

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 440

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

Maart 2012



**LIVESTOCK RESEARCH**  
**WAGENINGEN UR**

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie 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](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel  
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,  
2011

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 filter (electrostatic precipitator)  
was determined through validation  
measurements on layer farms.

### Keywords

Fine dust, emission, ionization filter, poultry,  
laying hens

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteur(s)

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

### Titel

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

Rapport 440

### Samenvatting

In dit onderzoek is de fijnstofemissiereductie  
van een ionisatiefilter vastgesteld door  
validatiemetingen op leghennenbedrijven.

### Trefwoorden

Fijn stof, emissie, ionisatiefilter, pluimvee,  
legghennen



Rapport 440

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

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

A. Winkel

J. Mosquera

T.G. van Hattum

J.W.H. Huis in't Veld

G.M. Nijeboer

N.W.M. Ogink

Maart 2012



## **Voorwoord**

In dit onderzoek is de effectiviteit van een stofreducerend ionisatiefilter 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 een ionisatiefilter. 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. In dit kader is door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) verzocht om het uitwerken van een plan van aanpak voor het ontwikkelen van praktijkrijpe bedrijfsoplossingen voor het terugdringen van de fijnstofemissie uit de pluimveehouderij.

Een van deze technieken is het ionisatiefilter. Deze end of pipe techniek wordt nageschakeld aan stallen en verwijdert fijnstof uit de ventilatielucht door het principe van positieve ionisatie. Het ionisatiefilter bestaat uit een luchtkanaal waarin stofdeeltjes elektrisch positief worden geladen en afgevangen op een geaard afvangoppervlak welke frequent automatisch wordt gereinigd. Het ionisatiefilter is verder uitgerust met een grofstoffilter, eveneens met automatische reiniging, aan de ingaande zijde.

In 2010 is een indicatieve evaluatie uitgevoerd voor wat betreft de potentiële effectiviteit en toepasbaarheid van dit ionisatiefilter voor de praktijk, o.a. aan de hand van een oriënterende fijnstofmeting aan het systeem nageschakeld aan een kooistal voor leghennen. Uit deze meting bleek een verwijderingsrendement voor PM10 van 71%, voor PM2,5 kon door zeer lage concentraties geen betrouwbaar verwijderingsrendement vastgesteld worden. De meting werd uitgevoerd bij (voor kooistallen gebruikelijke) lage fijnstofconcentraties. Geconcludeerd werd dat het systeem perspectiefvol is. Aanbevolen werd om het systeem te beproeven nageschakeld aan grond- en voliërehuisvestingssystemen waarin stofniveaus aanzienlijk hoger zijn.

Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden en volgens officiële meetprotocollen vaststellen van het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter. Op grond van dit onderzoek kunnen emissiefactoren worden vastgesteld voor regelgeving en vergunningverlening.

In dit onderzoek is de effectiviteit van het ionisatiefilter gevalideerd op twee leghennenbedrijven; een stal met voliërehuisvesting (stal 1) en een stal met scharrelhuisvesting (stal 2). Aan deze stallen zijn metingen verricht van PM10- en PM2,5-concentraties (zowel van de ingaande als uitgaande luchtstroom van het ionisatiefilter), op basis waarvan het verwijderingsrendement voor PM10 en PM2,5 over het ionisatiefilter werd vastgesteld. Verder werden metingen verricht van CO<sub>2</sub> (voor het berekenen van het ventilatiedebiet), temperatuur en relatieve luchtvochtigheid en werden dier- en productiegegevens vastgelegd. Aan de hand van gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties en verzamelde diergegevens werd het ventilatiedebiet bepaald middels de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. Alle PM concentraties gemeten aan de uitgaande zijde van het ionisatiefilter zijn gecorrigeerd voor inmenging van (stofarme) buitenlucht met behulp van de uitgaande versus ingaande CO<sub>2</sub>-concentraties en de achtergrondconcentraties voor fijnstof en CO<sub>2</sub>.

De metingen werden verricht volgens het meetprotocol voor fijnstofemissiemetingen, waarbij zes metingen worden voorgeschreven per locatie, verspreid over het kalenderjaar en de legperiode van de dieren. De metingen zijn gestart in september 2010 (stal 1) en oktober 2010 (stal 2). Om snel een betrouwbaar beeld te krijgen van het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter zijn de (2 stallen x 6 metingen =) 12 metingen uitgevoerd tussen september 2010 en februari 2011. Omdat deze meetperiode slechts 6 maanden (najaar en winter) besloeg, zijn vervolgens 6 additionele zomermetingen uitgevoerd aan stal 1 tussen juni en augustus 2011. In totaal werden 12 metingen uitgevoerd aan stal 1 en 6 metingen aan stal 2. Van 16 geslaagde metingen werden meetgegevens verkregen.

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

- het gemiddelde verwijderingsrendement ( $\pm$  standaarddeviatie) van het ionisatiefilter voor PM10 bedraagt  $57,0 \pm 16,7\%$ ;
- het gemiddelde verwijderingsrendement ( $\pm$  standaarddeviatie) van het ionisatiefilter voor PM2,5 bedraagt  $45,3 \pm 17,2\%$ .





## 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 ionization filter (a wire-to-plate type of electrostatic precipitator). This end of pipe technique is connected to the ventilators of the animal house and removes fine dust particles from the exhaust air through the principle of positive air ionization. The ionization filter consists of an air duct in which dust particles are electrically and positively charged and subsequently captured by a grounded collecting surface which is automatically and frequently cleaned. Furthermore, the ionization filter is equipped with an upstream total dust filter which is automatically and frequently cleaned as well.

In 2010 an indicative evaluation was performed with regard to the potential removal efficiency and applicability of the ionization filter for poultry houses. Indicative fine dust measurements on the technique, connected to a layer house with cages, showed a removal efficiency of 71% for PM<sub>10</sub>. For PM<sub>2.5</sub>, no reliable removal efficiency could be determined due to very low concentrations. Measurements were conducted at low fine dust concentrations commonly found in cage houses. From this evaluation it was concluded that the system can be effective and applicable. It was recommended to validate the system connected to non-cage (floor and aviary) houses for layers that normally display much higher dust concentrations.

The aim of the current study was to determine the removal efficiency of the ionization filter according to official measurement protocols and under field conditions. Based on this study, official emission factors can be adopted in regulations and used for environmental permit granting.

In this study the removal efficiency of the ionization filter was validated at two non-cage layer houses; one layer house with aviary housing (house nr. 1) and one layer house with floor housing (house nr. 2). At these two locations, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations were measured both upstream and downstream of the ionization filter. Based on these data, removal efficiencies for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were determined. Furthermore, CO<sub>2</sub> (for calculation of ventilation exchange rate), temperature and relative humidity were measured. Based on CO<sub>2</sub>-concentrations and animal and production characteristics, ventilation exchange rates were determined using the CO<sub>2</sub> mass balance method. All PM concentrations measured downstream were corrected for sampling of ambient (outside; low dust) air using the downstream versus upstream CO<sub>2</sub>-concentrations and background fine dust and CO<sub>2</sub> concentrations.

Measurements were conducted following to the measurement protocol for fine dust emissions, which prescribes six measurements per house location, balanced over the calendar year and the laying period of the hens. Measurements started in September 2010 (location 1) and October 2011 (location 2). To achieve a quick and accurate removal figure for regulation purposes, the (2 locations x 6 measurements =) 12 measurements were carried out between September 2010 and February 2011. This period however, only covered 6 months of the calendar year (fall and winter). Therefore, an additional set of 6 summer measurements was carried out at location 1 between June and August 2011. In total, 12 measurements were done at location 1 and 6 measurements at location 2. Sixteen measurements yielded useful results.

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

- the mean removal efficiency ( $\pm$  standard deviation) of the ionization filter for PM<sub>10</sub> is 57.0  $\pm$  16.7%;
- the mean removal efficiency ( $\pm$  standard deviation) of the ionization filter for PM<sub>2.5</sub> is 45.3  $\pm$  17.2%.



# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden</b> .....	<b>2</b>
2.1	Hoofdpijnen van het onderzoek .....	2
2.2	Leghennenstallen .....	2
2.3	Ionisatiefilter .....	2
2.4	Meetopstellingen voor bemonstering in de uitgaande luchtstroom .....	2
2.5	Metingen .....	4
2.5.1	Stofmetingen .....	4
2.5.2	CO <sub>2</sub> -metingen .....	6
2.5.3	Ventilatie-debiet .....	6
2.5.4	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid .....	6
2.6	Data-verwerking en berekeningen .....	7
2.6.1	Correctie van uitgaande fijnstofconcentraties voor inmenging buitenlucht .....	7
2.6.2	Berekening verwijderingsrendementen voor fijnstof (PM <sub>10</sub> en PM <sub>2,5</sub> ) .....	7
2.6.3	Berekening fijnstofemissies (PM <sub>10</sub> en PM <sub>2,5</sub> ) .....	8
<b>3</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>9</b>
3.1	Meetomstandigheden .....	9
3.2	Ventilatie-debiet .....	10
3.3	Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM <sub>10</sub> .....	11
3.4	Concentratiepatroon van PM <sub>10</sub> gedurende 24 uur .....	12
3.5	Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM <sub>2,5</sub> .....	13
<b>4</b>	<b>Discussie</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>16</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>17</b>
	<b>Bijlagen</b> .....	<b>18</b>
Bijlage 1	Bedrijfsbeschrijving stal 1 .....	18
Bijlage 2	Bedrijfsbeschrijving stal 2 .....	20
Bijlage 3	Schematische tekening werkingsprincipe ionisatiefilter .....	22
Bijlage 4	Foto ionisatiefilter nageschakeld aan een leghennenstal .....	22
Bijlage 5	Foto's meetopstelling 1a en 1b .....	23
Bijlage 6	Tekening en foto's meetopstelling 2 .....	24
Bijlage 7	Inschatting effect van RV (langjarig) op het verwijderingsrendement .....	26

## 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 landbouw draagt voor ongeveer éénvijfde deel 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 van deze technieken is het ionisatiefilter. Deze techniek wordt nageschakeld aan stallen (end of pipe) en verwijderd fijnstof uit de ventilatielucht door het principe van positieve ionisatie. Het ionisatiefilter bestaat uit een luchtkanaal waarin een dunne draad is bevestigd. Op de bodem van het kanaal is een geaard afvangoppervlak aangebracht. Op de dunne draad wordt een hoge positieve spanning gebracht. Hierdoor worden elektronen vrijgemaakt uit de gasvormige moleculen rond de draad en ontstaan positief geladen ionen. Door de positieve spanning op de draad bewegen de ionen van de draad 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 in de unit en worden zo uit de ventilatielucht verwijderd. Dit proces wordt versneld door de turbulentie van de luchtstroom in de unit. Het geaarde afvangoppervlak wordt frequent automatisch gereinigd en het afgevangen stof wordt afgevoerd. Het ionisatiefilter is verder uitgerust met een grofstoffilter (met eveneens frequente automatische reiniging) aan de ingaande zijde. Een schematische tekening van het ionisatiefilter is opgenomen in Bijlage 3.

In 2010 is een indicatieve evaluatie uitgevoerd voor wat betreft de potentiële effectiviteit en toepasbaarheid van het ionisatiefilter voor de praktijk (Winkel en Ogink, 2010), o.a. aan de hand van een oriënterende fijnstofmeting aan het systeem nageschakeld aan een kooistal voor leghennen. Uit deze meting bleek een verwijderingsrendement voor PM<sub>10</sub> van 71%, voor PM<sub>2,5</sub> kon door zeer lage concentraties geen betrouwbaar verwijderingsrendement vastgesteld worden. De meting werd uitgevoerd bij (voor kooistallen gebruikelijke) lage fijnstofconcentraties. Geconcludeerd werd dat het systeem perspectiefvol is. Aanbevolen werd om het systeem te beproeven nageschakeld aan grond- en volièrehuisvestingssystemen waarin stofniveaus aanzienlijk hoger zijn.

In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van het ionisatiefilter gevalideerd op twee leghennenbedrijven; een stal met scharrelhuisvesting en een stal met volièrehuisvesting. Het doel van dit onderzoek was het onder praktijkomstandigheden en volgens officiële meetprotocollen vaststellen van het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter. Op grond van dit onderzoek kunnen emissiefactoren worden vastgesteld voor regelgeving en vergunningverlening.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Hoofdpijnen van het onderzoek

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

Aan deze stallen zijn PM10 en PM2,5 metingen uitgevoerd volgens het protocol zoals beschreven in het rapport van Hofschreuder et al. (2008). Dit meetprotocol schrijft per locatie, verspreid over het jaar, zes meetdagen van 24 uur voor. Daarmee houdt het meetprotocol rekening met periodieke variaties in fijnstofemissie, bijvoorbeeld variaties binnen een dag als gevolg van verschillen in dieractiviteit en variaties tussen dagen als gevolg van verschillen tussen seizoenen of als gevolg van groei van dieren. Naast PM10 en PM2,5 is ook CO<sub>2</sub> gemeten. De CO<sub>2</sub>-concentraties zijn samen met gegevens over de dieren en de eiproductie gebruikt om het ventilatiedebiet te berekenen d.m.v. de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode (zie hoofdstuk 2.5.3). Tot slot zijn metingen verricht van de klimaatomstandigheden (temperatuur en relatieve luchtvochtigheid) in de stal (dierruimte; voor het ionisatiefilter), na het ionisatiefilter (in de meetopstelling aan de uitgaande zijde) en buiten de stal.

De metingen zijn gestart in september 2010 (stal 1) en oktober 2010 (stal 2). Om snel een betrouwbaar beeld te krijgen van het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter zijn de (2 stallen x 6 metingen =) 12 metingen uitgevoerd tussen september 2010 en februari 2011. Omdat deze meetperiode slechts 6 maanden (najaar en winter) besloeg, zijn vervolgens 6 additionele zomermetingen uitgevoerd aan stal 1 tussen juni en augustus 2011. In totaal werden 12 metingen uitgevoerd aan stal 1, 6 metingen aan stal 2 en 18 in totaal. Van 16 geslaagde metingen werden meetgegevens verkregen.

### 2.2 Leghennenstallen

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

### 2.3 Ionisatiefilter

Voor de metingen werd eenzelfde ionisatiefilter gebruikt (zie Bijlage 3). Bij de start van de metingen werd deze unit aan stal 1 nageschakeld gedurende 2 metingen. Daarna werd de unit verhuist naar stal 2 waar eveneens 2 metingen werden uitgevoerd. De unit werd na 2 metingen telkens verhuist naar de andere stal, totdat de set van 12 wintermetingen voltooid was. Ten behoeve van de zomermetingen is de unit continu nageschakeld geweest aan stal 1. Het ionisatiefilter was uitgerust met een eigen drukventilator (Fanco BV, Panningen, Nederland; max. ventilatiecapaciteit: ca. 30.000 m<sup>3</sup>/uur). De ventilatie door het ionisatiefilter betrof een deelstroom van de totale ventilatielucht uit de stal. Ten aanzien van het ventilatieniveau werd de volgende strategie gevolgd: de eerste vier metingen (metingen 1 en 2 aan stallen 1 en 2) werden uitgevoerd bij een maximaal (ca. 90% van het maximum) ventilatiedebiet van het ionisatiefilter. Bij een stabiel rendement zouden daarna ook lagere ventilatieniveaus bemeaten worden. Bij een niet-stabiel rendement zouden alle metingen bij een maximale ventilatie uitgevoerd worden. In afwachting van de resultaten zijn metingen 3 en 4 aan stal 1 (metingen 5 en 6 totaal) uitgevoerd bij een ventilatiedebiet van ca. 60% van het maximum (ca. 18.000 m<sup>3</sup>/uur). Op grond van de resultaten van de eerste vier metingen werd daarna besloten de resterende metingen uit te voeren bij een maximaal ventilatiedebiet.

### 2.4 Meetopstellingen voor bemonstering in de uitgaande luchtstroom

Het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter werd bepaald door metingen uit te voeren in de ingaande en de uitgaande luchtstroom van de unit. Metingen in de ingaande luchtstroom werden uitgevoerd in de stal, vlak voor de instroomopening van de unit.

### *Meetopstelling 1a*

Metingen in de uitgaande luchtstroom werden aanvankelijk uitgevoerd in een houten meetopstelling (meethuisje; ca. 2,5 x 2,5 x 2,5 m; l x b x h) van de leverancier, nageschakeld aan het ionisatiefilter. Een foto van dit meethuisje is opgenomen in Bijlage 5. Tijdens de metingen in dit meethuisje werd een aantal meettechnische problemen ondervonden:

1. doordat de lucht vanuit het ionisatiefilter niet centraal in het kubusvormige meethuisje werd geblazen ontstond een 'draaikolk' of 'werveling' in het meethuisje;
2. door deze werveling bestond er een heterogene verdeling van de luchtsnelheid en stromingsrichting (turbulentie) door de kubus heen;
3. door deze werveling stroomde er op sommige plekken enige buitenlucht het meethuisje in, hetgeen werd vastgesteld aan de hand van rookproeven;
4. de luchtsnelheid bij inblazen in het meethuisje bedroeg ca. 8 tot 11 m/s. Ter hoogte van de meetpositie (uitgaande zijde van het meethuisje) bedroeg de luchtsnelheid nog ca. 3 tot 4 m/s. De luchtsnelheid ter hoogte van de inlaat van de gebruikte cyclonen dient echter maximaal 2 tot 3 m/s te bedragen om niet-isokinetisch bemonsteren toe te laten.

