

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 573

Maatregelen ter vermindering van de
fijnstofemissie uit pluimveestallen: effecten
van het aanbrengen van een aangezuurde
waterfilm op het strooisel bij leghennen in
volièresystemen

Juni 2013



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,
2013

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

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research 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 en Central
Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting
Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen
met het Departement Dierwetenschappen van
Wageningen University de Animal Sciences Group
van Wageningen UR (University & Research
centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

This report describes the effects of application
of an acidified water film onto the litter floor of
aviary housing for laying hens on fine dust,
ammonia and odour emissions.

Keywords

Laying hens, acidified water film, bedding
material, fine dust, ammonia and odour

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

J. van Harn
H.H. Ellen
R.A. van Emous
N.W.M. Ogink

Titel

Maatregelen ter vermindering van de
fijnstofemissie uit pluimveestallen: effecten van
het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm
op het strooisel bij leghennen in
volièresystemen

Rapport 573

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten beschreven
van een onderzoek naar de effecten van het
aanbrengen van een aangezuurde waterfilm op
de strooiselvloer van volièrehuisvesting voor
legghennen op de fijnstof-, ammoniak- en
geuremissie.

Trefwoorden

Legghennen, waterfilm, strooisel, fijn stof,
ammoniak en geur



Rapport 573

Maatregelen ter vermindering van de
fijnstofemissie uit pluimveestallen: effecten
van het aanbrengen van een aangezuurde
waterfilm op het strooisel bij leghennen in
volièresystemen

Measures to reduce fine dust emission from
poultry houses: effects of application of an
acidified water film on the litter floor of laying
hen houses with aviary housing systems

J. van Harn
H.H. Ellen
R.A. van Emous
N.W.M. Ogink

Juni 2013

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek van het ministerie van Economische Zaken

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 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 waarbij zowel de fijnstofemissie uit de stal alsook de fijnstofconcentratie in de stal wordt gereduceerd. Zowel vanuit milieutechnische als arbeidstechnische overwegingen is er een behoefte om dergelijke technieken voor deze sector te ontwikkelen. Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel bleek een effectieve maatregel te zijn om de fijnstofemissie te reduceren, de ammoniakemissie nam echter toe. Het aanbrengen van een 'aangezuurde' waterfilm op het strooisel zou dit laatste mogelijk kunnen voorkomen. In dit onderzoek werd bestudeerd of het aanzuren van de waterfilm daadwerkelijk de ammoniakemissie uit leghennenstallen met volièrehuisvesting reduceert. Daarnaast werd gekeken naar de effecten op de strooiselkwaliteit, het dierenwelzijn en de fijnstof-, ammoniak- en geuremissie.

Via deze weg wil ik de collega's van pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' bedanken voor hun inzet en zorgvuldigheid bij het verzorgen van de dieren en het uitvoeren van het experiment. Verder wil ik de collega's van Wageningen UR Livestock Research bedanken voor het uitvoeren van de emissiemetingen en bijbehorende analyses, en het verzorgen van de rapportage. Tot slot wil ik de opdrachtgever, het Ministerie van Economische Zaken bedanken voor het begeleiden van dit onderzoek.

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 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 bij aan de emissie van fijnstof in Nederland. In de leghennensector zijn nog niet veel fijnstofemissie-arme technieken beschikbaar waarbij zowel de fijnstofconcentratie in de stal als de fijnstofemissie uit de stal wordt gereduceerd. Zowel vanuit milieutechnische als arbeidstechnische overwegingen is er een behoefte om dergelijke technieken voor deze sector te ontwikkelen. In eerder onderzoek bleek het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel een effectieve maatregel te zijn om de fijnstofemissie te reduceren, maar de ammoniakemissie nam hiermee toe. Uit vooronderzoek bleek dat aanzuren van de waterfilm de toename van de ammoniakemissie mogelijk zou kunnen voorkomen, terwijl de positieve effecten op de fijnstofemissie behouden blijven. In dit rapport wordt het onderzoek beschreven dat Wageningen UR Livestock Research heeft gedaan naar de effecten van het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm op de fijnstof-, ammoniak- en geuremissies.

Het onderzoek werd uitgevoerd in zes klimaatgescheiden afdelingen van de natuurlijk geventileerde leghennenstal P4 van pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' te Lelystad. Vier van de zes afdelingen waren ingericht met een voliëresysteem met niet-geïntegreerde legnesten (voliëresysteem 1), de andere twee met een portaalsysteem (voliëresysteem 2). Het onderzoek werd uitgevoerd met één merk leghennen (Lohmann Brown Lite). De hennen waren bij de start van het onderzoek bijna 72 weken (=503 dagen) oud. De proefperiode bedroeg 11 dagen en omvatte het leeftijdstraject 503 t/m 513 dagen. De volgende behandelingen werden vergeleken:

1. Controle; geen waterfilm (totaal: 0 ml water/m²)
2. Aanbrengen van 2x daags 150 ml 'aangezuurd' (1N H₂SO₄) water/m² (totaal: 300 ml water/m²)

Elke behandeling werd drie keer herhaald; twee keer bij voliëresysteem 1 en één keer bij voliëresysteem 2. De waterfilm werd handmatig aangebracht met behulp van een accurugspuit. Gemiddelde concentraties, emissies en emissiereducties van PM10 en PM2.5 stof werden gravimetrisch bepaald op dag 8 en 9 van de proefperiode. Op deze dagen werd tevens de gemiddelde concentraties, emissies en emissiereducties van ammoniak en geur bepaald. Tegelijk met de stof- en ammoniakmetingen werd van een 24-uursgemiddeld luchtmonster de CO₂-concentratie bepaald welke werd gebruikt voor het bepalen van het gemiddelde ventilatiedebiet via de CO₂-massabalansmethode. Naast deze milieumetingen werden productieresultaten (aantal en kwaliteit eieren, uitval), strooiselkwaliteit (drogestofgehalte en visuele strooiselkwaliteit), het scharrel- en stofbadgedrag van de dieren en de bevulling van het verenkleed en voetzolen gemeten.

Het tweemaal daags aanbrengen van een aangezuurde waterfilm gaf een reductie van de PM10 en PM2.5 emissie van gemiddeld respectievelijk 33 en 28%. Deze reducties in PM10 en PM2.5 emissies waren echter niet statistisch significant. Het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm leidde in dit onderzoek tot een geringe toename van zowel de ammoniak- als de geuremissie met 15%. Deze toenames in ammoniak en geuremissie waren echter niet significant. Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm had geen aantoonbare invloed op de productieresultaten (leg- en uitvalpercentage) en de eikwaliteit (2^e soort, breuk, kneus en buitennesteieren) van de leghennen. Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm leidde wel tot een afname van het drogestofgehalte van het strooisel. Er werden echter geen verschillen gevonden in de visuele rulheid en visuele vochtigheid van het strooisel. Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm had geen effect op de mate van bevulling van het verenkleed en voetzolen van de leghennen en ook niet op het scharrelgedrag van de leghennen. Daarentegen werd er minder stofbadgedrag waargenomen.

