5
2.5	Voer en water	6
2.6	Verlichting	6
2.7	Klimaat	6
2.8	Strooisel	6
2.9	Waarnemingen	7
2.10	Statistische analyse	11
3	Resultaten	12
3.1	Verloop experiment: geplande en gerealiseerde waterdoseringen	12
3.2	Fijnstofemissie en – reducties	12
3.3	Persoonlijke blootstelling aan fijnstof	13
3.4	Ammoniak	14
3.5	Geur	14
3.6	Productieresultaten	14
3.7	Strooiselkwaliteit	15
3.8	Gedrag van de hennen	16
3.9	Exterieur van de hennen	16
4	Discussie	19
5	Conclusies	21
6	Aanbevelingen	21
	Literatuur	22
	Bijlagen	23
Bijlage 1	Voersamenstelling	23
Bijlage 2	Resultaten persoonlijke blootstelling aan fijn stof	24

1 Inleiding

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijn stof concentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijn stof uit belangrijke bronnen terugdringen. De veehouderij draagt voor ongeveer 20% bij aan de fijnstofemissie in Nederland. Het merendeel van dit fijnstof komt uit varkens- en pluimveestallen. In dit kader werkt Wageningen UR Livestock Research aan het ontwikkelen van praktijkrijpe bedrijfsoplossingen voor het terugdringen van de fijn stof emissie uit de pluimveehouderij (Ogink en Aarnink, 2009).

In tegenstelling tot de vleeskuikensector zijn er voor de legsector nog niet veel perspectiefvolle technieken / maatregelen voorhanden om fijn stof te reduceren. Het is zaak dat er ook voor de legsector effectieve maatregelen voorhanden komen. Een mogelijk perspectiefvolle maatregel zou het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel kunnen zijn (Buissonje en Aarnink, 2008; Ellen en Van Harn, 2010). Het is niet bekend wat de effecten van deze maatregel zijn op onder andere de ammoniak- en geuremissie, de productieresultaten, de strooiselkwaliteit, het gedrag van de dieren en de bevulling van de dieren.

Om te bepalen of het aanbrengen van een waterfilm in leghennenstallen perspectiefvol is in het verminderen van de fijnstofemissie is dit in de zomer van 2010 onderzocht bij twee verschillende typen volièresystemen. Dit onderzoek werd uitgevoerd in leghennenstal P4 van Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' te Lelystad. De waterfilm werd handmatig op het strooisel aangebracht met behulp van een accurugspuit. Er werden vier dagdoseringen gehanteerd, te weten: 0 (controle), 150, 300 en 600 ml water/m². In dit rapport worden de resultaten uiteengezet.

Doelstelling(en) van het onderzoek

Doel van het onderzoek is inzicht te verkrijgen in de perspectieven van het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel om de fijnstofemissie uit leghennenstallen met volièresystemen te verminderen. Naast de effecten op de fijnstofemissie werden ook de effecten van deze maatregel op de persoonlijke blootstelling aan PM10, de ammoniak- en geuremissie, de productie (legpercentage, percentage tweede soort eieren, percentage buitennesteieren, e.d.), de strooiselkwaliteit, het scharrel- en stofbadgedrag van de hennen en de bevulling en bevedering van de hennen bestudeerd.

2 Materiaal en methode

2.1 Accommodatie

Het onderzoek werd uitgevoerd in leghennenstal P4 van Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' in Lelystad (Figuur 1). Oorspronkelijk bestond stal P4 uit vier hoofdafdelingen welke d.m.v. kippengaas wanden verdeeld zijn in twee niet-klimaatgescheiden subafdelingen. Voor dit onderzoek zijn de kippengaas wanden dicht gemaakt, zodat acht klimaatgescheiden afdelingen werden verkregen.



Figuur 1 Leghennenstal P4 van Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' in Lelystad

De acht afdelingen waren ingericht met voliëresystemen (één zelfstandig functionerende stelling per afdeling). Vier afdelingen waren ingericht met een voliëresysteem met niet-geïntegreerde legnesten (Natura Nova van de firma Big Dutchman, afdelingen 421, 422, 441 en 442 – hierna te noemen voliëresysteem 1) en vier met een portaalsysteem (BLA van de firma Meller, afdelingen 431, 432, 451 en 452 – hierna te noemen voliëresysteem 2). In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de kenmerken van beide typen voliëresystemen. In Figuur 2 worden de verschillen tussen de voliëresystemen met foto's weergegeven.

2.2 Dieren

Het onderzoek werd uitgevoerd met Lohmann Brown Lite leghennen. De hennen waren afkomstig van Broederij en opfokbedrijf 'Het Anker' BV, Ochten. In de vier afdelingen met voliëresysteem 1 en in de vier afdelingen met voliëresysteem 2 werden per afdeling respectievelijk 620 en 604 leghennen geplaatst. Ten tijde van de start van dit onderzoek waren de hennen 213 dagen (30 weken + 3 dagen) oud en in volle productie.

Tabel 1 Kenmerken volièresystemen in leghennenstal P4

Kenmerk	Volièresysteem 1	Volièresysteem 2
Aantal afdelingen	4	4
Afdelingsnummers	2-1, 2-2, 4-1 en 4-2	3-1, 3-2, 5-1 en 5-2
Afmetingen afdeling binnenwerks (l x b x h ^{goot west} x h ^{goot oost} x h ^{nok})	5,25 x 10,00 x 4,27 x 4,73 x 6,45 m	5,25 x 10,00 x 4,27 x 4,73 x 6,45 m
Afmetingen dierverblijf in afdeling (l x b)	5,25 x 8,3 m	5,25 x 7,95 m
Afmetingen voorportaal in afdeling (l x b)	5,25 x 1,7 m	5,25 x 2,05 m
Oppervlakte afdeling	52,5 m ²	52,5 m ²
- oppervlak voorportaal in afdeling	8,9 m ²	10,8 m ²
- oppervlak mestafstort in afdeling	1,9 m ²	3,0 m ²
- oppervlak dierverblijf (strooiselvloer)	41,7 m ²	38,8 m ²
- waarvan onbedekt strooisel ¹⁾	21,3 m ² (51%)	15,6 m ² (40%)
Inhoud afdeling	Ca. 268 m ³	Ca. 268 m ³
Aantal hennen op dag 0	620	604
Bezetting per m ² vloeroppervlak	Ca. 14,9 hennen/m ²	Ca. 15,6 hennen/m ²
Bezetting per m ² onbedekt strooisel	Ca. 29,1 hennen/m ²	Ca. 38,7 hennen/m ²
Bezetting per m ³ stalinhoud	Ca. 2,3 hennen/m ³	Ca. 2,3 hennen/m ³
Type volièresysteem	Niet-geïntegr. legnesten	Portaalsysteem
Aantal volièreopstellingen per afdeling	1	1
Aantal leefniveaus	3	2
Afmetingen volièreopstelling (l x b)	Ca. 6 x 3 m	Ca. 6 x 3 m
Roosters	Kunststof	Draadgaas
Zitstokken		
- Materiaal	Staal	Staal
- Vorm	Rond en plat	Rond, plat en rechthoekig
Legnesten		
- Type	Gemeenschappelijk	Gemeenschappelijk
- Merk	Big Dutchman	Van Gent
- Aantal etages/nestvakken	2 etages x 5 nestvakken	2 etages x 5 nestvakken
- Afmetingen nestvak (breedte x diepte):	121 x 47 cm	120,5 x 48 cm
- Bodem	Kunstgrasbodem, Big D.	Kunstgrasbodem, Astroturf
- Uitdrijfsysteem	Ja	Ja
- Eierband	Kunststof, geperforeerd	Kunststof, geperforeerd
Voersysteem (per volièreopstelling)	3 Voergoten met ketting, ca. 13,40 m elk, ca. 40,20 m voerketting totaal	3 Voerlijnen met elk 9 voerpannen (LeiCa, Roxell; elk 12 vreetpl.)
Watersysteem (per volièreopstelling)	3 Waterlijnen met elk 30 drinknippels, met lekbakjes, 90	2 Waterlijnen met elk 34 drinknippels, met lekbakjes, 68
- Drinknippels in totaal	90	68
- Schrikdraad op drinklijnen	Nee	Ja
Mestbanden (per volièreopstelling)	3 stuks, Polypropyleen	2 stuks, Polypropyleen
- Afmetingen (l x b enkelzijdig)	7,35 x 1,80 m	6,90 x 1,06 m
- Frequentie van afdraaien	Wekelijks	Wekelijks
Mestbeluchting	Ja, 1 buis per mestband	Ja, 1 buis per mestband
- Aantal gaatjes per buis	57	36
- Diameter gaatje	8 mm	8 mm
Lichtsnoeren onder volièresysteem	Ja	Ja
Verlichting van boven	6 HF TL lampen en 6 regelbare lichtvensters in plafond	6 HF TL lampen en 6 regelbare lichtvensters in plafond
Schrikdraad langs zijwanden	Nee	Nee

¹⁾ Onbedekt strooisel: strooiseloppervlak in m² waarbij er zich geen object bevindt tussen strooisel en plafond



Figuur 2 A: voorzijde volièresysteem 1. B: voorzijde volièresysteem 2.
C: bovenzijde volièresysteem 1. D: bovenzijde volièresysteem 2.
E: achterzijde volièresysteem 1. F: achterzijde volièresysteem 2.

2.3 Proefbehandelingen

In dit onderzoek werden de volgende behandelingen toegepast (Tabel 2).