Tijdens de eerste vijf metingen (stal 1, meting 1–2 en stal 2, meting 1–3) is geprobeerd onder deze omstandigheden een afdoende meetsituatie te verkrijgen door:

- a. de 'dode hoek' in het meethuisje waarlangs enige buitenlucht werd aangezogen af te dichten met houtplaatmateriaal
- b. de buitendeuren (uitlaat) van het meethuisje gedeeltelijk te sluiten
- c. de cyclonen op een plek met een luchtsnelheid rond 3 m/s te positioneren
- d. een afdak te creëren boven de deuren, aan de buitenzijde om inslag van regen en windval te voorkomen.

### *Meetopstelling 1b*

Om de luchtsnelheid rond de cyclonen verder terug te brengen is voor aanvang van de zesde meting (meting 4 bij stal 2) het meethuisje uitgebouwd door de deuren op 90° open te zetten en met houtplaatmateriaal het huisje te verlengen tot een kanaal van ca. 7 m lang (b x h: ca. 1,8 x 1,8 m). Foto's van meetopstelling 1b zijn weergegeven in Bijlage 5. De cyclonen werden vervolgens op ca. 6 m afstand van het ionisatiefilter gepositioneerd, op ca. 1 m afstand van de uitstroomopening van het kanaal. De luchtsnelheid ter hoogte van deze nieuwe meetpositie bedroeg ca. 1 tot 2 m/s, zodat werd voldaan aan de luchtsnelheidseisen van de cyclonen voor niet-isokinetisch bemonsteren. Meetopstelling 1b is toegepast bij metingen 6 t/m 12 (stal 1, meting 3–6 en stal 2, meting 4–6).

### *Meetopstelling 2*

Uit vergelijking van de CO<sub>2</sub>-concentraties van de ingaande en uitgaande lucht van het ionisatiefilter bleek dat telkens enige buitenlucht (met aanzienlijk lagere concentraties van CO<sub>2</sub> en fijnstof) inmengde in de meetopstelling aan de uitgaande zijde van het ionisatiefilter. Hoewel de meetresultaten hiervoor kunnen worden gecorrigeerd, is het beter dit in het geheel te voorkomen middels een buitenluchtdichte meetopstelling. Nadat besloten werd de eerste set van 12 metingen aan te vullen met nog eens 6 'zomermetingen' is voor deze meetserie een nieuwe meetopstelling bedacht en gemaakt, met de volgende kenmerken:

1. de lucht wordt centraal in de meetopstelling ingeblazen;
2. de luchtsnelheid wordt d.m.v. een 5 m lang piramidevormig kanaal (met toenemende diameter); geleidelijk teruggebracht tot ca. 2 m/s;
3. door de vorm van het kanaal in combinatie met het centraal inblazen wordt zo min mogelijk extra turbulentie teweeg gebracht;
4. na het piramidevormig deel van het kanaal volgt een vierkant kanaal van ca. 3 m lengte, bedoeld om een zo veel mogelijk laminaire luchtstroom te verkrijgen waarin gemeten wordt;
5. de uitstroomopening bevindt zich in de bodem van het kanaal en is voorzien van een windkap, zodat buitenlucht zo min mogelijk kan inmengen.

Een schematische tekening en foto's van meetopstelling 2 zijn opgenomen in Bijlage 6. Meetopstelling 2 is toegepast bij metingen 13 t/m 18 (stal 1, meting 7–12; de set zomermetingen).

## 2.5 Metingen

In Tabel 1 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht.

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

		Meting					
		1	2	3	4	5	6
Stal 1 winter	Datum	8-09-10	4-10-10	8-11-10	15-11-10	10-01-11	17-01-11
	Dag in kalenderjaar	251	277	312	319	10	17
	Dag na opzet	245	271	306	313	369	376
	T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)	21.0	20.6	8.2	9.9	3.9	10.0
	T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)	11.2	14.1	4.9	0.0	-0.3	4.2
	T <sub>gem</sub> Buiten (°C)	15.7	17.0	6.1	4.2	1.9	6.8
	RV <sub>gem</sub> Buiten (%)	88.5	82.0	92.5	94.5	92.5	93.0
	T <sub>gem</sub> voor ionisatiefilter (°C)	*)	*)	21.6	21.1	20.9	21.8
	RV <sub>gem</sub> voor ionisatiefilter (%)	*)	*)	65.5	67.6	66.8	69.8
	T <sub>gem</sub> na ionisatiefilter (°C)	*)	*)	17.4	12.4	11.9	16.5
	RV <sub>gem</sub> na ionisatiefilter (%)	*)	*)	72.9	88.2	88.0	81.3
	Stal 1 zomer	Datum	8-06-11	20-06-11	27-06-11	18-07-11	08-08-11
Dag in kalenderjaar		159	171	178	199	220	234
Dag na opzet		22	34	41	62	83	97
T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)		19.7	17.6	31.0	19.3	19.2	22.5
T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)		8.3	14.8	19.2	10.1	11.3	15.7
T <sub>gem</sub> Buiten (°C)		15.0	16.1	25.5	16.6	15.0	19.3
RV <sub>gem</sub> Buiten (%)		67.5	84.0	65.5	75.0	82.0	89.5
T <sub>gem</sub> voor ionisatiefilter (°C)		*)	23.5	28.2	23.3	22.8	24.5
RV <sub>gem</sub> voor ionisatiefilter (%)		*)	67.4	56.1	63.9	66.5	70.8
T <sub>gem</sub> na ionisatiefilter (°C)		*)	22.2	*)	22.5	22.0	23.8
RV <sub>gem</sub> na ionisatiefilter (%)		*)	74.2	58.6	63.8	66.3	84.7
Stal 2 winter		Datum	18-10-10	25-10-10	29-11-10	8-12-10	31-01-11
	Dag in kalenderjaar	291	298	333	342	31	38
	Dag na opzet	94	101	136	145	199	206
	T <sub>max</sub> Buiten (dag 1; °C)	11.7	10.6	-1.2	-0.4	0.4	11.8
	T <sub>min</sub> Buiten (dag 2; °C)	6.8	0.2	-3.4	-3.0	0.3	-2.5
	T <sub>gem</sub> Buiten (°C)	8.4	8.3	-1.8	-0.1	-0.3	6.3
	RV <sub>gem</sub> Buiten (%)	85.5	85.5	85.5	93.5	93.5	79.0
	T <sub>gem</sub> voor ionisatiefilter (°C)	22.5	21.7	19.7	19.7	*)	17.9
	RV <sub>gem</sub> voor ionisatiefilter (%)	66.5	68.3	71.5	79.9	*)	68.3
	T <sub>gem</sub> na ionisatiefilter (°C)	19.3	17.9	11.7	11.1	*)	13.2
	RV <sub>gem</sub> na ionisatiefilter (%)	73.4	72.2	99.9	98.2	*)	68.7

\*) Ontbrekende data of onbruikbare data (technische storingen, etc.)

### 2.5.1 Stofmetingen

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens meetdagen van 24 uur:

- duplo 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom van het ionisatiefilter;
- duplo 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) van zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom van het ionisatiefilter;
- minuutmonsters van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom van het ionisatiefilter.

Figuur 1 laat de monsternamen-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de standaard referentie monsternamenkoppen 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 PM<sub>2,5</sub> (Zhao et al., 2009).

PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM<sub>10</sub> of PM<sub>2,5</sub> 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 stofmonsternamen gewogen onder standaard condities: temperatuur 20 °C ± 1 °C en 50% ± 5% relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (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 monsternamerpompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m<sup>3</sup>/uur, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamkop (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 m<sup>3</sup>/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).



**Figuur 1** Monsterapparatuur voor PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>. Linksboven: een set apparatuur voor gravimetrische meting van PM<sub>10</sub> (linker driepoot) en PM<sub>2,5</sub> (rechter driepoot). Middenboven: detailfoto van de 'constant flow' monsternamerpomp. Rechtsboven: de DustTrak model 8520 voor optische en continue metingen van het verloop in PM<sub>10</sub> concentratie. Linksonder (van links naar rechts): inlaat, PM<sub>10</sub> cycloon, PM<sub>2,5</sub> cycloon en filterhouder. Rechtsonder: de constructie van de inlaat



Voor een uitvoerige beschrijving van het stofmeetprotocol, de achtergronden en de stofmeetapparatuur wordt verwezen naar Hofschreuder et al. (2008). In voornoemd rapport staan tevens correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternamekoppen naar impactor monsternamekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

PM10: < 222,6 µg/m<sup>3</sup>: Y = 1,0877 X  
 > 222,6 µg/m<sup>3</sup>: Y = 0,8304 X + 57,492  
 PM2,5: geen correctie

Op de meetdagen werd tevens elke seconde de PM10 concentratie (mg/m<sup>3</sup>) gemeten in zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom van het ionisatiefilter met behulp van een DustTrak (Figuur 1, DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS). Minuutgemiddelde PM10 concentraties werden gelogd. Deze metingen werden verricht om het verloop van de stofconcentratie gedurende de dag te bepalen.