Hoewel de proefperiode (en het aantal waarnemingen) beperkt was (11 dagen) mag uit dit onderzoek voorzichtig worden geconcludeerd dat het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm een perspectiefvolle methode om de fijnstofemissie uit voliërestallen voor leghennen te verminderen. Het werken met aangezuurde middelen vraagt echter wel aandacht voor veiligheid van mens en dier en eventueel nadelige (lange termijn) effecten op stalinventaris. De ontwikkeling van een geautomatiseerd systeem waarbij aangezuurde middelen gericht worden aangewend op het strooisel zou de veiligheid voor mens en dier vergroten en aantasting van de stalinventaris kunnen vermijden.

Het ontwikkelen van een geautomatiseerd systeem lijkt wenselijk voor verdere implementatie van deze fijnstofreductie techniek. Daarnaast is het ook wenselijk te kijken naar andere additieven die eveneens de ammoniakvorming remmen.

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. Poultry houses are one of the major sources. Results of a recent study of Wageningen UR Livestock Research indicated that spraying water on the litter floor is an effective method to reduce the fine dust emissions from laying hen houses. However, this method also increased the ammonia emissions. From an exploratory study it was concluded that acidification of the water sprayed on the bedding material might prevent the increase of the ammonia emission. The objective of this study was to determine the effects of acidification of the water sprayed on the bedding material on the fine dust, ammonia and odour emissions from aviary housing systems for laying hens.

The study was performed in six climate separated rooms of the natural ventilated layer house P4 of poultry research farm 'Het Spelderholt', Lelystad. Four of the six rooms were furnished with an aviary system with non-integrated nest boxes (aviary system 1), the other four with a portal system (aviary system 2). The study was performed with Lohmann Brown Lite laying hens from 503 - 513 days of age (experimental period: 11 days). The following treatments were studied:

1. Control (no water film applied – 0 ml/m² water), and
2. Application of 150 ml acidified (1 N H₂SO₄) water twice a day (300 ml acidified water/m²).

Each treatment was replicated three times; twice in aviary system 1 and once in aviary system 2. The acidified water film was applied manually using a battery-powered backpack sprayer. Mean concentrations, emissions and emission reductions of PM₁₀ and PM_{2.5} were determined gravimetrically on days 8 and 9 of the experimental period. On these days also the mean concentrations, emissions and emission reductions of ammonia and odour were determined. On the measuring days of PM_{2.5}, PM₁₀ and ammonia, a 24-hour average air sample was taken and analysed for CO₂-concentration which was used to determine ventilation rates (CO₂ mass balance method). Besides these environmental measurements, performance results (number and quality of eggs), litter quality, scratching and dust bathing behaviour, and smoothening of the feather pack and foot pad were determined.

Spraying acidified water on the litter floor (300 ml/m²; (2 x 150 ml/m² per day) resulted in a reduction of PM₁₀ and PM_{2.5} emissions of 33% and 28%, respectively. However, these reductions were not statistically significant. The application of an acidified water film on the litter floor did not significantly stimulate ammonia emissions (15%) and had no adverse effect on odour emissions. Furthermore, no effect was found on bird mortality, laying percentage and the percentage of second grade eggs and floor eggs. A negative effect was found on the dry matter content of the litter. However, no effect was found for the visual wetness and friability of the litter. The application of an acidified water film on the litter floor had no adverse effects on the scratching behaviour and the severity of the smoothening of the plumage and foot pads of the animals. However, dust bathing behaviour of the laying hens was influenced adversely.

This study shows that spraying acidified water on litter floors could be a prospective measure to reduce fine dust emissions from aviary houses for laying hens. However, the application acidified water on farms is not without risks for human and animal health, and may have a negative long term effect on housing equipment.

The development of an automated system for application of acidified water on litter floors would increase safety for humans and animals and avoid possible damage to the inventory. The development of an automated system would be desirable for further implementation of this fine dust reduction technology. In addition, it would also be desirable to search for other water additives which reduces the formation and emission of ammonia.

Inhoudsopgave

Voorwoord

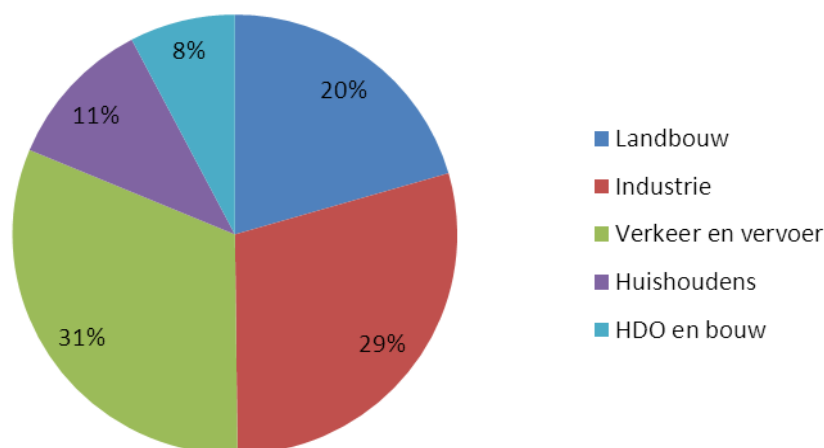
Samenvatting

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	6
2.10	Statistische analyse	10
3	Resultaten	11
3.1	Algemeen	11
3.2	Fijnstofemissie	11
3.3	Ammoniakemissie	12
3.4	Geur	13
3.5	Productieresultaten	14
3.6	Strooiselkwaliteit	15
3.7	Gedrag van de hennen	15
3.8	Bevuiling verenkleed en voetzolen	16
4	Discussie	17
5	Conclusies	19
6	Aanbevelingen	20
	Literatuur	21
	Bijlagen	22

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 landbouw draagt voor ongeveer 20% bij aan de primaire emissie van fijnstof in Nederland (Milieu en Natuur Compendium, 2010). Het merendeel van het fijne stof uit de landbouw komt uit varkens- en pluimveestallen (Chardon en Van der Hoek, 2002; 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 en Aarnink, 2009).



