

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 685

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij:
validatie van een ionisatiesysteem op
legghennenbedrijven

Juni 2013



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

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

Colofon

Uitgever

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

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2013

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

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG
Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid
voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik
van de resultaten van dit onderzoek of de
toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG
Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal
Veterinair Instituut en het Departement
Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit
de Animal Sciences Group van Wageningen UR.
Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

In this study, the fine dust emission reduction of
an ionization system was determined through
validation measurements on layer farms.

Keywords

Poultry, laying hens, particulate matter,
mitigation, positive air ionization

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

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

Titel

Maatregelen ter vermindering van
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie
van een ionisatiesysteem op
legghennenbedrijven

Rapport 685

Samenvatting

In dit onderzoek is de fijnstofemissiereductie
van een ionisatiesysteem vastgesteld door
validatiemetingen op legghennenbedrijven.

Trefwoorden

Pluimvee, legghennen, fijnstof, reductie,
positieve ionisatie



Rapport 685

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op leghennenbedrijven

Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of an ionisation system on layer farms

A. Winkel

G.M. Nijeboer

J.W.H. Huis in't Veld

N.W.M. Ogink

Juni 2013

Voorwoord

In dit onderzoek is de effectiviteit van een stofreducerend ionisatiesysteem gevalideerd op twee leghennenbedrijven in de praktijk. Dit onderzoek biedt op grond van praktijkmetingen aan deze leghennenstallen emissiecijfers die kunnen worden gebruikt voor regelgeving en vergunningverlening.

Onze dank gaat uit naar de betrokken pluimveehouders voor hun deelname in het onderzoek en het beschikbaar stellen van hun stallen. De firma ENS Europe wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van de ionisatiesystemen. Dank is ook verschuldigd aan de begeleidingscommissie voor het begeleiden van het onderzoek. De inzet van alle betrokkenen is zeer gewaardeerd.

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

Samenvatting

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen, waaronder pluimveestallen. Een van de mogelijke oplossingen is een positief ionisatiesysteem voor toepassing in pluimveestallen. Deze techniek wordt aangebracht in de nok van de stal en verwijdert fijnstof uit de stallucht door het principe van positieve ionisatie. Het systeem wordt opgehangen in de luchtstroming die aanwezig is in leghennenstallen.

Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden en volgens het fijnstofmeetprotocol vaststellen van de emissiereductie van het ionisatiesysteem. Op grond van dit onderzoek kunnen emissiecijfers worden vastgesteld t.b.v. regelgeving en vergunningverlening.

In dit onderzoek is de effectiviteit van het ionisatiesysteem gevalideerd op twee leghennenbedrijven; een stal met scharrelhuisvesting (locatie 1) en een stal met volièrehuisvesting (locatie 2). Beide stallen waren voor dit onderzoek uitgerust met het positieve ionisatiesysteem. In dit onderzoek is een 'controle in de tijd' meetstrategie toegepast. Het ionisatiesysteem was gedurende dit onderzoek continu in werking. Tijdens elke meting werd op dag één een proefmeting uitgevoerd (met het systeem in werking), daarna gevolgd door een controlemeting op dag twee (met het systeem uitgeschakeld). De emissiereductie van het systeem is vervolgens bepaald als het gemiddelde relatieve verschil in fijnstofemissies tussen deze dagen. Aan de twee stallen zijn metingen verricht van fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}), koolstofdioxide (CO₂), temperatuur en relatieve luchtvochtigheid en werden dier- en productiegegevens vastgelegd. Aan de hand van gemeten CO₂-concentraties en verzamelde dier- en productiegegevens werd het ventilatiedebiet bepaald middels de CO₂-massabalansmethode. De metingen werden uitgevoerd in de periode mei t/m november 2012. Bij de meetstrategie en meetmethoden werd het meetprotocol voor fijnstof zo veel mogelijk gevolgd: er werden zes metingen verricht per bedrijf, 12 in totaal, zo veel mogelijk verspreid over het kalenderjaar. Van 11 geslaagde metingen werden betrouwbare meetgegevens verkregen.

Uit dit validatieonderzoek in twee stallen voor leghennen worden de volgende conclusies getrokken:

- de gemiddelde emissiereductie van het ionisatiesysteem ($\pm$ standaarddeviatie tussen bedrijven) voor PM₁₀ bedraagt $6,3 \pm 6,3\%$. Er is sprake van een statistisch significante emissiereductie ($P=0,03$);
- de gemiddelde emissiereductie van het ionisatiesysteem ($\pm$ standaarddeviatie tussen bedrijven) voor PM_{2,5} bedraagt $6,5 \pm 15,9\%$. Deze emissiereductie is niet significant verschillend van nul ($P>0,10$). Het resultaat is sterk beïnvloed door één afwijkende waarneming. Weglating van deze uitbijtende waarneming resulteert in een gemiddelde emissiereductie van 10,8%, en een significant verwijderingseffect ($P=0,004$).

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 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. From this study, the following conclusions are drawn. One of these solutions is a commercially available positive air ionization system. This technique is placed inside the poultry house, under the roof, and removes fine dust particles from the inside air through the principle of positive air ionization. The system is placed in the air flow that is normally present in the building.

The aim of the current study was to determine the emission reduction of the ionization system under field conditions, following the measurement protocol for fine dust. Based on this study, official emission figures can be adopted in regulations and used for environmental permit granting.

In this study the emission reduction of the ionization system was validated at two non-cage layer houses; one layer house with floor housing (house nr. 1) and one layer house with aviary housing (house nr. 2). Both houses were equipped with the system. In this study, a measurement strategy was applied with intermittent treatment and control periods within the same house. The system was working continuously. During a measurement, a 'treatment measurement' was done on day one (with the system on), followed by a 'control measurement' on day two (with the system switched off). The emission reduction of the system was calculated as the mean relative difference between the emissions of the two measurement days. At the two laying hen houses, concentrations were measured of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), carbon dioxide, air temperature and relative humidity. Furthermore, animal and production characteristics were collected. Based on CO₂-concentrations and animal and production characteristics, ventilation exchange rates were determined using the CO₂ mass balance method. Measurements were conducted from May to November 2012. With regard to the measurement strategy and methods, the measurement protocol for particulate matter was followed as close as possible. This protocol prescribes six measurements per house location, balanced over the calendar year. In total, 12 measurements were done, 11 of them were successful and yielded reliable data.

From this validation study at two houses for laying hens, the following conclusions are drawn:

- the mean emission reduction ($\pm$ standard deviation between houses) of the ionization system for PM₁₀ is $6.3 \pm 6.3\%$. This is a statistically significant emission reduction ($P=0.03$);
- the mean emission reduction ($\pm$ standard deviation between houses) of the ionization system for PM_{2.5} is $6.5 \pm 15.9\%$. This emission reduction is not significantly different from zero ($P>0.10$). The average emission reduction is influenced by one outlying observation. Omitting this observation results in an average emission reduction of 10.8% and a significant reduction effect ($P=0.004$).

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Hoofddijnen van het onderzoek	2
2.2	Leghennenstallen	2
2.3	Ionisatiesysteem en werkingsprincipe	2
2.4	Metingen	3
2.4.1	Meetposities en bemonsteringsduur	3
2.4.2	Fijnstofmetingen (PM10 en PM2,5)	3
2.4.3	CO ₂ -metingen	4
2.4.4	Ventilatiedebiet	4
2.4.5	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	4
2.4.6	Productiegegevens	5
2.5	Rekenmethoden en statistische toetsing	5
2.5.1	Berekening fijnstofemissies (PM10 en PM2,5)	5
2.5.2	Berekening emissiereducties van fijnstof (PM10 en PM2,5)	5
2.5.3	Statistische toetsing	5
3	Resultaten en discussie	7
3.1	Meetomstandigheden	7
3.2	Ventilatiedebieten	9
3.3	Concentraties, emissies en emissiereducties van PM10	10
3.4	Concentraties, emissies en emissiereducties van PM2,5	11
4	Conclusies	12
	Literatuur	13
	Bijlagen	14
Bijlage A	Bedrijfsbeschrijving meetlocatie 1	14
Bijlage B	Bedrijfsbeschrijving meetlocatie 2	16
Bijlage C	Gegevenstabel ventilatiedebieten, concentraties en emissies	18

1 Inleiding

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

Een van deze technieken is een positief ionisatiesysteem voor pluimveestallen. Deze techniek wordt aangebracht in de nok van de stal en verwijdt fijnstof uit de stallucht door het principe van positieve ionisatie. Het systeem wordt opgehangen in de luchtstroming die aanwezig is in leghennenstallen. Omdat het systeem in de stal werkzaam is, wordt mogelijk niet alleen een emissiereductie bereikt, maar verbetert ook het stalklimaat voor mens en dier.

