

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 597

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij:
optimalisatie aanbrengen oliefilm op strooisel
bij leghennen in volièrehuisvesting

April 2012



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie en de Provincie Gelderland in het kader van het 'Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij' (Ogink en Aarnink, 2008)

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
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
onderzoeksoopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

This report describes research into the application of a film of rapeseed oil on the litter floor of aviary housing for laying hens as a mitigation measure for particulate matter. Distribution of the oil film over the floor and dose-effect relationships were investigated. Emission reductions for PM10 were 31, 64 and 81% at dosages of 15, 30 and 45 ml/m² respectively.

Keywords

Fine dust, PM10, PM2.5, emission, mitigation, oil film, laying hens

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

A. Winkel
R.A. van Emous
J. Mosquera Losada
G.M. Nijeboer
T.G. van Hattum
J.W. van Riel
A.J.A. Aarnink
N.W.M. Ogink

Titel

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij:
optimalisatie aanbrengen oliefilm op strooisel bij
legghennen in volièrehuisvesting

Rapport 597

Samenvatting

Dit rapport beschrijft onderzoek naar het aanbrengen van een film van koolzaadolie op de strooiselvloer van volièrehuisvesting voor legghennen, ter reductie van de fijnstofemissie. De verdeling van de toegediende olie over het vloeroppervlak en dosis-effectrelaties zijn onderzocht. De emissiereducties van PM10 bedroegen 31, 64 en 81% bij doseringen van respectievelijk 15, 30 en 45 ml/m².

Trefwoorden

Fijnstof, PM10, PM2,5, emissie, reductie, oliefilm, legghennen



Rapport 597

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie aanbrengen oliefilm op strooisel bij leghennen in volièrehuisvesting

Measures to reduce fine dust emission from poultry: optimization of oil application on litter of aviary housing for layers

A. Winkel

R.A. van Emous

J. Mosquera Losada

G.M. Nijeboer

T.G. van Hattum

J.W. van Riel

A.J.A. Aarnink

N.W.M. Ogink

April 2012

Voorwoord

In dit onderzoek is de verdeling van koolzaadolie bepaald dat werd aangebracht op de strooiselvloer van volièrehuisvesting voor leghennen met een oliefilmsysteem met vaste leidingen en nozzles. Verder is onderzocht welke fijnstofreducties worden behaald bij verschillende doseringen. Dit onderzoek biedt kennis waarmee oliefilmsystemen effectief kunnen worden ingezet in praktijkstallen.

Onze dank gaat uit naar de collega's van praktijkcentrum Het Spelderholt voor hun inzet en zorgvuldigheid bij het verzorgen van de dieren en het uitvoeren van het experiment. Dank is ook verschuldigd aan de begeleidingscommissie voor het begeleiden van het onderzoek. De inzet van alle betrokken is zeer gewaardeerd.

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

Samenvatting

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. Pluimveestallen vormen een belangrijke bron van fijnstof. Wageningen UR Livestock Research werkt binnen een plan van aanpak aan maatregelen en technieken die de fijnstofemissie uit pluimveestallen substantieel reduceren. Een van deze technieken is het aanbrengen van een film van koolzaadolie op het strooisel bij leghennen in volièrehuisvesting. De oliefilm werkt als een plaklaagje waardoor stofdeeltjes in het strooisel gebonden worden. Uit twee 'proof of principle' experimenten bij leghennen in volièrehuisvesting (een pilot in 2009 en een technisch experiment in 2010) bleek dat het aanbrengen van 20 en 12 ml koolzaadolie per m² strooisel per dag resulteerde in PM10 reducties tot ca. 40% terwijl bij vleeskuikens aanzienlijk hogere reducties tot ca. 85% worden behaald. In de onderhavige studie is onderzocht of een niet optimale verspreiding en/of een te lage oliedosering het tegenvallende resultaat bij leghennen kan verklaren. Dit optimalisatieonderzoek werd uitgevoerd in delen A en B.

In onderdeel A werd een 'bakkenproef' (verspreidingsproef) uitgevoerd aan het oliefilmsysteem met vaste olie- en luchtdrukleidingen in vier afdelingen van leghennenstal P4 van pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' te Lelystad. Tijdens deze proef werd een film van koolzaadolie aangebracht in een lege stal, onder dezelfde omstandigheden en met hetzelfde systeem als tijdens het technische 'proof of principle' experiment.

In onderdeel B werd het effect bestudeerd van 4 doseringen koolzaadolie (0, 15, 30 en 45 ml/m² per dag) op de concentraties, emissies en blootstelling van fijnstof en op de technische resultaten (eiproductie en uitval), het stofbad- en scharrelgedrag, de kaalheid en bevulling van de hennen en de strooiselkwaliteit. Het onderzoek werd uitgevoerd in 8 klimaatgescheiden afdelingen van leghennenstal P4 van pluimveeproefbedrijf 'Het Spelderholt' te Lelystad. De proefbehandelingen werden in twee volièresystemen (4 afdelingen per systeem) toegepast. Ook in de tijd werd de proef in zijn geheel herhaald; in totaal werden twee proefperiodes van elk 35 dagen uitgevoerd, waarop de oliefilm van dag 11 t/m 35 dagelijks werd aangebracht (24 keer). De oliefilm werd met een spuitlans handmatig en zeer gelijkmatig aangebracht. Concentraties van PM10 en PM2,5 werden gravimetrisch bepaald tijdens drie 24-uursmetingen per proefperiode (zes maal in totaal). Gelijktijdig werd een luchtmonster verzameld en geanalyseerd op de concentratie van CO₂. Deze data werden gebruikt om de ventilatiedebieten, en daarmee de fijnstofemissies, te bepalen middels de CO₂-massabalansmethode. De persoonlijke blootstelling aan PM10 stof werd met een optische techniek bepaald (viermaal per proefperiode). De technische resultaten (aantal en kwaliteit eieren, uitval) werden dagelijks genoteerd. Het scharrel-/stofbadgedrag, de kaalheid en vuilheid van het verenpak en de kwaliteit van het strooisel werden driemaal per proefperiode visueel beoordeeld. Tot slot werden strooiselmonsters genomen ter bepaling van het drogestofgehalte (viermaal per proefperiode).

Uit onderdeel A van dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken.

- Het oliefilmsysteem met vaste olie- en luchtdrukleidingen en nozzles verspreidt de film van koolzaadolie met name direct rond de nozzles (ca. 1,2 m² per nozzle). In totaal brengt het systeem een oliefilm aan op slechts ca. 30% van het totale strooiseloppervlak van leghennenstal P4.

Uit onderdeel B van dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken.

- Het (gelijkmatig, handmatig) aanbrengen van een oliefilm in doseringen van 15, 30 en 45 ml/m² resulteert in:
 - een PM10 concentratiereductie van respectievelijk gemiddeld 30%, 63% en 81% en een emissiereductie van respectievelijk gemiddeld 31%, 64% en 83%;
 - een PM2,5 concentratiereductie van respectievelijk gemiddeld 69%, 78% en 87% en een emissiereductie van respectievelijk gemiddeld 75%, 85% en 95%;
 - een PM10 blootstellingsreductie van respectievelijk gemiddeld 56%, 79% en 91%.
- Er bestaat geen aantoonbaar effect van het aanbrengen van een oliefilm op de kaalheid (bevedering) van hals/nek, borst/buik en poten. Er is een (klein) negatief effect van het aanbrengen een oliefilm in doseringen van 30 en 45 ml/m² op de kaalheid van rug/vleugels/staart, waarvoor geen verklaring bestaat. Een effect van de oliefilm op de bevedering wordt eerder verwacht bij lichaamsdelen die intensief in aanraking komen met het strooisel, zoals buik/borst en

poten; dit was echter niet het geval. Het kan hier gaan om een toevalseffect of een oorzakelijk effect. Dit aspect vraagt aandacht in vervolgonderzoek.

- Het aanbrengen van een oliefilm leidt tot aanzienlijk schonere voetzolen van de leghennen en dit effect neemt toe met de oliedosering. De vuilheid van het verenkleed wordt niet beïnvloed.
- Het aanbrengen van een oliefilm heeft geen effect op de uitval of op het legpercentage, het percentage eieren van de eerste soort, het percentage buitennesteieren of het percentage struifeieren. Er is een (klein) negatief effect op het percentage eieren van de tweede soort. Het kan hier gaan om een toevalseffect of een werkelijk oorzakelijk effect. Dit aspect vraagt aandacht in vervolgonderzoek.
- Het aanbrengen van een oliefilm heeft geen effect op het stofbad- en scharrelgedrag of de strooiselkwaliteit.

Uit het onderhavige optimalisatieonderzoek worden de volgende algemene conclusies getrokken.

- De eerder gebruikte oliedosering (12 ml/m^2) en het toegepaste oliefilmsysteem met een effectieve bedekking van ca. 30% van het strooiseloppervlak verklaren de lage fijnstofreducties in het technische 'proof of principle' onderzoek uit 2010.
- De resultaten bieden perspectief voor een effectieve praktijktoepassing mits toediening gelijkmatig plaatsvindt en voldoende hoge oliedoseringen ($>15 \text{ ml/m}^2$) worden gebruikt.

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. One of these solutions is the application of a film of rapeseed oil on the litter floor of housing systems for laying hens. The oil film functions as a thin and sticky top layer preventing particles in the litter to become airborne again. In two 'proof of principle experiments' in aviary houses for laying hens (a pilot study in 2009 and a technical experiment in 2010), the application of 20 and 12 ml of rapeseed oil per m² of litter resulted in fine dust reductions up to approximately 40%, whereas in broiler houses considerably higher reductions up to 85% have been found. In the current study, it was investigated whether a suboptimal distribution of oil over the floor surface area and/or a too low oil dose (ml/m²) can explain these poor reductions. This optimization study was done in two sections: A and B.

In section A, a spreading pattern experiment was carried out using the oil spraying system with oil pipes, air tubes and nozzles installed in four rooms of layer house P4 of the applied research centre 'Het Spelderholt' in Lelystad, The Netherlands. The experiment was carried out in four empty rooms, under the same conditions and with the same spraying system as the technical proof of principle experiment.

In section B, we investigated the effect of 4 dosages of rapeseed oil (0, 15, 30 and 45 ml/m² per day) on the concentrations, emissions and exposures of fine dust and on the technical results (egg production and mortality), dust bathing and scratching behaviour of the hens, feather coverage (boldness) and feather soiling and litter quality. The experiment was carried out in 8 climate-separated rooms of layer house P4 of the applied research centre 'Het Spelderholt' in Lelystad. The 4 treatments were applied in two aviary systems with 4 rooms each. The experiment was fully repeated in time during a second experimental period. Both experimental periods lasted for 35 days; from day 11 to 35 the oil film was applied onto the litter daily (24 times), using a spraying gun, ensuring equal spreading. Concentrations and emissions of PM10 and PM2.5 were determined gravimetrically during three 24h-measurements per period (6 times in total). Simultaneously, a 24-hour average air sample was taken and analysed for CO₂-concentration which was used to determine ventilation rates (CO₂ mass balance method). Personal PM10 exposure was measured with a light scattering method (4 times per period, 8 times in total). Technical results of the hens (number and quality of eggs) were recorded daily. Observations were made on dust bathing and scratching behaviour of the hens, feather coverage and feather soiling and litter quality (3 times per period, 6 times in total). Finally, litter samples were taken to determine dry matter contents (4 times per period, 8 times in total).

From section A of this study, the following conclusions are drawn.

- The oil spraying system with oil pipes, air tubes and nozzles spreads the oil film mainly close to the nozzle (approximately 1.2 m² per nozzle). The total spraying system is able to distribute the oil film on approximately 30% of the total litter floor surface area of the rooms in layer house P4.

From section B of this study, the following conclusions are drawn.

- The application of an oil film (manually, with equal distribution) in dosages of 15, 30 and 45 ml/m² results in:
 - a mean reduction of PM10 concentrations of 30%, 63% and 81% and a mean reduction in PM10 emissions of 31%, 64% and 83% respectively.
 - a mean reduction of PM2.5 concentrations of 69%, 78% and 87% and a mean reduction in PM2.5 emissions of 75%, 85% and 95% respectively.
 - a mean reduction of PM10 exposure of 56%, 79% and 91% respectively.
- There is no effect of the application of an oil film on the feather coverage of throat/neck, breast/abdomen or legs. There is a small negative effect of dosages of 30 and 45 ml/m² on the feather coverage of back/wings/tail, for which no explanation is apparent. Any effects would first be expected on body parts that come into close contact with the litter, like the abdomen/breast and legs, but this is not the case. This may be a coincidental false-positive result or a true causal effect. This aspect needs attention in future research.
- The application of an oil film leads to considerably cleaner foot pads in a dose-effect dependant manner. The tested oil dosages do not cause feather soiling.

- The application of an oil film does not affect mortality, percentage of first class eggs, percentage of floor/system eggs or the percentage of broken eggs. There is a slight negative effect on the percentage of second class eggs. This may be a coincidental false-positive result or a true causal effect. This aspect requires attention in future (validation) research.
- The application of an oil film does not affect dust bathing and scratching behaviour and litter quality.

From this optimization study, the following conclusions are drawn.

- The previously used oil dose (12 ml/m^2) as well as the previously used oil spraying system with an effective coverage of only 30% of the total litter floor surface area, both explain the low fine dust reductions found in the 'technical proof of principle study' of 2010.
- The results of the current study offer a good perspective for an effective application of oil films in laying hen houses in practice; application should be done with an equal distribution/spreading over the litter floor and in a sufficiently high dose ($> 15 \text{ ml/m}^2$).

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Onderdeel A: relatieve verspreiding van het oliefilmsysteem	3
2.1	Materiaal en methode	3
2.2	Resultaten	4
3	Onderdeel B: effect van oliedosering op fijnstofemissies	7
3.1	Materiaal en methode	7
3.1.1	Accommodatie	7
3.1.2	Dieren	7
3.1.3	Proefbehandelingen	10
3.1.4	Aanbrengen oliefilm	10
3.1.5	Voer en water	11
3.1.6	Uitloop	11
3.1.7	Verlichting	11
3.1.8	Klimaat	11
3.1.9	Strooisel	12
3.1.10	Metingen	12
3.1.11	Waarnemingen	14
3.1.12	Databewerking en statistische analyse	15
3.2	Resultaten	18
3.2.1	Verloop experiment: geplande en gerealiseerde oliedoseringen	18
3.2.2	Fijnstofconcentraties, -emissies en -reducties	18
3.2.3	Persoonlijke blootstelling aan fijnstof	19
3.2.4	Technische resultaten (eiproductie en uitval)	20
3.2.5	Kaalheid van het verenkleed	21
3.2.6	Bevuiling van verenkleed en voetzolen	22
3.2.7	Stofbad- en scharrelgedrag van de hennen	23
3.2.8	Strooiselkwaliteit	23
3.3	Discussie	24
4	Conclusies	27
	Literatuur	28
	Bijlagen	29
Bijlage A	Voersamenstelling	29
Bijlage B	Ventilatiegebieten tijdens de emissiemeetdagen	30
Bijlage C	Resultaten persoonlijke blootstelling PM10 per meetdag en afdeling	32
Bijlage D	Effect aanbrengen van olie op persoonlijke blootstelling PM10 na 24 uur	33
Bijlage E	Resultaten drogestofgehalte strooisel	34
Bijlage F	Relatie tussen olietemperatuur en olieopbrengst van de spuitlans	35
Bijlage G	Foto's bevuilingsklassen van de voetzolen	36

1 Inleiding

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. De veehouderij draagt voor ongeveer 20% bij aan de totale, jaarlijkse, primaire emissie van fijnstof in Nederland (Chardon en Van der Hoek, 2002; CBS, PBL en Wageningen UR, 2009; RIVM, 2009). Het merendeel van het fijne stof uit de landbouw komt uit varkens- en pluimveestallen (Takai et al., 1998). Met name pluimveestallen met strooiselvloeren dragen in belangrijke mate bij aan de emissie van fijnstof in Nederland. Wageningen UR Livestock Research werkt binnen een plan van aanpak aan maatregelen en technieken die de fijnstofemissie uit pluimveestallen substantieel reduceren (Ogink en Aarnink, 2008).