Figuur 1 Emissiebronnen van fijn stof (PM10) in 2010
Bron: Emissieregistratie (CBS, 22 augustus 2011)

Voor de legsector zijn er, in tegenstelling tot de vleeskuikensector, nog niet zoveel perspectievolle maatregelen voorhanden die zowel de fijnstofconcentratie in de stal als de fijnstofemissie uit de stal reduceren. Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel bleek een effectieve maatregel te zijn om de fijnstofemissie te reduceren. Nadeel was echter dat de ammoniakemissie toenam (Van Harn et al., 2011a; Van Harn et al., 2011b). Door het toevoegen van ammoniakemissie-remmende additieven aan het water kan dit ongewenste neveneffect mogelijk worden teruggedrongen. In een voorstudie van (van Harn et al. 2011c) is op basis van een literatuurstudie een keuze gemaakt voor het licht aanzuren van de waterfilm als de beste kandidaat voor een dergelijk additief. In deze keuze is gelet op veiligheid en welzijn voor mens en dier enerzijds en de te verwachten ammoniakreducerende werking anderzijds. In deze voorstudie is met meetboxen tevens oriënterend onderzoek verricht naar een behandeling van strooisel in een leghennenstal met een licht aangezuurde waterfilm. Het vooronderzoek gaf aan dat de aangezuurde waterfilm de ammoniakemissie terugdrong. Op basis van dit onderzoek is besloten over te gaan tot de uitvoering van het voorliggende experiment

In dit onderzoek werd bestudeerd of het aanzuren van de waterfilm de toename van de ammoniakemissie kan verminderen of kan voorkomen. Daarnaast werden de effecten bestudeerd op: fijnstofemissie, geuremissie, productieresultaten, strooiselkwaliteit, scharrel- en stofbadgedrag van de hennen en bevuilding van het verenkleed en voetzolen van de hennen.

2 Materiaal en methode

2.1 Accommodatie

Het onderzoek werd uitgevoerd in leghennenstal P4 van Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' in Lelystad (Figuur 2). 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, waardoor er acht klimaatgescheiden afdelingen werden verkregen.



Figuur 2 Leghennenstal P4 van Pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' in Lelystad

Voor dit onderzoek werden 6 klimaatgescheiden afdelingen gebruikt. Vier hiervan 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 de andere twee met een portaalsysteem (BLA van de firma Meller, afdelingen 451 en 452 – hierna te noemen voliëresysteem 2). In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de kenmerken van beide typen voliëresystemen. In figuur 3 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 bijna 72 weken (=503 dagen) oud. De proefperiode omvatte 11 dagen liep van 16 t/m 26 mei 2011 (leeftijd hennen: 503 t/m 513 dagen).

Tabel 1 Kenmerken voliëresystemen in leghennenstal P4 gebruikt in dit onderzoek

Kenmerk	Voliëresysteem 1	Voliëresysteem 2
Aantal afdelingen	4	2
Afdelingsnummers	2-1, 2-2, 4-1 en 4-2	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 diervverblijf 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 diervverblijf (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 voliëresysteem	Niet-geïntegr. legnesten	Portaalsysteem
Aantal voliëreopstellingen per afdeling	1	1
Aantal leefniveaus	3	2
Afmetingen voliëreopstelling (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 voliëreopstelling)	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 voliëreopstelling)	3 Waterlijnen met elk 30 drinknippels, met lekbakjes, 90	2 Waterlijnen met elk 34 drinknippels, met lekbakjes, 68
- Drinknippels in totaal	Nee	Ja
- Schrikdraad op drinklijnen	3 stuks, Polypropyleen	2 stuks, Polypropyleen
Mestbanden (per voliëreopstelling)	7,35 x 1,80 m	6,90 x 1,06 m
- Afmetingen (l x b enkelzijdig)	Wekelijks	Wekelijks
- Frequentie van afdraaien	Ja, 1 buis per mestband	Ja, 1 buis per mestband
Mestbeluchting	57	36
- Aantal gaatjes per buis	8 mm	8 mm
- Diameter gaatje	Ja	Ja
Lichtsnoeren onder voliëresysteem	6 HF TL lampen en 6 regelbare lichtvensters in plafond	6 HF TL lampen en 6 regelbare lichtvensters in plafond
Verlichting van boven	Nee	Nee
Schrikdraad langs zijwanden	Nee	Nee

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



Figuur 3 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	Waterfilm: aanbrengen van 2x daags 150 ml 'aangezuurd' water/m ² (totaal: 300 ml water/m ²)

De waterfilm werd aangezuurd met zwavelzuur (H₂SO₄), en wel zodanig dat de concentratie van de oplossing 1 N (= 0,5 mol H₂SO₄ per liter) bedroeg. Beide behandelingen werden twee keer bij voliëresysteem 1 herhaald over de afdelingen en één keer bij voliëresysteem 2 (Tabel 3).

Tabel 3 Verdeling van de proefbehandelingen over de afdelingen

Voliëresysteem	Voliëresysteem 1		Voliëresysteem 1		Voliëresysteem 2	
Afdeling nr.	421	422	441	442	451	452
	1	2	2	1	1	2

2.4 Aanbrengen waterfilm

De waterfilm werd vanaf dag 0 (= 503 dagen leeftijd leghennen) van de proefperiode 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 (= 300 ml/m² strooiseloppervlak) werd in twee keer aangebracht: de eerste keer om 07:00u 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.



Figuur 4 Tweemaal daags werd handmatig een waterfilm aangebracht m.b.v. een accurugspuit

2.5 Voer en water

De hennen werden gevoerd met Legmeel 2 van de Superreeks van de firma ForFarmers (Bijlage 1). Naast dit legmeel werd 1% kippengrit verstrekt. 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 natuurlijke ventilatie. Elke afdeling werd apart geventileerd door middel van mestbandbeluchting (= minimumventilatie, ca. 1 m³ 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 (streeftemperatuur: 18 °C). Voor de minimumventilatie van 1 m³ per hen per uur werd de mestbandbeluchting van voliëresysteem 1 en 2 ingesteld op respectievelijk 55% en 35% ventilatiecapaciteit.

2.8 Strooisel

Het oorspronkelijke strooiselmateriaal was houtkrullen. In de afdelingen lag een laag van 3-5 cm strooiselmest.

2.9 Waarnemingen

Fijnstofmetingen (verzamelmonster 24 uur, gravimetrisch)

Voor de bepaling van de PM10 en PM2.5 concentraties werd op 8 en 9 dagen van de proefperiode (leeftijd hennen respectievelijk 511 en 512 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 5 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 5, boven). De PM10 cycloon scheidt de PM10 stofdeeltjes van de grotere stofdeeltjes en verzamelt deze op een glasvezelfilter na 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 standaard condities 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 5, 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:

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



Figuur 5 Monsterapparatuur voor PM10 en PM2.5. Linksboven (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 het 24-uurs verloop van de PM10-concentratie. Rechtsonder: positie van monstername in de stal, ca. 1,5 m onder de nok (meetgalg met ophangpunten voor meetkoppen).