### 2.5.2 CO<sub>2</sub>-metingen

De bemonstering van CO<sub>2</sub> (voor het berekenen van het ventilatiedebiet) werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen (0,2 L/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1–2 µm, Savillex<sup>®</sup> Corp., Minnetonka, VS) de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak. De monsterzak werd continu in 24 uur gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 L/min. Op deze wijze werd een tijdsgemiddeld monster verkregen. Het gehalte aan CO<sub>2</sub> in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A; detector: HWD).

### 2.5.3 Ventilatie-debiet

Het ventilatiedebiet (V; m<sup>3</sup>/uur per dier, gemiddelde over de meetperiode van 24 uur) is bepaald met behulp van de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal (door het ionisatiefilter) verlaat (respectievelijk [CO<sub>2</sub>]<sub>buiten</sub> en [CO<sub>2</sub>]<sub>stal</sub>; m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> = ppm x 10<sup>6</sup>) gedurende 24 uur gemeten en de CO<sub>2</sub>-productie van de dieren (m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Deze berekening van de CO<sub>2</sub>-productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg) en de eiproductie (kg ei/hen per dag op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht). Het ventilatiedebiet V (m<sup>3</sup>/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V = \frac{CO_2 - \text{productie}}{[CO_2]_{\text{stal}} - [CO_2]_{\text{buiten}}}$$

### 2.5.4 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 datalogsysteem (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS).

## 2.6 Dataverwerking en berekeningen

### 2.6.1 Correctie van uitgaande fijnstofconcentraties voor inmenging buitenlucht

Fijnstofconcentraties gemeten in de uitgaande luchtstroom werden gecorrigeerd voor het inmengen van stofarme buitenlucht volgens onderstaande formule.

$$[PM_{uit\_gecorrigeerd}] = \frac{[PM_{uit\_gemeten}] - (P_{buitenlucht} \times [PM_{buitenlucht}])}{P_{stallucht}}$$

met:

$[PM_{buitenlucht}]$  = de gemiddelde achtergrondconcentratie van fijnstof (0,0553 mg/m<sup>3</sup> voor PM10 en 0,0148 mg/m<sup>3</sup> voor PM2,5; Mosquera et al., 2009; Winkel et al., 2009, ongepubliceerde data)

$[PM_{uit\_gemeten}]$  = de gemeten fijnstofconcentratie in de uitgaande luchtstroom (mg/m<sup>3</sup>)

$P_{stallucht}$  = de proportie stallucht in de uitgaande luchtstroom, berekend als:

$$[P_{stallucht}] = \frac{[CO_2_{uit\_gemeten}] - [CO_2_{buitenlucht}]}{[CO_2_{in\_gemeten}] - [CO_2_{buitenlucht}]}$$

met:

$[CO_2_{uit\_gemeten}]$  = de gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in de uitgaande luchtstroom (ppm)

$[CO_2_{in\_gemeten}]$  = de gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in de ingaande luchtstroom (ppm)

$[CO_2_{buitenlucht}]$  = de gemiddelde achtergrondconcentratie van CO<sub>2</sub> bij leghennenstallen (482 ppm; Mosquera et al., 2009; Winkel et al., 2009, ongepubliceerde data)

$P_{buitenlucht}$  = de proportie ingelekte buitenlucht in de uitgaande luchtstroom, berekend als:

$$[P_{buitenlucht}] = 1 - [P_{stallucht}]$$

waarbij geldt:

$$P_{totaal} = P_{stallucht} + P_{buitenlucht} = 1$$

Voor de metingen aan locatie 1 (winter) op dagnummer 251 en 277 was geen uitgaande CO<sub>2</sub>-concentratie voorhanden. Deze data zijn buiten de berekeningen gelaten. In totaal zijn 16 van de 18 uitgevoerde metingen gebruikt in de berekeningen.

### 2.6.2 Berekening verwijderingsrendementen voor fijnstof (PM10 en PM2,5)

Per stal ( $k=1, 2$ ) en per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 12$ ) werd voor zowel PM10 als PM2,5 het verwijderingsrendement ( $R_{ki}$ ; %) bepaald als het relatieve verschil tussen de concentratie in de ingaande luchtstroom ( $C_{ingaand_{ki}}$ ; mg/m<sup>3</sup>) en de concentratie in de uitgaande luchtstroom ( $C_{uitgaand_{ki}}$ ; mg/m<sup>3</sup>) van het ionisatiefilter, volgens onderstaande formule:

$$R_{ki} = \frac{C_{ingaand_{ki}} - C_{uitgaand_{ki}}}{C_{ingaand_{ki}}} \times 100\%$$

Uit de 18 metingen werden in totaal 15 verwijderingsrendementen verkregen voor PM10 en eveneens 15 verwijderingsrendementen voor PM2,5. Het gemiddelde verwijderingsrendement van het ionisatiefilter ( $R$ ; %) werd bepaald als het overall gemiddelde van alle verwijderingsrendementen ( $R_{ki}$ ; %), volgens onderstaande formule:

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

### 2.6.3 Berekening fijnstofemissies (PM10 en PM2,5)

Per stal ( $k=1, 2$ ) en per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 12$ ) werd de fijnstofemissie vóór het ionisatiefilter ( $E_{\text{voor}_{ki}}$ ; g/dierplaats per jaar; niet gecorrigeerd voor leegstand) bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet ( $V_{ki}$ ; m<sup>3</sup>/uur per dier), de 24-uursgemiddelde fijnstofconcentratie ( $C_{\text{ingand}_{ki}}$ ; mg/m<sup>3</sup>) en de achtergrondconcentratie in de lucht die de stal instroomt ( $C_{\text{buitenlucht}_k}$ ; mg/m<sup>3</sup>). De emissies werden uitgedrukt per dierplaats m.b.v. het aantal aanwezige dieren ( $\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}$ ) tijdens de meting en het aantal geplaatste dieren ( $\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}$ ), waarna werd vermenigvuldigd met 24 uur, 365 dagen en omgerekend naar grammen ( $\times 0,001$ ), volgens onderstaande formule:

$$E_{\text{voor}_{ki}} = V_{ki} \times ([C_{\text{ingand}_{ki}}] - [C_{\text{buitenlucht}_k}]) \times \left( \frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}} \right) \times 24 \times 365 \times 0,001$$

Op vergelijkbare wijze werden de emissies ná het ionisatiefilter bepaald, waarbij voor  $C_{\text{uitgaand}_{ki}}$  de gecorrigeerde concentraties werden gebruikt, zoals beschreven in paragraaf 2.6.1.

$$E_{\text{na}_{ki}} = V_{ki} \times ([C_{\text{uitgaand}_{ki}}] - [C_{\text{buitenlucht}_k}]) \times \left( \frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}} \right) \times 24 \times 365 \times 0,001$$

Voor de achtergrondconcentraties voor leghennenstallen met scharrelhuisvesting en leghennenstallen met volièrehuisvesting werden de gemiddelde achtergronden gebruikt uit het project Actualisering emissiefactoren, welke werden gemeten bij acht leghennenstallen (Mosquera et al., 2009; Winkel et al., 2009, ongepubliceerde data). Deze gemiddelde achtergrondconcentraties bedroegen 55,3 µg/m<sup>3</sup> PM10 en 14,8 µg/m<sup>3</sup> PM2,5.