Tabel 2 De proefbehandelingen

Behandeling	Omschrijving
1	Controle; geen waterfilm (totaal: 0 ml water/m ²)
2	Aanbrengen van 2x daags 75 ml water/m ² (totaal: 150 ml water/m ² per dag)
3	Aanbrengen van 2x daags 150 ml water/m ² (totaal: 300 ml water/m ² per dag)
4	Aanbrengen van 2x daags 300 ml water/m ² (totaal: 600 ml water/m ² per dag)

Van de vier afdelingen met hetzelfde type volièresysteem diende één afdeling als controle, terwijl in de overige drie een waterfilm in verschillende doseringen werd aangebracht (Tabel 3). De proefbehandelingen werden d.m.v. loting aan de afdelingen toegewezen. Het onderzoek omvatte het leeftijdstraject van 213 tot en met 247 dagen (= 35 dagen) en liep van 30 juli t/m 02 september 2010. Voorafgaand aan dit onderzoek werden de afdelingen gebruikt voor een onderzoek naar het effect van het aanbrengen van een oliefilm (in eveneens 4 doseringen) op de fijnstofemissies. Om er zeker van te zijn dat er geen vertroebelende effecten optraden van de voorgaande proefperiode, de oliefilm werd immers ook aangebracht op het strooisel, werd gestart met nieuw aangebracht 'gestandaardiseerd strooisel' (zie paragraaf 2.8). Om de hennen te laten wennen aan het nieuwe strooisel bestond de proefperiode uit een voorperiode van 10 dagen (in deze periode werd geen waterfilm aangebracht) en een hoofdperiode van 25 dagen (aanbrengen waterfilm).

Tabel 3 Verdeling van de proefbehandelingen over de afdelingen

	Volièresysteem en subafdeling							
	Volièresysteem 1		Volièresysteem 2		Volièresysteem 1		Volièresysteem 2	
Afdeling nr.	421	422	431	432	441	442	451	452
Behandeling	3	4	1	2	1	2	3	4

2.4 Aanbrengen waterfilm

De waterfilm werd vanaf dag 11 van de proefperiode dagelijks handmatig aangebracht met behulp van een accurugspuit (SOLO[®] Type 416, SOLO Kleinmotoren GmbH, Germany, 20 L) met telescopische spuitlans (SOLO[®] artno. 4900457, 60–120 cm) met dubbele sproeikop (SOLO[®] artno. 4900477). De daghoeveelheid werd in twee keer aangebracht: de eerste keer om 08:00u en de tweede keer om 15:00u. Er werd verneveld bij een constante werkdruk van 2,65 bar (stand 2). Bij deze instelling bedroeg de wateropbrengst 1,55 l/min. De gerealiseerde waterdosering (gram) en benodigde verneveltijd werden per afdeling en dag geregistreerd.



Figuur 3 Tweemaal daags werd handmatig een waterfilm aangebracht m.b.v. een accurugspuit

2.5 Voer en water

De hennen werden gevoerd met Legmeel 1 van de Superreeks van de producent ForFarmers (Bijlage 1). Voertijden: 7:00, 11:00, 11:30, 13:00, 15:00, 17:00 en 19:00 uur. Er werd geen tarwe bijgestrooid. Water werd onbeperkt verstrekt tijdens lichttijden.

2.6 Verlichting

De afdelingen werden verlicht door een combinatie van daglicht (automatisch geregelde lamellenvensters in het plafond) en kunstlicht (hoogfrequente TL lampen). Lichtregime: 15L:9D. Licht aan van 06:00 tot 21:00 uur.

2.7 Klimaat

Leghennenstal P4 beschikt over natuurlijk ventilatie. Elke afdeling werd apart geventileerd door middel van mestbandbeluchting (= minimumventilatie, ca. 1 m^3 per hen per uur), automatisch geregelde inlaatventielen (6 per afdeling) en automatisch geregelde kleppen in de nok. De ventilatieregeling vond plaats met een klimaatcomputer (type FSU.4, Fancom BV, Panningen) op basis van staltemperatuur (streef temperatuur: $18 \text{ }^\circ\text{C}$). Voor de minimumventilatie van 1 m^3 per hen per uur werd de mestbandbeluchting van volièresysteem 1 en 2 ingesteld op respectievelijk 55% en 35% ventilatiecapaciteit.

2.8 Strooisel

Voorafgaand aan dit onderzoek werden de afdelingen gebruikt voor een onderzoek naar het effect van het aanbrengen van een oliefilm op het strooisel op de emissie van fijnstof. Om er zeker van te zijn dat geen vertroebelende effecten optraden met het 'oliefilmonderzoek' werd gestart met nieuw aangebracht 'gestandaardiseerd strooisel'. Dit 'gestandaardiseerde strooisel' werd volgens een vast protocol aangemaakt. De dag voor de start van de proefperiode werd het bestaande strooisel in alle afdelingen vervangen door een uniforme hoeveelheid van het gestandaardiseerde strooisel.

Het aanmaken en verspreiden van strooisel verliep als volgt. Tijdens de vijf week durende periode voorafgaand aan elke proefperiode werd twee keer per week de mest van de mestbanden gedraaid. De mest uit alle afdelingen werd in één keer afgedraaid en opgevangen in een mestcontainer (ca. 2 m³), gewogen, bemonsterd voor een drogestofbepaling en uitgespreid over de vloer van een droogruimte (10,5 x 10 m) in stal P4. In deze ruimte werd de op de mestband voorgedroogde mest verder gedroogd d.m.v. heteluchtkanonnen, steunventilatoren en ruimteventilatie. De mest werd dagelijks omgewerkt om het droogproces te bevorderen en de mest te homogeniseren. Op de laatste dag van het droogproces werd een mengmonster genomen om het uiteindelijke drogestofgehalte te bepalen.

Voor de start van elke proefperiode (dag 0) werd de bestaande strooisellaag op de vloer van de acht afdelingen verwijderd en vervangen door het aangemaakte, 'gestandaardiseerde strooisel'. Ingebracht werd circa 9 kg droge stof per vierkante meter vloeroppervlak. Door de aangebrachte mestlaag werd verder 0,4 kg houtkrullen per vierkante meter gemengd. De aldus verkregen strooisellaag was rul, droog en had een laagdikte van ca. 10 cm.

2.9 Waarnemingen

Fijnstofmetingen (verzamelmonster 24 uur, gravimetrisch)

Voor de bepaling van de PM10 en PM2.5 concentraties werd op 19, 26 en 33 dagen van de proefperiode (leeftijd hennen respectievelijk 232, 239 en 246 dagen) gedurende 24 uur gravimetrisch de fijnstofconcentraties van zowel deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) als van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2.5) van de in- en uitgaande stallucht van alle afdelingen bepaald.

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

De bemonstering van de stallucht of inlaatlucht gaat als volgt in zijn werk. Zogenaamde 'constant flow' pompen (type Charlie HV, roterend 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle) zuigen stallucht of inlaatlucht door de cycloon voorafscheider (Figuur 4, boven). De PM10 cycloon scheidt de PM10 stofdeeltjes van de grotere stofdeeltjes en verzameld deze op een glasvezelfilter in de cycloon. De PM2.5 cycloon doet hetzelfde voor PM2.5 deeltjes. Tussen de cycloon en de pomp werd gebruik gemaakt van een vochtvanger. De 'constant flow' pompen regelen het debiet (het volume door de cycloon te zuigen lucht) automatisch in op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat) van de cycloon. Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor wordt een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 m³/uur en een looptijd / meetduur van 24 uur. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten). De glasvezelfilters werden voor en na de metingen gewogen onder standaard condities: 20 °C ± 1 °C en 50% ± 5% relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). Op basis van het verschil in gewicht van het filter voor en na de meting werd de hoeveelheid (massa) verzameld PM10 en PM2.5 stof bepaald.

Stofdeeltjes uit de stallucht werden verzameld op een hoogte van ca. 4,5 meter, ca. 1,5 meter recht onder de nokkleppen (Figuur 4, rechtsonder). Buiten de stal, bij de inlaat, werden cyclonen voor PM10 en PM2.5 geplaatst om achtergrondconcentraties te meten.

De PM10 stofconcentraties gevonden met de cycloon voorafscheiders werden omgerekend naar concentraties van impactor voorafscheiders met behulp van de correctielijnen beschreven door Hofschreuder et al. (2008). De volgende correcties zijn uitgevoerd:

$$\begin{aligned} \text{PM10:} & < 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3: Y = 1,0877 X \\ & > 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3: Y = 0,8304 X + 57,492 \end{aligned}$$

PM2.5: geen correctie



Figuur 4 Monsterapparatuur voor PM10 en PM2.5. Linksonder (van links naar rechts): de inlaat, PM10 en PM2.5 cyclonen en filterhouder. Rechtsboven: de constructie van de inlaat van de cycloon. Linksmidden: meetopstelling; v.l.n.r.: monsternamevat, wasflessen voor ammoniak, geurvast en acht 'constant flow' monsternamepompen. Linksonder: DustTrak voor het meten van persoonlijke belasting aan PM10. Rechtsonder: positie van monstername in de stal, ca. 1,5 m onder de nok (meetgalg met ophangpunten voor meetkoppen)

Persoonlijke blootstelling aan fijnstof

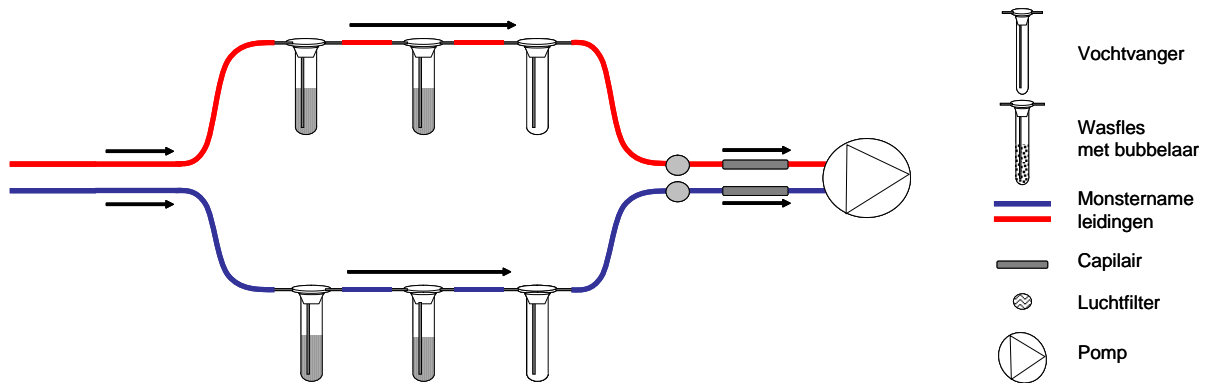
Op dag 7, 17, 25 en 31 van de proefperiode werd de persoonlijke belasting van de medewerker aan PM10 stof gemeten. Een DustTrak model 8520 (TSI, VS; Figuur 4, linksonder) werd opgehangen aan de schouder van een medewerker (hoogte ca. 1,5 m). De medewerker liep gedurende 6 minuten door elke afdeling waarmee een routinecontrole werd nagebootst. PM10 concentraties werden elke seconde gemeten en minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van de DustTrak. De minuutgemiddelden zijn uitgelezen en gebruikt voor de analyse.