Een kosteneffectieve methode is het aanbrengen van een film van koolzaadolie op het strooisel (Aarnink en Ellen, 2006; De Buissonjé en Aarnink, 2008). De oliefilm werkt als een plaklaagje waardoor stofdeeltjes in het strooisel gebonden worden. In het kader van het genoemde plan van aanpak is in 2007 een oliefilmsysteem ontwikkeld voor vleeskuikens. Dit systeem, bestaande uit vaste olie- en luchtdrukleidingen met nozzles, brengt volautomatisch dagelijks een oliefilm aan op het strooisel. In een haalbaarheidsstudie is aangetoond dat deze techniek de fijnstofconcentraties en -emissies aanzienlijk reduceert (Aarnink et al., 2008). In 2008 is het systeem verder geoptimaliseerd (Winkel et al., 2009a) en daarna is het systeem d.m.v. validatiemetingen aan praktijkstallen gevalideerd (Winkel et al., 2011).

Om te bepalen of dit principe ook bij leghennenstallen perspectiefvol is, is in 2008 het effect van een oliefilm in twee typen volièresystemen onderzocht. Dit onderzoek werd uitgevoerd in leghennenstal P4 van praktijkcentrum Het Spelderholt te Lelystad. De oliefilm werd d.m.v. een handspuit op het strooisel aangebracht. De reductie bedroeg 25–40%, waarbij de reductie leek samen te hangen met het type volière (de Buissonjé et al., 2009).

Daarop is in 2009 een oliefilmsysteem geïnstalleerd en uitgetest in leghennenstal P4 (Winkel et al., 2009b). Het systeem bestond uit vaste olie- en luchtdrukleidingen met nozzles, aangebracht onder de onderste etage van het volièresysteem. De oliefilm werd elke nacht automatisch op de strooiselvloer verspreid in een dosering van 15 ml/m². De reducties in fijnstofemissie behaald met dit systeem hingen eveneens samen met het type volière: slechts in het Natura Nova (Big Dutchman) systeem werd een beperkte reductie gemeten; deze waren echter aanzienlijk lager dan die behaald bij vleeskuikens (Aarnink et al., 2008; Winkel et al., 2009a; Winkel et al., 2011). Hiervoor bestaan twee mogelijke oorzaken:

- a. de oliefilm werd door het vaste leidingensysteem onvoldoende gelijkmatig aangebracht over het strooiseloppervlak, en/of;
- b. bij leghennen is, mogelijk door een hogere dieractiviteit op het strooisel, een hogere oliedosering (ml/m²) nodig.

Tot slot werd in het onderzoek van Winkel et al. (2009b) een significant hogere uitval waargenomen in beide afdelingen waarin het oliefilmsysteem in werking was t.o.v. de twee controleafdelingen.

Doel

Met het onderhavige onderzoek werd beoogd om inzicht te krijgen in:

- a. de olieverspreiding van het oliefilmsysteem met vaste olie- en luchtdrukleidingen, en;
- b. de effecten van drie oliedoseringen op de concentraties, emissies en blootstelling van fijnstof en in de eventuele bijeffecten van de oliedoseringen op de technische resultaten, het stofbad- en scharrelgedrag van de hennen, de kaalheid en bevulling van de hennen en de strooiselkwaliteit.

Op basis van dit inzicht kan het principe van het aanbrengen van een oliefilm op het strooisel bij leghennen zodanig worden toegepast dat een voldoende fijnstofreductie wordt behaald zonder dat elders in het houderijsysteem ongewenste bijeffecten optreden.

Dit onderzoek bestond uit twee delen: onderdeel A en onderdeel B.

Onderdeel A

In onderdeel A van dit onderzoek werd middels een 'bakkenproef' vastgesteld hoe de relatieve verdeling van de oliefilm over het vloeroppervlak is. De proef werd in dezelfde stal en met hetzelfde

Onderdeel B

Daarna werden in deel B acht klimaatgescheiden afdelingen in deze stal gebruikt waarin jonge hennen werden geplaatst. Er werden vier oliedoseringen (0, 15, 30 en 45 ml/m² per dag) onderzocht in twee typen volièresystemen. In dit onderdeel werd de oliefilm dagelijks met een handsprit (zeer gelijkmatig verspreid) aangebracht, het vaste oliefilmsysteem werd niet gebruikt. In dit onderdeel werd een antwoord gezocht op de volgende vraagstellingen t.a.v. fijnstof:

1. wat is het effect van oliedosering op concentraties, emissies en reducties van fijnstof?
2. wat is het effect van oliedosering op de persoonlijke blootstelling aan fijnstof?

Verder werd aan de hand van de volgende vraagstellingen onderzocht of de (verwachte) fijnstofreducties gepaard kunnen gaan met (gunstige of ongunstige) effecten elders in het houderijsysteem:

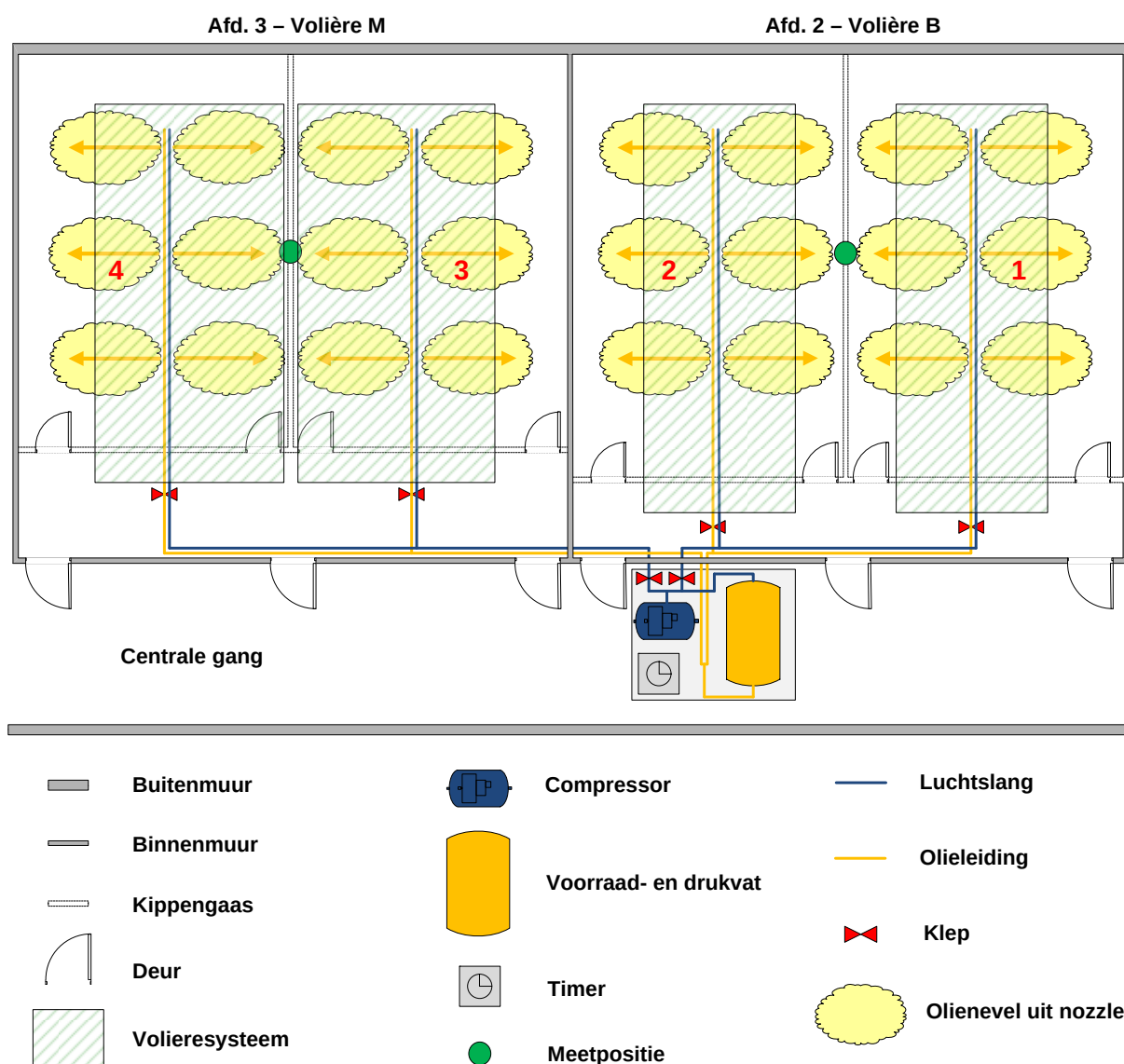
3. wat is het effect van oliedosering op de technische resultaten?
4. wat is het effect van oliedosering op het stofbad- en scharrelgedrag van de hennen?
5. wat is het effect van oliedosering op de kaalheid en vuilheid van de hennen?
6. wat is het effect van oliedosering op de strooiselkwaliteit?

2 Onderdeel A: relatieve verspreiding van het oliefilmsysteem

In onderdeel A van dit onderzoek is onderzocht of de beperkte fijnstofreductie behaald met het vaste oliefilmsysteem in het onderzoek van Winkel et al. (2009b) veroorzaakt is door een te beperkte verdeling van de oliefilm over het strooiseloppervlak.

2.1 Materiaal en methode

Bovenstaande vraagstelling is beantwoord door middel van 'bakkenproeven'; vergelijkbaar met het soort proeven waarmee het strooibeeld van kunstmeststrooiers wordt bepaald. De proef is uitgevoerd aan het vaste oliefilmsysteem waarmee twee klimaatgescheiden hoofdafdelingen van leghennenstal P4 van praktijkcentrum Het Spelderholt te Lelystad zijn uitgerust (Figuur 1; Afdelingen 2 en 3).



Figuur 1 Plattegrond van het oliefilmsysteem in leghennenstal P4 (Winkel et al., 2009b). Met nummers 1 t/m 4 zijn de nozzles aangegeven waaraan een bakkenproef is verricht

Op het moment van de proeven (februari/maart 2010) was leghennenstal P4 nog leeg. De jonge hennen voor onderdeel B van dit onderzoek waren nog niet gearriveerd. Omdat het systeem enkele maanden niet gebruikt was, is het gedeeltelijk gedemonteerd, gereinigd, opnieuw afgesteld, gevuld

met koolzaadolie en getest. De gebruikte koolzaadolie was afkomstig van de firma Solar Oil Systems (Boijl, Nederland). Het betrof zuivere koolzaadolie met een soortelijke massa van 0,93 kg/L.

Vervolgens is een aantal bakkenproeven uitgevoerd. Het vloeroppervlak voor een viertal nozzles is bedekt met een set van 48 plastic bakken (elk 40,5 x 29,5 cm; Figuur 2, links), opgesteld in 8 bakken breed (ca. 2,36 m) en 6 bakken ver (ca. 2,43 m). De overige 20 nozzles werden afgedekt met plastic kapjes waaronder een emmer werd geplaatst (Figuur 2, rechts).

Voor plaatsing werden de lege bakken afzonderlijk gewogen ter bepaling van het leeggewicht (uitlezing weegschaal op hele grammen). Daarna werd bij een bepaalde instelling van oliedruk en luchtdruk gedurende één minuut olie aangebracht. Daarna werden alle bakken weer gewogen (beladen gewicht). Het verschil in gewicht tussen beide wegingen is de hoeveelheid vernevelde olie (gram per bakje). De resultaten zijn omgerekend naar een procentuele verdeling van de aangebrachte olie over de 48 bakken.



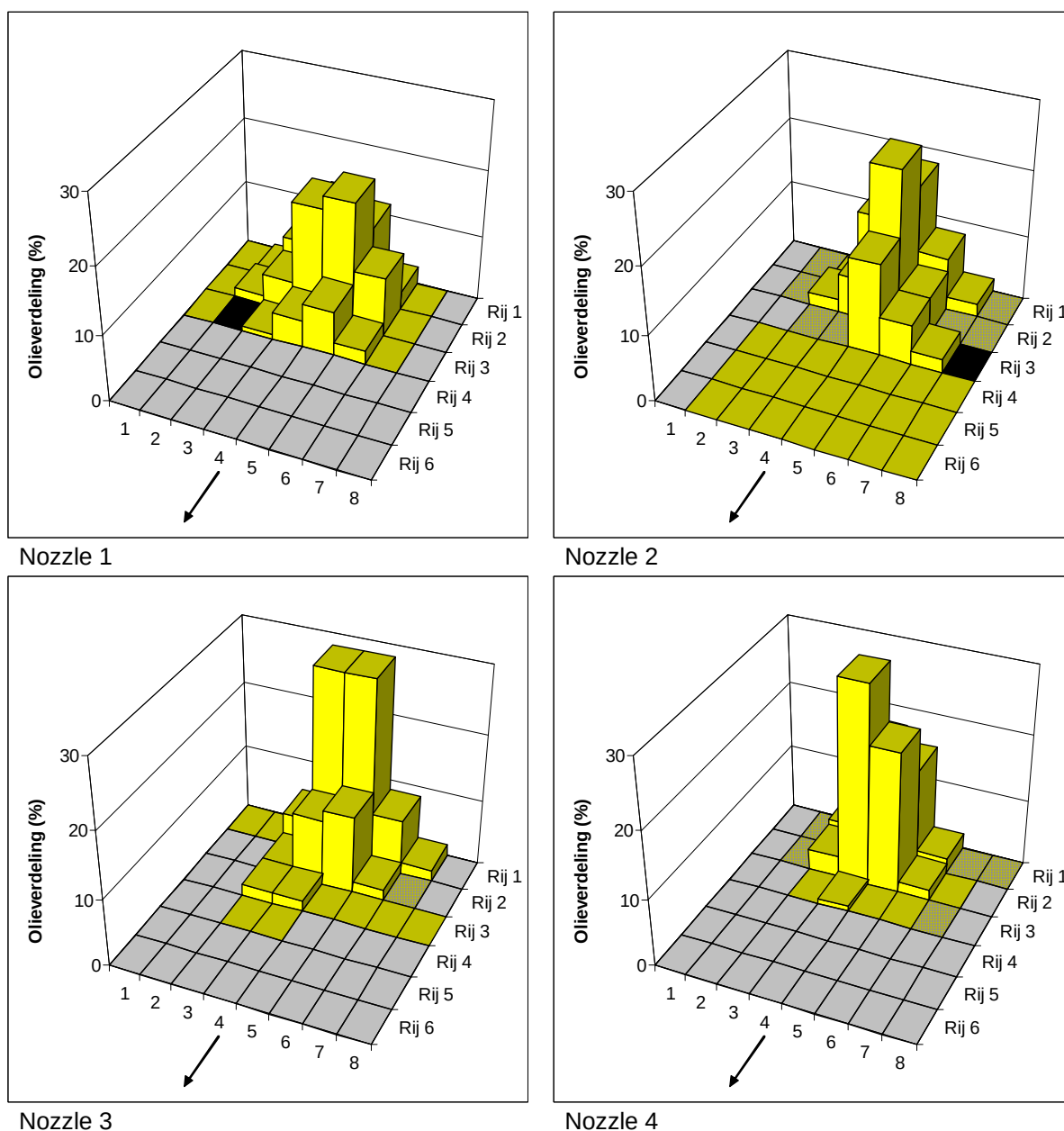
Figuur 2 Links: opstelling van de bakken voor één van de vier geteste nozzles (nozzle 2).
Rechts: afgedekte nozzle waarmee geen bakkenproef werd verricht

2.2 Resultaten

De resultaten van de bakkenproeven worden hierna weergegeven in driedimensionale staafdiagrammen; elke staaf stelt hierbij een bakje voor.

Bakkenproeven bij 1,0 bar oliedruk en 1,5 bar luchtdruk

De eerste bakkenproeven zijn uitgevoerd bij dezelfde oliedruk en luchtdruk als in het voorgaande onderzoek (Winkel et al., 2009b) (1,0 bar oliedruk en 1,5 bar luchtdruk). De resultaten worden weergegeven in Figuur 3. Uit deze figuur blijkt dat de oliefilm vooral vlak rond de nozzle werd aangebracht, op een vloeroppervlak van ca. 5 bakken (ca. 1,5 m) breed en ca. 3 bakken (ca. 1,2 m) ver werd aangebracht. Dit is een totaaloppervlak van ca. 1,8 m² per nozzle. Per hoofdafdeling (12 nozzles op ca. 80 m² strooiseloppervlak) is in het voorgaande onderzoek (Winkel et al., 2009b) ca. 22 m² strooisel van een oliefilm voorzien. Dit is slechts ca. 30% van het totale strooiseloppervlak. Op dit specifieke oppervlak is een hogere dosering aangebracht dan de in het voorgaande onderzoek geplande 15 ml/m², terwijl op het overige strooisel (70%) weinig of geen olie is aangebracht.