24-uurs verloop PM10-concentratie

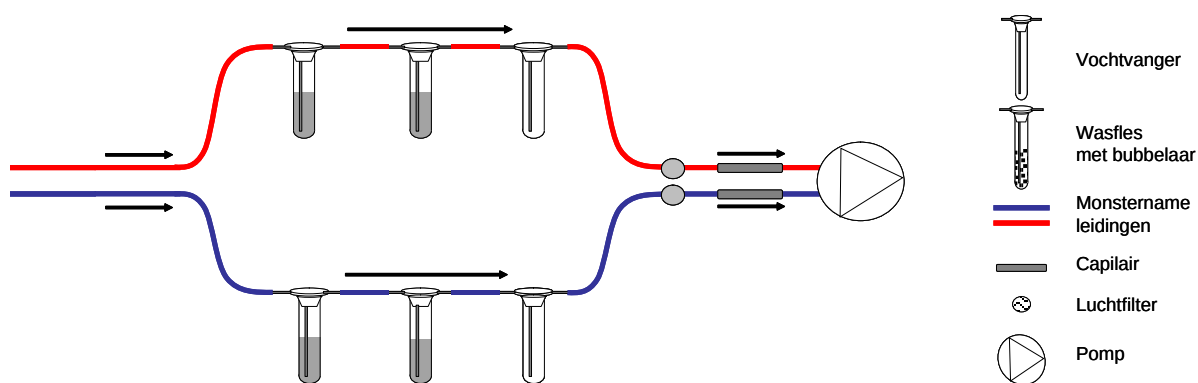
Op de meetdagen van fijnstof (gravimetrisch) werd met behulp van een DustTrak model 8520 (TSI, VS; Figuur 5, linksonder) het 24-uurs verloop van de PM10-concentratie gemeten. PM10 concentraties werden elke seconde gemeten en minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van de DustTrak. De minuutgemiddelden 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 gespoeld 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 8 en 9.

Ammoniakmetingen

Op dezelfde dagen als de fijnstofmetingen (dag 8 en 9 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 6). 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 6 Meetopstelling natchemisch methode voor ammoniakemissiemetingen

Geurmetingen

Op dag 8 en 9 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 monsternaleiding 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 dat is geaccrediteerd voor het uitvoeren van geuranalyses volgens de norm EN 13725. 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/m^3 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). Het ventilatiedebiet V (m^3/uur per dier) wordt 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 (PM2.5, PM10 en ammoniak)

Jaaremissies (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.

Productieresultaten

Elke ochtend werden de eierbanden van de legnesten afgedraaid en werd een controlerende 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.

Gedrag van de hennen (stofbad- en scharrelgedrag)

Het gedrag van de hennen werd op dag 7 visueel beoordeeld. Hiertoe werden per afdeling twee gebieden (voorin en achterin; ca. $3 \times 1,5 \text{ m}$ elk) bekeken. De waarnemingen aan het gedrag vonden telkens plaats tussen 11:30 en 14:00 uur. In deze tijdspanne 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. Voor aanvang van de proefperiode (= voor het aanbrengen van de 'aangezuurde' waterfilm) werd een zgn. nulmeting uitgevoerd.

Exterieur van de hennen (bevedering en bevulling)

Op dezelfde dagen dat het gedrag van de hennen werd bestudeerd (dag 7) werd de bevulling van het verenpak en voetzolen visueel beoordeeld. Hierbij werd een vangkooi in de afdeling geplaatst waarachter minimaal 30 kippen werden gedreven. Vervolgens werd bij 30 achter het vanghek opgesloten kippen de mate van bevulling van het verenpak en de voetzolen gescoord. De bevulling werd gescoord in 4 klassen: 0 (schoon), 1 (poezelig), 2 (vuil) en 3 (smerig). Voor aanvang van het aanbrengen van de waterfilm werd een zogenaamde nulmeting uitgevoerd.

Strooiselkwaliteit (rulheid, visuele droogheid en drogestofgehalte)

Vlak voor de start van de proefperiode (= nulmeting) en op dag 7 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 vlak voor de start van de proefperiode (= nulmeting) en op dag 6 en 10 van de proefperiode 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:

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

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);

2.10 Statistische analyse

Alle data zijn statistisch geanalyseerd met de REML procedure van Genstat Release 14.1 (2011). De emissie- (fijnstof, ammoniak en geur), gedrag-, exterieur- en strooiselkwaliteitgegevens werden geanalyseerd gebruik makend van een tijdreeksmodel (AR1) op basis van dagnummer, met als verklarende variabelen volièresysteem, behandeling, dagnummer en de interactie tussen deze variabelen. Aangezien de productiegegevens alleen over de gehele periode zijn bepaald is in dit analysemodel het dagnummer (inclusief tijdreeksanalyse) weggelaten. Het model kan als volgt worden genoteerd:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{Behandeling}_i + \text{Volière}_j + \text{Dagnr}_k + \text{Behandeling}_i * \text{Volière}_j + \text{Behandeling}_i * \text{Dagnr}_k + \text{Volière}_j * \text{Dagnr}_k + \text{Behandeling}_i * \text{Volière}_j * \text{Dagnr}_k + e_{ijklm}$$

Waarin: Y_{ijklm} = kenmerk

μ = constante

Behandeling_i = effect behandeling (1= controle; 2= aangezuurde waterfilm)

Volière_j = effect volièresysteem (1 = volièresysteem 1; 2 = volièresysteem 2)

Dagnr_k = effect van dag van meten

$\text{Behandeling}_i * \text{Volière}_j$ = interactie effect tussen behandeling en volière

$\text{Behandeling}_i * \text{Dagnr}_k$ = interactie effect tussen behandeling en dagnummer

$\text{Volière}_j * \text{Dagnr}_k$ = interactie effect tussen volière en dagnummer

$\text{Behandeling}_i * \text{Volière}_j * \text{Dagnr}_k$ = drieweg interactie tussen behandeling, volière en dagnummer

e_{ijklm} = restvariatie

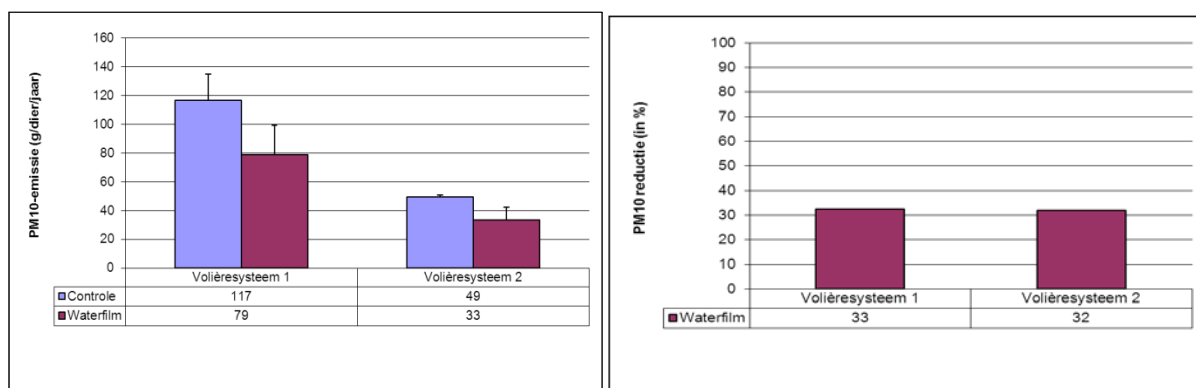
3 Resultaten

3.1 Algemeen

Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm is geheel conform planning verlopen; gemiddeld werd $299,1 \pm 3,4$ ml/m² per dag aangebracht, dit is bijna de geplande dosering van 300 ml/m² per dag. Kort na het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm was er in de stalruimte een 'rotte eieren geur' waarneembaar. De indruk bestond dat naar mate de proefperiode vorderde en er dus langer en vaker een waterfilm was aangebracht deze geur minder waarneembaar was.