CO₂-concentratie metingen

Stallucht en inlaatlucht werden bemonsterd volgens de zogenaamde longmethode ter bepaling van de CO₂-concentratie (en hiermee het ventilatiedebiet). Een 40 liter Nalophan monsterzak werd driemaal gespeld met lucht en in een gesloten vat geplaatst. Door m.b.v. een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) lucht uit het vat te zuigen (kritisch capillair van 0,020 l/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt stallucht of inlaatlucht aangezogen in de monsterzak. De monsterzak werd door continue bemonstering met lucht in 24 uur gevuld. Op deze wijze werd een 24-uursgemiddeld luchtmonster verkregen. Het gehalte aan CO₂ in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A; detector: HWD). De CO₂-concentratie werd per afdeling afzonderlijk bepaald, tegelijk met de fijnstofmetingen, dus op dag 19, 26 en 33.

Ammoniakmetingen

Op dezelfde dagen als de fijnstofmetingen (dag 19, 26 en 33 van de proefperiode) werd de ammoniakconcentratie gemeten. Dit gebeurde volgens de natchemische meetmethode voor NH₃ (Wintjes, 1993). Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom (~1,0 l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van ~1,0 l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de NH₃ wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. De metingen werden per meetplek in duplo uitgevoerd (Figuur 5). De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van NH₃ dat moet worden gebonden; voor deze stallen was deze 0,05 M. Na de bemonsteringstijd (24 uur) wordt de concentratie gebonden NH₃ spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH₄⁺ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH₃-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Zowel de ingaande als uitgaande stallucht werd in duplo bemonsterd.



Figuur 5 Meetopstelling natchemisch methode voor ammoniakemissiemetingen

Geurmetingen

Op dag 26 van de proefperiode werden in elke afdeling geurmonsters genomen. De geurmonsters werden genomen tussen 10:00 en 12:00 uur volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd driemaal gespoeld met geurloze lucht en in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen (0,4 l/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1–2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te voorkomen wordt verwarmingslint langs de monsternameleiding aangebracht. Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium van Buro Blauw te Wageningen. Aan de geuranalyses wordt deelgenomen door een groep van vier tot zes panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden wordt voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en –emissies worden vermeld in respectievelijk OU_E/m³ en OU_E/s. De eenheid ‘OU_E’ staat hierbij voor

'European Odour Units'. Deze aan de EN 13725 ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied.

Bepalen ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet (m^3/uur per dier, gemiddelde over de meetperiode van 24 uur) is bepaald met behulp van de CO_2 -massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO_2 -concentratie van de in- en uitgaande stallucht (respectievelijk $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$ en $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$; $\text{m}^3/\text{m}^3 = \text{ppm} \times 10^6$) gedurende 24 uur gemeten en de CO_2 -productie van de dieren ($\text{m}^3 \text{CO}_2/\text{uur}$ per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). De berekening van de CO_2 -productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg), de eiproduktie (kg ei/hen per dag op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht). Het ventilatiedebiet V (m^3/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V = \frac{\text{CO}_2 - \text{productie}}{[\text{CO}_2]_{\text{stal}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}} \quad (1)$$

Berekenen emissies (PM10, PM2.5 en ammoniak)

Jaaremissies voor fijnstof (PM10 en PM2.5) en ammoniak (E; gram per dier per jaar) werden berekend door het ventilatiedebiet (V ; m^3/uur per dier) te vermenigvuldigen met de concentratie van de uitgaande lucht (C_{uitlaat} ; mg/m^3) gecorrigeerd voor die van de ingaande lucht (C_{inlaat} ; mg/m^3) en vervolgens te vermenigvuldigen met 24 uur, 365 dagen, een conversiefactor van mg naar g (0,001), te corrigeren voor het aantal aanwezige dieren (Aa) en aantal dierplaatsen (Ap) en een leegstandfactor (L) voor leghennen van 0,96; volgens onderstaande formule:

$$E = (V \times (C_{\text{uitlaat}} - C_{\text{inlaat}})) \times 24 \times 365 \times 0,001 \times (Aa / Ap) \times L \quad (2)$$

Emissiereducties van fijnstof, ammoniak en geur werden berekend als het relatieve verschil tussen proefbehandeling en controle, uitgedrukt in procenten.

Productie resultaten

Elke ochtend werden de eierbanden van de legnesten afgedraaid en werd een controleronde door elke afdeling afgelegd waarbij tevens buitennesteieren werden verzameld. Dagelijks werd de uitval per afdeling genoteerd. Per afdeling werd verder het aantal eieren geteld en genoteerd, uitgesplitst naar eieren van de eerste soort, eieren van de tweede soort, struifeieren en buitennesteieren.

Strooiselkwaliteit (rulheid, visuele droogheid en drogestofgehalte)

Op dag 7 (nulmeting, voor aanbrengen waterfilm), 17 en 31 van de proefperiode werd de strooiselkwaliteit visueel beoordeeld. De strooiselkwaliteit werd per afdeling gescoord op de mate van rulheid en vochtigheid. De rulheid en vochtigheid werden gescoord op een schaal van 1-10, waarbij 1 stond voor zeer slecht en 10 voor uitmuntend. Het strooisel werd op drie plaatsen per afdeling beoordeeld. Dit was links, onder en rechts van de volièrestelling.

Naast het vaststellen van de visuele strooiselkwaliteit werd op deze dagen tevens het drogestofgehalte van het strooisel bepaald. Hiertoe werd per afdeling op drie plaatsen een strooiselmonster genomen. Deze strooiselmonsters werden samengevoegd tot één mengmonster van ± 500 gram. De mengmonsters werden in een RVS bak gedaan, waarna deze gedurende 24 uur gedroogd in een droogstoof bij 105°C . Via onderstaande formule werd het drogestofgehalte van het strooisel berekend:

$$X = (\text{bak}_{\text{droog}} - \text{bak}_{\text{leeg}}) / (\text{bak}_{\text{droog}} - \text{bak}_{\text{leeg}}) \times 100\%$$

Waarbij:

X = drogestofgehalte in procenten;

Bak_{leeg} = gewicht lege RVS bak waarin strooisel werd gedroogd;

Bak_{nat} = gewicht RVS bak + 'vers' strooisel;

$\text{Bak}_{\text{droog}}$ = Gewicht RVS bak + 'droog' strooisel (na 24 drogen in droogstoof bij 105°C);

Gedrag van de hennen (stofbad- en scharrelgedrag)

Het gedrag van de hennen werd op dag 7, 17 en 31 visueel beoordeeld. Hiertoe werden per afdeling twee gebieden (voorin en achterin; ca. 3 x 1,5 m elk) bekeken. De waarnemingen aan het gedrag vonden telkens plaats tussen 11:30 en 14:00 uur. Per waarnemingsdag werden de afdelingen viermaal geobserveerd. Tijdens elke waarneming werd het totaal aantal hennen, de hennen die aan het stofbaden waren en de hennen die scharrelden geteld. De eerste waarneming (dag 7) werd gedaan voor aanvang van het aanbrengen van de waterfilm (nulmeting).

Exterieur van de hennen (bevedering en bevuiling)

Op dezelfde dagen dat het gedrag van de hennen werd bestudeerd (dag 7, 17 en 31) werd de bevedering van de dieren en de bevuiling van het verenpak en voetzolen. Hierbij werd een vangkooi in de afdeling geplaatst waarachter minimaal 30 kippen werden gedreven. Vervolgens werd bij 30 achter het vanghek zittende kippen de kwaliteit van het verenpak beoordeeld. Hierbij werd onderscheid gemaakt in een aantal gedeelten van de kip: hals/nek, borst/buik (onderkant kip), rug/staart/vleugels (bovenkant kip) en poten. Elk onderdeel werd volgens de volgende getallen gescoord: 0 (glad), 1 (ruw), 2 (gebroken), 3 (stoppelig), 4 (kalend) en 5 (kaal). Naast de mate van bevedering werden deze dieren beoordeeld op de mate van bevuiling van het verenpak en de voetzolen. De bevuiling werd gescoord vanaf 0 (schoon) via 1 (poezelig), 2 (vuil) naar 3 (smerig). Voor aanvang van het aanbrengen van de waterfilm (dag 7) werd een zogenaamde nulmeting uitgevoerd.