De gemiddelde fijnstofemissie vóór het ionisatiefilter ( $E_{\text{voor}}$ ; g/dierplaats per jaar) werd bepaald als het overall gemiddelde van alle emissies voor het ionisatiefilter ( $E_{\text{voor}_{ki}}$ ; g/dierplaats per jaar), volgens onderstaande formule:

$$E_{\text{voor}} = \overline{E_{\text{voor}_{ki}}}$$

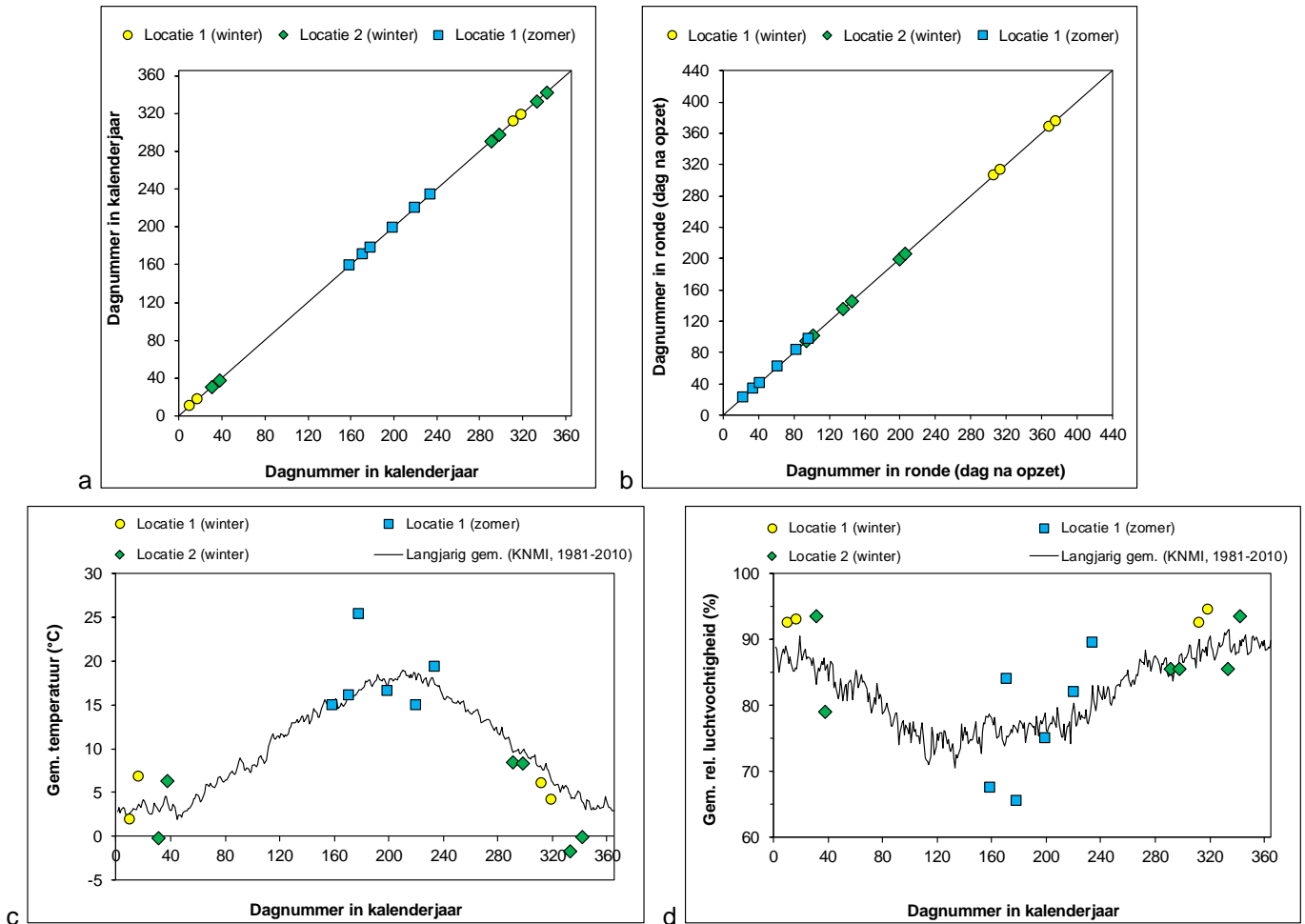
Op vergelijkbare wijze werd de gemiddelde emissie ná het ionisatiefilter bepaald:

$$E_{\text{na}} = \overline{E_{\text{na}_{ki}}}$$

### 3 Resultaten

#### 3.1 Meetomstandigheden

Het meetprotocol voor fijnstof schrijft voor dat op alle bemeten bedrijven zesmaal gemeten moet worden. De metingen moeten evenredig verdeeld over een kalenderjaar verricht worden. Daarnaast moeten de zes metingen gebalanceerd zijn over de productieperiode. Minimaal 80% van deze metingen (vijf metingen per locatie) moet betrouwbare resultaten opleveren. Figuur 2 laat zien hoe de uitgevoerde metingen in dit onderzoek in werkelijkheid verdeeld waren. In Figuur 2 worden uitsluitend de 16 geslaagde metingen van de 18 uitgevoerde metingen getoond, de metingen op dagnummer 251 en 277 aan locatie 1 (winter) zijn niet gebruikt in de berekeningen (zie par. 2.6.1 en 2.6.2). In totaal zijn 10 geslaagde metingen van bedrijf 1 en 6 geslaagde metingen van bedrijf 2 gebruikt, waarmee is voldaan aan de eis van het meetprotocol (tenminste 5 geslaagde metingen per bedrijf).

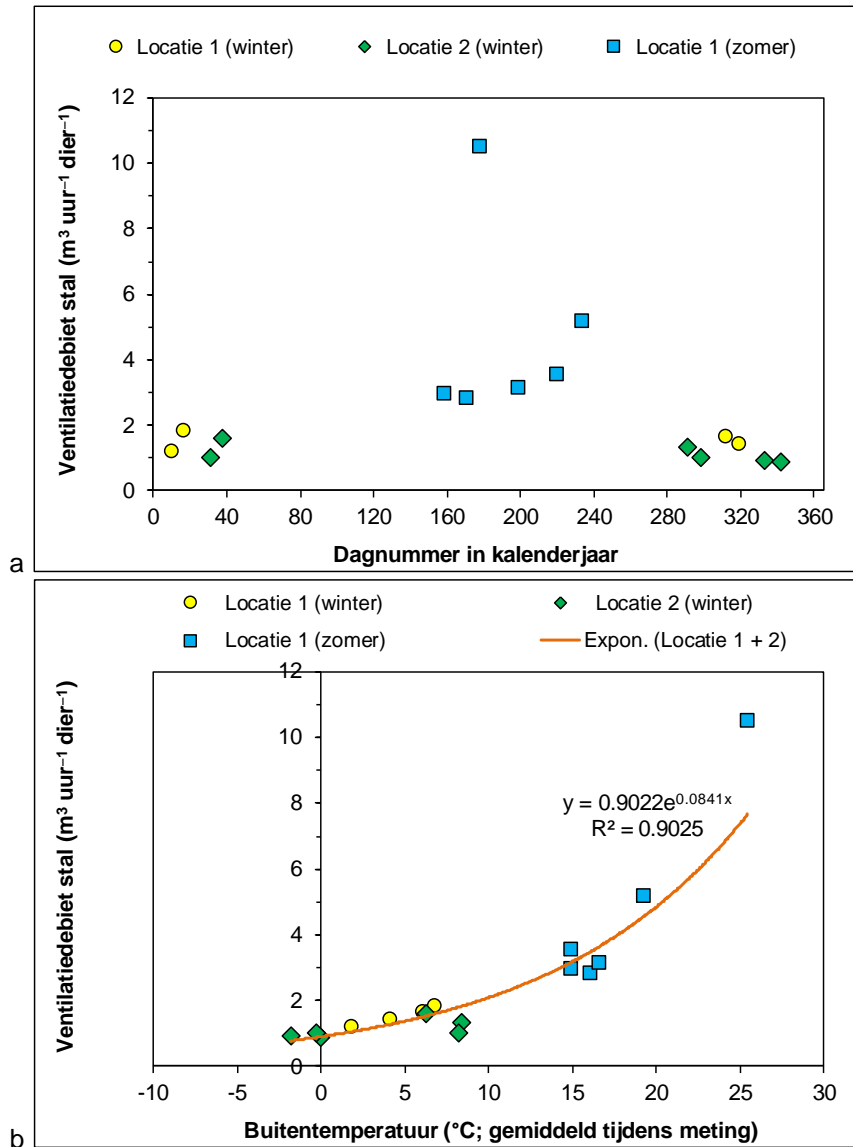


**Figuur 2** Verdeling van de metingen over het jaar (a), de productieperiode (b), en de buitentemperatuur (c) en relatieve luchtvochtigheid (d) vergeleken met het langjarig gemiddelde over de jaren 1981 t/m 2010 (bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl); als lijn weergegeven)

Van de 16 metingen die gebruikt zijn in de berekeningen waren de meetomstandigheden als volgt. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 197 dagen (jaargemiddelde dagnummer: 183). De gemiddelde meetdag in de productieperiode bedroeg 162 dagen (gemiddelde dagnummer in een gangbare productieperiode: ca. 200). De gemiddelde buitentemperatuur op de meetdagen bedroeg 9,2 °C (langjarig gemiddelde in Nederland: 10,2 °C). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (buiten) op de meetdagen bedroeg 84,9% (langjarig gemiddelde in Nederland: 81,8%).

### 3.2 Ventilatie-debiet

In Figuur 3 wordt het ventilatie-debiet op de verschillende meetdagen voor de twee bedrijven weergegeven. Dit betreft het totale ventilatie-debiet ( $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier) dat door stalventilatoren en de ventilator van het ionisatiefilter samen is geventileerd.