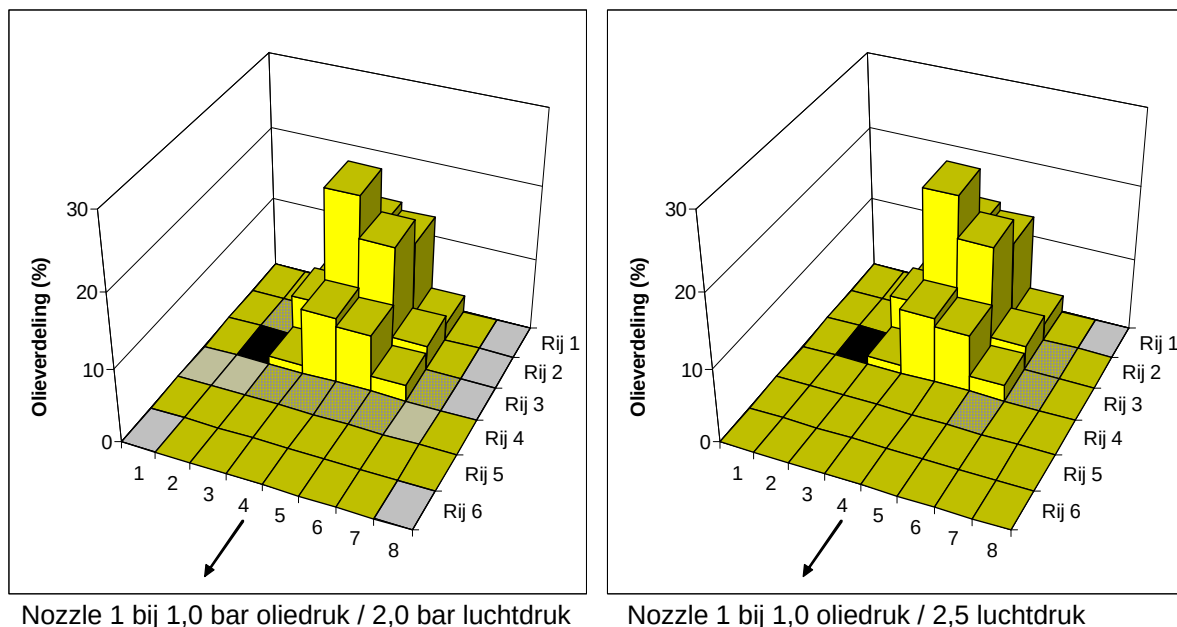
Figuur 3 Resultaten bakkenproeven bij 1,0 bar oliedruk en 1,5 bar luchtdruk

Legenda:

- Gele balken: oliefilm of laagje olie zichtbaar; meetbare oliefilm (> 1 g per bak)
- Gele vlakken: fijne oliefilm zichtbaar, geen meetbaar oliegewicht (<1 g per bak)
- Geelgrijs geblokte vlakken: oliedruppeltjes, geen meetbaar oliegewicht (<1 g per bak)
- Grijs vlakken: geen olie zichtbaar of meetbaar, geheel schone bakken
- Zwarte vlakken: vervallen, plaatsen bak niet mogelijk wegens poot volièrestelling

Bakkenproeven bij 1,0 bar oliedruk en 2,0 of 2,5 bar luchtdruk

Hierna is onderzocht of de worp kon worden verlengd (en het oppervlakte kon worden vergroot) door de luchtdruk te verhogen. Dezelfde bakkenproeven zijn nogmaals uitgevoerd bij 1,0 bar oliedruk / 2,0 bar luchtdruk en bij 1,0 bar oliedruk / 2,5 bar luchtdruk. Deze bakkenproeven gaven echter hetzelfde algemene beeld (Figuur 4). Ook nu werd de meeste olie aangebracht vlak rond de nozzle. Bij luchtdrukken van 2,0 en 2,5 bar trad verder ongewenste drift van de olienivel op. Dit is ook te zien in de met de luchtdruk toenemende oppervlak dat bedekt is met een zichtbare maar niet weegbare hoeveelheid olie.



Figuur 4 Resultaten bakkenproeven bij 1,0 bar oliedruk en 1,5 bar luchtdruk (links) of 1,0 bar oliedruk en 2,0 bar luchtdruk (rechts).

Legenda:

- Gele balken: oliefilm of laagje olie zichtbaar; meetbare oliefilm (> 1 g per bak)
- Gele vlakken: fijne oliefilm zichtbaar, geen meetbaar oliegewicht (<1 g per bak)
- Geelgrijs geblokte vlakken: oliedruppeltjes, geen meetbaar oliegewicht (<1 g per bak)
- Grijs vlakken: geen olie zichtbaar of meetbaar, geheel schone bakken
- Zwarte vlakken: vervallen, plaatsen bak niet mogelijk wegens poot volièrestelling

3 Onderdeel B: effect van oliedosering op fijnstofemissies

3.1 Materiaal en methode

3.1.1 Accommodatie

Ook dit deel van het onderzoek werd uitgevoerd in leghennenstal P4 van pluimveeproefbedrijf Het Spelderholt in Lelystad (Figuur 5). Stal P4 bestaat uit vier hoofdafdelingen welke d.m.v. kippengaas wanden verdeeld zijn in twee niet-klimaatgescheiden subafdelingen (totaal acht subafdelingen). Voor dit onderzoek zijn de kippengaas wanden dicht gemaakt, zodat acht klimaatgescheiden afdelingen werden verkregen (Figuur 7).



Figuur 5 Leghennenstal P4 van Praktijkcentrum 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; verder aangeduid als Voliëresysteem B) in afdelingen 2-1, 2-2, 4-1 en 4-2 en vier met een portaalsysteem (BLA van de firma Meller; verder aangeduid als voliëresysteem M) in de afdelingen 3-1, 3-2, 5-1 en 5-2. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de kenmerken van beide typen voliëresystemen. In Figuur 6 worden de verschillen tussen de voliëresystemen met foto's weergegeven.

3.1.2 Dieren

Per afdeling werden 620 leghennen geplaatst in de vier afdelingen met voliëresysteem B en 604 leghennen in de vier afdelingen met voliëresysteem M. De hennen waren van het merk Lohmann Brown Lite (Broederij en opfokbedrijf: Het Anker BV, Ochten). De hennen waren bij aankomst 18 weken + 0 dagen oud.

Alvorens met dit onderzoek te starten hadden de hennen gedurende 5 weken en 4 dagen de gelegenheid om te wennen aan de nieuwe stal en in eiproductie te komen. Ten tijde van de start van dit onderzoek waren de hennen 23 weken + 4 dagen oud en in volle productie.

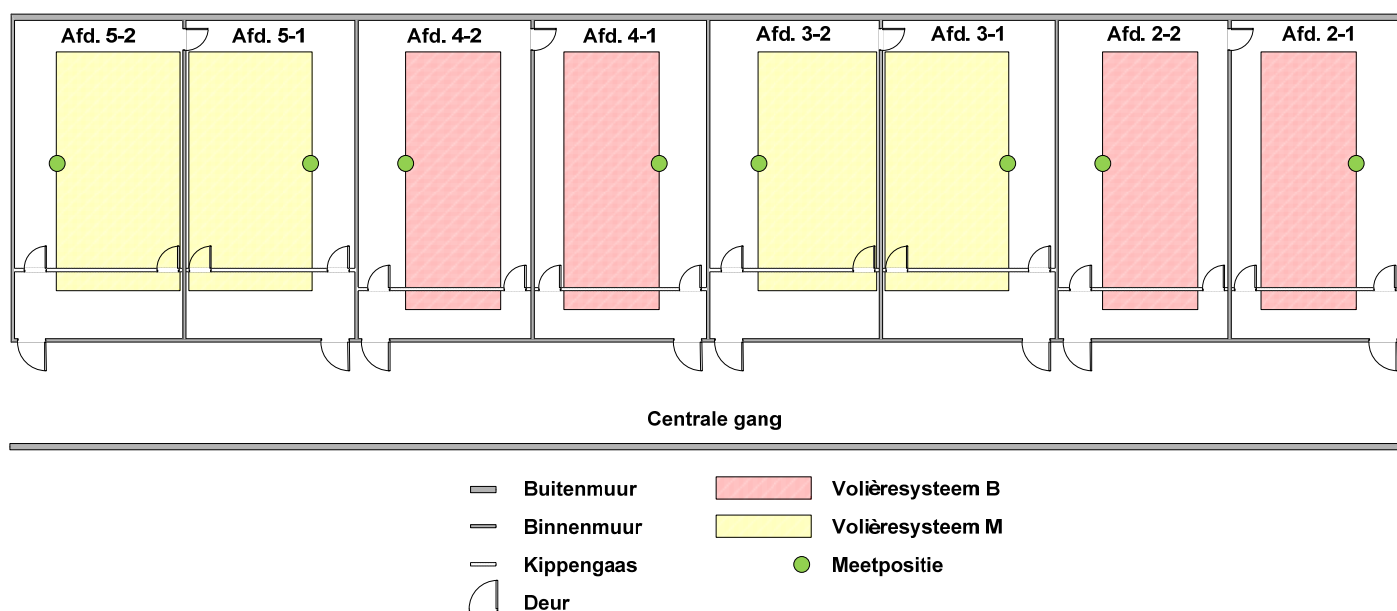
Tabel 1 Kenmerken volièresystemen in leghennenstal P4

Kenmerk	Volièresysteem B	Volièresysteem M
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 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 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 (LaiCa, Roxell; elk 12 vreetplaatsen)
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	Ja	Ja

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



Figuur 6 A: voorzijde volièresysteem B, B: voorzijde volièresysteem M, C: bovenzijde volièresysteem B, D: bovenzijde volièresysteem M, E: achterzijde volièresysteem B, F: achterzijde volièresysteem M (portalsysteem)



Figuur 7 Plattegrond van de legghennenstal met 8 klimaatgescheiden afdelingen.
 Afdelingen 2-1, 2-2, 4-1 en 4-2: ingericht met volièresysteem B
 Afdelingen 3-1, 3-2, 5-1 en 5-2: ingericht met volièresysteem M

3.1.3 Proefbehandelingen

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

Tabel 2 De proefbehandelingen

Behandeling	Omschrijving
1	Controle (standaard ingerichte volièrestal); 0 ml/m ² per dag
2	15 ml/m ² koolzaadolie per dag
3	30 ml/m ² koolzaadolie per dag
4	45 ml/m ² koolzaadolie per dag

Van de vier afdelingen met hetzelfde type volièresysteem diende één afdeling als controle, terwijl in de overige drie een film van koolzaadolie in verschillende doseringen werd aangebracht (Tabel 3; Figuur 7). De proefbehandelingen werden d.m.v. loting aan de afdelingen toegewezen. Van 11 juni t/m 15 juli 2010 werd een eerste proef gedurende 35 dagen uitgevoerd (eerste proefperiode). Om afdelingseffecten op de resultaten te voorkomen werd de proef van 10 september t/m 14 oktober 2010 in zijn geheel herhaald (tweede proefperiode; eveneens gedurende 35 dagen). Ook bij de herhaling werden de proefbehandelingen d.m.v. loting aan de afdelingen toegewezen.

Tabel 3 Verdeling van de proefbehandelingen over de afdelingen in proefperiode 1 en 2

Volièresysteem Afdeling nr.	B		M		B		M	
	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
Eerste proefperiode (11 juni t/m 15 juli 2010)	1	3	3	1	2	4	4	2
Tweede proefperiode (10 sept. t/m 14 okt. 2010)	3	4	2	4	1	2	3	1

3.1.4 Aanbrengen oliefilm

De gebruikte koolzaadolie was afkomstig van de firma Solar Oil Systems (Boijl, Nederland). Het betrof zuivere koolzaadolie met een soortelijke massa van 0,93 kg/L. De oliefilm werd vanaf dag 11 t/m dag 34 van de proefperiode (24 keer per proefperiode) dagelijks handmatig aangebracht met behulp van een voorraad-/drukvat voor olie (Spraying Systems Co., Wheaton, Illinois, VS, 12 L), geplaatst op een

mobiele weegschaal (uitlezing per gram) en voorzien van een 25 m lange olie-/luchtdrukslang met spuitlans (Spraying Systems Co., Wheaton, Illinois, VS). Druk werd verkregen van de compressor en persluchtleidingsysteem (4 bar) van stal P4. Om zowel een voldoende verre worp (ca. 2 m) zonder driften van nevels als werkbare verneveltijden te verkrijgen werden de reduceerventielen voor oliedruk en luchtdruk ingesteld op respectievelijk 3,5 en 2,0. In Tabel 4 zijn details opgenomen t.a.v. het aanbrengen van de oliefilm met de handsput. De gerealiseerde oliedosering (gram) en benodigde verneveltijd werden per afdeling en dag geregistreerd.

Tabel 4 Specificatie van het aanbrengen van de oliefilm met de handsput

Tabel 4 Specificatie van het aanbrengen van de stroom met de handsput								
Volière-systeem	Opp.	Beh.	Doeldosering per afdeling per dag		Film-dikte	Opbrengst handsput	Benodigde verneveltijd	Olieverbruik proef
	m ²	ml m ⁻²	ml	gram ¹⁾	mm	ml/min	min	liter
B	41,7	0	0	0	0,000	260 ± 39 ²⁾	0,0	0
		15	626	575	0,015		2,4	15
		30	1251	1151	0,030		4,8	30
		45	1877	1726	0,045		7,2	45
M	38,8	0	0	0	0,000		0,0	0
		15	582	535	0,015		2,2	14
		30	1164	1071	0,030		4,5	28
		45	1746	1606	0,045		6,7	42
Totalen			7245	6665			27,9	174

¹⁾ Soortelijk gewicht koolzaadolie: 1 L = 0,92 kg

²⁾ Gemiddelde olieopbrengst ± standaarddeviatie op basis van de geregistreeerde verbruiken en aanbrengtijden van alle vernevelingen van proefperiode 1 en 2, bij 3,5 bar oliedruk en 2,0 bar luchtdruk

3.1.5 Voer en water

De hennen werden gevoerd met Legmeel 1 van de Superreeks van de firma ForFarmers. De voersamenstelling is weergegeven in Bijlage A. 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.

3.1.6 Uitloop

Leghennenstal P4 beschikt over de mogelijkheid om de hennen overdag buiten te laten lopen in een uitloop. Van deze mogelijkheid werd geen gebruik gemaakt, de toegangsluiken bleven gesloten.

3.1.7 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.

3.1.8 Klimaat

Leghennenstal P4 beschikt over natuurlijk ventilatie. Elke afdeling werd apart geventileerd door middel van mestbandbeluchting (= minimumventilatie, ca. 1 m³/uur per hen), 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/uur per hen werd de mestbandbeluchting van volièresysteem B ingesteld op 55% ventilatiecapaciteit, de mestbandbeluchting van volièresysteem M op 35% ventilatiecapaciteit.

3.1.9 Strooisel

Tussen proefperiode 1 en 2 werden de afdelingen van stal P4 gebruikt voor een onderzoek naar het effect van het aanbrengen van een waterfilm (in eveneens 4 doseringen) op de fijnstofemissies. Ook deze waterfilm werd aangebracht op het strooisel.

Om er zeker van te zijn dat geen vertroebelde effecten optraden van de voorgaande proefperiode (aanbrengen waterfilm) en de uitgangssituatie van de strooisellaag vergelijkbaar was tussen beide proefperiodes werd elke proefperiode 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 tweewekelijks 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 (dag 35) 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 telkens ca. 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.

3.1.10 Metingen

Fijnstofmetingen (verzamelmonster 24 uur, gravimetrisch)

Gravimetrische stofmetingen van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) en van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) zijn verricht met PM10 en PM2,5 cycloon voorafscidders en monsternamerpompen. Deze metingen werden verricht op de volgende dagen: dag 20, 27 en 34 (proefperiode 1) en eveneens op dag 20, 27 en 34 in proefperiode 2 (totaal: 6 metingen).

Figuur 8 laat de monsternam-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor de gravimetrische meting is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen 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 et al., 2009).

De zogenaamde 'constant flow' monsternamerpompen (Figuur 8, rechtsonder) zuigen stallucht of inlaatlucht door de cycloon voorafscheider (Figuur 8, 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 (type Charlie HV, roterend 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle) regelen het debiet (het volume door de cycloon te zuigen lucht) automatisch in op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternametekop (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 op een starttijd van 12:00 uur met een eindtijd van 12:00 de volgende dag (meetduur: 24 uur). De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternametekopen werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternametekopen). De glasvezelfilters werden voor en na de metingen gewogen

onder standaard condities: $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $50\% \pm 5\%$ relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). 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. 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: $< 222,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$: $Y = 1,0877 X$
 $> 222,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$: $Y = 0,8304 X + 57,492$
 PM2,5: geen correctie

Stofdeeltjes uit de stallucht werden verzameld op een hoogte van ca. 4,5 meter, ca. 1,5 meter recht onder de nokkleppen (Figuur 8, rechtsonder). Buiten de stal, bij de inlaat, werden cyclonen voor PM10 en PM2,5 geplaatst om achtergrondconcentraties te meten.