In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van het ionisatiesysteem gevalideerd op twee leghennenbedrijven; een stal met scharrelhuisvesting en een stal met volièrehuisvesting. Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden en volgens het fijnstofmeetprotocol vaststellen van de emissiereductie van het ionisatiesysteem. Op grond van dit onderzoek kunnen emissiecijfers worden vastgesteld t.b.v. regelgeving en vergunningverlening.

2 Materiaal en methoden

2.1 Hoofdpijnen van het onderzoek

In dit onderzoek is de emissiereductie van het ionisatiesysteem onder praktijkomstandigheden gevalideerd door emissiemetingen uit te voeren aan het ionisatiesysteem op praktijkbedrijven. De metingen zijn uitgevoerd bij een leghennenstal met scharrelhuisvesting (meetlocatie 1) en een leghennenstal met volièrehuisvesting (meetlocatie 2).

Aan deze stallen zijn PM10 en PM2,5 metingen uitgevoerd volgens het fijnstofmeetprotocol zoals beschreven in Ogink et al. (2011) met enkele aanpassingen zoals hierna beschreven. De meetstrategie is in afwijking van het hiervoor genoemde meetprotocol gebaseerd op het 'case-control' principe dat staat beschreven in het VERA-protocol voor huisvestingssystemen (VERA, 2011). De VERA-benadering wordt gelijkwaardig geacht aan het Nederlandse meetprotocol. In dit ionisatie-onderzoek is geen gelijktijdige 'case-control' strategie gebruikt; d.w.z. een situatie met identieke stallen (met en zonder een proefbehandeling), omdat in de Nederlandse pluimveesector zeer weinig identieke leghennenstallen met gelijke leeftijd van de kippen voorhanden zijn. Als alternatief is gekozen voor een 'controle in de tijd' binnen dezelfde stal. Het ionisatiesysteem was gedurende dit onderzoek continu in werking. Tijdens elke meting werd op dag één gestart met een 24-uursmeting waarbij het ionisatiesysteem (nog steeds) in werking was. Op dag twee van elke meting werd de eerste meetperiode van 24 uur beëindigd en direct daarna het ionisatiesysteem uitgeschakeld. Vervolgens werd twee uur gewacht om de stofconcentratie in de stal weer in een nieuw evenwicht te laten komen. Daarna werd de 'controlemeting' gestart bij een uitgeschakeld ionisatiesysteem, eveneens gedurende 24 uur. De emissiereductie van het systeem is vervolgens bepaald als het gemiddelde relatieve verschil in fijnstofemissies tussen deze opeenvolgende dagen. Met uitzondering van deze strategie is voor de overige aspecten van de uitvoering aangesloten op het Nederlandse meetprotocol voor fijnstof. Naast PM10 en PM2,5 is ook CO₂ gemeten. De CO₂-concentraties zijn samen met gegevens over de dieren en de eiproduktie gebruikt om het ventilatiedebiet te bepalen d.m.v. de CO₂-massabalansmethode (zie hoofdstuk 2.4.2). Tot slot zijn metingen verricht van de klimaatomstandigheden (temperatuur en relatieve luchtvochtigheid).

De metingen werden uitgevoerd van mei t/m november 2012. In totaal werden 12 metingen uitgevoerd; zes metingen aan stal 1 en zes metingen aan stal 2. Van meting 3 op locatie 1 werden door een technische storing geen betrouwbare resultaten verkregen. In totaal werden van 11 geslaagde metingen betrouwbare meetgegevens verkregen.

2.2 Leghennenstallen

De belangrijkste kenmerken van de twee leghennenstallen in dit onderzoek worden weergegeven in Bijlage A (stal 1; scharrelhuisvesting) en Bijlage B (stal 2; volièrehuisvesting). In deze bijlagen zijn verder foto-impressies van de stallen en de metingen opgenomen.

2.3 Ionisatiesysteem en werkingsprincipe

Het ionisatiesysteem bestaat uit diverse, identieke elementen die in de stal werden opgehangen. Een element bestaat uit een dubbelwandige plaat (ca. 2 x 1 m; l x h) welke aan weerszijde is voorzien van een getande metalen strip die op enige afstand voor de plaat langs loopt en waarop een hoge positieve spanning is aangebracht. De dubbelwandige plaat is geaard. Door de hoge spanning op de strip worden elektronen vrijgemaakt uit de gasvormige moleculen rond de strip en ontstaan positief geladen ionen. Door de positieve spanning op de draad bewegen de ionen van de strip af in de richting van het geaarde afvangoppervlak. Hierbij komen de positieve ionen in botsing met stofdeeltjes waaraan de lading wordt overgedragen. De stofdeeltjes hechten aan het geaarde oppervlak en worden zo uit de stallucht verwijderd. Foto's van het ionisatiesysteem worden weergegeven in Bijlagen A en B.

2.4 Metingen

2.4.1 Meetposities en bemonsteringsduur

In dit onderzoek zijn metingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), koolstofdioxide, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Deze parameters zijn gemeten in de buitenlucht die de stal instroomt (buiten de stal, tegen de zijmuur, nabij de inlaat en in de stal, in de luchtstroom die de stal verlaat, vlak vóór de ventilatoren. De stalconcentraties van PM10, PM2,5 en koolstofdioxide werden in duplo gemeten. Buiten werden deze componenten in enkelvoud gemeten. Alle metingen werden uitgevoerd in bemonsteringsperioden van 24 uur.

2.4.2 Fijnstofmetingen (PM10 en PM2,5)

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens meetdagen van 24 uur:

- 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 10 μm (PM10);
- 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 2,5 μm (PM2,5);
- minuutmonsters van deeltjes kleiner dan 10 μm (PM10; alleen in de stal).



Figuur 1 Monsternametoestellen voor PM10 en PM2,5. Links: een set apparatuur voor gravimetrische meting van PM10 (linker driepoot) en PM2,5 (rechter driepoot). Midden: detailfoto van de 'constant flow' monsternamepomp. Rechts: de DustTrak model 8520 voor optische en continue metingen van het verloop in PM10 concentratie

Figuur 1 laat de monsternametoestellen zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de referentie monsternametoestellen in standaard EN 12341 en standaard EN 14907 voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (CEN, 1998, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en deze standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafseparator is vervangen door een cycloon voorafseparator. Dit vanwege het gevaar van overbelasting van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM2,5 (Zhao et al., 2009).

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG Corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonsternametoestellen gewogen onder standaard condities: een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een relatieve luchtvochtigheid van $50\% \pm 5\%$ in het Milieulaboratorium van Wageningen UR, volgens de procedures van dit laboratorium. Deze voorwaarden staan beschreven in EN 14907 (CEN, 2005). Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternametoestellen van het type Charlie HV (roterend, $6\text{ m}^3/\text{uur}$, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternametoestellen (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen

2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 m³/uur en op een start- en eindtijd van de monsternamperiode. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten). De 24-uursgemiddelde massaconcentratie werd vervolgens bepaald door de massa aan ingevangen stof te delen door het volume bemonsterde lucht. Voor een uitvoerige beschrijving van het stofmeetprotocol, de achtergronden en de stofmeetapparatuur wordt verwezen naar Hofschreuder et al. (2008), Zhao et al. (2009) en Ogink et al. (2011). In de eerste publicatie staan tevens correctielijnen vermeld (zie pag. 33) voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternamkoppen naar impactor monsternamkoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd voor PM10: bij <222,6 µg/m³: $y = 1,0877 x$; bij >222,6 µg/m³: $y = 0,8304 x + 57,492$, waarbij y de gecorrigeerde en x de met cyclonen gemeten concentratie is.