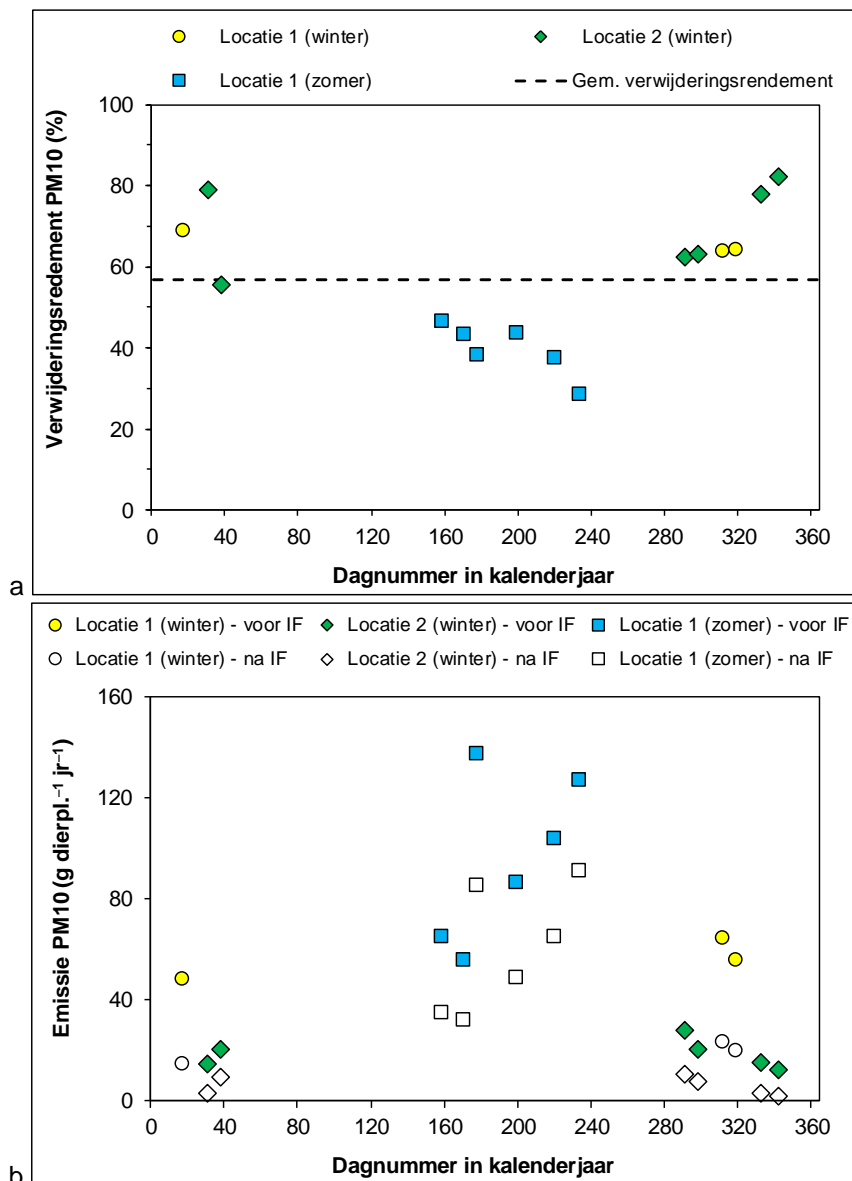


**Figuur 3** Het gemiddelde ventilatie-debiet op de meetdagen, uitgezet tegen het dagnummer in kalenderjaar (a) of de gemiddelde buitentemperatuur (b)

Uit deze figuur blijkt dat het ventilatie-debiet laag was in het begin en einde van het kalenderjaar (bij lage buitentemperaturen; minimumventilatie: ca. 1 tot 2  $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier) en hoger in de middenperiode van het kalenderjaar (hogere buitentemperaturen). Het ventilatie-debiet nam exponentieel toe met de buitentemperatuur. De totaal geïnstalleerde maximale ventilatie van de stal (exclusief ionisatiefilter) bedroeg ca. 9,4  $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier voor bedrijf 1 en ca. 8,1  $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier voor bedrijf 2. Het gemiddelde ventilatie-debiet tijdens de metingen bedroeg 2,6  $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier. Tien metingen werden uitgevoerd bij een lage (minimum)ventilatie, één meting bij maximale ventilatie en vijf metingen bij een bovengemiddelde ventilatie.

### 3.3 Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM10

In Figuur 4 worden de verwijderingsrendementen en emissies van PM10 (vóór en ná het ionisatiefilter) weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven.

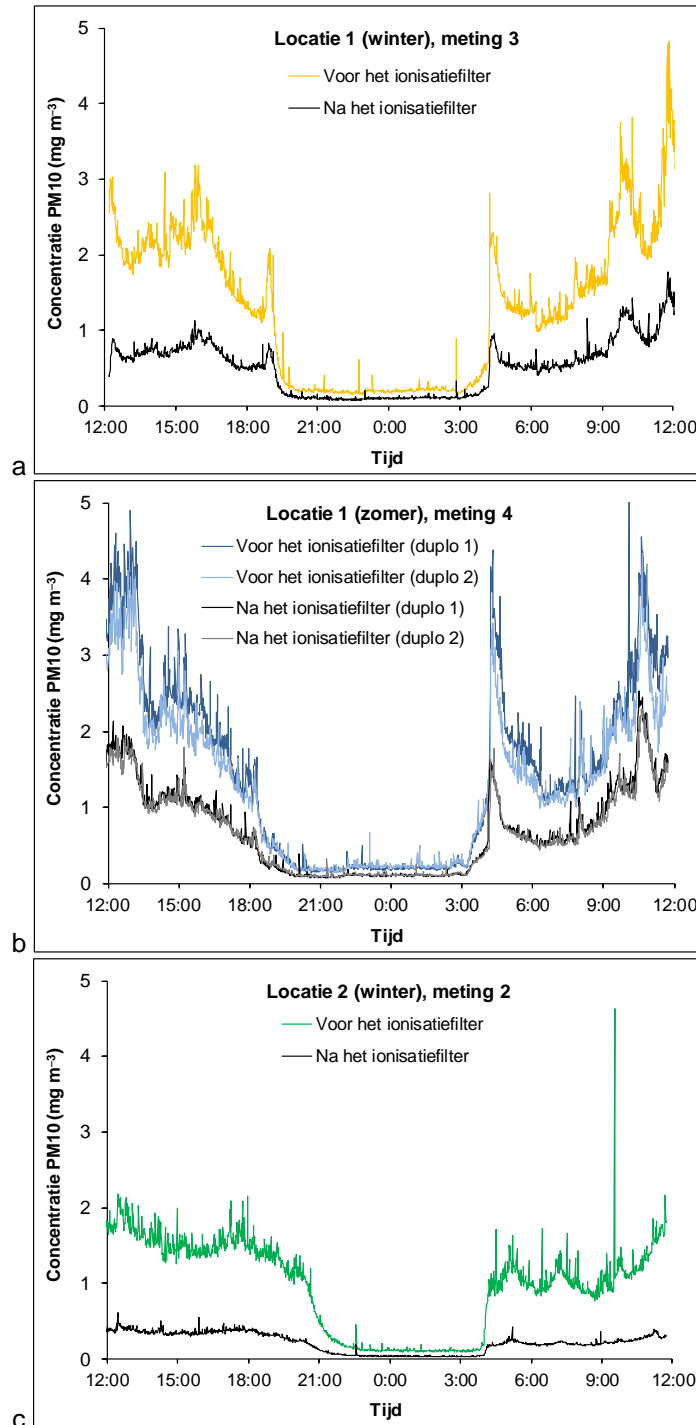


**Figuur 4** a. verwijderingsrendementen voor PM10 en b. emissies van PM10, zowel vóór het ionisatiefilter (voor IF; gekleurde symbolen) als ná het ionisatiefilter (na IF; transparante symbolen) op de verschillende meetdagen en bedrijven

De gemiddelde PM10-concentratie ( $\pm$  standaarddeviatie) vóór het ionisatiefilter bedroeg  $2,775 \pm 1,078$  mg/m<sup>3</sup>. De gemiddelde PM10-concentratie ( $\pm$  standaarddeviatie) ná het ionisatiefilter bedroeg  $1,209 \pm 0,624$  mg/m<sup>3</sup>. Het gemiddelde verwijderingsrendement voor PM10 ( $\pm$  standaarddeviatie) bedroeg  $57,0 \pm 16,7\%$ . De verwijderingsrendementen voor PM10 lagen in een grote range tussen 28 en 82% (Figuur 4a). De verwijderingsrendementen waren hoger in de winterperiode dan in de zomerperiode. De gemiddelde PM10 emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand;  $\pm$  standaarddeviatie) bedroeg  $56,4 \pm 40,3$  g/dierplaats per jaar vóór het ionisatiefilter en  $30,1 \pm 29,8$  g/dierplaats per jaar ná het ionisatiefilter.