Figuur 8 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: een 'constant flow' monsternamerpomp. Linksonder: meten van de persoonlijke stofbelasting met de DustTrak model 8520 gedragen aan het lichaam. Rechtsonder: positie van monsternamers in de stal, ca. 1,5 m onder de nok (meetgalg met ophangpunten voor meetkoppen)

Persoonlijke blootstelling aan fijnstof

Vier maal per proefperiode (acht maal in totaal) werd de persoonlijke belasting van de medewerker aan PM10 stof gemeten: op dag 7, 19, 25 en 29 (proefperiode 1) en dag 7, 19, 25 en 33 (proefperiode 2). Een DustTrak werd opgehangen aan de schouder van een medewerker (hoogte ca. 1,5 m; Figuur 8, linksonder). 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.

Meting CO₂-concentratie

Stallucht of inlaatlucht werd bemonsterd ter bepaling van de CO₂-concentratie (en hiermee het ventilatiedebiet) volgens de zogenaamde longmethode. 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, op dag 20, 27 en 34 (zowel proefperiode 1 als 2).

3.1.11 Waarnemingen

Tijdens de proefperioden werden de volgende waarnemingen in elke afdeling verricht:

Technische resultaten

Het gewicht van de hennen werd continu gemeten door een automatisch dierweegsysteem in elke afdeling. De data werden opgeslagen in een centrale database. Elke ochtend werden de eierbanden van de legnesten afgedraaid en werd een controleronde door de afdelingen gelopen waarbij tevens buitennesteieren werden verzameld. Dagelijks werd de uitval 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. Eenmaal in proefperiode 1 en eenmaal in proefperiode 2 (telkens dag 26 in de proefperiode) werd het gemiddelde eigewicht bepaald over een dagproductie. Deze gewichten werden gebruikt voor de CO₂-massabalans (zie par. 3.1.12).

Gedrag van de hennen (stofbad- en scharrelgedrag)

Het gedrag van de hennen werd driemaal per proefperiode beoordeeld (proefperiode 1: dag 7, 19 en 29; proefperiode 2: dag 7, 19 en 33). Per afdeling werden twee gebieden (voorin en achterin; ca. 3 x 1,5 m elk) bestudeert. 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. Voor aanvang van het aanbrengen van de oliefilm (dag 7) werd een zogenaamde nulmeting uitgevoerd.

Exterieur van de hennen (bevedering en bevuiling)

De bevedering en bevuiling van de dieren werd driemaal per proefperiode bepaald volgens de methode Van Voorst (Werkinstructie exterieurbeoordeling leghennen, WRK 10700; proefperiode 1: dag 7, 19 en 29; proefperiode 2: dag 7, 19 en 33). Hierbij werd een vangkooi in de afdeling geplaatst en minimaal 30 kippen erin gedreven. Per afdeling werden 30 kippen onderzocht op de kwaliteit van het verenpak. 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). Voor de bevuiling van het verenpak en voetzolen werden dezelfde 30 kippen per afdeling gescoord. Er werd een afzonderlijke score gegeven voor de bevuiling van het totale dier en voor de voetzolen. De bevuiling werd gescoord vanaf 0 (schoon) via 1 (poezelig), 2 (vuil) naar 3 (smerig). Voor aanvang van het aanbrengen van de oliefilm (dag 7) werd een zogenaamde nulmeting uitgevoerd. De vier bevuilingsklassen voor de voetzolen worden met foto's geïllustreerd in Bijlage G.

Strooiselkwaliteit (rulheid, visuele droogheid en drogestofgehalte)

De kwaliteit van het strooisel werd driemaal per periode (periode 1: dag 7, 19 en 29; periode 2: dag 7, 19 en 33) beoordeeld. De strooiselkwaliteit werd per afdeling gescoord op rulheid en vochtigheid. De rulheid en vochtigheid werd gescoord tussen 1 en 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. Op dezelfde dagen werd tevens het drogestofgehalte van het strooisel bepaald. Hiertoe werd per afdeling op drie plaatsen een strooiselmonster genomen: voor in de afdeling (gangpad), achter in de afdeling (gangpad) en in het midden van de afdeling (onder de volièrestelling). Deze drie strooiselmonsters werden samengevoegd tot één mengmonster van ± 500 gram. De mengmonsters werden in een RVS bak gedaan, waarna deze gedurende 24 uur gedroogd werden in een droogstoof bij 105 °C. Via onderstaande formule werd het drogestofgehalte van het strooisel berekend:

$$\text{Drogestofgehalte strooisel (procenten)} = \frac{\text{bak}_{\text{gedroogd}} - \text{bak}_{\text{leeggewicht}}}{\text{bak}_{\text{ongedroogd}} - \text{bak}_{\text{leeggewicht}}} \times 100\%$$

Waarbij:

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

$\text{bak}_{\text{ongedroogd}}$ = gewicht RVS bak + 'vers' strooiselmonster

$\text{bak}_{\text{leeggewicht}}$ = gewicht lege RVS bak waarin strooisel werd gedroogd

*3.1.12 Databewerking en statistische analyse**Bepalen ventilatiedebiet*

Het ventilatiedebiet (V ; m³/uur per dier, gemiddelde over de meetperiode van 24 uur) is bepaald met behulp van de CO₂-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO₂-concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal verlaat (respectievelijk $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$ en $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$; m³/m³ = ppm x 10⁶) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m³/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 CO₂-productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg) en 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 (m³/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

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

Berekenen emissies

Per proefperiode, ($k = 1, 2$), behandeling ($i = 0, 15, 30$ of 45 ml/m² per dag) en volièresysteem ($j =$ volièresysteem B of M) en per meetdag ($n = 20, 27, 34$; dagen na start van de proefperiode) werd de fijnstofemissie (E_{kijn} ; mg/uur per dier) bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet (V_{kijn} ; m³/uur per dier), de 24-uursgemiddelde fijnstofconcentratie ($C_{\text{stal}_{kijn}}$; mg/m³) en de achtergrondconcentratie in de lucht die de stal instroomt ($C_{\text{achtergrond}_{kn}}$; mg/m³), volgens onderstaande formule:

$$E_{kijn} = V_{kijn} \times ([C_{\text{stal}_{kijn}}] - [C_{\text{achtergrond}_{kn}}])$$

Concentratie- en emissiereducties van fijnstof werden berekend als het relatieve verschil tussen proefbehandeling en controle, uitgedrukt in procenten.

Statistische analyse

Voor analyse van de technische resultaten (eiproductie en uitval; meetgegevens op dagniveau) is onderstaande model gebruikt:

Model 1:

$$\underline{Y}_{ijklmn} = \{\beta_{0j} + \underline{\varepsilon}_{0klm}\} + \{\beta_{1j} + \underline{\varepsilon}_{1klm}\} * (t) + (\varphi_{ij} + \underline{\varepsilon}_{\varphi klm}) + \{\beta_{2ij}\} * tt + \{\beta_{3ij}\} * tt^2 \\ + \underline{\varepsilon}_k + \underline{\varepsilon}_{kl} + \underline{\varepsilon}_{klm} + \underline{\varepsilon}_{klmn} + \text{Spline}(t_k)$$

Met:

$\underline{Y}_{ijklmn}$	Respons in (dagelijkse) productie op dag n in afdeling lm in proefperiode k met oliebehandeling i in volièresstelsel j .
t	Dagen in de proefperiode
β_{0j}	Respons bij aanvang van de proefperiode van volièresstelsel j .
β_{1j}	Trend (lineair) in de technische resultaten gedurende de proefperiode van volièresstelsel j .
φ_{ij}	Effect van oliebehandeling i op eerste dag van toediening van volièresstelsel j .
tt	Dagen in behandeling met oliedosering (treatment time; $tt=1$ wanneer $t=9$, enzovoort).
β_{2ij}	Trend (lineair) in behandelingseffect vanaf de eerste dag van toediening van oliedosering i bij volièresstelsel j .
β_{3ij}	Trend (kwadratisch) in behandelingseffect vanaf de eerste dag van toediening van oliedosering i bij volièresstelsel j .
$\underline{\varepsilon}_{0klm} \sim N(0, \sigma_{0klm}^2), \underline{\varepsilon}_{1klm} \sim N(0, \sigma_{1klm}^2)$	Random afdelingseffecten (binnen de proefperiode) voor respectievelijk productieniveau bij aanvang van de proefperiode en lineaire trend gedurende de proefperiode
$\underline{\varepsilon}_{\varphi klm} \sim N(0, \sigma_{\varphi klm}^2)$	random afdelingseffecten (binnen de proefperiode) voor het effect van oliedosering i op de eerste dag van aanbrengen
$\underline{\varepsilon}_k \sim N(0, \sigma_k^2), \underline{\varepsilon}_{kl} \sim N(0, \sigma_{kl}^2), \underline{\varepsilon}_{klm} \sim N(0, \sigma_{klm}^2), \underline{\varepsilon}_{klmn} \sim N(0, \sigma_{klmn}^2)$	Random effecten van respectievelijk proefperiode, hoofdafdeling binnen proefperiode, afdeling binnen proefperiode en dag binnen afdeling binnen proefperiode. De laatste is de restvariantie. Middels het simultaan schatten van een autoregressieparameter wordt bij de toetsing rekening gehouden met afhankelijkheid in de tijd.
$\text{Spline}(t_k)$	Spline-effect voor het modelleren van het globale verloop in proefperiode k .

Bij niet-significantie van fixed termen zijn deze uit het model verwijderd.

Voor sommige technische resultaten is vooraf de logtransformatie op de responsvariabele toegepast.

Voor de statistische analyse van fijnstofconcentraties en -emissies, de persoonlijke blootstelling aan fijnstof, het scharrel- en stofbadgedrag, de kaalheid van het verenpak, de bevuiling van verenkleed en voetzolen en het drogestofgehalte van het strooisel (waarbij sprake is van drie tot vijf herhaalde waarnemingen tijdens de proefperiode), is grotendeels hetzelfde model gebruikt. Er werden echter de volgende wijzigingen gehanteerd:

- geen spline vanwege het ontbreken van een complex verloop door dagelijkse metingen;
- in plaats van de continue term t is gebruik gemaakt van de klasse-variabele ft . Hierdoor is de trend in de tijd tijdens de proefperiode geen lineaire trend meer;

- bij de kaalheid van het verenpak en de bevulling van verenkleed en voetzolen (drie waarnemingen in de tijd) is vanwege de ordinale meetschaal gebruik gemaakt van de procedure IRCLASS (met logit-funcie als linkfunctie). Hierbij is geen autoregressie-term geschat;
- voor de fixed interactieterm φ_{ij} is wegens interpretatieproblemen gekozen voor robuuste toetsing van φ_i en φ_j , d.w.z. dat deze werden getoetst tegen de spreiding in het behandelingseffect, zoals geschat in φ_{ij} .

Voor het berekenen van de fijnstofemissie (dat een samengesteld kenmerk is uit [debiet x concentratie; zie eerder in deze paragraaf]) zijn de modelschattingen van het debiet gebruikt voor de (her)berekening van de emissiecijfers. Bij de modelschattingen van het debiet is gebruik gemaakt van de loglog-transformatie om een normale verdeling te verkrijgen.

Voor het percentage uitval is gebruik gemaakt van een Generalized Linear mixed Model (GLMM) met de logit-funcie als linkfunctie (vanwege de binomiale verdeling). Dit model is als volgt:

Model 2:

$$\text{Logit}(\underline{Y}_{ijk}) = \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij}$$

Met:

$\underline{Y}_{ijk}$	Cumulatieve uitval van oliedosering i en volièresysteem j in proefperiode k
α_i	Effect van oliedosering i
γ_j	Effect van volièresysteem j
$(\alpha\gamma)_{ij}$	Interactie-effect van behandeling i en volièresysteem j

3.2 Resultaten

3.2.1 Verloop experiment: geplande en gerealiseerde oliedoseringen

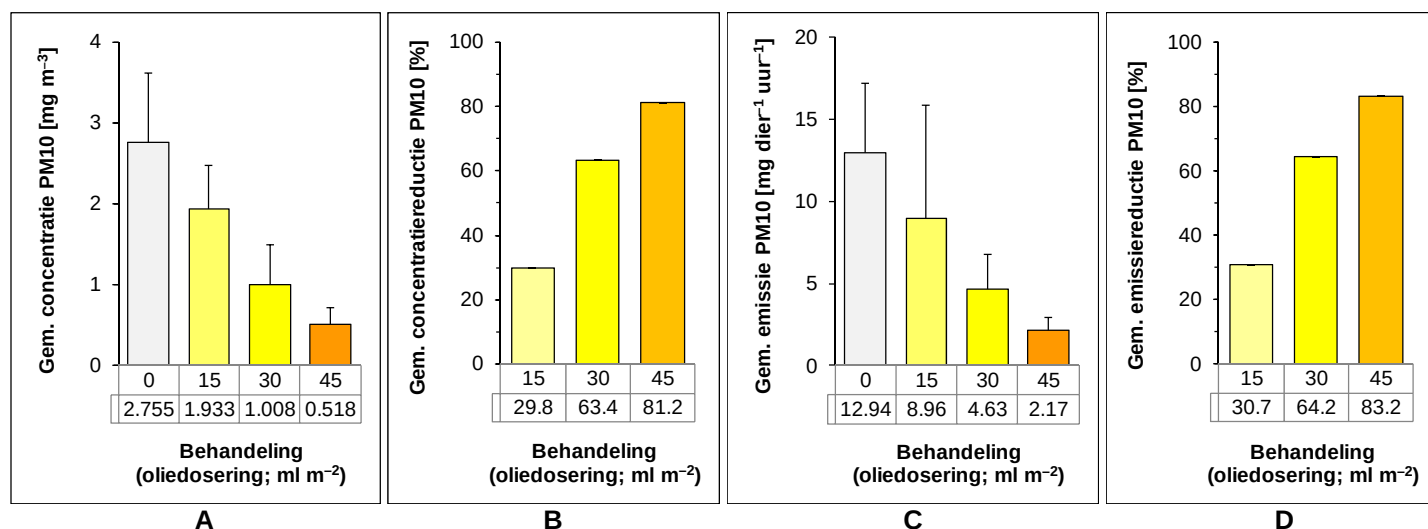
In Tabel 5 worden de gerealiseerde gemiddelde doseringen weergegeven voor de verschillende proefbehandelingen. Uit deze tabel blijkt dat de geplande doseringen zijn gerealiseerd. De variatie (standaarddeviaties) in doseringen tussen dagen is zeer klein; elke dag werd vrijwel precies de doeldosering aangebracht.