Op de meetdagen werd tevens elke seconde de PM10 concentratie (mg/m³) gemeten met behulp van een DustTrak (Figuur 1, DustTrakTM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS). Minuutgemiddelde PM10 concentraties werden gelogd. Deze metingen werden verricht om het verloop van de fijnstofconcentratie gedurende de dag te bepalen.

2.4.3 CO₂-metingen

De bemonstering van CO₂ (voor het berekenen van het ventilatiedebiet) werd uitgevoerd volgens de zogenaamde 'longmethode' (Ogink and Mol, 2002). Bij deze methode wordt een 40 L Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een teflon slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak. De lucht wordt aangezogen door een kritisch capillair welke de flow reduceert tot een constante luchtstroom van 0,02 L/min (ca. 29 L in 24 uur). Op deze wijze werd een tijdsgemiddeld monster 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).

2.4.4 Ventilatie-debiet

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 [CO₂]_{buiten} en [CO₂]_{stal}; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Deze berekening van de CO₂-productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg) en de eiproductie (kg ei/hen per dag op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht). Het ventilatiedebiet V (m³/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V_{\text{totaal}} = \frac{\text{CO}_2 - \text{productie}}{([CO_2]_{\text{stal}} - [CO_2]_{\text{buiten}}) * 10^{-6}}$$

2.4.5 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (T; °C) en relatieve luchtvochtigheid (RV; %) van de ingaande en uitgaande luchtstroom van de droogfilterwand werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk ± 1,0 °C en ± 2%. De data werden opgeslagen in een datalogstelsysteem (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS). Daarnaast werden de meteorologische data van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation verkregen via de website van het KNMI.

2.4.6 Productiegegevens

Van elke meetdag werden de volgende gegevens geregistreerd of berekend:

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

2.5 Rekenmethoden en statistische toetsing

2.5.1 Berekening fijnstofemissies (PM10 en PM2,5)

Per stal ($k=1, 2$) en per meting ($i=1, 2, \dots, 6$) werd de fijnstofemissie bepaald voor de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was ($E_{AAN_{ki}}$; dag 1–2 van elke meting) en voor de dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was ($E_{UIT_{ki}}$; dag 2–3 van elke meting). De fijnstofemissies werden bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatie-debiet (V_{ki} ; m³/uur per dier), de 24-uursgemiddelde fijnstofconcentratie ($C_{binnen_{ki}}$; mg/m³) en de achtergrondconcentratie in de lucht die de stal instroomt ($C_{buiten_{ki}}$; mg/m³). De emissies werden uitgedrukt per dierplaats m.b.v. het aantal aanwezige dieren ($dieren_{aanwezig_{ki}}$) tijdens de meting en het aantal geplaatste dieren ($dieren_{geplaatst_{ki}}$), waarna werd vermenigvuldigd met 24 uur, 365 dagen en omgerekend naar grammen ($\times 0,001$). Tot slot werd gecorrigeerd voor een leegstandsperiode (L) van 5% (Ogink et al., 2011; bijlage C), volgens onderstaande formules:

$$E_{AAN_{ki}} = V_{ki} * ([C_{binnen_{ki}}] - [C_{buiten_{ki}}]) * \left(\frac{dieren_{aanwezig_{ki}}}{dieren_{geplaatst_{ki}}} \right) * 24 * 365 * 0,001 * \left(\frac{100-L}{100} \right)$$

$$E_{UIT_{ki}} = V_{ki} * ([C_{binnen_{ki}}] - [C_{buiten_{ki}}]) * \left(\frac{dieren_{aanwezig_{ki}}}{dieren_{geplaatst_{ki}}} \right) * 24 * 365 * 0,001 * \left(\frac{100-L}{100} \right)$$

2.5.2 Berekening emissiereducties van fijnstof (PM10 en PM2,5)

Per stal ($k=1, 2$) en per meting ($i=1, 2, \dots, 6$) werd voor zowel PM10 als PM2,5 het verwijderingsrendement (R_{ki} ; %) bepaald als het relatieve verschil tussen de emissie op de dag waarop het ionisatiesysteem in werking was en de emissie op de dag waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was, volgens onderstaande formule:

$$R_{ki} = \left(1 - \frac{E_{AAN_{ki}}}{E_{UIT_{ki}}} \right) \times 100$$

Uit de 12 metingen werden in totaal 12 emissiereducties verkregen voor PM10 en eveneens 12 emissiereducties voor PM2,5. De gemiddelde emissiereductie van het ionisatiesysteem (R ; %) werd bepaald als het overall gemiddelde van alle emissiereducties (R_{ki} ; %), volgens onderstaande formule:

$$R = \overline{R_{ki}}$$

2.5.3 Statistische toetsing

Met behulp van de t-toets voor gepaarde waarnemingen is bepaald of de fijnstofemissies op de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was ($E_{AAN_{ki}}$) lager was dan de fijnstofemissies op de dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was ($E_{UIT_{ki}}$). Hierbij worden de zes gepaarde waarnemingen per meetlocatie als onafhankelijk beschouwd. In de methodiek van deze t-toets wordt voor elke meting afzonderlijk het verschil bepaald tussen de fijnstofemissie op de dag waarop het

ionisatiesysteem uitgeschakeld was ($E_{UIT_{ki}}$) en de fijnstofemissie op de dag waarop het ionisatiesysteem aangeschakeld was ($E_{AAN_{ki}}$), volgens onderstaande formule:

$$d_{ki} = [E_{UIT_{ki}}] - [E_{AAN_{ki}}]$$

Vervolgens wordt de t -waarde bepaald op basis van:

$$t = \frac{D - D_0}{S_d / \sqrt{n}}$$

waarbij:

D = het gemiddelde van de emissieverschillen d_{ki}

D_0 = de te toetsen waarde van D onder de nulhypothese dat de emissies op dagen waarop het ionisatiesysteem aan stond hoger dan of gelijk is aan de emissies op dagen waarop het ionisatiesysteem uit stond. Oftewel: het ionisatiesysteem verlaagt de fijnstofemissie niet, het gemiddelde verschil is nul of zelfs negatief; $D_0 \leq 0$. De alternatieve hypothese is: $D_0 > 0$