### 3.4 Concentratiepatroon van PM10 gedurende 24 uur

In Figuur 5 wordt het concentratiepatroon van PM10 over de loop van een meetdag (24 uur; van 12:00 tot 12:00 uur) weergegeven, zowel voor de lucht die het ionisatiefilter in- als uitstroomt.

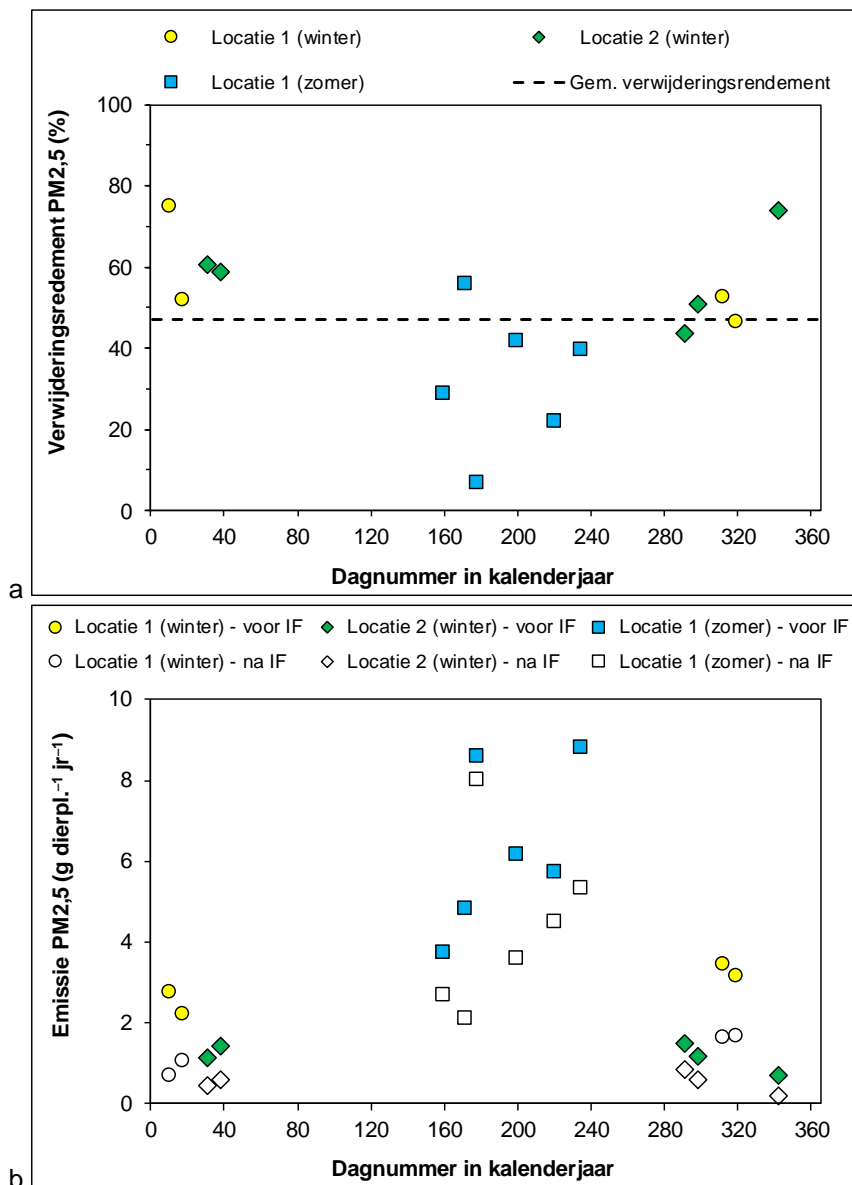


**Figuur 5** Drie voorbeelden van het concentratiepatroon van PM10 over de loop van een meetdag van de lucht dat het ionisatiefilter in- en uitstroomt; voor bedrijf 1 (winter) tijdens meting 3 (a), voor bedrijf 1 (zomer) tijdens meting 4, en voor bedrijf 2 (winter), meting 2 (b)

Uit deze figuur blijkt dat de PM10 concentraties hoog waren tijdens de lichtperiode en laag tijdens de donkerperiode. De hoge stofconcentraties overdag worden veroorzaakt door de activiteit van de dieren wanneer het licht is. Duidelijk zichtbaar is ook dat de uitgaande luchtstroom minder PM10 bevat dan de ingaande luchtstroom van het ionisatiefilter.

### 3.5 Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM<sub>2,5</sub>

In Figuur 6 worden de verwijderingsrendementen en emissies van PM<sub>2,5</sub> (vóór en ná het ionisatiefilter) weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven.



**Figuur 6** a. verwijderingsrendementen voor PM<sub>2,5</sub> en b. emissies van PM<sub>2,5</sub>, zowel vóór het ionisatiefilter (voor IF; gekleurde symbolen) als ná het ionisatiefilter (na IF; transparante symbolen) op de verschillende meetdagen en bedrijven

De gemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie ( $\pm$  standaarddeviatie) vóór het ionisatiefilter bedroeg  $0,179 \pm 0,064$  mg/m<sup>3</sup>. De gemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie ( $\pm$  standaarddeviatie) ná het ionisatiefilter bedroeg  $0,095 \pm 0,036$  mg/m<sup>3</sup>. Het gemiddelde verwijderingsrendement voor PM<sub>2,5</sub> ( $\pm$  standaarddeviatie) bedroeg  $45,3 \pm 17,2\%$ . De verwijderingsrendementen voor PM<sub>2,5</sub> lagen in een grote range tussen 7 en 75% (Figuur 4a). De verwijderingsrendementen waren hoger in de winterperiode dan in de zomerperiode. De gemiddelde PM<sub>2,5</sub> emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand;  $\pm$  standaarddeviatie) bedroeg  $3,5 \pm 2,5$  g/dierplaats per jaar vóór het ionisatiefilter en  $2,0 \pm 2,0$  g/dierplaats per jaar ná het ionisatiefilter.



## 4 Discussie

Uit de indicatieve evaluatie van het ionisatiefilter (Winkel en Ogink, 2010), welke aan dit onderzoek vooraf ging, werd tijdens een indicatieve meting aan het systeem nageschakeld aan een kooistal voor leghennen een verwijderingsrendement voor PM10 gevonden van 71%. Geconcludeerd werd dat het systeem perspectiefvol is. Onduidelijk was of dit rendement ook bij grond- en volièrehuisvesting, waar stofniveaus aanzienlijk hoger liggen, kon worden behaald. Aanbevolen werd om metingen in dit type huisvesting uit te voeren. In dit validatieonderzoek is nu het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter bepaald door metingen volgens het meetprotocol voor fijnstofemissiemetingen op twee leghennenbedrijven met deze huisvestingssystemen. Uit dit validatieonderzoek blijkt dat het ionisatiefilter een gemiddeld verwijderingsrendement kent van 57,0% voor PM10 en 45,3% voor PM2,5. Het eerder gevonden verwijderingsrendement van 71% valt binnen de range van waarden gevonden tijdens dit validatieonderzoek (28 tot 82%), alsook binnen het gemiddelde verwijderingsrendement  $\pm$  één standaarddeviatie (40 tot 73%). Verder moet bedacht worden dat ook tijdens de indicatieve meting hoogstwaarschijnlijk inmenging van buitenlucht in de uitgaande meting heeft plaatsgevonden, zodat deze waarde van 71% bij correctie mogelijk lager zou zijn geweest. Het beeld verkregen uit de indicatieve meting en het gemiddelde verwijderingsrendement uit dit validatieonderzoek komen daarmee goed overeen.

De metingen in dit onderzoek zijn redelijk verspreid over het kalenderjaar verricht met een gemiddeld dagnummer van 197 (jaargemiddelde dagnummer:183). Er werden geen metingen verricht in het voorjaar tussen het beëindigen van de wintermetingen en het starten van de zomermetingen; tussen dag 38 en 159 in het kalenderjaar. De meetdata uit dit validatieonderzoek suggereren dat het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter toeneemt met de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht dat door het ionisatiefilter wordt geblazen. Deze periode in het voorjaar is echter juist de periode waarin de buitenlucht vaak droog is (zie het verloop in de langjarig gemiddelde relatieve luchtvochtigheid; Figuur 2d) en waarbij deze techniek mogelijk minder (benedengemiddeld) effectief is. Om inzicht te krijgen in het potentiële effect van het ontbreken van één of enkele meetdagen in deze droge voorjaarsperiode, is het gemiddelde verwijderingsrendement over het kalenderjaar nauwkeurig geschat in Bijlage 7, o.a. op basis van de langjarig gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per kalenderdag. Het op deze manier geschatte jaargemiddelde verwijderingsrendement bedraagt 54,9% voor PM10 (gemiddelde uit de gemeten waarden: 57,0) en 45,1% voor PM2,5 (gemiddelde uit de gemeten waarden: 45,3). Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat het ontbreken van één of enkele metingen in de droge voorjaarsperiode geen effect heeft op het eindrendement. De opzet van dit validatieonderzoek (aantal en spreiding van de uitgevoerde metingen buiten de voorjaarsperiode) is dermate robuust dat het eindrendement niet wezenlijk wordt beïnvloed door het ontbreken van één of enkele waarnemingen in een korte periode van het kalenderjaar.