2.10 Statistische analyse

Alle data zijn statistisch geanalyseerd met de REML procedure van Genstat (2010). In dit model zijn voor analyse van de emissie-, strooiselkwaliteit, gedrag en exterieurgegevens de volgende verklarende variabelen opgenomen: het volièresysteem, het dagnummer en het lineaire effect van waterdosering als vaste effecten en de afdeling als random effect. Aangezien de productiegegevens alleen over de gehele periode zijn bepaald is in dit analysemodel het dagnummer weggelaten. Het model kan als volgt worden genoteerd:

$$Y_{ijkl} = \mu + F_Volière_i + F_Dagnr_j + \beta \cdot Doserings_k + e_{ijkl}$$

Waarin: Y_{ijkl} = afhankelijke variabele

μ = constante

$F_Volière_i$ = effect volièresysteem (1 = volièresysteem 1; 2 = volièresysteem 2)

F_Dagnr_j = effect van dag van meten

$\beta \cdot Doserings_k$ = lineair effect van waterdosering (dosering: 0–600 ml/m² per dag)

e_{ijkl} = restvariatie

3 Resultaten

3.1 Verloop experiment: geplande en gerealiseerde waterdoseringen

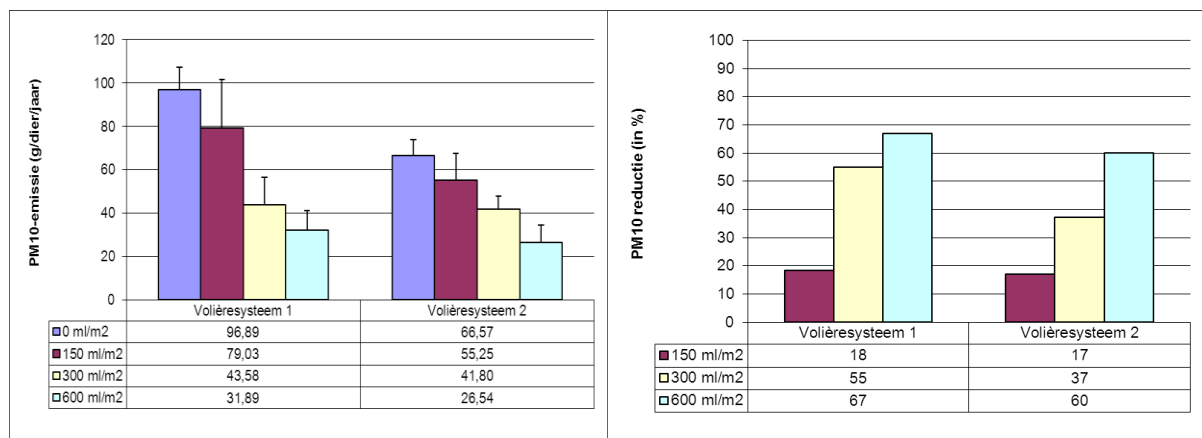
Het aanbrengen van het water op strooisel is conform plan verlopen; de geplande doseringen werden tot op 2 gram nauwkeurig toegediend (Tabel 4).

Tabel 4 Geplande en gerealiseerde waterdoseringen (in ml/m²; gemiddelde ± standaarddeviatie)

Geplande dosering	Gerealiseerde dosering	
	Volièresysteem 1	Volièresysteem 2
150 ml/m ²	150 ± 1,6	151 ± 3,2
300 ml/m ²	298 ± 3,2	298 ± 4,6
600 ml/m ²	599 ± 5,9	600 ± 8,8

3.2 Fijnstofemissie en – reducties

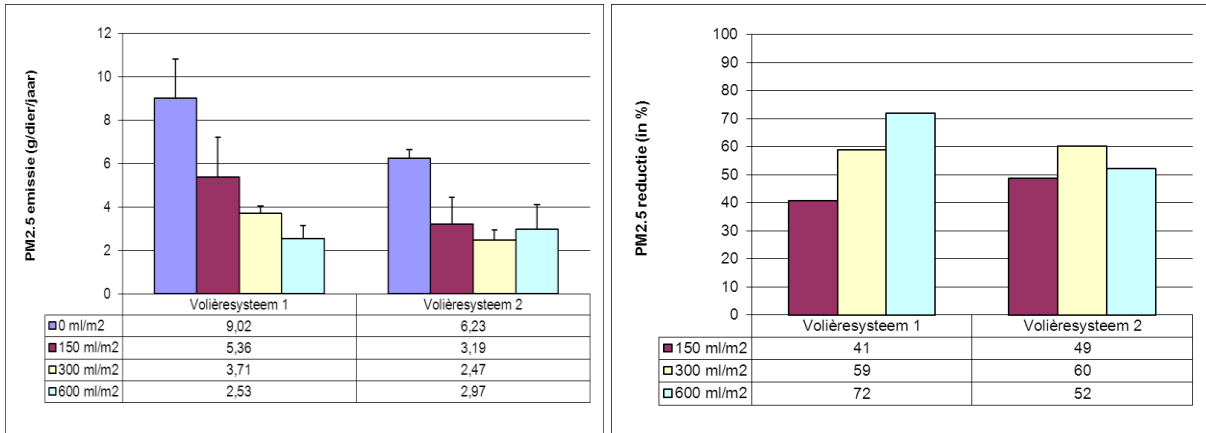
In figuur 6 worden per volièresysteem de PM10 emissies bij de verschillende waterdoseringen weergegeven. Tevens worden de gerealiseerde reducties ten opzichte van de controle weergegeven. Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel in volièresystemen voor leghennen resulteerde in een reductie van de PM10 emissie. Naarmate er meer water werd aangewend werd een hogere reductie gevonden. Bij het aanbrengen van 2x daags 75 ml water werd gemiddeld over beide volièresystemen een PM10-emissiereductie van 18 procent gevonden. Bij het aanbrengen van 2x daags 150 ml water bedroeg de PM10-emissiereductie 48 procent en bij de hoogste waterdosering (2x daags 300 ml) was dit 64 procent. De PM10 emissie bij volièresysteem 1 was hoger dan bij volièresysteem 2.



Figuur 6 Gemiddelde PM10 emissie (g/dier per jaar) per volièresysteem bij de verschillende waterdoseringen en de gerealiseerde reductie t.o.v. de controle (in %) op basis van gravimetrische metingen (n=3). Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven

Gemiddeld genomen was de PM2.5 emissie bij volièresysteem 1 39 procent hoger dan volièresysteem 2. Bij beide volièresystemen leidde het aanbrengen van een waterfilm tot een reductie van de PM2.5 emissie (Figuur 7). Bij volièresysteem 1 nam bij een toename van de hoeveelheid aangebracht water ook de reductie toe. Bij de een dosering van 150, 300 en 600 ml/m² bedroeg de reductie respectievelijk 41, 59 en 72 procent. Bij volièresysteem 2 was er geen duidelijke relatie tussen de hoeveelheid aangebracht water en de PM2.5-emissiereductie. De gerealiseerde reducties bij 150, 300 en 600 ml/m² bedroegen respectievelijk 49, 60 en 52 procent.

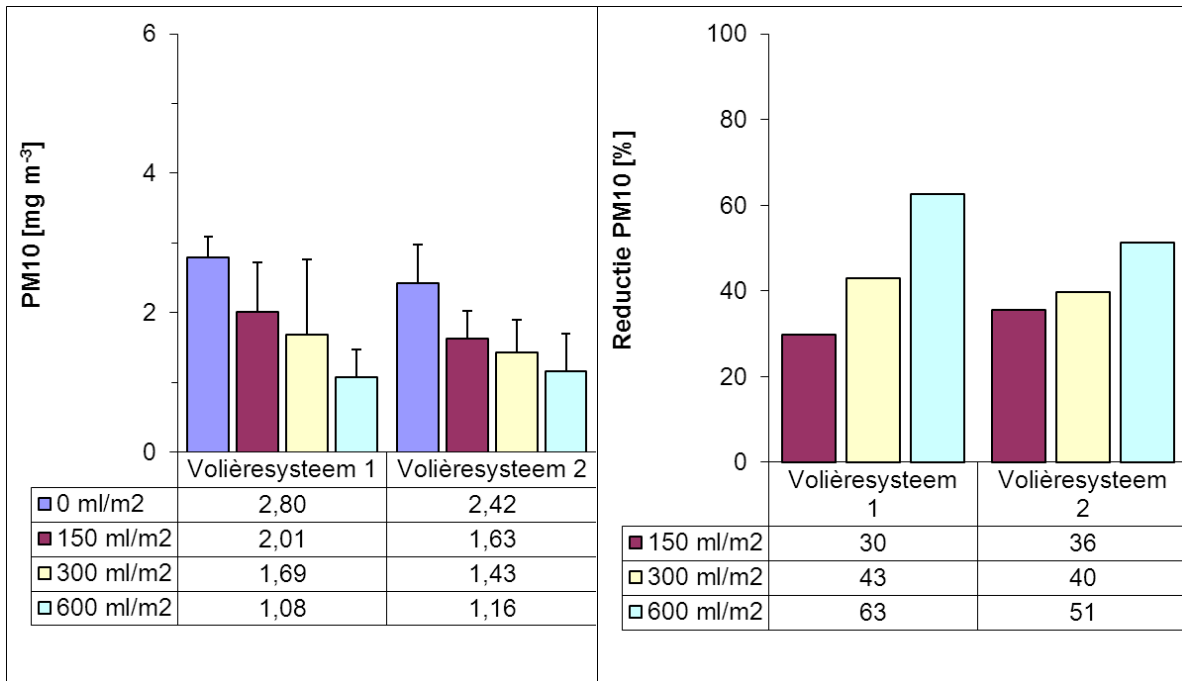
In tabel 7 worden de gemiddelde ventilatiedebieten, de gemiddelde PM10 concentraties en- emissies en de gemiddelde PM2.5 concentraties en- emissies per volièresysteem en gemiddeld over beide volièresystemen weergegeven.