S_d = de standaarddeviatie van de verschillen d_{ki}

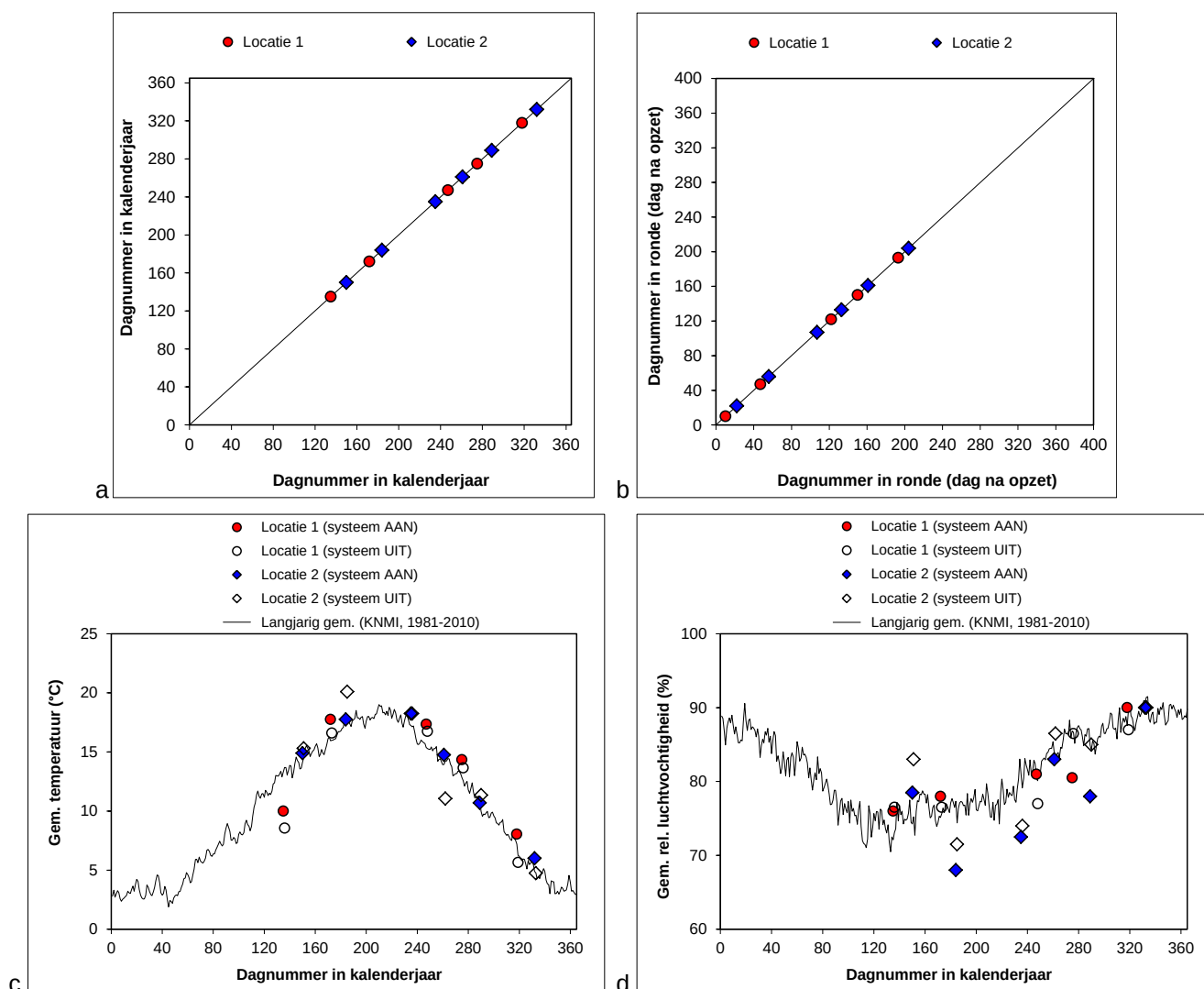
n = het aantal metingen

Deze t -waarde wordt vergeleken met de kritieke $t_{(1-\alpha, n-1)}$ waarde uit een eenzijdige Student's t -verdeling bij een onbetrouwbaarheidsdrempel (α) van 0,05 en bij $n-1$ vrijheidsgraden. De nulhypothese (het ionisatiesysteem verlaagt de fijnstofemissie niet) wordt verworpen, en de alternatieve hypothese overtuigend aangetoond geacht, wanneer geldt: $t > t_{(0,95, 10)}$.

3 Resultaten en discussie

3.1 Meetomstandigheden

Het meetprotocol voor fijnstof schrijft voor dat voor het bepalen van een emissiefactor metingen dienen plaats te vinden op minimaal 4 verschillende bedrijfslocaties (Ogink et al., 2011; hfdst. 2). Voor het vaststellen van een verwijderingsrendement of emissiereductie van mitigatie technieken zoals luchtwassers en biofilters geldt dat volstaan kan worden met twee meetlocaties (Ogink et al., 2011; bijlagen E1 en E2). Per meetlocatie dienen zes metingen uitgevoerd te worden, gespreid over het kalenderjaar. Minimaal 80% van alle uitgevoerde metingen (en tenminste vier metingen per locatie) moeten betrouwbare resultaten opleveren. Figuur 2 en Tabel 1 laten zien hoe de metingen in dit onderzoek in werkelijkheid uitgevoerd zijn.



Figuur 2 Verdeling van de metingen over het jaar (a), de productieperiode (b), en de buitentemperatuur (c) en relatieve luchtvochtigheid (d) vergeleken met het langjarig gemiddelde over de jaren 1981 t/m 2010 (bron: www.knmi.nl; als lijn weergegeven)

De metingen zijn uitgevoerd aan twee meetlocaties: een leghennenstal met scharrelhuisvesting (locatie 1) en een leghennenstal met volièrehuisvesting (locatie 2). In totaal zijn 12 metingen uitgevoerd, waarvan 11 succesvol waren. Door stroomuitval tijdens meting 3 op meetlocatie 1 kan deze meting niet worden gebruikt. De metingen zijn uitgevoerd over een periode van 199 dagen, oftewel ruim een half jaar. Geen van de metingen viel in het winterseizoen. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 237 (doel: ca. 183 dagen). De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (13,3 °C) is dientengevolge hoger dan het langjarige gemiddelde in

Nederland (10,2 °C). Voor de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid op de dagen waarop is gemeten (80,4%) geldt dat deze vergelijkbaar is met het langjarige gemiddelde (81,8%). Hoewel de metingen zich niet uitstrekten over een geheel kalenderjaar geldt wel dat de metingen de volledige bandbreedte in temperatuur en luchtvochtigheid besloeg die normaliter door een kalenderjaar voorkomt (Figuur 2C en 2D). Verwacht mag worden dat de range aan door het jaar optredende stalklimaatseffecten daarmee is meegenomen in deze meetserie.

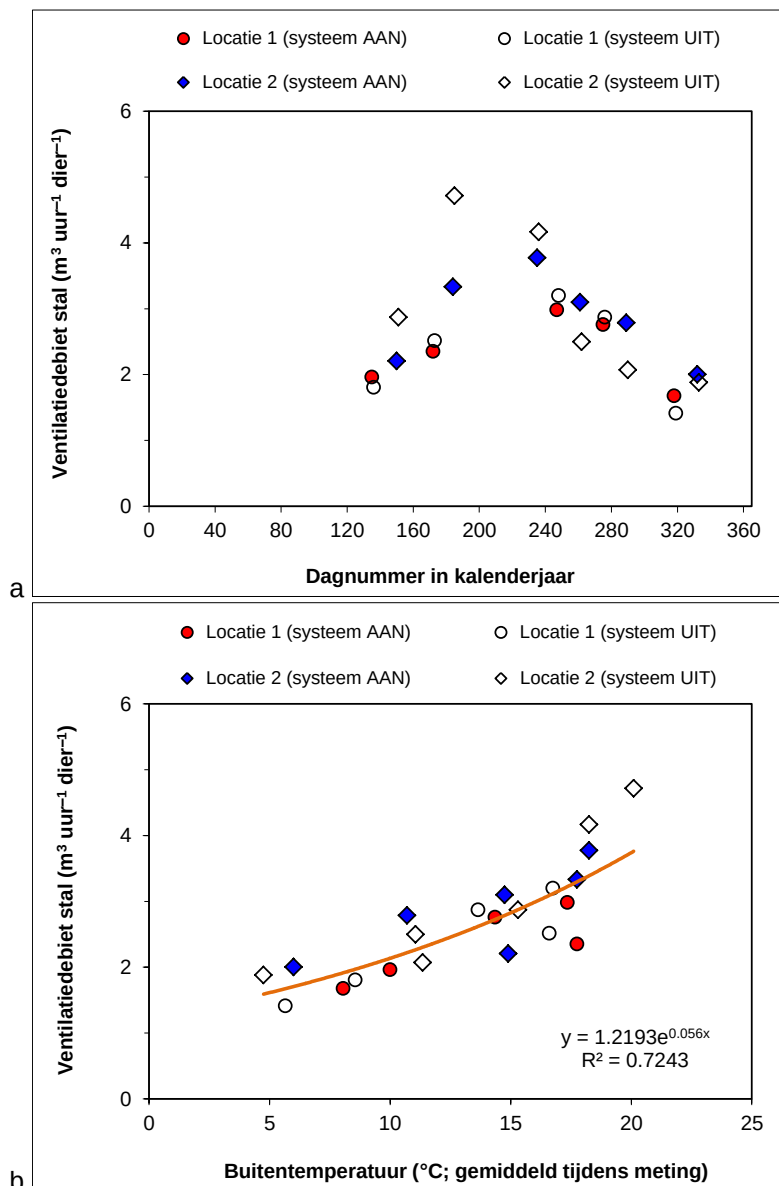
Op beide bedrijven werden met de metingen begonnen vanaf ca. twee weken na aankomst van een nieuw koppel hennen. De technische resultaten van de hennen vertoonden een normaal patroon gedurende de meetperiode (Tabel 1).