Tabel 5 Geplande en gerealiseerde oliedoseringen (ml/m^2 ; gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie tussen dagen) tijdens proefperiode 1 en 2

Volièresysteem	B			M		
	15 ml/m^2	30 ml/m^2	45 ml/m^2	15 ml/m^2	30 ml/m^2	45 ml/m^2
Proefperiode 1						
Gerealiseerde dosering	$14,7 \pm 0,07$	$29,6 \pm 0,13$	$44,7 \pm 0,13$	$15,0 \pm 0,04$	$30,1 \pm 0,08$	$45,3 \pm 0,19$
Proefperiode 2						
Gerealiseerde dosering	$15,0 \pm 0,01$	$30,1 \pm 0,01$	$45,0 \pm 0,00$	$15,0 \pm 0,04$	$30,1 \pm 0,07$	$45,0 \pm 0,02$

3.2.2 Fijnstofconcentraties, -emissies en -reducties

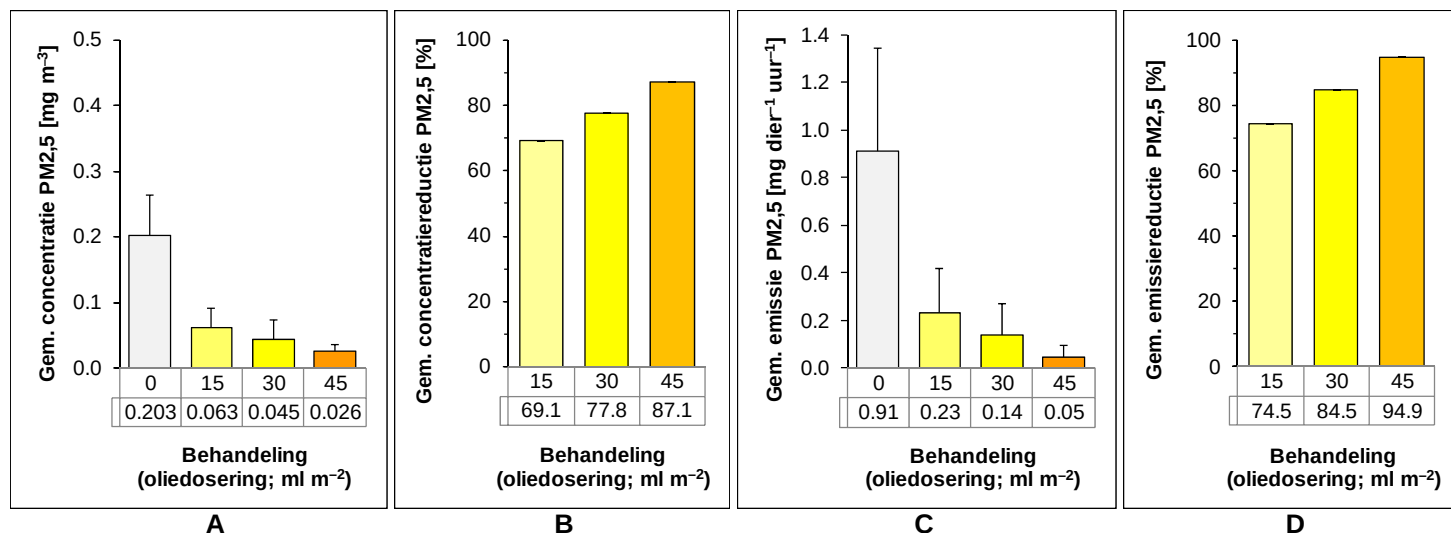
In Figuur 9 worden per proefbehandeling de gemiddelde PM10 concentraties, concentratiereducties, emissies en emissiereducties weergegeven; over de beide volièresystemen en proefperiodes heen. Uit Figuur 9 blijkt dat de reductie van PM10 (zowel in concentraties als emissies) toenam met de oliedosering. Het aanbrengen van een oliefilm had een significant effect op zowel de concentratie van PM10 ($P=0,001$) als op de emissie van PM10 ($P<0,001$). Voor de emissie van PM10 werd een trend gevonden voor een interactie tussen de 'dag in de proefperiode' en het volièresysteem ($P=0,058$). Met andere woorden: op sommige meetdagen leek de emissie van PM10 te verschillen tussen de twee volièresystemen. Er kon geen duidelijke toename van PM10 reducties in de tijd worden gevonden. In dit onderzoek werd de emissie van PM10 bij het aanbrengen van 15, 30 en 45 ml koolzaadolie per vierkante meter strooisel gereduceerd met gemiddeld respectievelijk 31%, 64% en 83%.



Figuur 9 A: gemiddelde concentraties van PM10 per behandeling, B: gemiddelde concentratiereducties van PM10 per behandeling, C: gemiddelde emissies van PM10 per behandeling, D: gemiddelde emissiereducties van PM10 per behandeling. Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven

In Figuur 10 worden per proefbehandeling de gemiddelde PM2,5 concentraties, concentratiereducties, emissies en emissiereducties weergegeven; over de beide volièresystemen en proefperiodes heen. Uit Figuur 10 blijkt dat de reductie van PM10 (zowel in concentraties als emissies) toenam met de

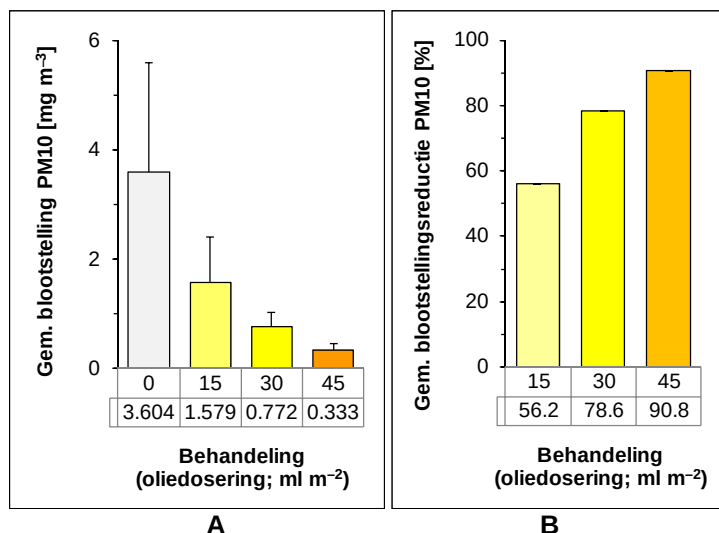
oliedosering. Het aanbrengen van een oliefilm had een significant effect op zowel de concentratie van PM_{2,5} ($P=0,002$) als op de emissie van PM_{2,5} ($P=0,005$). Voor de concentratie van PM_{2,5} werd een trend gevonden voor een interactie tussen de 'dag in de proefperiode' en behandeling ($P=0,079$). Met andere woorden: het effect van het aanbrengen van een oliefilm op de PM_{2,5} concentratie leek te verschillen tussen de meetdagen. Deze interactie werd ook gevonden voor de PM_{2,5} emissie ($P=0,002$). Er kon echter geen duidelijke toename van PM_{2,5} reducties in de tijd worden gevonden. In dit onderzoek werd de emissie van PM_{2,5} bij het aanbrengen van 15, 30 en 45 ml koolzaadolie per vierkante meter strooisel gereduceerd met gemiddeld respectievelijk 75%, 85% en 95%.



Figuur 10 A: gemiddelde concentraties van PM_{2,5} per behandeling, B: gemiddelde concentratiereducties van PM_{2,5} per behandeling, C: gemiddelde emissies van PM_{2,5} per behandeling, D: gemiddelde emissiereducties van PM_{2,5} per behandeling. Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven

3.2.3 Persoonlijke blootstelling aan fijnstof

In Figuur 11 worden per proefbehandeling de gemiddelde PM₁₀ blootstellingen en gemiddelde PM₁₀ blootstellingsreducties weergegeven; over de beide volièresystemen en proefperioden heen.



Figuur 11 A: gemiddelde blootstelling aan PM₁₀ per behandeling, B: gemiddelde blootstellingsreductie van PM₁₀ per behandeling. Op de staven zijn standaarddeviaties weergegeven. Gebruikt zijn alleen de data van meetdagen waarop de oliefilm werd aangebracht (dag 19, 25, 29/33; niet gebruikt is de nulmeting op dag 7)

Uit Figuur 11 blijkt dat de blootstelling aan PM10 afnam met de oliedosering. Ten opzichte van de nulmeting op dag 7 (nog geen oliefilm) werd op de eerste meetdag (dag 19 in de proefperiode) nadat met het aanbrengen van olie werd gestart (dag 11 in de proefperiode) een significante daling van de blootstelling aan PM10 gevonden en deze daling was verschillend tussen de oliedoseringen (interactie-effect; $P < 0,001$). Er werd verder een significant effect gevonden van tijd ($P = 0,001$); de blootstellingen van de behandelingen namen gedurende de proefperioden nog verder af ten opzichte van de controlebehandeling (de blootstellingsreducties namen nog verder toe); zie ook Bijlage 3. In dit onderzoek werd de blootstelling aan PM10 bij het aanbrengen van 15, 30 en 45 ml koolzaadolie per vierkante meter strooisel gereduceerd met gemiddeld respectievelijk 56%, 79% en 91%.

In Bijlage D worden de resultaten weergegeven van twee blootstellingsmetingen op dag 29 van proefperiode 1; een meting vóórdat met het aanbrengen van de oliefilm werd gestart (ca. 24 uur na de laatste toediening) en een meting nádat de oliefilm was aangebracht. Uit deze meting blijkt dat de blootstellingsreducties 24 uur na toediening van de oliedoseringen 15, 20 en 45 ml/m² met gemiddeld respectievelijk slechts 4, 8 en 15 procentpunten waren afgenomen.

3.2.4 Technische resultaten (eiproductie en uitval)

In Tabel 6 worden per proefbehandeling de technische resultaten (uitval en eiproductie) weergegeven. Omdat de technische resultaten doorgaans beïnvloed worden door verschillen tussen de voliëresystemen (effecten van het huisvestingssysteem), worden de resultaten gesplitst per voliëresysteem weergegeven, over de beide proefperioden heen.

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 oliefilm.

Een significant tijdseffect werd gevonden voor het percentage eieren van de tweede soort; dit productiekennmerk nam in de loop van de ronde licht toe in de controlebehandeling ($P < 0,001$). In de oliebehandelingen echter werd een iets sterkere toename gevonden ($P = 0,004$) t.o.v. de controlebehandeling. Deze sterkere toename was niet verschillend tussen de drie oliebehandelingen. Uit de modelfit blijkt dat het percentage eieren van de tweede soort in de oliebehandelingen toenam van ca. 1,2% op dag 11 tot ca. 1,9% op dag 35.

Tabel 6 Technische resultaten per voliëresysteem en behandeling

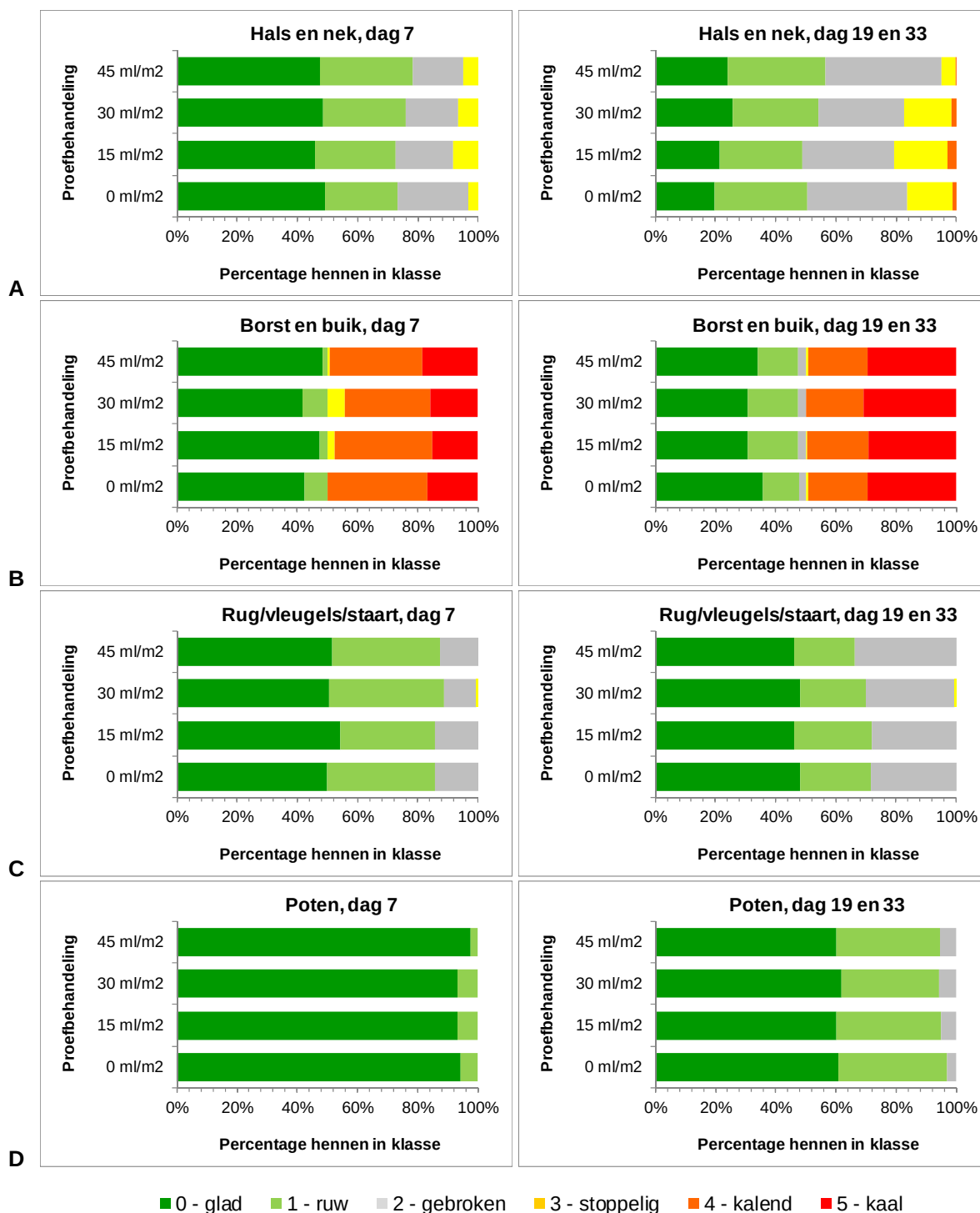
Voliëresysteem Proefbehandeling	B				M			
	0 ml/m ²	15 ml/m ²	30 ml/m ²	45 ml/m ²	0 ml/m ²	15 ml/m ²	30 ml/m ²	45 ml/m ²
Cumulatieve uitval (%)	0,0	0,5	0,3	0,2	2,2	1,3	1,0	1,9
Legpercentage (%)	94,2	92,9	93,3	92,6	94,4	94,6	93,9	94,0
Eieren 1 ^e soort (%)	96,8	95,7	96,7	95,9	97,0	96,4	96,3	95,9
Eieren 2 ^e soort (%)	1,5	1,8	1,5	2,0	1,3	1,3	1,2	1,3
Eieren struif (%)	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4
Eieren buitennest (%)	1,2	2,0	1,4	1,5	1,4	1,9	2,1	2,4

Er werd een significant effect gevonden van het voliëresysteem op het legpercentage; in voliëresysteem M werden enigszins meer eieren per hen gelegd (legpercentages: gemiddeld 94,2% voor voliëresysteem M en 93,3% voor voliëresysteem B; $P = 0,003$). Er werd eveneens een significant effect gevonden van het voliëresysteem op het percentage eieren van de tweede soort; deze was hoger voor voliëresysteem B (gemiddeld 1,7% tegen 1,3% voor voliëresysteem M; $P < 0,026$). Een tendens voor een effect van het voliëresysteem werd gevonden voor het percentage struifeieren; deze was hoger voor voliëresysteem B (gemiddeld 0,48% tegen 0,37% voor voliëresysteem M; $P = 0,064$). Ook voor de uitval van hennen werd een significant effect gevonden van het voliëresysteem; in voliëresysteem M bedroeg de cumulatieve uitval 1,61% tegen 0,24% in voliëresysteem B; $P = 0,033$).

Er werd tot slot een significant effect gevonden van tijd (dag in de proefperiode) op het percentage buitennesteieren; deze nam af in de tijd, ongeacht de behandeling ($P = 0,033$).

3.2.5 Kaalheid van het verenkleed

In Figuur 12 wordt per proefbehandeling de kaalheid van de hennen weergegeven, in verschillende figuren per lichaamsdeel en fase van de proefperiode.