Figuur 7 Gemiddelde PM2.5 emissie (g/dier per jaar) per voliërsysteem bij de verschillende waterdoseringen en de gerealiseerde reductie t.o.v. de controle (in %) op basis van gravimetrische metingen in de eerste proefperiode (n=3). Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven

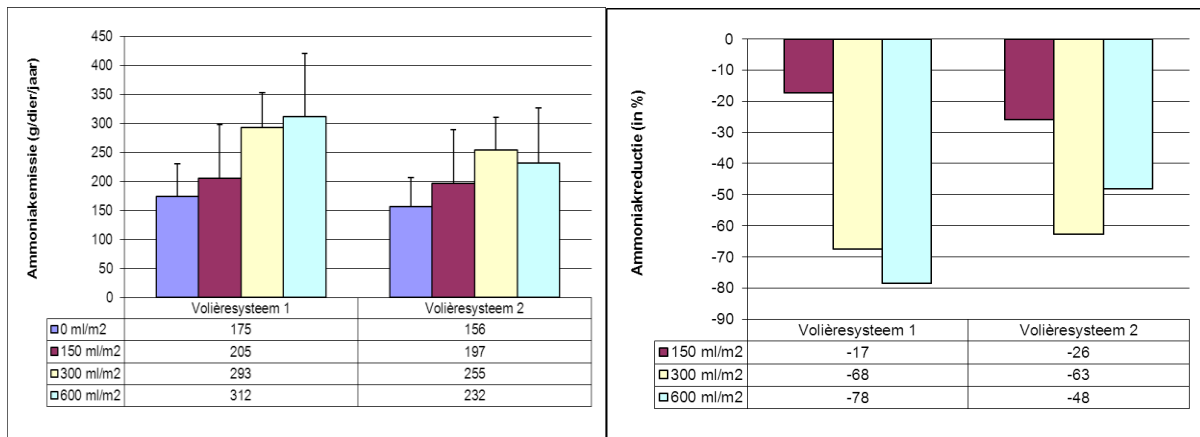
3.3 Persoonlijke blootstelling aan fijnstof

In figuur 8 wordt het effect weergegeven van de verschillende doseringen op de stofbelasting van de stalmedewerker. De grafieken laten bij beide voliërsystemen een afname zien van de stofconcentraties bij een toename van de hoeveelheid aangebracht water. Gemiddeld over beide voliërsystemen bedroegen de reducties van de PM10 concentratie ten opzichte van de controle: 33% (150 ml/m² per dag), 42% (300 ml/m² per dag) en 57% (600 ml/m² per dag). De resultaten van de metingen van de blootstelling van de stalmedewerker aan fijnstof komen goed overeen met de resultaten van de gravimetrische PM10-metingen. In bijlage 2 worden de resultaten van de stofbelastingmetingen van de stalmedewerker op de verschillende meetdagen weergegeven.



Figuur 8 Resultaten van de persoonlijke stofbelastingmetingen per voliërsysteem en de gerealiseerde reducties t.o.v. de controle (in %) bij de verschillende waterdoseringen. Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven

3.4 Ammoniak



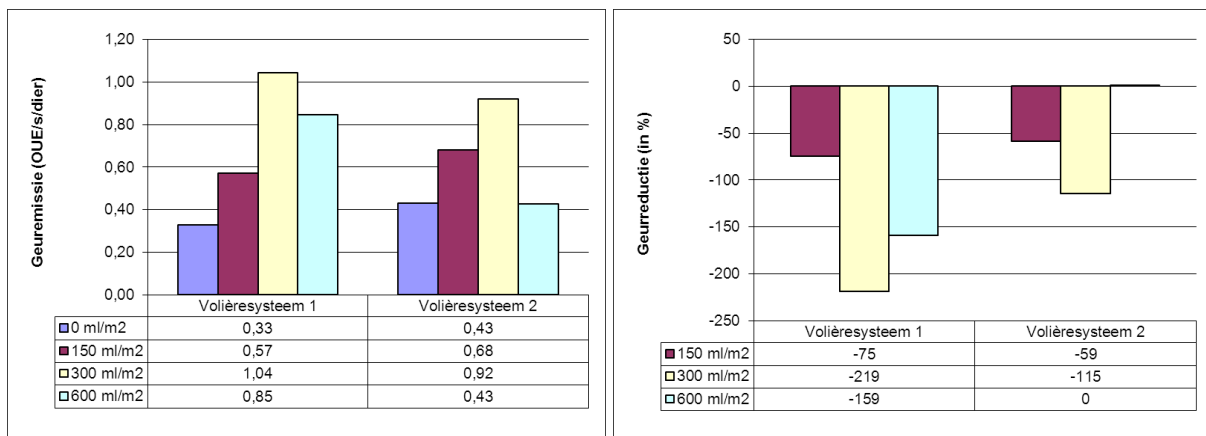
Figuur 9 Gemiddelde ammoniakemissie (g/dier per jaar) en -reductie t.o.v. de controle (in %) per voliërsysteem op basis van natchemische metingen (n=3). Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven

In figuur 9 wordt het effect weergegeven van het met verschillende dosering aanbrengen van een waterfilm op de ammoniakemissie. De ammoniakemissie nam toe bij een toename van de waterdosering. De toename van de ammoniakemissie bedroeg bij een dosering van 150 ml/m² per dag 21 procent. Bij een dosering van 300 en 600 ml/m² per dag was dit circa 65%.

In tabel 7 worden de gemiddelde ventilatiedebieten, de gemiddelde ammoniakconcentraties en emissies per voliërsysteem en gemiddeld over beide voliërsystemen weergegeven.

3.5 Geur

In figuur 9 wordt het effect van het aanbrengen van verschillende doseringen waterfilm op de geuremissie weergegeven. Het aanbrengen van een waterfilm lijkt te resulteren in een toename van de geuremissie, dit kon echter vanwege het geringe aantal herhalingen statistisch niet worden aangetoond (P=0,39).



Figuur 10 Gemiddelde geuremissies (OU_E/dier per s) en -reducties t.o.v. de controle (in %) per voliërsysteem (n=1)

3.6 Productieresultaten

De productie van de hennen was goed (gelijk of net iets boven de norm; Tabel 5). Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel had geen effect op het gemeten productieresultaten (uitval, legpercentage, percentage eerste en tweede soort eieren, percentage struif en percentage buitennesteieren).

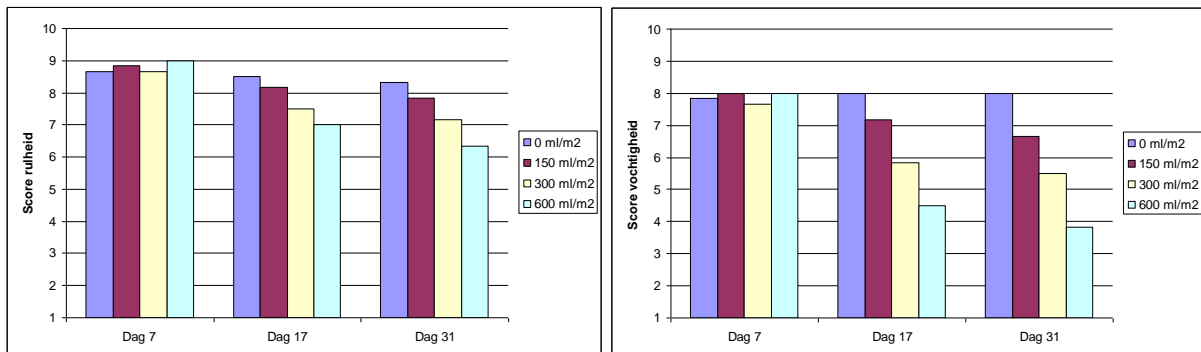
Tabel 5 Gemiddeld behaalde productieresultaten per volièresysteem en behandeling

Volièresysteem	Kenmerk	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²
Volièresysteem 1	Uitval (%)	0,16	0,16	0,00	0,48
	Leg %	92,86	91,41	93,58	92,16
	1 ^e soort (%)	96,00	96,21	96,98	96,46
	2 ^e soort (%)	2,09	2,09	1,45	2,02
	Struif (%)	0,47	0,34	0,38	0,37
	BNE (%)	1,44	1,36	1,19	1,14
Volièresysteem 2	Uitval (%)	0,33	0,00	0,17	0,17
	Leg %	92,70	92,69	93,18	95,04
	1 ^e soort (%)	98,10	97,16	94,76	97,05
	2 ^e soort (%)	1,29	1,52	1,78	1,26
	Struif (%)	0,25	0,28	0,25	0,22
	BNE (%)	0,36	1,03	3,21	1,47

BNE = Buiten Nest Eieren

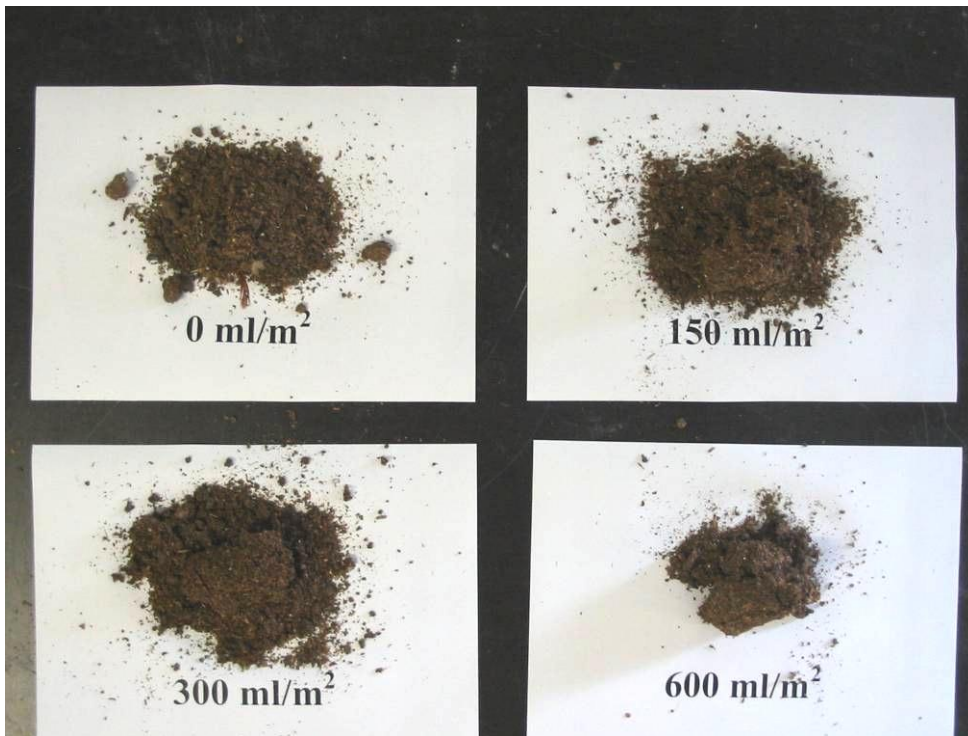
3.7 Strooiselkwaliteit

Het drogestofgehalte van het strooisel werd voor, na 11 dagen en na 24 dagen aanbrengen van de waterfilm bepaald. Gemiddeld genomen was het strooisel in de afdelingen met volièresysteem 1 droger dan die bij volièresysteem 2 (78,4 t.o.v. 75,3%). Het aanbrengen van een waterfilm resulteerde, ongeacht het volièresysteem, bij alle doseringen tot een afname van het drogestofgehalte van het strooisel. Naarmate er meer water werd aangewend nam het drogestofgehalte verder af. Bij de controle bleef het drogestofgehalte van het strooisel tijdens de proefperiode vrijwel gelijk (Tabel 8).