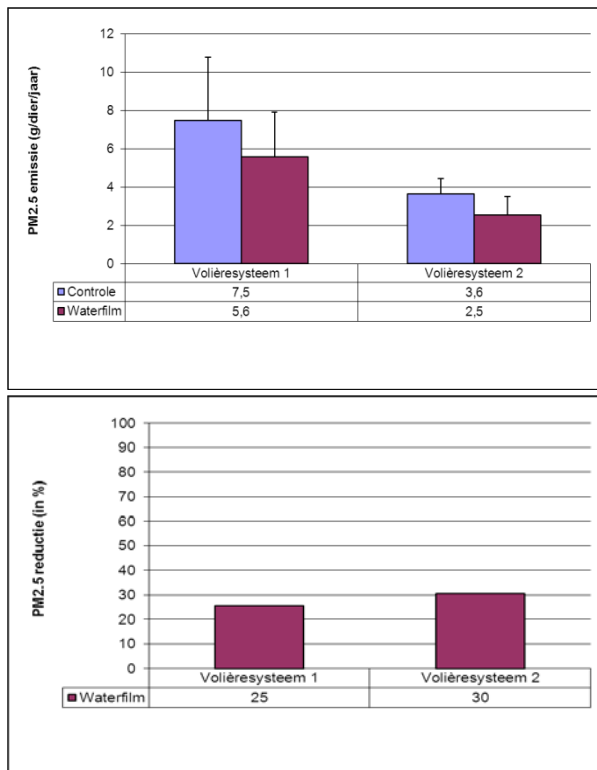
3.2 Fijnstofemissie

In figuur 7 worden de PM10 emissies per behandeling per voliëresysteem weergegeven. Tevens worden per voliëresysteem de gerealiseerde reducties ten opzichte van de controle weergegeven. Het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel van leghennen in voliëresystemen reduceerde gemiddeld over beide voliëresystemen de PM10 emissie met 33 %. De verschillen in PM10 emissie waren echter niet significant ($P=0,22$). Het voliëresysteem lijkt invloed te hebben op de PM10 emissie: de PM10 emissie was bij voliëresysteem 1 bijna 2,4 keer zo hoog als bij voliëresysteem 2 ($P=0,09$).



Figuur 7 Gemiddelde PM10 emissie (g/dierplaats per jaar) per behandeling en voliëresysteem (links) en gerealiseerde reductie (in % t.o.v. de controle) op basis van gravimetrische metingen. De foutbalken (links) geven de standaarddeviatie weer.

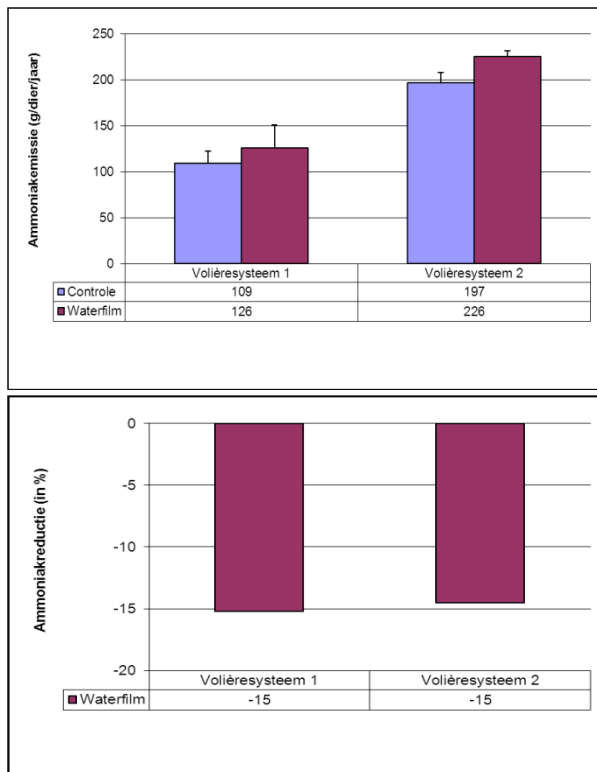
In figuur 8 worden, conform PM10 emissies, per voliëresysteem de PM2.5 emissies per behandeling weergegeven. Tevens worden de gerealiseerde reducties ten opzichte van de controle weergegeven. Het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm leidde tot een vermindering van de PM2.5 emissie. Gemiddeld over beide voliëresystemen bedroeg de reductie 28%. De vermindering van de PM2.5 emissie was echter niet significant ($P=0,51$). Hoewel de PM2.5 emissie bij voliëresysteem 1 ruim twee keer zo hoog was als bij voliëresysteem 2 (6,6 t.o.v. 3,1 g/dierplaats per jaar), had het voliëresysteem geen significant invloed op de PM2.5 emissie ($P=0,25$).



Figuur 8 Gemiddelde PM2.5 emissie (g/dierplaats per jaar) per behandeling en volièresysteem (links) en gerealiseerde reductie (in % t.o.v. de controle) op basis van gravimetrische metingen. De foutbalken (links) geven de standaarddeviatie weer.

3.3 Ammoniakemissie

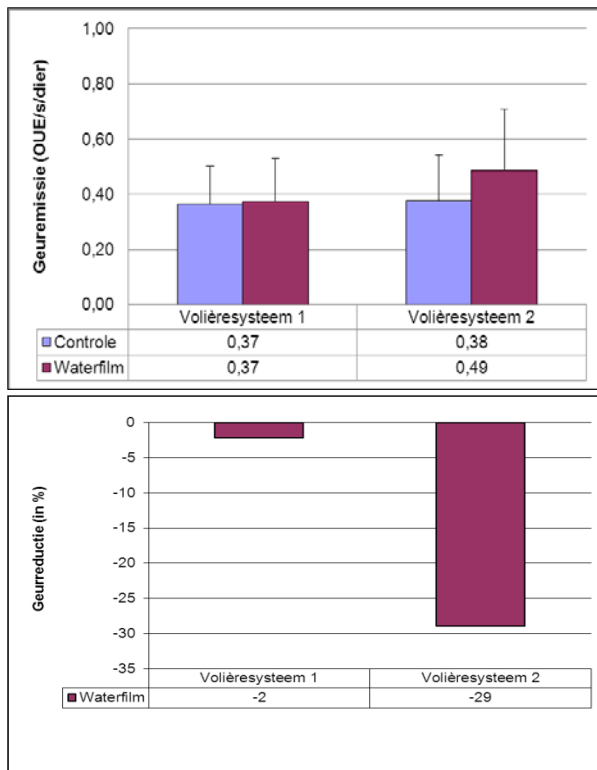
In figuur 9 wordt het effect van het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm op het strooisel op de ammoniakemissie grafisch weergegeven. Het aanzuren van de waterfilm leidde in dit onderzoek tot een numerieke, maar geen significante toename van de ammoniakemissie ($P=0,38$). De toename van de ammoniakemissie bedroeg bij beide volièresystemen 15%. Het volièresysteem had een significante invloed op de ammoniakemissie ($P=0,04$). De ammoniakemissie bij volièresysteem 2 was gemiddeld 1,8 keer hoger dan die bij volièresysteem 1.