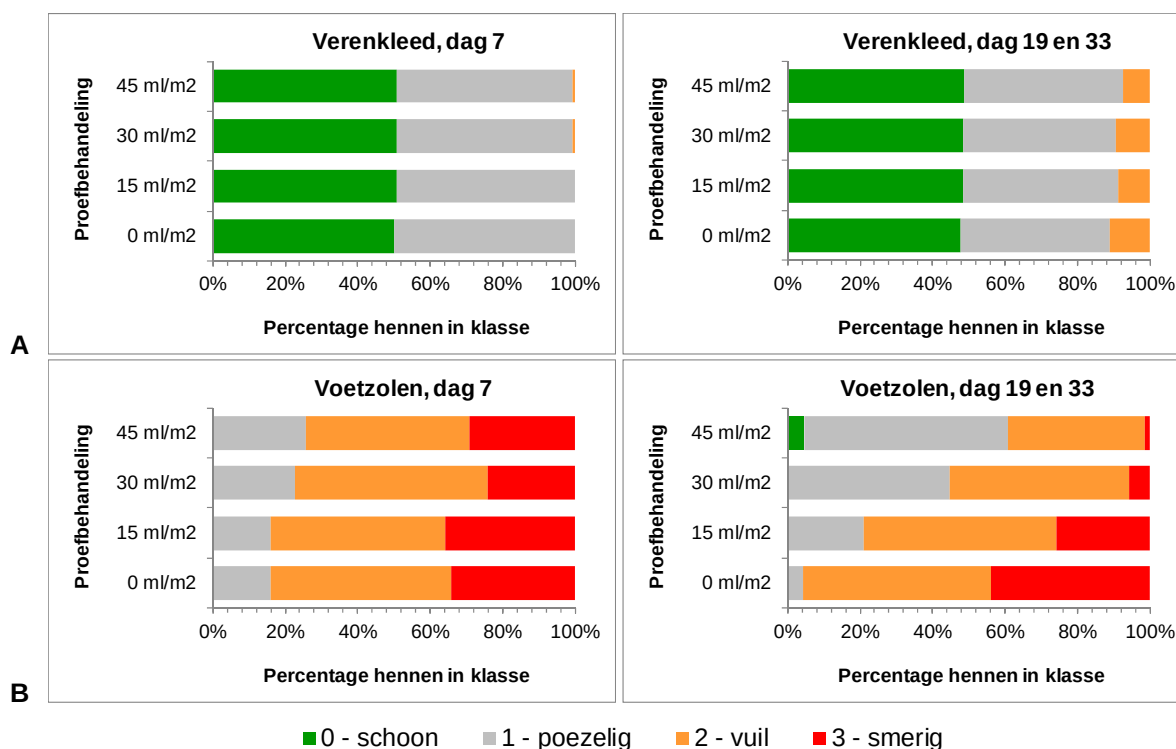


Figuur 12 Het percentage van de hennen in een kaalheidsklasse (0, 1, ..., 5; zie legenda) per proefbehandeling, weergegeven per lichaamsdeel; **A:** kaalheid van hals en nek, **B:** kaalheid van borst en buik, **C:** kaalheid van rug, vleugels en staart, **D:** kaalheid van de poten. Linker figuren: nulmeting op dag 7; rechter figuren: dag 19 en 33

Uit de statistische analyse bleek dat de kaalheid van hals/nek, borst/buik en poten werd niet werd beïnvloed door het aanbrengen van een oliefilm. Wel werd voor deze drie kaalheidsparementers een significant effect van tijd (dag in proefperiode) gevonden. De kaalheid nam toe gedurende de proefperiode ($P=0,006$ voor hals/nek, $P<0,001$ voor borst/buik en $P<0,001$ voor poten). Dit is in Figuur 12 ook duidelijk zichtbaar: in de rechter figuren (dag 19 en 33) is het aandeel hennen in de hogere kaalheidsscores toegenomen en het aandeel hennen in de lagere kaalheidsscores afgenomen ten opzichte van de nulmeting op dag 7 in de linker figuren. Bovendien is deze trend in de tijd zichtbaar bij zowel de oliebehandelingen als de controle. Ook voor de kaalheid van rug/vleugels/staart werd een effect gevonden van tijd (dag in proefperiode) en dit effect was verschillend tussen de volièresystemen (interactie-effect; $P=0,003$). Er werd echter ook een klein effect gevonden van het aanbrengen van een oliefilm op de kaalheid van rug/vleugels/staart en dit effect was verschillend tussen de oliedoseringen (interactie-effect; $P=0,027$). In Figuur 12C (rechts) is zichtbaar dat bij 30 en 45 ml/m² het aandeel hennen in kaalheidsklasse '2 - gebroken' enkele procenten hoger is dan bij de controle en 15 ml/m².

3.2.6 Bevuiling van verenkleed en voetzolen

In Figuur 13 wordt per proefbehandeling de bevuiling van de hennen weergegeven, in verschillende figuren per lichaamsdeel en fase van de proefperiode.



Figuur 13 Het percentage van de hennen in een bevuilingsklasse (0, 1, ..., 3; zie legenda) per proefbehandeling, weergegeven in afzonderlijke figuren per lichaamsdeel; **A**: bevuiling van het totale verenkleed, **B**: bevuiling van de voetzolen. Linker figuren: nulmeting op dag 7; rechter figuren: dag 19 en 33

Uit de statistische analyse bleek dat de bevuiling van het verenkleed niet werd beïnvloed door het aanbrengen van een oliefilm, het volièresysteem of de tijd (dag in de proefperiode).

Voor de voetzolen echter, leidde het aanbrengen van een oliefilm tot significant schonere voetzolen. Dit effect nam toe met de oliedosering (interactie-effect; $P<0,001$; zie Figuur 13 B, rechts) en leidde tot een drastische verbetering van de schoonheid van poten in de hoogste toedieningsklassen.

3.2.7 Stofbad- en scharrelgedrag van de hennen

In Tabel 7 wordt per voliëresysteem en proefbehandeling het stofbad- en scharrelgedrag van de hennen weergegeven. Er werden geen effecten gevonden van het aanbrengen van een oliefilm, van het voliëresysteem of van de tijd (dag in de proefperiode) op het stofbad- en scharrelgedrag.

Tabel 7 Het percentage van de aanwezige hennen op de strooiselvloer dat stofbad- en scharrelgedrag vertoont, gemiddeld per voliëresysteem en behandeling

Voliëresysteem Proefbehandeling	B				M			
	0 ml/m ²	15 ml/m ²	30 ml/m ²	45 ml/m ²	0 ml/m ²	15 ml/m ²	30 ml/m ²	45 ml/m ²
Stofbadgedrag (%)	14,4	22,8	17,8	19,3	18,9	17,2	14,3	19,4
Scharrelgedrag (%)	4,5	4,4	4,2	4,0	3,7	4,2	4,5	5,8

3.2.8 Strooiselkwaliteit

Het aangemaakte, 'gestandaardiseerde strooisel' was zeer rul en visueel droog. Tussen de scores van de afdelingen en meetdagen binnen een proefronde zat zeer weinig of in het geheel geen variatie (alle afdelingen scoorden op alle meetdagen dezelfde score; standaarddeviatie is nul). Deze data zijn niet statistisch geanalyseerd.

In Bijlage 4 worden per proefperiode, voliëresysteem en proefbehandeling de drogestofgehalten van het strooisel weergegeven; zowel in het verloop van de tijd (dag 1, 11, 22 en 35 van de proefperiode) als gemiddeld over de proefperiodes/behandelingen.

Uit deze figuren blijkt dat het aangemaakte, gestandaardiseerde strooisel bij proefperiode 1 bij een lager drogestofgehalte werd ingebracht (dag 1; gemiddeld 71%) dan bij proefperiode 2 (dag 1; gemiddeld 80%). Na inbreng in de afdelingen nam het drogestofgehalte van het strooisel tijdens de eerste 11 dagen van proefperiode 1 door verdere droging en de activiteit van de dieren toe tot gemiddeld 79% (dag 11), terwijl tijdens proefperiode 2 het drogestofgehalte tijdens de eerste 11 dagen enigszins afnam (dag 11; gemiddeld 78%) ($P=0,024$).

Er werden geen effecten gevonden van het aanbrengen van een oliefilm, van het voliëresysteem of van de tijd (dag in de proefperiode) op het drogestofgehalte van het strooisel.

3.3 Discussie

Interne validiteit

Ten aanzien van de interne validiteit (zuiverheid) van de proefopzet worden de volgende opmerkingen gemaakt.

- Uit paragraaf 3.2.1 blijkt dat de geplande oliedoseringen zeer nauwkeurig zijn gerealiseerd. Dit was mogelijk doordat werd gewerkt met een voorraad-/drukvaatje geplaatst op een rijdende weegschaal. Voor het aanbrengen van de oliefilm in een afdeling werd deze weegschaal telkens op 0 gram getarreed. Vervolgens werd door een eerste medewerker de oliefilm aangebracht in de afdeling. Een tweede medewerker bleef bij de weegschaal in de centrale gang staan en waarschuwde de eerste precies op het moment waarop de doeldosering was bereikt.
- Vertroebeling/verstoring van dit onderzoek door het aanbrengen van een waterfilm i.v.m. een ander onderzoek in dezelfde afdelingen tussen proefperiode 1 en 2 is voorkomen door voor de start van elke proefperiode aangemaakt, 'gestandaardiseerd strooisel' in de afdelingen te brengen (zie par. 3.1.9). De in deze paragraaf beschreven aanpak heeft goed gewerkt. De strooisels die op dag 1 werden ingebracht waren dik (ca. 10 cm), rul en droog en de hennen vertoonden er graag stofbad- en scharrelgedrag op.
- Er zijn in totaal zes fijnstofmetingen verricht; drie metingen tijdens proefperiode 1 en drie metingen tijdens proefperiode 2. De metingen werden telkens uitgevoerd in 8 afdelingen + 1 achtergrondmeting (buiten, inlaat). Gemeten werden concentraties van PM₁₀, PM_{2,5} en CO₂. Alle metingen (6 metingen x 9 meetlocaties x 3 componenten = 162 individuele metingen) zijn succesvol verlopen. Ook de drogestofbepalingen van het strooisel en de waarnemingen aan de dieren en hun gedrag zijn uitgevoerd zoals gepland, zodat in de analyses in geen waarnemingen ontbraken.
- In de (6 meetdagen x 8 afdelingen =) 48 ventilatiedebieten zaten enkele uitbijters, met name in proefperiode 1; debieten die afweken van de zeer vergelijkbare debieten uit de andere afdelingen op dezelfde meetdag. Deze zijn als volgt gecorrigeerd. Naast elkaar gelegen afdeling van hetzelfde voliëresysteem zijn identiek geventileerd omdat dit aanvankelijk niet-klimaatgescheiden subafdelingen waren (binnen een hoofdafdeling) met een centraal gestuurde ventilatie. De kippengaaswanden tussen deze subafdelingen zijn speciaal voor dit onderzoek dichtgemaakt (zie par. 3.1.1. en Figuur 7). Echter; de regeling van inlaatventielen en nokkleppen was nog steeds identiek tussen de naastgelegen afdelingen van het zelfde voliëresysteem. Feitelijk was er dus sprake van vier afzonderlijk geventileerde koppels van 2 afdelingen. Op grond hiervan zijn de ruwe ventilatiedebieten geanalyseerd met model 1 in par. 3.1.12 waarbij de door het model geschatte debieten mede op grond van de 'naastgelegen afdeling' zijn gebruikt ter vervanging van de ruwe ventilatiedebieten. De gefitte debieten zijn vervolgens gebruikt om de emissies van PM₁₀ en PM_{2,5} te herberekenen. In totaal zijn 6 van de 48 ventilatiedebieten met meer dan 10% gecorrigeerd (zie Bijlage B).

Fijnstofreducties vergeleken met wetenschappelijke literatuur

In de internationale wetenschappelijke literatuur zijn slechts twee studies bekend waarin het effect is bestudeert van het aanbrengen van een oliefilm op stofconcentraties en –emissies bij leghennen in alternatieve huisvesting. Von Wachenfelt (1999) vernevelde een mix bestaande uit 90% water en 10% olie (van een onduidelijke origine) in een kleine proefstal (700 leghennen, 87 m²) met voliërehuisvesting. De water/oliefilm werd gedurende 3 dagen aangebracht, waarna een controle in de tijd volgde van 3–4 dagen. De strooiselvloer bestond uit een 40 cm dikke laag gravel. Totaalstof werd gemeten op ca. 1,5 m boven de strooiselvloer en centraal in het voliëresysteem. De gerapporteerde totaalstofreductie bedroeg ca. 50%. Hoewel meerdere oliedoseringen werden getest (berekende doseringen ca. 1,1, 2,4, 4,8, 9,5, 19 en 37,9 ml olie per m²) worden geen reducties per dosering gegeven. De grote verschillen in proefopzet maken een goede vergelijking van resultaten niet mogelijk.

Gustafsson en Von Wachenfelt (2006) verrichten een vergelijkbaar experiment met 300-400 leghennen in een proefstal (47 m²) met strooiselvloer, verhoogde beun en legnesten. In dit onderzoek werd eveneens totaalstof gemeten. De mix van 90% water en 10% olie werd aangebracht m.b.v. leidingen en nozzles, gepositioneerd boven de verhoogde beun. Er werden 7 doseringen getest: ca. 2, 5, 10, 25, 45 en 95 ml olie per m². Totaalstof werd gemeten gedurende 3–4 dagen en werden vergeleken met concentraties gemeten voor en na de proefperiode (controle in de tijd). Over de range

van oliedoseringen werd een zeer constante reductie van totaalstof gevonden van ca. 30–50%. Ook voor deze studie geldt dat de grote verschillen in proefopzet een goede vergelijking van resultaten niet mogelijk maken.

Fijnstofreducties vergeleken met eerder onderzoek Wageningen UR Livestock Research

In Tabel 8 worden de in dit onderzoek gevonden fijnstofreducties vergeleken met resultaten uit eerder onderzoek. Uit deze tabel blijkt dat de gevonden reducties goed passen in het beeld verkregen uit andere studies. Opvallend is dat ook uit het huidige onderzoek blijkt dat relatief lage oliedoseringen al voldoende zijn om hoge reducties van PM_{2,5} te bereiken; hoger dan de reducties van PM₁₀. Net als in de studie van Aarnink et al. (2008) bij vleeskuikens wordt in het huidige onderzoek een duidelijke dosis-effectrelatie gevonden tussen oliedosering en fijnstofreductie. Uit de tabel blijkt tot slot dat voor leghennen een circa tweemaal hogere oliedosering nodig is t.o.v. vleeskuikens om tot een vergelijkbare fijnstofreductie te komen.

Tabel 8 Studies van Wageningen UR Livestock Research naar het effect van het aanbrengen van een oliefilm op de reductie van fijnstof in pluimveestallen

Dier	Studie	Auteur en jaar	Dosering (ml/m ²)	Reductie PM ₁₀ (%)	Reductie PM _{2,5} (%)
Vlees- kuikens	Haalbaarheidsstudie (Stal P1, Spelderholt)	Aarnink et al., 2008	0, 6, 8, 12, 16, 18 en 24 (vanaf dag 12)	58–85%; dosis-effect relatie	Constant ca. 80%
	Optimalisatiestudie (Stal P1, Spelderholt)	Winkel et al., 2009a	8 of 15 'dagelijks' 8 of 15 'om de dag' (vanaf dag 21)	59–64%	74–81%
	Validatiestudie (2 Praktijkstallen)	Winkel et al., 2011	15 (vanaf dag 21)	54%	48%
Leg- hennen	Haalbaarheidsstudie (Stal P4, Spelderholt)	De Buissonje et al., 2009	20	25–40%	38–59%
	Technische studie (Stal P4, Spelderholt)	Winkel et al., 2009b	12 (ongelijke verspr.)	0–18%	0–65%
	Optimalisatiestudie (Stal P4, Spelderholt)	Dit rapport	15	31%	75%
			30	64%	85%
			45	83%	95%

Tijdseffecten op fijnstofreducties

In dit onderzoek werd geen toename of 'opbouw' in de tijd gevonden van de reducties in fijnstofconcentraties en –emissies. Dit betekent waarschijnlijk dat het stofreducerend effect vrij snel; d.w.z. tenminste binnen 9 dagen, volledig aanwezig is (op dag 11 werd begonnen met olie aanbrengen en op dag 20 werd de eerste stofmeting verricht). Enige 'opbouw' in de tijd werd echter wel gevonden voor de persoonlijke blootstelling aan PM₁₀. Uit een extra meting van de blootstelling aan PM₁₀ op dag 29 van proefperiode 1 (zie Bijlage D) is gebleken dat de blootstellingsreducties 24 uur na toediening van de oliedoseringen 15, 20 en 45 ml/m² met gemiddeld respectievelijk slechts 4, 8 en 15 procentpunten waren afgenomen. Hoewel het hier om slechts één indicatieve meting gaat, past het algemene beeld bij de resultaten van Winkel et al. (2009a). In deze optimaliseringstudie bij vleeskuikens bleek dat de PM₁₀ emissie de dag na het aanbrengen van de oliefilm gemiddeld 23% hoger was dan de dag ervoor. Na het stoppen met toedienen is de emissiereductie niet direct verdwenen, maar vermindert deze in de loop van de dagen na de laatste toediening.

Optreden van bijeffecten van het aanbrengen van een oliefilm

Met het aanbrengen van de oliefilm werd beoogd de concentraties, emissies en blootstellingen aan fijnstof te reduceren. De overige gemeten kenmerken zijn alle bedoeld om het optreden van eventuele (positieve of negatieve) bijeffecten vast te stellen. In het huidige onderzoek werden geen bijeffecten gevonden van het aanbrengen van een oliefilm op de uitval, vuilheid van het verenkleed, stofbad- en scharrelgedrag of strooiselkwaliteit. Een licht negatief effect werd wel gevonden op de kaalheid van rug/vleugels/staart. Hoewel het hier gaat om een statistisch significant effect, is het de vraag of het hier gaat om een oorzakelijk verband. Wanneer de oliefilm op het strooisel van invloed zou zijn op de kaalheid van het verenkleed, zou men dit effect als eerste verwachten op die plekken die intensief in aanraking komen met het strooisel, zoals de poten of de buik/borst. Dit was echter niet het geval.