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

Locatie	Kenmerk	Meting					
		1	2	3	4	5	6
1	Datum start metingen	14-05-12	20-06-12	23-07-12	3-09-12	1-10-12	13-11-12
	Dag in kalenderjaar	135	172	205	247	275	318
	Leeftijd (weken)	20,6	25,9	30,6	36,6	40,6	46,7
	Dag na opzet	10	47	80	122	150	193
	Aantal hennen aanwezig	7420	7373	7357	7304	7290	7285
	Uitval cumulatief (%)	0,0	0,6	0,8	1,6	1,8	1,8
	Gemiddeld hengewicht (kg)	1,70	1,81	1,83	1,81	1,94	1,93
	Legpercentage (%)	7,0	96,5	93,6	92,9	94,5	92,9
	Gemiddeld eigewicht (g)	44,1	55,9	56,5	58,4	61,0	61,7
	T _{max} Buiten (dag 1; °C)	16,6	21,8	25,6	23,0	18,7	10,4
	T _{min} Buiten (dag 2; °C)	7,6	14,0	10,7	9,7	12,8	1,0
	T _{gem} Buiten (dag 1-2; °C)	10,0	17,8	19,9	17,4	14,4	8,1
	T _{max} Buiten (dag 2; °C)	12,4	21,9	28,9	24,7	17,8	12,6
	T _{min} Buiten (dag 3; °C)	2,3	12,7	13,3	12,5	10,4	0,0
	T _{gem} Buiten (dag 2-3; °C)	8,6	16,6	21,6	16,8	13,7	5,7
	T _{gem} Stal (dag 1-2; °C)	20,9	25,9	26,9	24,7	23,3	22,1
	T _{gem} Stal (dag 2-3; °C)	18,8	24,7	28,5	26,0	22,7	21,5
	RV _{gem} Buiten (dag 1-2; %)	76,0	78,0	67,0	81,0	80,5	90,0
	RV _{gem} Buiten (dag 2-3; %)	76,5	76,5	66,5	77,0	86,5	87,0
	RV _{gem} Stal (dag 1-2; °C)	58,3	68,9	58,1	60,6	78,4	75,6
	RV _{gem} Stal (dag 2-3; °C)	71,4	72,1	57,3	62,8	83,5	73,3
2	Datum start metingen	29-05-12	2-07-12	22-08-12	17-09-12	15-10-12	27-11-12
	Dag in kalenderjaar	150	184	235	261	289	332
	Leeftijd (weken)	21,0	25,9	33,1	36,9	40,9	47,0
	Dag na opzet	22	56	107	133	161	204
	Aantal hennen aanwezig	14711	14677	14652	14607	14579	14517
	Uitval cumulatief (%)	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,4
	Gemiddeld hengewicht (kg)	1,76	1,85	1,87	1,88	1,89	1,90
	Legpercentage (%)	56,8	96,3	95,7	95,1	94,6	92,4
	Gemiddeld eigewicht (g)	47,5	58,4	60,6	62,5	62,4	62,9
	T _{max} Buiten (dag 1; °C)	18,5	21,3	22,1	19,9	13,5	8,7
	T _{min} Buiten (dag 2; °C)	8,4	13,9	13,5	8,3	8,8	-0,3
	T _{gem} Buiten (dag 1-2; °C)	14,9	17,8	18,3	14,8	10,7	6,0
	T _{max} Buiten (dag 2; °C)	22,3	23,5	23,1	17,4	15,0	9,3
	T _{min} Buiten (dag 3; °C)	12,1	15,8	13,0	4,8	7,0	1,0
	T _{gem} Buiten (dag 2-3; °C)	15,3	20,1	18,3	11,1	11,4	4,8
	T _{gem} Stal (dag 1-2; °C)	24,4	25,0	25,1	25,1	22,7	22,2
	T _{gem} Stal (dag 2-3; °C)	24,7	26,2	25,0	23,3	22,5	22,2
	RV _{gem} Buiten (dag 1-2; %)	78,5	68,0	72,5	83,0	78,0	90,0
	RV _{gem} Buiten (dag 2-3; %)	83,0	71,5	74,0	86,5	85,0	90,0
	RV _{gem} Stal (dag 1-2; °C)	57,9	54,6	54,8	58,3	65,2	74,0
	RV _{gem} Stal (dag 2-3; °C)	59,4	61,1	60,2	68,8	71,8	73,5

3.2 Ventilatie-debieten

In Figuur 3 wordt het ventilatiedebiet op de verschillende meetdagen voor de twee bedrijven weergegeven. In Bijlage C worden de CO₂-concentraties weergegeven op grond waarvan deze debieten zijn bepaald.



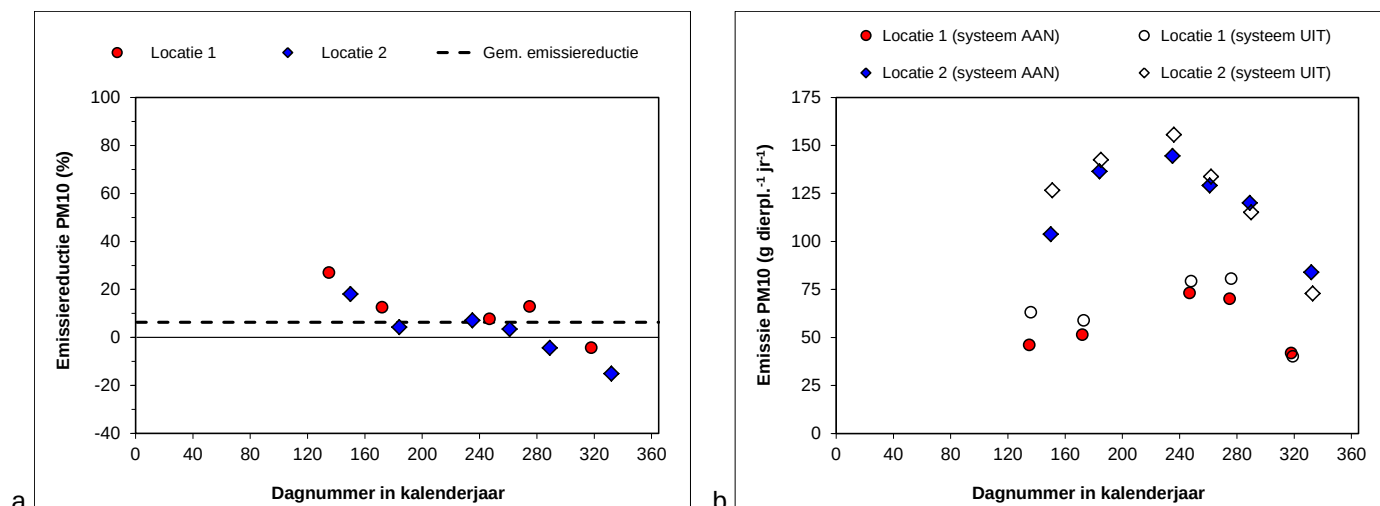
Figuur 3 Het gemiddelde ventilatiedebiet op de meetdagen, uitgezet tegen het dagnummer in kalenderjaar (a) en de gemiddelde buitentemperatuur (b)

Uit deze figuur blijkt dat het ventilatiedebiet lager was aan het begin en aan het einde van de meetperiode (bij lagere buitentemperaturen; minimumventilatie: ca. 1 tot 2 m³/uur per dier) en hoger in de zomerperiode (hogere buitentemperaturen). Het ventilatiedebiet nam toe met de gemiddelde buitentemperatuur. Het gemiddelde ventilatiedebiet ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) was enigszins hoger voor locatie 2 ($3,0 \pm 0,9$ m³/uur per dier) dan voor locatie 1 ($2,4 \pm 0,6$ m³/uur per dier). Het gemiddelde ventilatiedebiet tijdens de metingen met het ionisatiesysteem aangeschakeld ($2,6 \pm 0,7$ m³/uur per dier) kwam goed overeen met het gemiddelde ventilatiedebiet tijdens de metingen met het ionisatiesysteem uitgeschakeld ($2,7 \pm 1,0$ m³/uur per dier). Op locatie 1 lagen de debieten van de twee meetdagen (aan/uit) telkens zeer dicht bij elkaar. Op locatie 2 waren de verschillen groter. Voor een deel kan dit worden verklaard doordat op locatie 2 de 24-uursgemiddelde buitentemperaturen van controle- en proefmeting meer uiteenliepen (Tabel 1 en Figuur 3). Daarom is het stofverwijderende effect van het systeem bepaald op emissieniveau: het vermenigvuldigingsproduct van debiet en

concentratie. Op geen van de meetdagen overschreed de CO₂-concentratie in de stal (zie Bijlage C) de landbouwkundige randvoorwaarde van 3000 ppm, zoals genoemd in het fijnstofmeetprotocol.