Figuur 9 Gemiddelde ammoniakemissie (g/dierplaats per jaar) per behandeling en volièresysteem (links) en gerealiseerde reductie (in % t.o.v. de controle) per volièresysteem op basis van natchemische metingen. De foutbalken (links) geven de standaarddeviatie weer.

3.4 Geur

In figuur 10 wordt het effect van het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm op het strooisel van leghennen in volièresystemen op de geuremissie weergegeven. Gemiddeld over beide volièresystemen nam de geuremissie met 15% toe. Deze toename was echter niet significant ($P=0,67$). Hoewel de geuremissie bij volièresysteem 2 bijna twee keer zo hoog was in vergelijking met volièresysteem 1, had het volièresysteem geen significante invloed op de geuremissie ($P=0,55$).



Figuur 10 Gemiddelde geuremissie (OU_E/s/dier) per behandeling en volièresysteem en gerealiseerde reductie (in % t.o.v. de controle) per volièresysteem. De foutbalken (linker plaatje) geven de standaarddeviatie weer.

3.5 Productieresultaten

In tabel 4 zijn de productieresultaten (eiproductie, eikwaliteit en uitval) weergegeven per behandeling en volièresysteem. De productie van de hennen was gezien de leeftijd van de hennen goed te noemen (tabel 4).

Tabel 4 Gemiddeld behaalde productieresultaten per volièresysteem en behandeling

Volièresysteem	Kenmerk	Controle	Waterfilm
Volièresysteem 1	Uitval (%)	0,24	0,08
	Leg %	81,60	82,15
	1 ^e soort (%)	74,79	73,92
	2 ^e soort (%)	4,81	6,13
	Struif (%)	1,11	1,04
	BNE (%)	0,89	1,05
Volièresysteem 2	Uitval (%)	0,17	0,16
	Leg %	79,77	83,15
	1 ^e soort (%)	72,28	76,08
	2 ^e soort (%)	5,15	5,03
	Struif (%)	1,18	1,10
	BNE (%)	1,16	0,94

BNE = Buitennesteieren

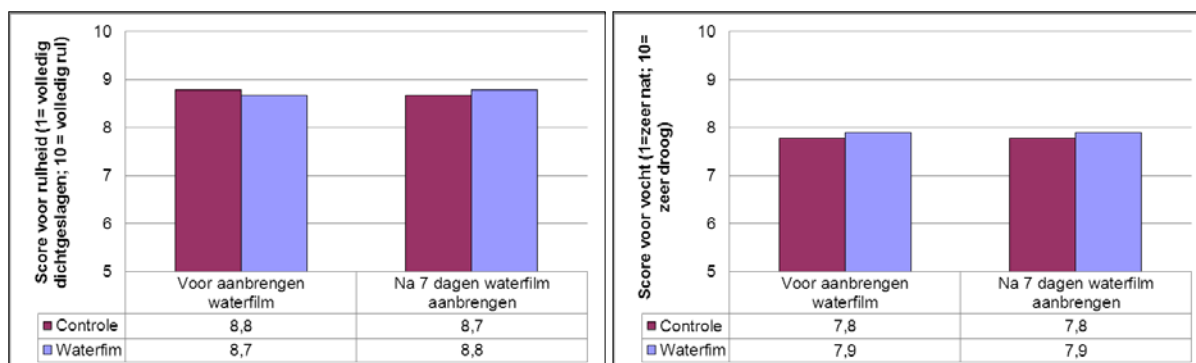
Uit de statistische analyse bleek dat de uitval, het legpercentage, het percentage eieren van de eerste soort, het percentage struifeieren en het percentage buitennesteieren niet werden beïnvloed door het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm.

3.6 Strooiselkwaliteit

In tabel 5 worden de drogestofgehaltes van het strooisel voor het aanbrengen van de waterfilm en na 6 en 10 dagen aanbrengen van de waterfilm voor beide voliëresystemen en gemiddeld over de beide voliëresystemen weergegeven. Uit deze tabel valt op te maken dat het drogestofgehalte van het strooisel voor het aanbrengen van de waterfilm (= dag -3) goed vergelijkbaar was. Door het aanbrengen van een waterfilm nam het drogestofgehalte van het strooisel af ($P=0,02$); op dag 10 van ca. 83 naar 79%. Het drogestofgehalte van het strooisel van voliëresysteem 1 was structureel hoger dan dat van voliëresysteem 2 ($P=0,03$). Gemiddeld bedroeg dit verschil bijna 5% (83,2 t.o.v. 78,4%). De resultaten van de drogestofbepalingen komen niet geheel overeen met de resultaten van de visuele beoordeling van de strooiselkwaliteit (Figuur 11). Na 7 dagen was er immers geen verschil in visuele vochtigheid. Ook werd er visueel geen verschil in de mate van rulheid gevonden.

Tabel 5 Drogestofgehaltes van het strooisel per voliëresysteem en gemiddeld over beide voliëresystemen op dag -3 (voor aanbrengen waterfilm) en na 6 en 10 dagen na start aanbrengen waterfilm

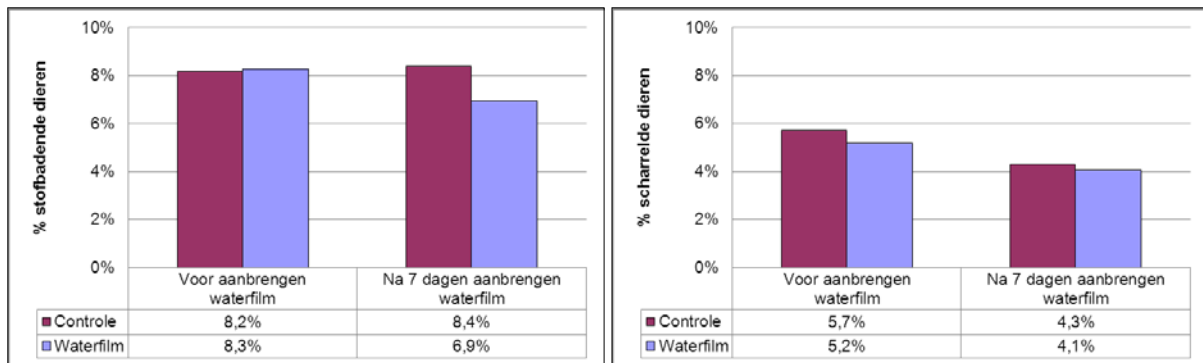
	Voliëresysteem 1		Voliëresysteem 2		Gemiddeld	
	Controle	Waterfilm	Controle	Waterfilm	Controle	Waterfilm
Dag -3	84,6	84,7	80,9	81,4	83,4	83,6
Dag 6	84,5	80,3	77,9	74,9	82,3	78,5
Dag 10	84,3	80,6	79,6	75,8	82,7	79,0