Figuur 11 Visuele strooiselkwaliteit per behandeling op dag 7 (voor aanbrengen waterfilm), 17 (na 7 dagen aanbrengen waterfilm) en 31 (na 21 dagen aanbrengen waterfilm). Links: score voor rulheid (1–10; volledig dichtgeslagen – volledig rul); Rechts: score voor vochtigheid (1–10; zeer vochtig – droog)

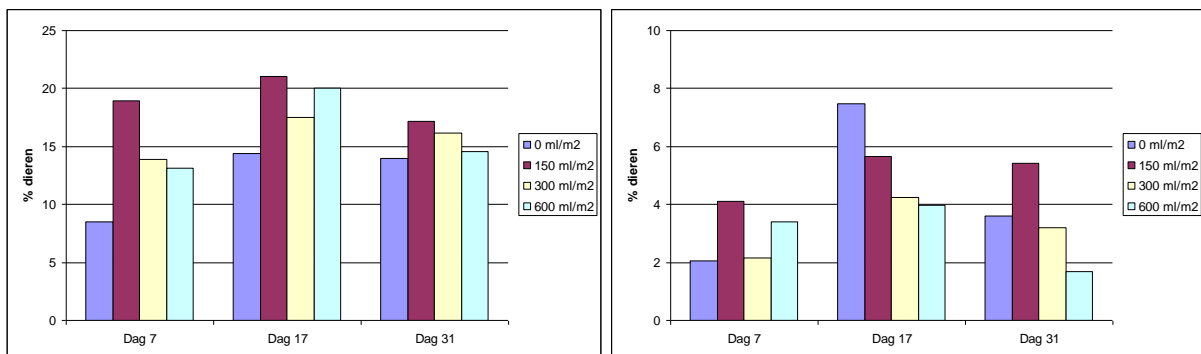
Niet alleen was er een toename van de vochtigheid van het strooisel waarneembaar, ook de rulheid nam af (Figuur 13). Naarmate er meer water werd aangebracht nam de rulheid van het strooisel verder af. Wanneer getracht werd van het strooisel een bal te maken door het strooisel in de hand samen te persen, dan blijkt dat dit niet mogelijk was bij het strooisel in de controleafdelingen: de bal viel direct uiteen. Naarmate er meer water werd aangebracht werd het steeds makkelijker een bal van het strooisel te maken (Figuur 14).



Figuur 12 Verschillen in strooiselkwaliteit tussen de verschillende behandelingen was op 34 dagen duidelijk zichtbaar

3.8 Gedrag van de hennen

Er waren geen verschillen in het percentage stofbadende en scharrelende hennen tussen beide volièresystemen, om deze reden worden de resultaten hiervan in figuur 11 gepresenteerd als gemiddelden over beide systemen. Het aanbrengen van een waterfilm had geen effect op het percentage stofbadende hennen, daarentegen nam het percentage scharrelende hennen af bij toenemende waterdosering.



Figuur 13 Percentage stofbadende (links) en scharrelende hennen (rechts) per behandeling op dag 7 (voor aanbrengen waterfilm), 17 (na 7 dagen aanbrengen waterfilm) en 31 (na 21 dagen aanbrengen waterfilm)

3.9 Exterieur van de hennen

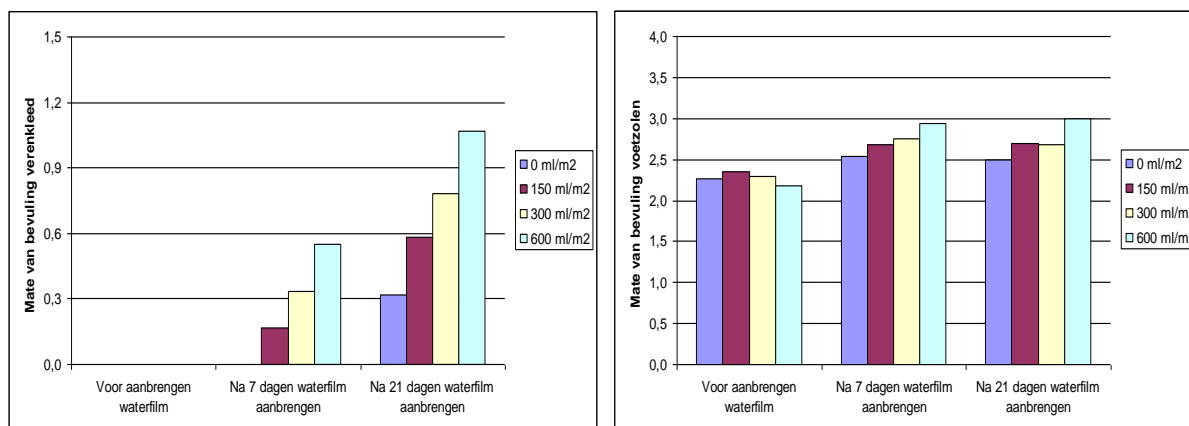
Het volièresysteem had geen effect op de kwaliteit van het verenpak van de hennen. Om deze reden worden in tabel 6 de effecten van het aanbrengen van verschillende doseringen waterfilm op de kwaliteit van het verenpak als gemiddelden over de beide volièresystemen weergegeven. Het blijkt dat het aanbrengen van een waterfilm en ook de dosering geen effect had op de kwaliteit van het verenpak (Tabel 6). Wel zichtbaar is dat de kwaliteit van het verenpak op verschillende delen, met uitzondering van de poten, verslechterde bij het ouder worden van de dieren.

Tabel 6 Kwaliteit¹ van het verenpak (mate van bevedering; gemiddeld over beide volièresystemen) bij de verschillende waterdoseringen voor het aanbrengen van de waterfilm (nulmeting), na 7 dagen aanbrengen waterfilm en na 21 dagen aanbrengen waterfilm

Tijdstip	Locatie	Gemiddeld over beide volièresystemen			
		0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²
Voor aanbrengen waterfilm (nulmeting)	Hals / nek	0,4	0,4	0,4	0,5
	Borst / buik	3,1	3,0	3,1	2,8
	Rug / vleugel / staart	0,0	0,0	0,0	0,0
	Poten	0,0	0,0	0,0	0,0
Na 7 dagen waterfilm aanbrengen	Hals / nek	1,2	1,1	1,1	1,0
	Borst / buik	3,9	3,9	3,8	3,9
	Rug / vleugel / staart	0,7	0,8	0,7	0,6
	Poten	0,0	0,0	0,0	0,0
Na 21 dagen waterfilm aanbrengen	Hals / nek	1,3	1,4	1,3	1,2
	Borst / buik	3,9	4,2	4,2	4,1
	Rug / vleugel / staart	0,5	0,5	1,0	0,6
	Poten	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Score 0: glad; score 1: ruw; score 2: gebroken; score 3: stoppelig; score 4: kalend; score 5: kaal

Het aanbrengen van een waterfilm leidde tot een toename van de bevulling van het verenkleed. Naarmate langer en meer water werd aangebracht nam de bevulling van het verenkleed toe (Figuur 12). Hoewel het effect minder uitgesproken is dan bij het verenkleed, nam ook de bevulling van de voetzolen toe naarmate er meer water werd aangebracht op het strooisel.



Figuur 14 Effect aanbrengen waterfilm op strooisel op de mate van bevulling van het verenkleed (links) en voetzolen (rechts)

Tabel 7 Gemiddeld ventilatiedebiet, PM2.5-concentratie, PM2.5-emissie, PM10-concentratie, PM10-emissie, ammoniakconcentratie en ammoniakemissie per behandeling weergegeven per voliëresysteem en gemiddeld over beide voliëresystemen. Tussen haakjes zijn de standaard deviaties vermeld.