3.3 Concentraties, emissies en emissiereducties van PM10

In Figuur 4 worden de emissies en emissiereducties van PM10 weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven.



Figuur 4 a. emissiereducties voor PM10 en b. emissies van PM10, voor beide bedrijven, zowel van de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was (gekleurde symbolen) als van de dagen waarop het ionisatiesysteem niet in werking was (transparante symbolen)

De gemiddelde PM10-concentratie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) op de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was bedroeg $3,934 \pm 1,100 \text{ mg/m}^3$. De gemiddelde PM10-concentratie op de dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was bedroeg $4,210 \pm 1,252 \text{ mg/m}^3$.

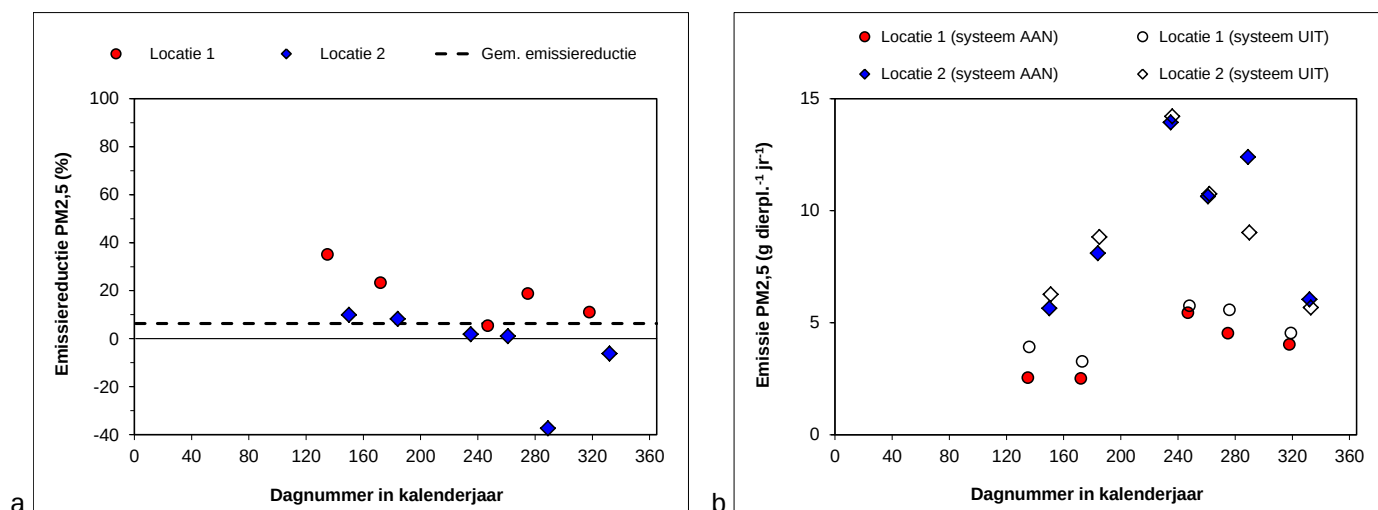
De gemiddelde PM10-emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) op de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was bedroeg $86,4 \pm 35,8 \text{ g/dierplaats per jaar}$. De gemiddelde PM10-emissie op de dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was bedroeg $92,3 \pm 36,9 \text{ g/dierplaats per jaar}$. De gemiddelde PM10 emissie van de controlemetingen op locatie 1 van $61,2 \text{ g/dierplaats per jaar}$ is hoger dan de emissiefactor van 84 voor dit stalsysteem. De gemiddelde PM10 emissie van de controlemetingen op locatie 2 van $118,2 \text{ g/dierplaats per jaar}$ is hoger dan de emissiefactor van 65 voor dit stalsysteem.

De gemiddelde emissiereductie voor PM10 ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) bedroeg $11,2 \pm 11,2\%$ voor locatie 1 en $2,2 \pm 11,2\%$ voor locatie 2. De gemiddelde emissiereductie voor PM10 over beide locaties ($\pm$ standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $6,3 \pm 6,3\%$. Uit de statistische analyse bleek dat de PM10-emissies op dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was statistisch significant lager waren dan op dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was ($P=0.030$).

Uit Figuur 4a blijkt dat op beide bedrijven begonnen werd met een emissiereductie tussen 15 en 30%. Daarna namen de emissiereducties af en bleven vrij stabiel rondom een niveau van ca. 10%. De laatste drie uitgevoerde metingen laten vervolgens een negatieve emissiereductie zien. Mogelijk weerspiegelt deze trend een afnemende effectiviteit van het systeem door stofhechting aan het systeem en stalinventaris. Deze stoflaag kan als isolator werken, waardoor het werkingsprincipe wordt tegengegaan en de effectiviteit van het systeem afneemt. Negatieve reducties kunnen mogelijk worden verklaard doordat stof door de zwaartekracht loslaat, naar beneden valt en (deels) weer wordt opgenomen in de lucht, hetgeen overigens niet duidelijk is waargenomen. De in dit onderzoek gevonden tendens komt overeen met resultaten uit eerder onderzoek naar ionisatie in leghennenstallen (Winkel et al., 2009b).

3.4 Concentraties, emissies en emissiereducties van PM_{2,5}

In Figuur 5 worden de emissies en emissiereducties van PM_{2,5} weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven.



Figuur 5 a. emissiereducties voor PM_{2,5} en b. emissies van PM_{2,5}, voor beide bedrijven, zowel van de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was (gekleurde symbolen) als van de dagen waarop het ionisatiesysteem niet in werking was (transparante symbolen)

De gemiddelde PM_{2,5}-concentratie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) op de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was bedroeg $0,300 \pm 0,126 \text{ mg/m}^3$. De gemiddelde PM_{2,5}-concentratie op de dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was bedroeg $0,320 \pm 0,120 \text{ mg/m}^3$.

De gemiddelde PM_{2,5}-emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; gecorrigeerd voor leegstand) op de dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was bedroeg $6,5 \pm 3,7 \text{ g/dierplaats per jaar}$. De gemiddelde PM_{2,5}-emissie op de dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was bedroeg $6,7 \pm 3,1 \text{ g/dierplaats per jaar}$. De gemiddelde PM_{2,5} emissie van de controlemetingen op locatie 1 van $4,4 \text{ g/dierplaats per jaar}$ is vergelijkbaar met de waarde van $4,0$ voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met grondhuisvesting (Mosquera et al., 2009). De gemiddelde PM_{2,5} emissie van de controlemetingen op locatie 2 van $8,7 \text{ g/dierplaats per jaar}$ is hoger dan de waarde van $3,9$ voor dit stalsysteem, gevonden in recente metingen aan vier leghennenstallen met voliërehuisvesting (Winkel et al., 2009a).

De gemiddelde emissiereductie voor PM_{2,5} ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) bedroeg $18,7 \pm 11,5\%$ voor locatie 1 en $-3,8 \pm 17,4\%$ voor locatie 2. De gemiddelde emissiereductie voor PM_{2,5} over beide locaties ($\pm$ standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $6,5 \pm 15,9\%$. Uit de statistische analyse bleek dat de PM_{2,5}-emissies op dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was niet statistisch significant lager waren dan op dagen waarop het ionisatiesysteem uitgeschakeld was ($P=0.322$).