Een licht negatief effect werd ook gevonden op het percentage eieren van de tweede soort, terwijl de overige eiproductiekenmerken niet werden beïnvloed (legpercentage, percentage eieren van de eerste soort, percentage buitennesteieren, percentage struifeieren). Het percentage eieren van de tweede soort nam licht toe in zowel controle- als oliebehandelingen, echter; deze toename was iets sterker in de oliebehandelingen. Ook hier gaat het om significant maar klein effect. Onder eieren van de tweede soort vallen de volgende eieren:

- kneus- en breukeieren met een intact eivlies
- vuile eieren (bijvoorbeeld met mest)
- eieren met bloedstippen/-vlekken
- dubbeldooier eieren
- eieren met afwijkende vorm (bijvoorbeeld met ringen in de schaal)

Mogelijk is de sterkere toename toe te schrijven aan het gemakkelijker aan de schaal plakken van strooiseldeeltjes. Dit werkingsprincipe is echter tegengesteld aan hetgeen vastgesteld is voor de voetzolen. De bevulling van de voetzolen neemt af met de oliedosering; een aanwijzing dat de oliefilm het plakken van strooiseldeeltjes juist voorkomt. De licht sterkere toename in het percentage eieren van de tweede soort kan een toevallig gevonden effect zijn.

Een fors positief effect werd gevonden op de vuilheid van de voetzolen en dat in een dosis-effectrelatie. Waarschijnlijk bindt de oliefilm niet alleen de stofdeeltjes in de strooisellaag, maar voorkomt het ook dat strooiseldeeltjes aan de voetzolen plakken.

In de technische studie (Winkel et al., 2009b) werd een hogere uitval van hennen gevonden in de afdelingen waarin de oliefilm werd aangebracht (bij 12 ml/m²); aanbevolen werd in vervolgonderzoek hier voldoende aandacht aan te schenken. In het rapport van Winkel et al. (2009b) werd geopperd dat de hogere uitval een gevolg zou kunnen zijn van het drinken van olie uit de opvangemmertjes die onder de nozzles van het oliefilmsysteem waren aangebracht, mogelijk in combinatie met de ongebruikelijk hoge leeftijd van de hennen. In het huidige onderzoek was het onmogelijk voor de hennen om (op welke manier dan ook) olie te drinken en werden jonge hennen gebruikt. In dit onderzoek is een effect op de uitval niet gevonden, zelfs niet in de hoogste oliedoseringen (30 en 45 ml/m²). Dit ondersteunt de hypothese dat het drinken van olie, mogelijk in combinatie met de leeftijd van de hennen, de reden is geweest voor de hogere uitval in de technische studie welke voorafging aan het huidige onderzoek.

In de technische studie (Winkel et al., 2009b) werd verder een tendens tot een hoger percentage struifeieren gevonden in de afdelingen waarin de oliefilm werd aangebracht. Ook deze tendens is in het huidige onderzoek niet gevonden. Mogelijk betrof dit resultaat in de technische studie een toevallig gevonden (niet oorzakelijk) effect.

4 Conclusies

Uit onderdeel A van dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken.

- Het oliefilmsysteem met vaste olie- en luchtdrukleidingen en nozzles verspreidt de film van koolzaadolie met name direct rond de nozzles (ca. 1,2 m² per nozzle). In totaal brengt het systeem een oliefilm aan op slechts ca. 30% van het totale strooiseloppervlak van leghennenstal P4.

Uit onderdeel B van dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken.

- Het (gelijkmatig, handmatig) aanbrengen van een oliefilm in doseringen van 15, 30 en 45 ml/m² resulteert in:
 - een PM10 concentratiereductie van respectievelijk gemiddeld 30%, 63% en 81% en een emissiereductie van respectievelijk gemiddeld 31%, 64% en 83%;
 - een PM2,5 concentratiereductie van respectievelijk gemiddeld 69%, 78% en 87% en een emissiereductie van respectievelijk gemiddeld 75%, 85% en 95%;
 - een PM10 blootstellingsreductie van respectievelijk gemiddeld 56%, 79% en 91%.
- Er bestaat geen aantoonbaar effect van het aanbrengen van een oliefilm in doseringen van 30 en 45 ml/m² op de kaalheid (bevedering) van hals/nek, borst/buik en poten. Er is een (licht) negatief effect van het aanbrengen van een oliefilm op de kaalheid van rug/vleugels/staart, waarvoor geen verklaring bestaat. Een effect van de oliefilm op de bevedering wordt eerder verwacht bij lichaamsdelen die intensief in aanraking komen met het strooisel, zoals buik/borst en poten; dit was echter niet het geval. Het kan hier gaan om een toevalseffect of een oorzakelijk effect. Dit aspect vraagt aandacht in vervolgonderzoek.
- Het aanbrengen van een oliefilm leidt tot aanzienlijk schonere voetzolen van de leghennen en dit effect neemt toe met de oliedosering. De vuilheid van het verenkleed wordt niet beïnvloed.
- Het aanbrengen van een oliefilm heeft geen effect op de uitval of op het leggerpercentage, het percentage eieren van de eerste soort, het percentage buitennesteieren of het percentage struifeieren. Er is een (licht) negatief effect op het percentage eieren van de tweede soort. Het kan hier gaan om een toevalseffect of een werkelijk oorzakelijk effect. Dit aspect vraagt aandacht in vervolgonderzoek.
- Het aanbrengen van een oliefilm heeft geen effect op het stofbad- en scharrelgedrag of de strooiselkwaliteit.

Uit het onderhavige optimalisatieonderzoek worden de volgende algemene conclusies getrokken.

- De eerder gebruikte oliedosering (12 ml/m²) en het toegepaste oliefilmsysteem met een effectieve bedekking van ca. 30% van het strooiseloppervlak verklaren de lage fijnstofreducties in het technische 'proof of principle' onderzoek uit 2010.
- De resultaten bieden perspectief voor een effectieve praktijktoepassing mits toediening gelijkmatig plaatsvindt en voldoende hoge oliedoseringen (>15 ml/m²) worden gebruikt.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A., H.H. Ellen. 2006. Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij. Rapport 11, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Aarnink, A.J.A., J. van Harn, T.G. van Hattum, Y. Zhao, J.W. Snoek, I. Vermeij and J. Mosquera. 2008. Reductie stofemissie bij vleeskuikens door aanbrengen oliefilm. Rapport 154, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Buissonjé, F.E. de, A.J.A. Aarnink. 2008. Opties voor reductie van stofemissies in pluimveestallen. Rapport 128, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Buissonjé, F.E. de, N.G.J. Hannink, G. Vunderink, F. Pouls, J. Mosquera Losada, A.J.A. Aarnink. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; effect van een oliefilm op het strooisel in voliërehuisvesting voor leghennen. Rapport 195, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- 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. Website bezocht op 23 maart 2011.
- Chardon, W.J., K.W. Van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. Alterra-rapport 682 / RIVM-rapport 773004014. 36 pp.
- 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).
- Gustafsson G., E. von Wachenfelt. 2006. Measures against airborne dust in a floor housing system for laying hens. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript BC 06 018. Vol. VIII. December, 2006. 13 pp.
- 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. Luchtkwaliteit - Algemene gravimetrische referentiemethode voor de bepaling van de PM2,5-massafractie van zwevende stof in de buitenlucht, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- 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.
- 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.
- RIVM. 2009. Jaarlijkse emissie van PM10, totaal en per bron, voor 2009. Data samengesteld op website: <http://www.emissieregistratie.nl> van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIV) te Bilthoven. Website bezocht op 23 maart 2011.
- 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.
- Wachenfelt, E. von. 1999. Dust reduction in alternative production systems for laying hens. In: Proc. International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities", Scandinavian Congress Center, Aarhus, Denmark, 30 May-2 June 1999, pp. 261-264. ISBN 87-88976-35-1. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm.
- Winkel, A., M. Cambra-López, J. van Harn, T.G. van Hattum, A.J.A. Aarnink. 2009a. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: optimalisatie van een oliefilmsysteem bij vleeskuikens. Rapport 204, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel, A., T.G. van Hattum, A.J.A. Aarnink. 2009b. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ontwikkeling van een oliefilmsysteem voor leghennen in voliërehuisvesting. Rapport 286, Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. van Harn, G.M. Nijboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2011. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een oliefilmsysteem op vleeskuikenbedrijven. Rapport 392, Wageningen UR Livestock Research.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, 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 A 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

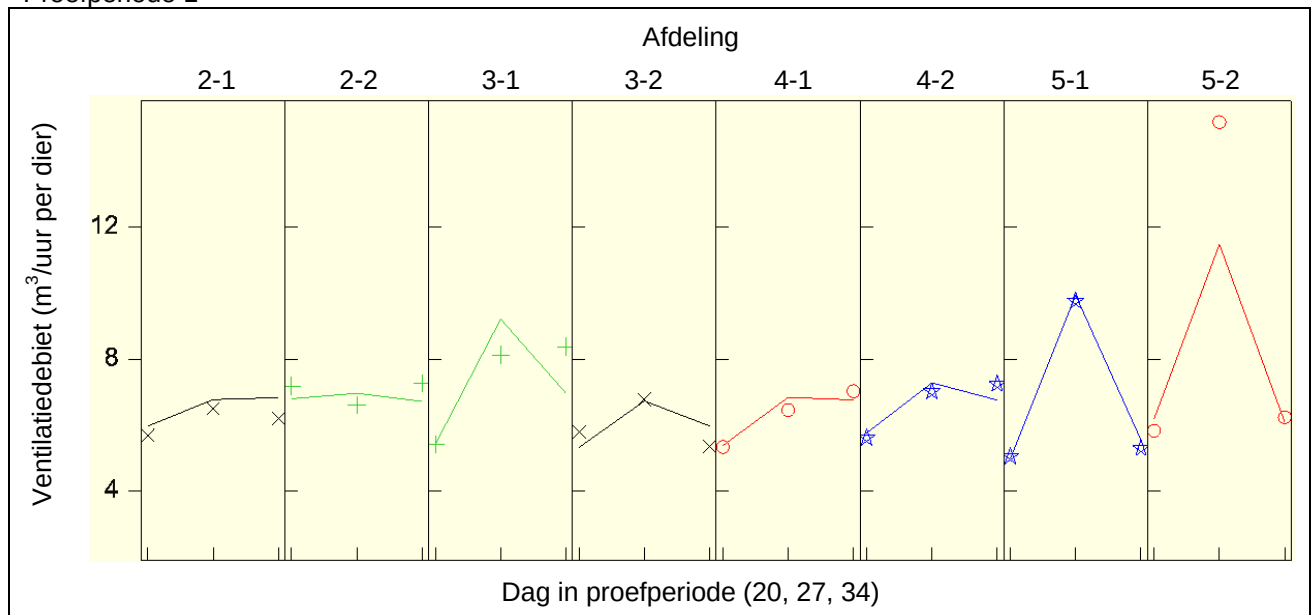
Bijlage B Ventilatie-debiëten tijdens de emissiemeetdagen

B1 – Gemeten en model-gefitte ventilatie-debiëten; in figuurvorm

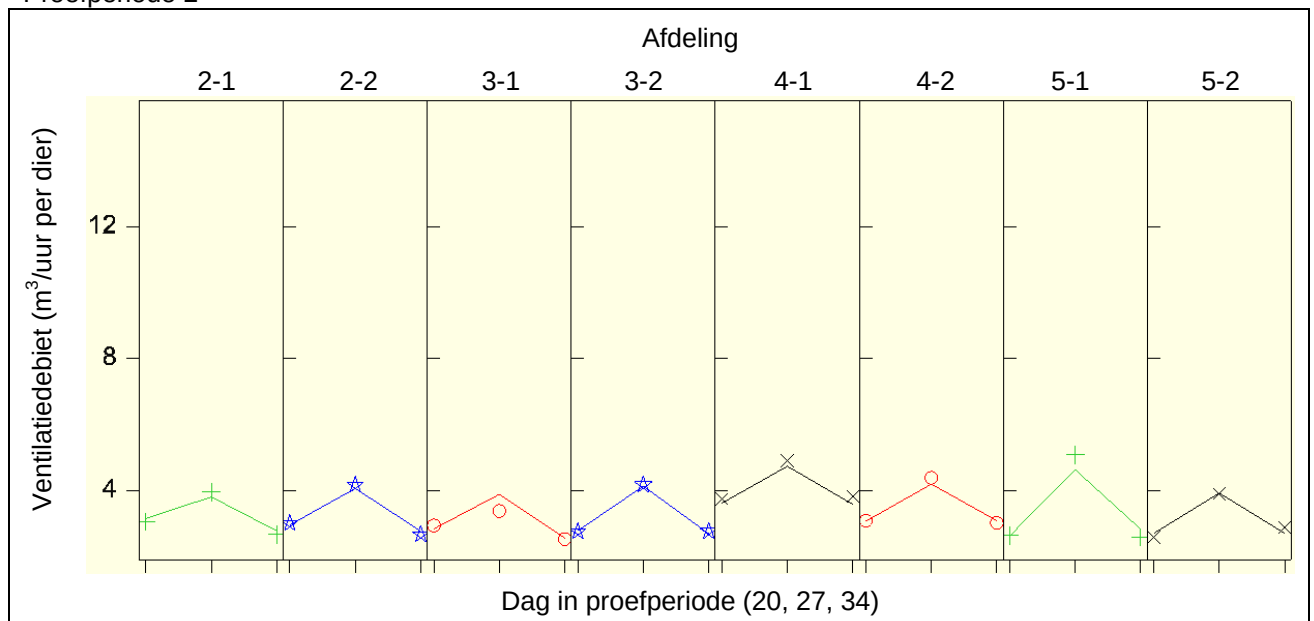
Legenda:

- Symbolen: ventilatie-debiëten bepaald met de CO₂-massabalansmethode (zie par. 3.1.10 en 3.1.12). Lijnen: ventilatie-debiëten als gefitte waarden van statistisch model 1 (zie par. 3.1.12); als correctie voor uitbijters. Deze gefitte ventilatie-debiëten zijn gebruikt om emissies en emissiereducties te (her)berekenen.
- Zwart: 0 ml/m² (controlebehandeling)
- Groen: 15 ml/m²
- Rood: 30 ml/m²
- Blauw: 45 ml/m²

Proefperiode 1



Proefperiode 2

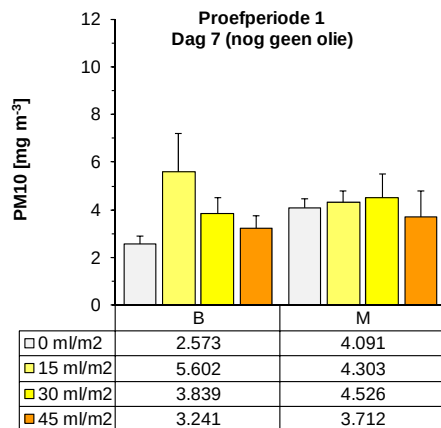


B2 – Gemeten en model-gefitte ventilatiedebieten; in tabelvorm

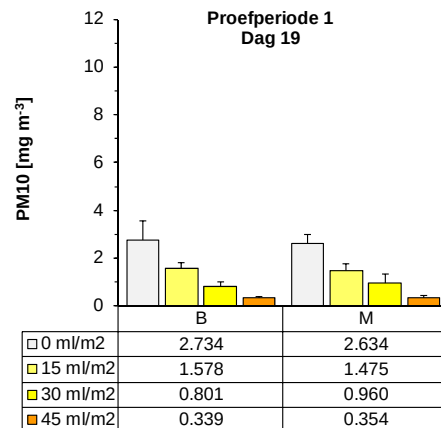
Proef- periode	Dag in proefperiode	Volière- systeem	Afd.	Proef- beh.	Gemeten debiet	Modelfit debiet	Verschil	
				ml/m ²	m ³ /uur per dier	m ³ /uur per dier	m ³ /uur per dier	%
1	20	B	2-1	0	5.70	5.98	0.28	4.9
			4-1	15	5.34	5.39	0.04	0.8
			2-2	30	7.19	6.81	-0.39	5.4
			4-2	45	5.62	5.77	0.15	2.6
		M	3-2	0	5.80	5.33	-0.47	8.1
			5-2	15	5.83	6.19	0.36	6.1
			3-1	30	5.42	5.42	0.00	0.1
			5-1	45	5.06	4.99	-0.06	1.2
	27	B	2-1	0	6.51	6.78	0.26	4.1
			4-1	15	6.46	6.85	0.38	6.0
			2-2	30	6.61	6.97	0.36	5.4
			4-2	45	7.03	7.29	0.26	3.7
		M	3-2	0	6.79	6.74	-0.05	0.7
			5-2	15	15.20	11.49	-3.71	24.4
			3-1	30	8.13	9.22	1.09	13.4
			5-1	45	9.78	9.95	0.17	1.8
	34	B	2-1	0	6.21	6.84	0.63	10.1
			4-1	15	7.03	6.77	-0.27	3.8
			2-2	30	7.27	6.72	-0.55	7.5
			4-2	45	7.25	6.77	-0.49	6.7
		M	3-2	0	5.37	5.98	0.61	11.4
			5-2	15	6.25	6.09	-0.15	2.4
			3-1	30	8.38	6.97	-1.41	16.9
			5-1	45	5.30	5.56	0.25	4.7
2	20	B	4-1	0	3.75	3.62	-0.13	3.5
			4-2	15	3.08	3.07	-0.02	0.5
			2-1	30	3.05	3.15	0.10	3.3
			2-2	45	3.01	2.96	-0.05	1.6
		M	5-2	0	2.58	2.70	0.13	4.9
			3-1	15	2.94	2.84	-0.10	3.4
			5-1	30	2.63	2.63	0.00	0.0
			3-2	45	2.76	2.78	0.02	0.8
	27	B	4-1	0	4.90	4.74	-0.16	3.3
			4-2	15	4.39	4.20	-0.19	4.3
			2-1	30	3.95	3.81	-0.14	3.7
			2-2	45	4.17	4.06	-0.11	2.6
		M	5-2	0	3.90	3.92	0.02	0.5
			3-1	15	3.38	3.89	0.51	15.0
			5-1	30	5.08	4.63	-0.45	8.8
			3-2	45	4.18	4.13	-0.05	1.1
	34	B	4-1	0	3.83	3.58	-0.25	6.5
			4-2	15	3.02	3.09	0.07	2.3
			2-1	30	2.67	2.78	0.11	4.1
			2-2	45	2.67	2.77	0.10	3.6
		M	5-2	0	2.88	2.70	-0.18	6.2
			3-1	15	2.53	2.56	0.03	1.3
			5-1	30	2.58	2.83	0.24	9.4
			3-2	45	2.77	2.69	-0.07	2.7