Kenmerk	Voliëresysteem 1				Voliëresysteem 2				Gemiddeld			
	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²
Debiet, (m ³ /dier per uur)	4,38 (±0,75)	4,16 (±1,00)	4,22 (±1,47)	4,71 (±1,40)	3,63 (±0,59)	4,84 (±1,19)	3,72 (±1,03)	3,38 (±0,73)	4,01 (±0,73)	4,50 (±1,05)	3,97 (±1,17)	4,05 (±1,24)
PM2.5												
Concentratie (mg/m ³)	0,25 (±0,01)	0,17 (±0,08)	0,12 (±0,03)	0,07 (±0,02)	0,21 (±0,03)	0,09 (±0,01)	0,09 (±0,01)	0,12 (±0,06)	0,23 (±0,03)	0,13 (±0,07)	0,10 (±0,02)	0,09 (±0,04)
Emissie (g/dier per jr)	9,02 (±1,79)	5,36 (±1,84)	3,71 (±0,33)	2,53 (±0,61)	6,23 (±0,42)	3,19 (±1,26)	2,47 (±0,48)	2,97 (±1,15)	7,63 (±1,92)	4,28 (±1,87)	3,09 (±0,77)	2,75 (±0,86)
PM10												
Concentratie (mg/m ³)	2,46 (±0,06)	2,19 (±0,05)	1,26 (±0,12)	0,83 (±0,09)	2,21 (±0,14)	1,38 (±0,09)	1,39 (±0,22)	0,95 (±0,22)	2,33 (±0,17)	1,78 (±0,44)	1,32 (±0,17)	0,89 (±0,16)
Emissie (g/dier per jr)	96,9 (±10,2)	79,0 (±22,4)	43,6 (±12,8)	31,9 (±9,3)	66,6 (±7,2)	55,3 (±12,3)	41,8 (±5,9)	26,5 (±7,8)	81,7 (±18,1)	67,1 (±19,3)	42,7 (±9,0)	29,2 (±8,2)
Ammoniak												
Concentratie (mg/m ³)	6,75 (±0,98)	8,18 (±1,71)	12,18 (±1,82)	11,25 (±1,72)	7,34 (±1,57)	6,89 (±2,06)	11,98 (±2,83)	11,37 (±2,28)	7,04 (±1,21)	7,54 (±1,83)	12,08 (±2,13)	11,31 (±1,81)
Emissie (g/dier per jr)	175 (±55)	205 (±93)	293 (±60)	312 (±109)	156 (±50)	197 (±93)	255 (±56)	232 (±95)	166 (±48)	201 (±83)	274 (±56)	272 (±101)

Tabel 8 Drogestofgehalten van het strooisel bij de verschillende waterdoseringen per voliëresysteem en gemiddeld over beide voliëresystemen op dag 10 (voor aanbrengen waterfilm), 21 (na 11 dagen aanbrengen waterfilm) en dag 34 (na 24 dagen aanbrengen waterfilm)

	Voliëresysteem 1				Voliëresysteem 2				Gemiddeld			
	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²	0 ml/m ²	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²
Dag 10	82,4	81,6	80,9	81,4	77,5	76,7	78,5	77,8	80,0	79,2	79,7	79,6
Dag 21	82,0	80,1	76,3	71,4	77,7	76,1	72,2	70,0	79,9	78,1	74,2	70,7
Dag 34	80,8	78,3	75,8	69,2	78,5	74,7	74,6	69,2	79,6	76,5	75,2	69,2

4 Discussie

Het aanbrengen van een waterfilm had een duidelijk effect op de op de fijnstof-, ammoniak- en geuremissie uit volièrestallen voor leghennen (Tabel 9). In dit oriënterende onderzoek nam bij toenemende waterdosering de fijnstofemissie af, maar de ammoniakemissie toe. De geuremissie nam ook toe, maar deze toename was niet significant. De afname van de fijnstofemissie en de toename van de ammoniakemissie komen overeen met de resultaten van het onderzoek van Willes e.a. (1987). Bij het onderzoek van Willes werd echter niet specifiek het strooisel bevochtigd, maar werd gebruikt gemaakt van verdampingskoeling. Dit leidde tot minder stof, natter strooisel en een hogere ammoniakconcentratie. Ook Whyte (1993) vond bij vleeskuikens dat vochtiger strooisel kan leiden tot een verhoogde ammoniakproductie. Du-Toit (1987) vond bij vleeskuikens een toename van de geuremissie bij een toename van het vochtgehalte van het strooisel.

Tabel 9 Reducties (in % t.o.v. de controle) gemiddeld over beide volièresystemen voor persoonlijke blootstelling aan fijn stof, PM10-, PM2.5-, ammoniak- en geuremissie

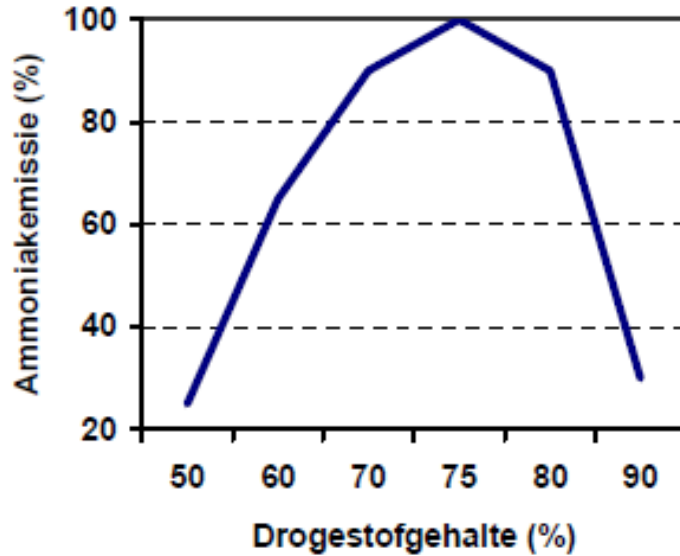
Parameter	150 ml/m ²	300 ml/m ²	600 ml/m ²
Persoonsgebonden stof	33	41	57
PM10 emissie	18	48	64
PM2.5 emissie	44	59	64
Ammoniak	- 21	- 65	- 64
Geur	- 66	- 160	- 69

De duur van aanbrengen van de waterfilm was beperkt (24 dagen). Het is de vraag wat de effecten van het aanbrengen van een waterfilm gedurende een volledige of een groot deel van de legperiode zijn op de emissies van fijn stof, ammoniak en geur, maar ook wat de effecten zijn op de gedragingen van de kippen, de bevuiling van de kippen en de eieren.

Het aanbrengen van een waterfilm leidde bij de hoogste twee doseringen tot een duidelijk slechtere strooiselkwaliteit. Gezien de beperkte periode (leeftijdstraject) waarin dit onderzoek is uitgevoerd, is het heel goed mogelijk dat er op de lange termijn wel effecten optreden op de gedragingen van de hennen en/of de mate van bevuiling van de eieren. Immers, het langdurig aanbrengen van een waterfilm zou kunnen leiden tot een verdere afname van de strooiselkwaliteit: natter en minder rul. Enerzijds zou hierdoor meer bevuiling van het dier (verenkleed en poten) kunnen optreden en als gevolg hiervan mogelijk vuilere legnesten met als gevolg mogelijk meer bevuiling van de eieren. Anderzijds zouden de dieren minder scharrelgedrag kunnen uitvoeren omdat er geen / weinig rul of los strooisel hiervoor voorhanden is.

Het is niet te verwachten dat de effecten op de fijnstofemissies of de blootstelling aan fijn stof anders zullen worden bij het langdurig aanbrengen van een waterfilm bij deze doseringen. Wanneer door het langduriger aanbrengen van een waterfilm de strooiselkwaliteit nog verder zou afnemen, zal vermoedelijk de fijnstofemissie ook afnemen, aangezien er minder fijn stof kan vrijkomen uit het strooisel (de belangrijkste bron van fijn stof). Daarnaast zou de ammoniakemissie wel eens lager kunnen worden. Het langduriger aanbrengen van een waterfilm zal leiden tot een verdere afname van het drogestofgehalte van het strooisel. Volgens Groot Koerkamp et al. (2000) neemt de ammoniavorming in mest (of strooisel) bij vleeskuikens af als het drogestofgehalte in de mest lager is dan 60% of hoger dan 80%. (Figuur 15). Daartussen zijn de omstandigheden voor het vormen van ammoniak optimaal. De emissie is maximaal bij een drogestofpercentage van 75%. Het is dus aannemelijk dat de ammoniakemissie zal afnemen bij een verdere afname van het drogestofgehalte (zeker wanneer dit beneden de 60% komt).

Welke effecten van het langdurig aanbrengen van een waterfilm op de geuremissie mogen worden verwacht is niet duidelijk. Wanneer dit leidt tot een verdere afname van het drogestofgehalte van het strooisel dan is een toename van de geuruitstoot niet uit te sluiten (Du-Toit, 1987).



Figuur 15 Schematisch verloop NH₃-emissie uit strooisel als functie van het drogestofgehalte, uit Groot Koerkamp et al.(2000)

Hoewel dit onderzoek, zoals eerder reeds aangegeven, slechts een beperkt deel van de legperiode omvatte waren er duidelijke verschillen in fijnstof-, ammoniak- en geuremissie tussen de beide onderzochte volièresystemen (Tabel 10). Deze emissies waren bij volièresysteem 1 (Natura Nova van Big Dutchman) hoger dan bij volièresysteem 2 (BLA systeem van Meller). De Buissonje e.a. (2009) vonden ook lagere fijnstofemissies bij volièresysteem 2. De auteurs hadden hiervoor geen duidelijke verklaring maar suggereerden dat dit veroorzaakt kon zijn door het gebruik van andere materialen en een andere opbouw van het systeem waardoor minder stof wordt gevormd. Ook zou de uitvoering van het volièresysteem hierbij een rol kunnen spelen. Door de uitvoering van het volièresysteem is het voor het dier mogelijk minder aantrekkelijk te scharrelen in het strooisel en het verblijf op de etages juist meer aantrekkelijk. Wanneer er minder wordt gescharreld, wordt er minder stof in de lucht gebracht. Ook is het oppervlakte aan 'onbedekt' strooisel bij volièresysteem 2 geringer, hetgeen ook een mogelijke verklaring kan zijn voor de gevonden lagere emissies bij dit volièresysteem.