Figuur 11 Mate van rulheid (links) en vochtigheid (rechts) van het strooisel voor en na 7 dagen aanbrengen van de aangezuurde waterfilm op het strooisel

3.7 Gedrag van de hennen

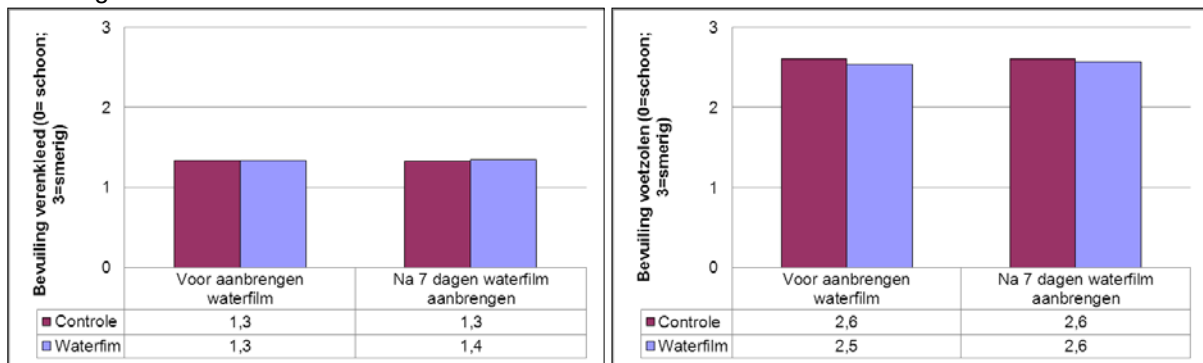
Uit de statistische analyse bleek dat het voliëresysteem geen effect had op het stofbad- en scharrelgedrag van de hennen. Om deze reden worden het stofbad- en scharrelgedrag van de hennen in figuur 12 weergegeven per proefbehandeling, gemiddeld over beide voliëresystemen. Uit deze figuur valt op te maken dat het aanbrengen van de waterfilm leidde tot een afname van het percentage stofbadende hennen ($P=0,02$). Het scharrelgedrag daarentegen werd niet beïnvloed door het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm op het strooisel ($P=0,40$).



Figuur 12 Percentage stofbadende (links) en scharrelende hennen (rechts) voor en na 7 dagen aanbrengen van de aangezuurde waterfilm op het strooisel

3.8 Bevuiling verenkleeft en voetzolen

In figuur 13 wordt de gemiddelde score voor de bevuiling van het verenkleeft en voetzolen weergegeven. Het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm had geen effect op de mate van bevuiling van het verenkleeft en voetzolen.



Figuur 13 Gemiddelde score voor de bevuiling van het verenkleeft (links) en voetzolen (rechts), gemiddeld over beide voliëresystemen, voor en na 7 dagen aanbrengen van de aangezuurde waterfilm

4 Discussie

In eerdere onderzoeken (Van Harn et al., 2011a en Van Harn et al., 2011b) leidde het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel in volièrestallen met leghennen tot een vermindering van de fijnstofemissie. In het onderhavige onderzoek resulteerde het aanbrengen van een (aangezuurde) waterfilm op het strooisel ook in een vermindering van de PM2.5 en PM10 emissie, maar de reducties waren in vergelijking met de eerdere onderzoeken lager (Tabel 6) en niet statistisch significant. De oorzaak van de lagere reductie moet waarschijnlijk gezocht worden in de duur/periode van het aanbrengen van de waterfilm. In dit onderzoek werden de fijnstofmetingen uitgevoerd na respectievelijk 8 en 9 dagen aanbrengen waterfilm, terwijl in eerdere onderzoeken de periode van aanbrengen van de waterfilm voorafgaand aan de metingen langer was (10, 17 en 24 dagen). Ook is het aantal herhalingen mogelijk te beperkt geweest.

Het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm liet een niet significante toename van de ammoniak- (+15%) en geuremissie (+11%) zien. In voorgaande proeven (Van Harn et al., 2011a; Van Harn et al., 2011b) leidde het aanbrengen van 300 ml water per m² strooiseloppervlak tot een toename van de ammoniakemissie met 65% en bijna 40%. De geuremissie nam in eerder uitgevoerd onderzoek toe met 160%.

Tabel 6 Gemiddelde gerealiseerde reducties over beide volièresystemen voor PM10-, PM2.5-, ammoniak- en geuremissie in deze proef en beide voorgaande proeven

Parameter	Dit onderzoek (16 t/m 26 mei 2011)	Rapport 425 (30 juli t/m 2 sept. 2010)	Rapport XXX (4 t/m 25 febr. 2011)
PM10	33	48	48
PM2.5	28	59	nb
Ammoniak	- 15	- 65	- 40
Geur	- 11	- 160	nb

nb= niet bepaald

Het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm had geen nadelige effecten op de productieresultaten van de dieren. Dit is in overeenstemming met eerdere onderzoeken (Van Harn et al., 2011a; Van Harn et al., 2011b). In het onderhavige onderzoek had het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm geen effect op het percentage scharrelende hennen en de bevulling van het verenkleed en voetzolen, wel werd ten opzichte van de controle een afname gevonden van het percentage stofbadende hennen. In het eerder uitgevoerd onderzoek (Van Harn et al., 2011a) resulteerde het aanbrengen van een waterfilm op het strooisel in vergelijking met de controle (=groep waarbij geen waterfilm op het strooisel werd aangebracht) in een toename van de bevulling van het verenkleed en de voetzolen en tot een afname van het percentage scharrelende hennen. Er werd echter in tegenstelling tot dit onderzoek geen effect op het percentage stofbadende hennen gevonden. Mogelijk speelt ook hier de beperkte proefperiode een rol. Immers; het langduriger aanbrengen zal resulteren in een verdere verslechtering van de strooiselkwaliteit en dus tot een grotere kans op bevulling van het verenkleed en de voetzolen en tot een afname van het scharrel- en stofbadgedrag van de leghennen.