Bijlage C Resultaten persoonlijke blootstelling PM10 per meetdag en afdeling

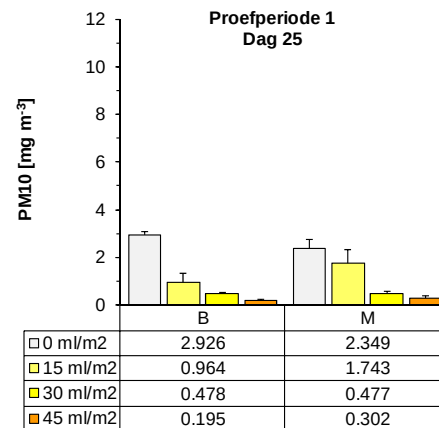
Proefperiode 1



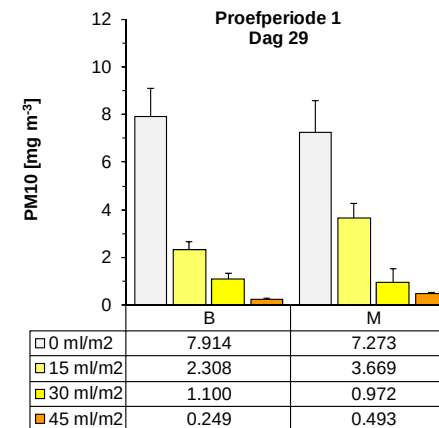
Voliërsysteem



Voliërsysteem

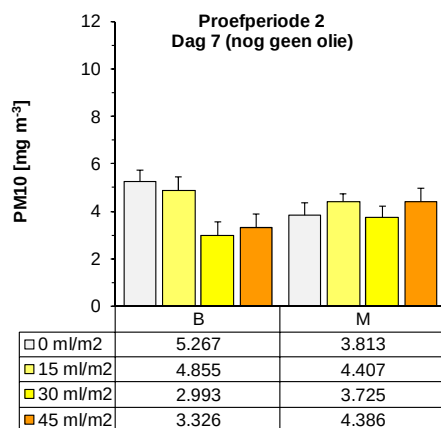


Voliërsysteem

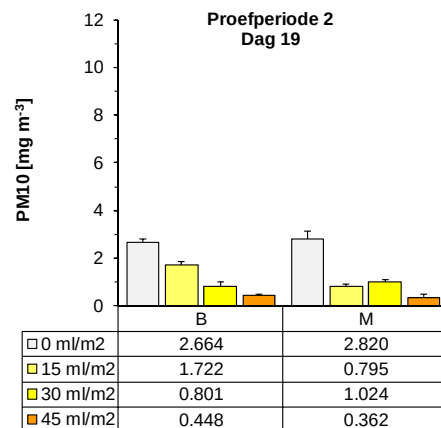


Voliërsysteem

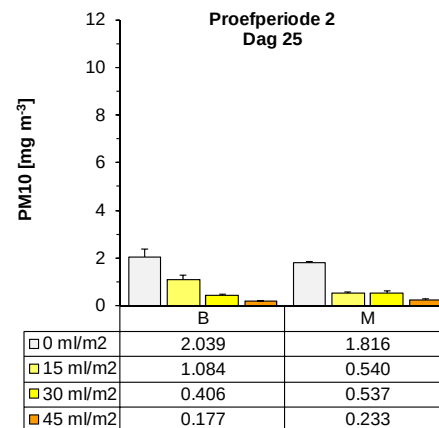
Proefperiode 2



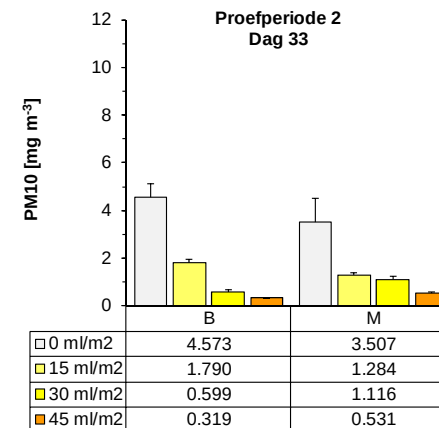
Voliërsysteem



Voliërsysteem



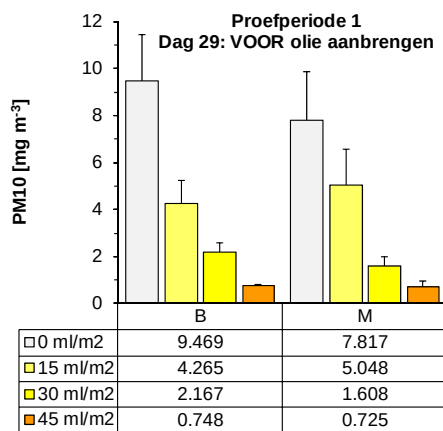
Voliërsysteem



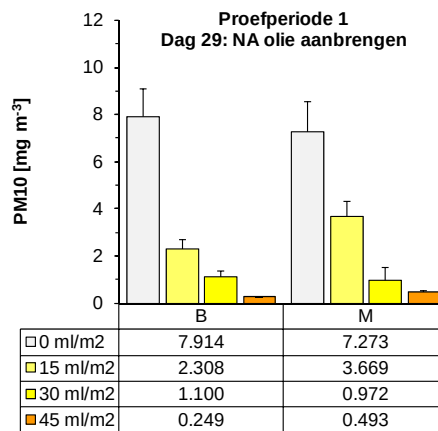
Voliërsysteem

Bijlage D Effect aanbrengen van olie op persoonlijke blootstelling PM10 na 24 uur

Blootstellingsconcentraties

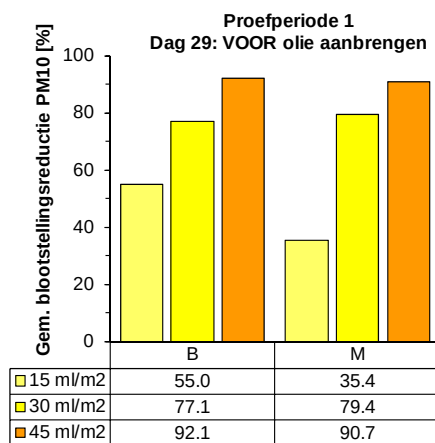


Voliëresysteem

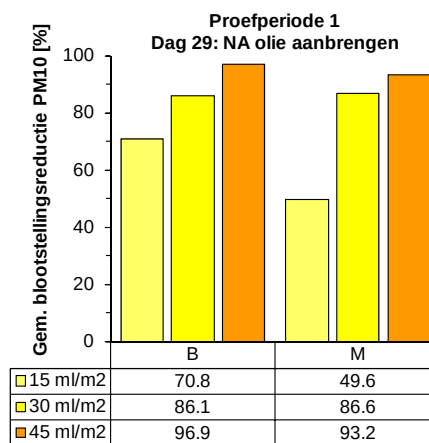


Voliëresysteem

Blootstellingsreducties



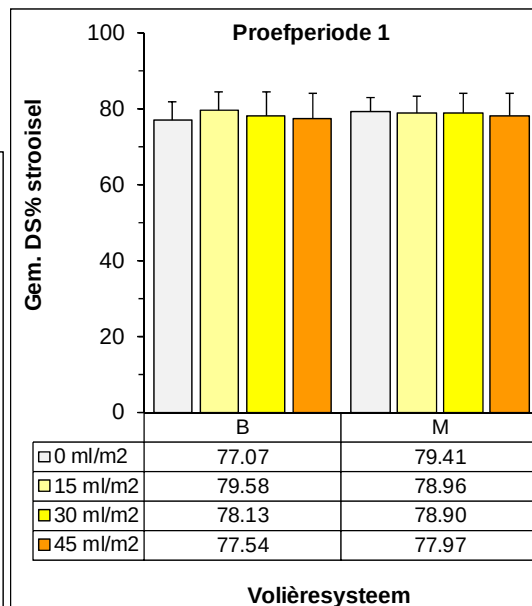
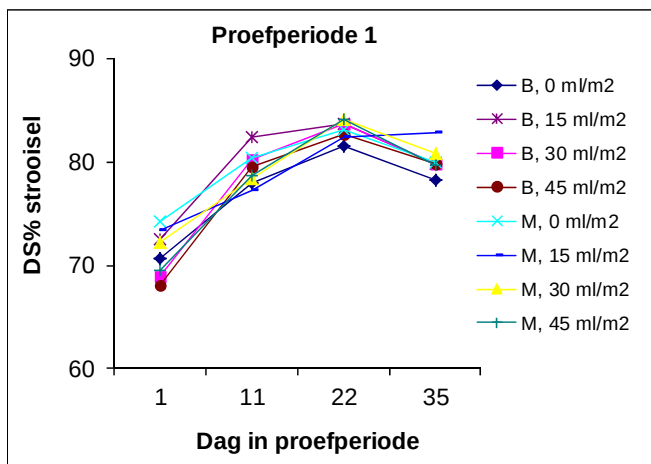
Voliëresysteem



Voliëresysteem

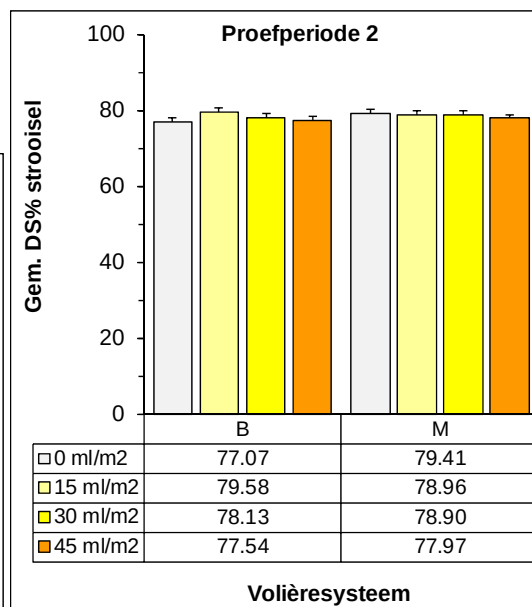
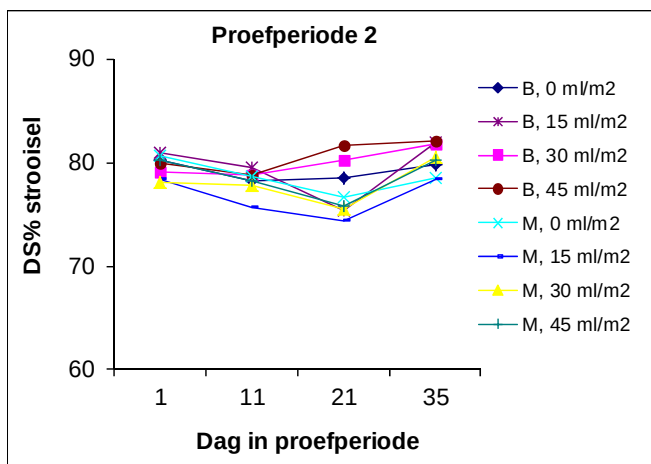
Bijlage E Resultaten drogestofgehalte strooisel

Proefperiode 1

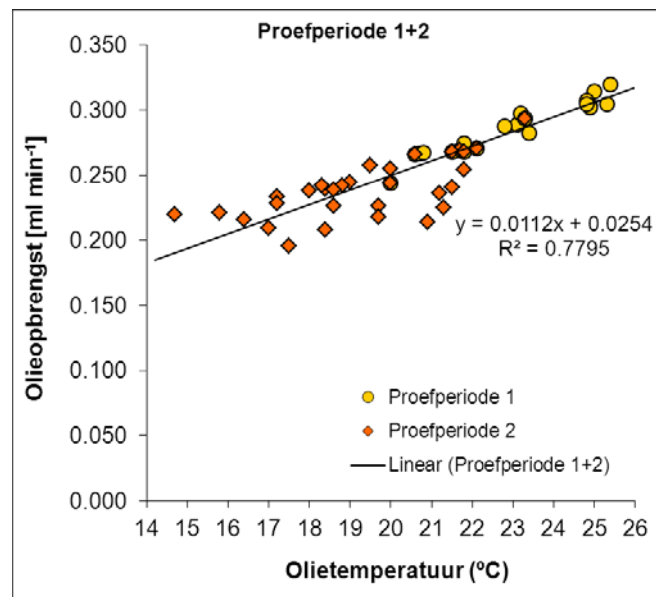


Links: het verloop in het drogestofgehalte van het strooisel in de acht behandelingsafdelingen tijdens de eerste proefperiode (dag 1: direct na inbrengen van het strooisel, dag 11: vlak voor de eerste olievernauwing, dag 22: na 11 keer olie aanbrengen, dag 35: laatste dag van de proef, na 24 keer olie aanbrengen). Rechts: het gemiddelde drogestofgehalte van het strooisel in de acht behandelingsafdelingen over alle vier bemonsteringsdagen (1, 11, 22 en 35).

Proefperiode 2



Links: het verloop in het drogestofgehalte van het strooisel in de acht behandelingsafdelingen tijdens de eerste proefperiode (dag 1: direct na inbrengen van het strooisel, dag 11: vlak voor de eerste olievernauwing, dag 21: na 10 keer olie aanbrengen, dag 35: laatste dag van de proef, na 24 keer olie aanbrengen). Rechts: het gemiddelde drogestofgehalte van het strooisel in de acht behandelingsafdelingen over alle vier bemonsteringsdagen (1, 11, 21 en 35).

Bijlage F Relatie tussen olietemperatuur en olieopbrengst van de spuitlans

Toelichting: vóór het aanbrengen van de oliefilm werd dagelijks de temperatuur van de olie in het vat met een staafthermometer gemeten en genoteerd. Na het aanbrengen van de olie in een afdeling werd telkens genoteerd hoeveel tijd nodig was geweest om de doeldosering aan te brengen. Hieruit werd de (daggemiddelde) olieopbrengst berekend in g/min en ml/min. In deze figuur is de olieopbrengst als functie van de olietemperatuur weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat de olieopbrengst toeneemt met de olietemperatuur. Dit wordt veroorzaakt door de lagere viscositeit (stroperigheid) van de olie.

Bijlage G Foto's bevuilingsklassen van de voetzolen

Bron: Werkinstructie exterieurbeoordeling leghennen, WRK 10700, Wageningen UR Livestock Research



Score 0 (schoon)



Score 1 (poezelig)



Score 2 (vuil)



Score 3 (smerig)



Wageningen UR Livestock Research

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

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