Uit Figuur 4a blijkt dat 10 van de 11 emissiereducties een consistente, licht dalende tendens laten zien, zoals ook bij de emissiereducties voor PM₁₀ (Figuur 4). Meting 5 op locatie 2 laat een negatieve emissiereductie zien van $-37,4\%$. Wordt deze meting buiten beschouwing gelaten dan bedraagt de gemiddelde emissiereductie van de overige tien metingen $10,8\%$. Een herhaling van de statistische analyse op grond van deze tien waarnemingen geeft een statisch significant lagere PM_{2,5} emissie op dagen waarop het ionisatiesysteem in werking was ($P=0,004$). De emissiereductie van meting 5 op locatie 1 ($-37,4$) ligt $4,0$ standaardafwijkingen (standaardafwijking: $12,1$) verwijderd van het gemiddelde van de overige tien waarnemingen ($10,8$). Aan de negatieve emissiereductie ligt zowel een hoger ventilatiedebiet ($2,8$ versus $2,1 \text{ m}^3/\text{uur per hen}$) als een hogere PM_{2,5} concentratie ten grondslag ($0,553$ versus $0,509 \text{ mg/m}^3$) voor de dag waarop het ionisatiesysteem in werking was.

4 Conclusies

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de gemiddelde emissiereductie van het ionisatiesysteem ($\pm$ standaarddeviatie tussen bedrijven) voor PM10 bedraagt $6,3 \pm 6,3\%$. Er is sprake van een statistisch significante emissiereductie ($P=0,03$);
- de gemiddelde emissiereductie van het ionisatiesysteem ($\pm$ standaarddeviatie tussen bedrijven) voor PM2,5 bedraagt $6,5 \pm 15,9\%$. Deze emissiereductie is niet significant verschillend van nul ($P>0,10$). Het resultaat is sterk beïnvloed door één afwijkende waarneming. Weglating van deze uitbijtende waarneming resulteert in een gemiddelde emissiereductie van 10,8%, en een significant verwijderingseffect ($P=0,004$).

Literatuur

- CEN. 1998. EN 12341:1998. Air quality - Determination of the PM 10 fraction of suspended particulate matter - Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- CEN. 2005. EN 14907:2005. Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM2.5 mass fraction of suspended particulate matter. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- Chardon, W. J., and K. W. Van der Hoek. 2002. *Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw [Calculation method for emission of fine dust from agriculture]*. Alterra-report 682 / RIVM-report 773004014. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Alterra and the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- CIGR. 2002. *4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels* (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik). International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Section II.
- Hofschreuder, P., Z. Yang, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2008. *Measurement protocol for emissions of fine dust from animal houses: considerations, draft protocol and validation*. Report 134. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Mosquera, J., A. Winkel, F. Dousma, E. Lovink, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009. *Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in scharrelhuisvesting [Dust emission from animal houses: layer hens in floor housing]*. Report 279. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., and G. Mol. 2002. *Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij*. IMAG nota P 2002-57. Wageningen, the Netherlands: IMAG.
- Ogink, N. W. M., and A. J. A. Aarnink. 2011. *Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij [Plan of action for particulate matter mitigation solutions in poultry]*. Report 113. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Ogink, N. W. M., P. Hofschreuder, and A. J. A. Aarnink. 2011. *Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Protocol for the measurement of fine emissions from housings in animal production 2010]*. Report 492. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp, and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature review (Manuscript BC 08 008). *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal X*.
- RIVM. 2011. Jaarlijkse nationale emissie van PM10; totaal en per sector/bron; voor 2011 [Yearly national emissions of PM10; in total and per sector/source, for 2011]. Bilthoven, the Netherlands: Emissieregistratie, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) [Pollutant Release and Transfer Register, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)]. Available at: <http://www.emissieregistratie.nl>. Accessed 12 February 2013.
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert, and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70(1):59-77.
- VERA. 2011. *Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems, version 2 / 2011-29-08*.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. M. G. Hol, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009a. *Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting [Dust emission from animal houses: layer hens in aviary systems]*. Report 278. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., R. A. van Emous, R. K. Kwikkel, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009b. *Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ionisatie bij leghennen in volièrehuisvesting [Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: ionization in aviary housing for layers]*. Report 285. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2009. Evaluation of an impaction and a cyclone pre-separator for sampling high PM10 and PM2.5 concentrations in livestock houses. *J. Aerosol Sci.* 40(10):868-878.

Bijlagen

Bijlage A Bedrijfsbeschrijving meetlocatie 1

A. Belangrijkste kenmerken meetlocatie 1

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Leghennenstal met traditionele grondhuisvesting
RAV code en emissiefactoren	E 2.7 Grondhuisvesting van legrassen (circa 1/3 strooiselvloer + circa 2/3 roostervloer) (BWL 2001.09) Emissie PM10: 84 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,315 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OU _E /dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b x h _{goot} x h _{nok})	72 x 12 x 2 x 4 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: ca. 830 m ² , stalinhoud: ca. 2525 m ³
Aantal dieren bij opzet	Ca. 7.420
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 8,9 hennen per m ² Ca. 2,9 hennen per m ³
Merk dieren	Lohman Brown Lite
Luchtinlaat	Via lange kleppen in de zijgevels, over de gehele lengte
Luchtuitlaat	Ventilatoren in eindgevel
Max. ventilatiecapaciteit	3 ventilatoren (aan/uit, Ø 80 cm) van ca. 15.000 m ³ /uur elk Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: ca. 45.000 m ³ /uur (ca. 6,1 m ³ /uur per hen)
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuur	Streefwaarde: 19 °C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingssysteem	Grondhuisvesting met ca. 1/3 strooiselvloer en ca. 2/3 beun met verhoogde roostervloer en een rij legnesten
Voersysteem en voertijden	Voersysteem: voergoten met sleepketting op de beun in drie circuits. Voertijden: 09:00, 12:30, 15:00 en 18:30 uur
Drinksysteem en drinktijden	2 Drinkleidingen met nippels en lekschoteltes over de beun, één aan elke zijde van het legnest. Drinktijden: onbeperkt
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met gehakseld koolzaadstro. Er wordt niet bijgestrooid
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 5:30 tot 20:30 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 17 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 80 weken Leegstand: ca. 2 weken

B. Foto's



Voorgevel stal 2



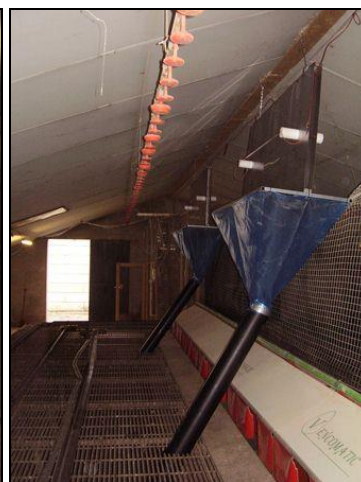
Achtergevel stal 2 met ventilatoren en zijgevel met winddrukcap en luchtinlaat



Achtergevel met drie ventilatoren



Overzichtsfoto van de binnenzijde van de stal, met strooiselvloer, beun met hardhouten roosters, A-ruiters, voergoten met voerketting, drinklijnen met nippels en lekschotelletjes, een enkele rij legnesten en verlichting middels vensters en TL-lampen. Tijdens het maken van de foto waren de ionisatiesystemen nog niet aanwezig



Overzichtsfoto's van de stal tijdens de leegstandperiode. Zichtbaar zijn de ionisatiesystemen boven de legnesten, met opvangzak en afvoerpijp voor het stof naar onder de beun

Bijlage B Bedrijfsbeschrijving meetlocatie 2*A. Belangrijkste kenmerken meetlocatie 2*