Tabel 10 Emissies van PM10, PM2.5, ammoniak en geur per volièresysteem

Parameter	Volièresysteem 1	Volièresysteem 2
PM10 emissie (g/dier/jaar)	62,9	47,5
PM2.5 emissie (g/dier/jaar)	5,16	3,72
Ammoniak (g/dier/jaar)	246	210
Geur (OU _E /s/dier)	0,70	0,61

¹ Niet gecorrigeerd voor leegstand

5 Conclusies

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het aanbrengen van een waterfilm lijkt een zeer effectieve techniek om de fijnstofemissie uit leghennenstallen met voliëresystemen te reduceren.
- De fijnstofemissie nam af bij een toenemende waterdosering. Bij de laagste waterdosering (150 ml/m²) bedroeg gemiddeld over beide voliëresystemen de PM10- en PM2.5-emissie respectievelijk 67,1 en 4,28 gram/dier/jaar, bij de hoogste waterdosering (600 ml/m²) was dit respectievelijk 29,2 en 2,75 gram/dier/jaar.
- Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel leidde tot een aanzienlijke verlaging van de persoonlijke blootstelling aan fijnstof.
- Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel leidde tot een toename van de ammoniakemissie met 16 – 61 procent.
- Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel leidde tot een toename van de geuremissie met 60 – 152 procent, dit verschil was echter niet significant.
- Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel leidde tot vochtiger en minder rul strooisel, desondanks is er geen verschil gevonden in het percentage scharrelende hennen. Het percentage stofbadende hennen nam wel af.
- Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel had geen effect op kwaliteit van het verenpak (=de mate van bevedering /kaalheid) van de hennen, wel nam de bevulling van het verenkleed en voetzolen toe.

6 Aanbevelingen

Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel blijkt een effectieve maatregel te zijn om de fijnstofemissie uit voliërestallen voor leghennen te reduceren. Aangezien er voor leghennen (in voliëre huisvesting) nog weinig emissiereducerende maatregelen voorhanden zijn lijkt het zinvol dit systeem verder te optimaliseren. Wel dienen eerst de negatieve effecten op de ammoniak(- en geur)emissie te worden geminimaliseerd. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door:

- het frequenter aanbrengen van een waterfilm (geringere hoeveelheden per keer), of;
- door het vernevelen van water waaraan een middel is toegevoegd dat de ammoniakvorming of de ammoniakvervluchting remt.

Geadviseerd wordt om deze oplossingsrichtingen voor het tegengaan van de negatieve effecten van het aanbrengen van een waterfilm te onderzoeken. Indien succesvol kan het verder ontwikkeld worden als een effectieve oplossingsrichting voor het reduceren van fijnstofconcentraties in en fijnstofemissie uit leghennenstallen.

Literatuur

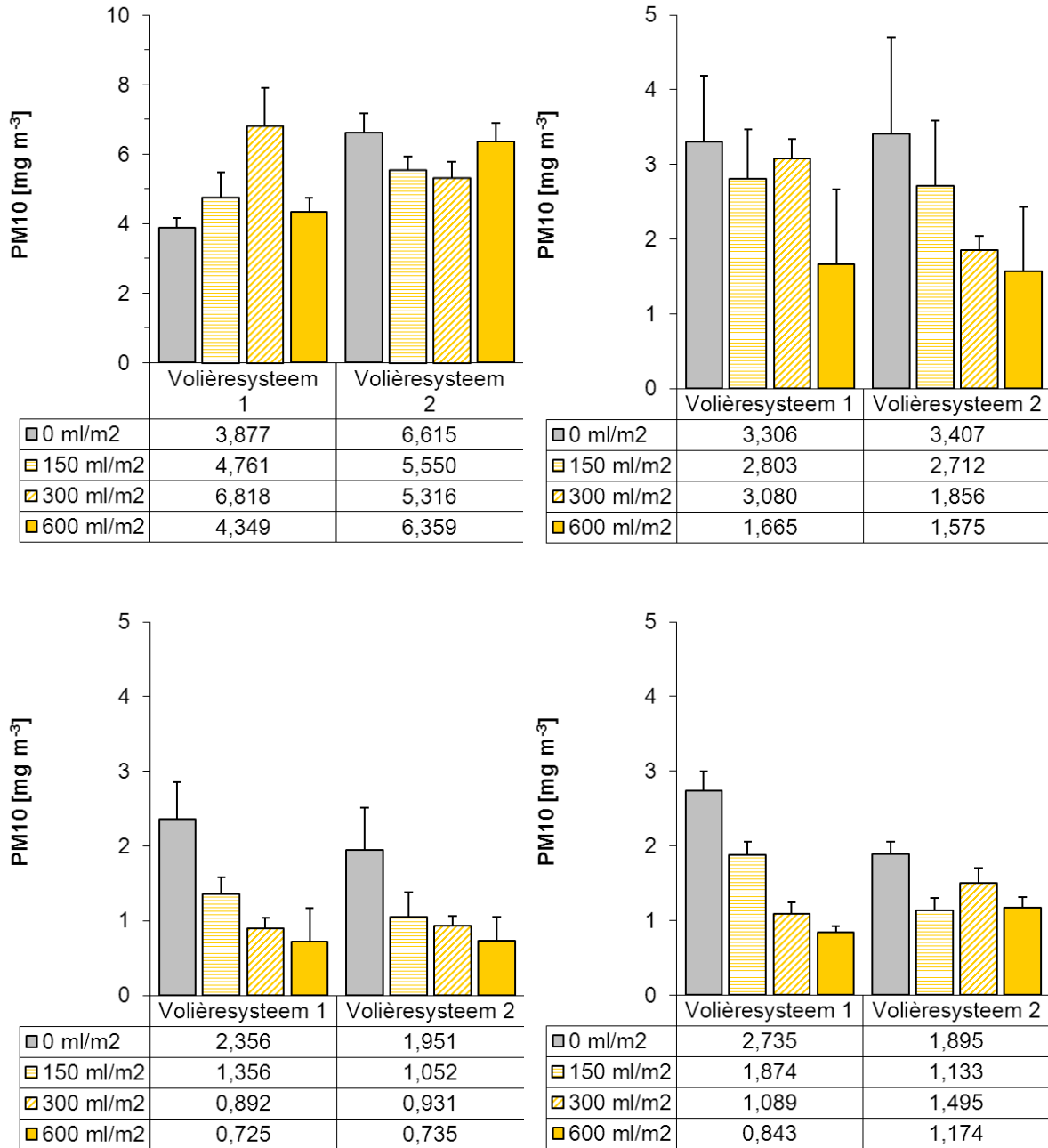
- Buisonjé, F.E. de, A.J.A. Aarnink. 2008. Opties voor reductie van stofemissies in pluimveestallen. Rapport 128, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Buisonjé, F.E. de, N.G.J. Hannink, G.H. Vunderink, F. Pouls, J. Mosquera Losada en A.J.A. Aarnink. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; effect van een oliefilm op het strooisel in volièrehuisvesting voor leghennen. Rapport 195, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- 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).
- Du-Toit, A. J. 1987. Quantification of odour problems associated with liquid and solid feedlot and poultry wastes. *Water Sci. Technol.* 19:31–41.
- Ellen, H.H.; Harn, J. van (2010). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; studie naar mogelijkheden van aanbrengen waterfilm op strooisel. Rapport 357, Wageningen UR Livestock Research.
- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H. van Middelkoop, E. Evers. 2000. Ammoniakemissie vleeskuikenstallen toegenomen. *Pluimveehouderij* (30)21:10-11.
- Milieu en NatuurCompendium, 2008. Emissies koolmonoxide, fijn stof en VOS per doelgroep (NEC). <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0181-CO%2C-fijn-stof%2C-en-VOS-emissies-per-doelgroep%2C-volgens-NEC.html?i=14-70>. Bezocht op 18 november 2009.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegetrouwheid aan te tonen van meetmethoden. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the PM2.5 mass fraction of suspended particulate matter. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M., A.J.A. Aarnink. 2009. Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij. Rapport 113, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- 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. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- Willis, W. L., M. D. Ouart, and C. L. Quarles. 1987. Effect of an evaporative cooling and dust control system in rearing environment and performance of male broiler chickens. *Poult. Sci.* 66:1590–1593.
- Winkel, A., J. Mosquera, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009c. Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 278, Wageningen UR Livestock Research.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. *Journal of Aerosol Science*, Vol. 40, Issue 10, October 2009, pp. 868-878.

Bijlagen

Bijlage 1 Voersamenstelling

Grondstoffen	
Maïs	45,04
Tarwe	17,60
Sojaschroot	16,00
Zonnebloemzaadschroot	10,00
Calciumcarbonaat	8,21
Plantaardige olie	1,80
Voormengsel	1,10
Aminozuren	0,25
Nutriëntengehalten	
OE leg (kcal/kg)	2775
Ruw eiwit (g/kg)	165
Ruw vet (g/kg)	50
Ruwe celstof (g/kg)	41
Ruw as (g/kg)	115
Vert. lysine (g/kg)	7,0
Vert. methionine (g/kg)	3,8
Vert. methionine+cystine (g/kg)	6,2
Vert. threonine (g/kg)	5,0
Vert. tryptofaan (g/kg)	1,6
Zetmeel (Eiwers) (g/kg)	405
Linolzuur (g/kg)	22
BCA (g/kg)	34,0
Opneembaar fosfor (OP) (g/kg)	2,7
Fosfor (g/kg)	4,3
Na (g/kg)	1,5
K (g/kg)	7,3

Bijlage 2 Resultaten persoonlijke blootstelling aan fijn stof



Figuur 16 Resultaten stofbelastingmetingen op dag 7, 17, 25 en 31 van de proefperiode
 Linksonder: Resultaten meting op dag 7 (= voor start aanbrengen waterfilm)
 Rechtsboven: Resultaten meting op dag 17 (= na 7 dagen aanbrengen waterfilm)
 Linksonder: Resultaten meting op dag 25 (= na 15 dagen aanbrengen waterfilm)
 Rechtsboven: Resultaten meting op dag 31 (= na 21 dagen aanbrengen waterfilm)



Wageningen UR Livestock Research

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

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