Het aanbrengen van een aangezuurde waterfilm leidde in het onderhavige onderzoek tot een afname van het drogestofgehalte van het strooisel, maar visueel werd er geen verschil in strooiselkwaliteit (mate van rulheid en vochtigheid van het strooisel) gevonden. In eerder uitgevoerd onderzoek (Van Harn et al., 2011a) resulteerde het aanbrengen van een waterfilm zowel in een afname van het drogestofgehalte als visueel vochtiger en minder rul strooisel. Deze effecten waren al waarneembaar op zeven dagen na het aanbrengen van een waterfilm. In dit onderzoek werd na zeven dagen aanbrengen van de waterfilm geen verschil gevonden in de strooiselkwaliteit. Ook in een ander voorgaand onderzoek (Van Harn et al., 2011b) leidde het dagelijks aanbrengen van een waterfilm (300 ml/m² per dag) op het strooisel tot een lager drogestofgehalte van het strooisel. Dit verschil in het drogestofgehalte van het strooisel was al na een paar dagen aanbrengen van de waterfilm zichtbaar. In dat onderzoek is echter niet gekeken naar de bevulling en gedragingen van de dieren.

Het aanbrengen van een met zwavelzuur aangezuurde waterfilm lijkt te resulteren in het beoogde effect, namelijk een reductie van de fijnstofemissie zonder dat de ammoniakemissie toeneemt. Het werken met aangezuurde middelen vraagt echter wel aandacht voor veiligheid van mens en dier. Door het aanbrengen van de zuuroplossing te automatiseren wordt het risico voor de mens fors gereduceerd. Ook is niet duidelijk wat de lange termijn effecten zijn op de stalinventaris van het aanwenden van een zuuroplossing op het strooisel. Zuur is immers corrosief. Het gericht aanbrengen van de waterfilm met behulp van een geautomatiseerd systeem zou ook de mogelijke negatieve effecten op de stalinventaris kunnen vermijden.

Verder zou bij langdurige aanwending kunnen blijken dat er mogelijk veel minder zuur(oplossing) nodig is. Het zuur is immers bedoeld om de microbiële processen in het strooisel te remmen en zo de ammoniakvorming te remmen of stil te leggen. Ook is het de vraag of zwavelzuur het meest ideale zuur is om aan te brengen op het strooisel. Bij het aanbrengen op het strooisel ontstond kortstondig een onaangename geur mogelijk sulfiden die vrijkomen bij pH-wijzigingen in de strooisellaag. Het lijkt zinvol het gebruik van andere zuren of toevoegingen, die ook de ammoniakvorming of de ammoniakvervluchtiging remmen, nader te bestuderen of deze beter geschikt als toevoegmiddel aan de waterfilm.

5 Conclusies

Uit dit onderzoek waarbij 2x daags 150 ml een met zwavelzuur aangezuurde (1N H₂SO₄) waterfilm per m² strooiseloppervlak bij leghennen in volièresystemen werd aangebracht worden de volgende conclusies getrokken:

- Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm reduceerde de PM10 en PM2.5 emissie met gemiddeld respectievelijk 33% en 28%. De gevonden reducties waren echter niet significant.
- Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm leidde tot een niet significante toename van de ammoniak- en geuremissie van 15%.
- Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm had geen aantoonbare invloed op leg- en uitvalpercentage en eikwaliteit (2^e soort, breuk, kneus en buiten nest eieren).
- Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm leidde tot een afname van het drogestofgehalte van het strooisel. Visueel werden er geen verschillen gevonden in rulheid en mate van vochtigheid van het strooisel.
- Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm leidde tot een afname van het stofbadgedrag van de leghennen. Het scharrelgedrag werd niet beïnvloed.
- Het aanbrengen van de aangezuurde waterfilm had geen effect op de mate van bevuiling van het verenkleed en voetzolen van de leghennen.

6 Aanbevelingen

Het aanbrengen van een (aangezuurde) waterfilm is een effectieve methode om de fijnstofemissie uit volièrerestallen voor leghennen te verminderen. Ondanks de beperkte proefperiode (10 dagen), lijkt het aanzuren van de waterfilm de toename van de ammoniakemissie, die in de eerdere onderzoeken werd gevonden, te verminderen.

Er wordt geadviseerd het aanzuren van een waterfilm op praktijkschaal te valideren, doch met een geautomatiseerd systeem. De ontwikkeling van een dergelijk systeem dient nog plaats te vinden, maar mogelijk kan ook aangesloten worden bij de ontwikkeling van systemen voor de aanwending van oliefilm op strooisel.

In verband met de risico's die kleven aan zuur (veiligheid, corrosiviteit) wordt tevens geadviseerd ook andere additieven, die aan de waterfilm kunnen worden toegevoegd om de ammoniakvorming of de ammoniakvervluchtiging remmen, te bestuderen.

Literatuur

- Chardon, W. J., and K. W. Van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw [Calculation of particulate matter emissions from agriculture]. The National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) RIVM rapport 773004014. Bilthoven, the Netherlands.
- CBS, PBL, Wageningen UR. 2009. Emissies van fijn stof en VOS (NEC) en koolmonoxide 1990-2009. <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl>. CBS, Den Haag, PBL, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS (2011). StatLine: NEC-emissies naar lucht, VOS en PM10. CBS, Den Haag/Heerlen.
- Harn, J. van, H.E. Ellen, R.A. van Emous, J. Mosquera Losada, G.M. Nijeboer, F.A. Gerrits, A.J.A. Aarnink en N.W.M. Ogink (2011). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effect van een waterfilm op het strooisel op de fijnstofemissie bij leghennen in voliëresystemen. Rapport 425, Wageningen UR Livestock Research.
- Harn J. van, H.E. Ellen, J.W.H. Huis in 't Veld en N.W.M. Ogink (2011b). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effecten van de aanbrengfrequentie van een waterfilm op het strooisel bij leghennen in voliëresystemen. Rapport 565, Wageningen UR Livestock Research.
- Harn J. van, D. Starmans en N.W.M. Ogink (2011c). Oriënterend onderzoek naar toepassing van waterfilm met toevoegmiddel voor reductie van stofemissie uit leghennenstallen. Notitie Wageningen UR Livestock Research.
- 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.
- 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, C.M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in northern Europe. J. Agric. Engng Res. 70: 59-77.

Bijlagen

Bijlage 1 Voersamenstelling

Nutriëntengehalten	
OE leg (kcal/kg)	2776
Ruw eiwit (g/kg)	154
Ruw vet (g/kg)	49
Ruwe celstof (g/kg)	38
Ruw as (g/kg)	122
Vert. lysine (g/kg)	6,7
Vert. methionine (g/kg)	3,8
Vert. methionine+cystine (g/kg)	6,0
Vert. threonine (g/kg)	4,5
Vert. tryptofaan (g/kg)	1,5
Zetmeel (Eiwers) (g/kg)	423
Linolzuur (g/kg)	17
BCA (g/kg)	37,5
Opneembaar fosfor (g/kg)	2,5
Fosfor (g/kg)	4,0
Natrium (g/kg)	1,5
Kalium (g/kg)	6,2
Grondstoffen (in %)	
Maïs	45,04
Tarwe	20,80
Sojaschroot	12,10
Zonnebloemzaadschroot	9,60
Calciumcarbonaat	9,18
Plantaardige olie	1,80
Voormengsel	1,09
Aminozuren	0,40



Wageningen UR Livestock Research

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

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