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling RAV code en emissiefactoren	Leghennenstal met volièrehuisvesting en lengteventilatie E2.11.2 45-55% van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met beluchting. Mestbanden minimaal tweemaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages (BWL 2004.10.V2). Beluchtingscapaciteit minimaal 0,2 m ³ /uur per dier Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar Emissie NH ₃ : 0,55 kg/dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,34 OU _E /dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	Onderste etage: 55,0 x 16,8 x 3,75 / 3,75 m Bovenste etage: 55,0 x 16,8 x 2,40 / 5,65 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: ca. 895 m ² Stalinhoud bovenetage: ca. 3.719 m ³
Aantal dieren bij opzet Bezettingsgraad bij opzet	15.100 leghennen (alleen bovenetage) Ca. 16,9 hennen per m ² Ca. 4,1 hennen per m ³
Merk dieren Luchtinlaat	H&N Brown Nick leghennen Per etage 33 inlaatventielen in beide zijgevels, 66 in totaal Afmetingen (b x h): 58 x 40 cm
Luchtuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 4 ventilatoren in de eindgevel
Max. ventilatiecapaciteit	4 ventilatoren (Ø 125 cm) van elk max. 44.500 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: ca. 178.000 m ³ /uur (ca. 11,8 m ³ /uur per hen)
Ventilatie-instellingen Temperatuurinstellingen Verwarming Speciale klimaatvoorzieningen Huisvestingssysteem	Op basis van staltemperatuur Streeftemperatuur: 21°C Geen Geen Volièrehuisvesting bestaande uit drie systeemrijen van elk drie leefniveaus, met in het midden van het systeem een dubbele rij legnesten. Het systeem heeft zitstokken boven het bovenste leefniveau. Mestbanden onder de roosters worden eens per week (maandag) afgedraaid. Mestbandbeluchting: 0,2 m ³ /uur per hen
Voersysteem en voertijden	Voergoten met sleepketting door de volièrestellingen, in totaal 6 circuits. Voertijden (gemiddeld onder en boven) 04:40, 10:08, 10:38, 12:38, 15:38 en 17:38 uur gedurende 8 minuten
Drinksysteem en drinktijden	9 Drinkleidingen met drinknippels en lekschoteltjes per systeemrij; twee aan beide zijden van de legnesten en één in elke opstelling op de onderste etage. Drinktijden: tussen 04:15 en 19:00 uur
Strooisel Lichtregime Productie	Houtkrullen, 15L:9D, licht aan van 04:30 tot 19:30 uur Leeftijd bij opzet: ca. 17 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 78 weken Leegstand: ca. 2 weken

B. Foto's



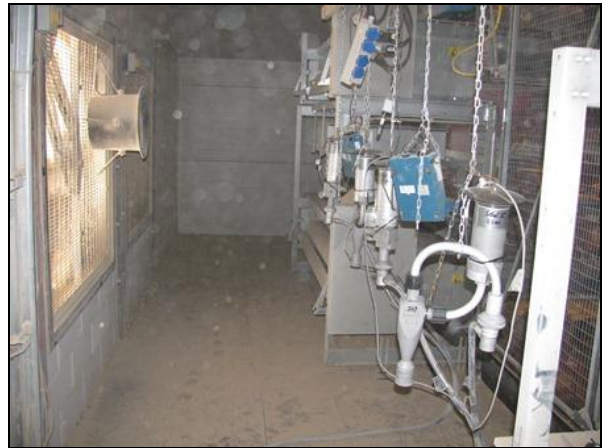
Voorgevel



Achtergevel met 4 ventilatoren (bovenetage)



Binnenaanzicht van de stal: strooiselpad met aan weerszijden een volièrestelling



Meetopstelling nabij de ventilator voor de minimumventilatie, welke altijd in werking is



Voedingen van de ionisatiesystemen aan de muur van de gang voor in de stal



De ionisatiesystemen hangend onder de nok van de bovenetage van de stal, boven de middelste systeemrij van het volièresysteem. Zichtbaar is een geelwitte stofhechting aan en rond de systemen.

Bijlage C Gegevenstabel ventilatiedebieten, concentraties en emissies

Locatie	Parameter	Meting					
		1	2	3	4	5	6
1	CO ₂ -concentratie stal (dag 1-2; ppm)	1460	1410	*)	1260	1310	1825
	CO ₂ -concentratie buiten (dag 1-2; ppm)	527	494	*)	539	488	477
	CO ₂ -concentratie stal (dag 2-3; ppm)	1485	1350	1345	1165	1300	2120
	CO ₂ -concentratie buiten (dag 2-3; ppm)	471	494	573	493	510	520
	Ventilatiedebiet (dag 1-2; m ³ /uur per hen)	2,0	2,4	*)	3,0	2,8	1,7
	Ventilatiedebiet (dag 2-3; m ³ /uur per hen)	1,8	2,5	2,8	3,2	2,9	1,4
	PM10 concentratie stal (dag 1-2; mg/m ³)	2,717	2,586	2,390	2,886	2,966	2,926
	PM10 concentratie buiten (dag 1-2; mg/m ³)	0,039	0,070	0,059	0,041	0,010	0,022
	PM10 emissie (dag 1-2; g/dierpl. per jr)	43,8	48,9	*)	69,5	66,7	39,8
	PM10 concentratie stal (dag 2-3; mg/m ³)	4,038	2,714	2,365	2,921	3,272	3,346
	PM10 concentratie buiten (dag 2-3; mg/m ³)	0,050	0,027	0,112	0,047	0,010	0,040
	PM10 emissie (dag 2-3; g/dierpl. per jr)	60,0	55,9	51,7	75,3	76,6	38,2
	PM10 emissiereductie (%)	27	13	*)	8	13	-4
	PM2,5 concentratie stal (dag 1-2; mg/m ³)	0,155	0,132	0,109	0,217	0,194	0,286
	PM2,5 concentratie buiten (dag 1-2; mg/m ³)	0,007	0,010	0,007	0,005	0,003	0,007
	PM2,5 emissie (dag 1-2; g/dierpl. per jr)	2,4	2,4	*)	5,2	4,3	3,8
	PM2,5 concentratie stal (dag 2-3; mg/m ³)	0,249	0,153	0,121	0,214	0,229	0,392
	PM2,5 concentratie buiten (dag 2-3; mg/m ³)	0,002	0,004	0,007	0,005	0,003	0,019
	PM2,5 emissie (dag 2-3; g/dierpl. per jr)	3,7	3,1	2,6	5,5	5,3	4,3
	PM2,5 emissiereductie (%)	35	23	*)	5	19	11
2	CO ₂ -concentratie stal (dag 1-2; ppm)	1400	1135	1041	1175	1315	1610
	CO ₂ -concentratie buiten (dag 1-2; ppm)	497	476	452	456	512	491
	CO ₂ -concentratie stal (dag 2-3; ppm)	1210	969	1005	1380	1525	1730
	CO ₂ -concentratie buiten (dag 2-3; ppm)	516	503	472	487	445	536
	Ventilatiedebiet (dag 1-2; m ³ /uur per hen)	2,2	3,3	3,8	3,1	2,8	2,0
	Ventilatiedebiet (dag 2-3; m ³ /uur per hen)	2,9	4,7	4,2	2,5	2,1	1,9
	PM10 concentratie stal (dag 1-2; mg/m ³)	5,414	4,714	4,409	4,803	4,978	4,875
	PM10 concentratie buiten (dag 1-2; mg/m ³)	0,045	0,020	0,015	0,008	0,009	0,026
	PM10 emissie (dag 1-2; g/dierpl. per jr)	98,5	129,7	137,3	122,7	114,1	79,7
	PM10 concentratie stal (dag 2-3; mg/m ³)	5,085	3,492	4,319	6,166	6,425	4,532
	PM10 concentratie buiten (dag 2-3; mg/m ³)	0,047	0,031	0,035	0,002	0,018	0,040
	PM10 emissie (dag 2-3; g/dierpl. per jr)	120,3	135,4	147,8	127,0	109,4	69,3
	PM10 emissiereductie (%)	18	4	7	3	-4	-15
	PM2,5 concentratie stal (dag 1-2; mg/m ³)	0,298	0,295	0,427	0,396	0,553	0,350
	PM2,5 concentratie buiten (dag 1-2; mg/m ³)	0,006	0,016	0,003	0,002	0,040	0,002
	PM2,5 emissie (dag 1-2; g/dierpl. per jr)	5,4	7,7	13,2	10,1	11,8	5,7
	PM2,5 concentratie stal (dag 2-3; mg/m ³)	0,276	0,226	0,400	0,497	0,509	0,371
	PM2,5 concentratie buiten (dag 2-3; mg/m ³)	0,026	0,012	0,009	0,002	0,007	0,021
	PM2,5 emissie (dag 2-3; g/dierpl. per jr)	6,0	8,4	13,5	10,2	8,6	5,4
	PM2,5 emissiereductie (%)	10	8	2	1	-37	-6

*) Geen waarneming door technische storing



Wageningen UR Livestock Research

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

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