De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten komt met 9,2 °C goed overeen met het langjarig jaargemiddelde van 10,2 °C. De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (buiten) op de dagen waarop is gemeten komt met 84,9% goed overeen met het langjarig jaargemiddelde van 81,8%. De metingen in dit onderzoek zijn vrij goed verspreid over de legperiode van de dieren met een gemiddeld dagnummer na opzet van 162 (gemiddelde dagnummer in een gangbare productieperiode: ca. 200 dagen). Er werden relatief meer metingen verricht tijdens de eerste helft van de legperiode. Naar verwachting heeft dit geen invloed op het gemiddelde verwijderingsrendement zoals bepaald in dit validatieonderzoek.

Tijdens de eerste set van metingen in de winterperiode vond inmenging van buitenlucht plaats bij de uitgaande meetpositie. Dit werd vastgesteld door rookproeven uit te voeren en door vergelijking van de ingaande en uitgaande CO<sub>2</sub>-concentraties. Geprobeerd is de inmenging zo veel mogelijk te minimaliseren door het aanpassen van de meetopstelling voor de uitgaande lucht (meetopstelling 1a/1b; zie Bijlage 5). De CO<sub>2</sub>-concentraties in deze meetopstelling waren gemiddeld 28% lager (range: 11–38%; 10 metingen) dan die van de ingaande (stal)lucht. Ten behoeve van de set zomermetingen op bedrijf 1 is een nieuwe meetopstelling gebouwd (meetopstelling 2; zie Bijlage 6). De CO<sub>2</sub>-concentraties in deze nieuwe meetopstelling waren gemiddeld 8% lager (range: 4–10%; 6 metingen) dan die van de ingaande (stal)lucht. Dit betekent dat meetopstelling 2 aanzienlijk beter functioneerde, maar dat ook met deze geoptimaliseerde meetopstelling nog enige inmenging van buitenlucht optrad. Alle fijnstofconcentraties gemeten aan de uitgaande zijde van het ionisatiefilter zijn gecorrigeerd d.m.v. de methode beschreven in paragraaf 2.6.1. Deze correctie betekende in alle gevallen een verhoging van de uitgaande concentratie, resulterend in een verlaging van het

verwijderingsrendement. Het uiteindelijke verwijderingsrendement werd gecorrigeerd met 10,1 procentpunten voor PM10 en 12,0 procentpunten voor PM2,5.

Er is slechts een zeer beperkte hoeveelheid literatuur over het gebruik van elektrostatische precipitatie voor het verwijderen van stof uit de ventilatielucht van stallen. Hieronder worden drie relevante studies samengevat.

Lau et al. (1996) testten een elektrostatische precipitator (ESP) in een intern recirculatiesysteem in een afdeling met vleesvarkens (12,2 x 10,7 x 2,4 m; l x b x h) en gebruikten een vergelijkbare afdeling als controle. Het interne recirculatiesysteem (6,8 x 1,8 m) realiseerde 20 verversingen van de inhoud van de afdeling per uur (recirculatie-debiet: ca. 6000 m<sup>3</sup>/uur). Stofrijke stallucht werd aangezogen door een 1,2 x 0,3 m wijde opening in het plafond in het centrum van de afdeling, boven de dieren. De gereinigde lucht werd terug de afdeling ingebracht via 5 inlaatkleppen (0,6 x 0,3 m) in het plafond boven de voergang. De ESP in het systeem functioneerde bij 13 kV gelijkspanning (1,9 mA) en stofdeeltjes werden gevangen op geaarde platen welke frequent werden gespoeld. Om te sterke vervuiling van het systeem te voorkomen werd een roterend stoffilter in de luchtstroom geplaatst vóór de ESP. De inhaleerbaar stofconcentratie (~PM100) werd gemeten met een optisch meetinstrument centraal in de afdeling. In de afdeling met het systeem werd een reductie van de concentratie van inhaleerbaar stof vastgesteld variërend van 22 tot 66% (behandelingsafdeling versus controleafdeling). De ESP zou volgens de auteurs een verwijderingsrendement hebben van >95% voor inhaleerbaar stof (uitgaande versus ingaande luchtstroom).

Manuzon et al. (2009) testten het effect van verschillende parameters van een elektrostatische precipitator (ESP; 64 x 40 cm), geplaatst in een windtunnel (Ø 0,3 x 0,3 m), op het verwijderingsrendement voor pluimveestof. Het gebruikte stof werd verzameld van oppervlakken in een pluimveestal en was <50 µm in diameter (gemiddelde deeltjesgrootte 1 µm). Het stof werd aan het begin van de windtunnel in de lucht verspreid en door een ventilator aan het einde van de windtunnel door de ESP gezogen. De stofconcentratie werd gemeten vóór en ná de ESP met behulp van een laser particle counter (grootteklassen; <0,3/0,3–0,5/0,5–1/1–5/5–10/10–25/>25 µm). Onderzocht werden de parameters: voltage (7 en 10 kV), luchtsnelheid (1,25 en 2,5 m/s) en stofbelasting (2,5 en 5 mg/m<sup>3</sup>) bij temperaturen van 24–27 °C en 18–62% relatieve luchtvochtigheid. Effecten werden onderzocht d.m.v. correlatieanalyse. Het verwijderingsrendement nam toe met het voltage en nam af met de luchtsnelheid. Er werd een afname van het verwijderingsrendement gevonden (effect van tijd; tot 30 procentpunten binnen een uur) door de accumulatie van stofdeeltjes aan de geaarde collectorplaten. Er werd geen effect gevonden van stofbelasting, temperatuur of luchtvochtigheid. De gepresenteerde modelschattingen suggereren dat bij een optimale configuratie (ca. 1–2,5 m/s luchtsnelheid en ca. 9 kV spanning) verwijderingsrendementen voor zowel PM10 als totaalstof dicht bij de 100% zouden moeten kunnen komen.

Chai et al. (2009) verrichten eveneens testen met een elektrostatische precipitator (ESP) in een proefopstelling. De ESP bestond uit een houten kist (102 x 61 x 61 cm; l x b x h) met een ventilator (Ø 61 cm; ca. 400 m<sup>3</sup>/uur), elektroden in de vorm van 10 verticale draden (Ø 5 mm; onderlinge afstand 5,1 cm) en 44 RVS collectorplaten (61 x 2,54 x 0,2 cm; h x l x b; onderlinge afstand 1,3 cm). Met een hoogspanningsvoeding kon -60 tot 60 kV gelijkspanning op de elektroden worden aangebracht. Maiszetmeelstof werd in de lucht verspreid als test aerosol (6,7–24,5 mg/m<sup>3</sup>). Stofconcentraties werden gemeten met behulp van een 8-stage cascade impactor gepositioneerd ná de collectorplaten gedurende tests van 2 uren. Het verwijderingsrendement werd bepaald door metingen uit te voeren met het systeem aan- en uitgeschakeld. Getest werden de effecten van negatieve en positieve spanning (range: 10–60 kV). Voor een negatieve spanning werd een maximaal verwijderingsrendement gevonden bij een optimum van -30 kV. Voor een positieve spanning werd een stabiel maximaal verwijderingsrendement gevonden tussen 30 en 60 kV. Het verwijderingsrendement voor het totaal van alle stoffracties bij een positieve spanning van 30 kV bedroeg ruim 60%. Voor de deeltjes groter dan 2,1 µm bedroeg het verwijderingsrendement gemiddeld ruim 55%.

Uit deze literatuur blijkt dat een vergelijking van de resultaten van het onderhavige onderzoek met die van eerdere studies zeer moeilijk is. De in het onderhavige onderzoek gevonden verwijderingsrendementen liggen in de range van waarden gevonden in de geraadpleegde literatuur. Echter; verschillen in de configuratie/optimalisatie van de ESP's, het gebruikte type stof, de gebruikte meettechniek en meetstrategie en de heersende meetomstandigheden kunnen aanzienlijke verschillen en variaties in verwijderingsrendementen met zich mee brengen.

## 5 Conclusies

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

- het gemiddelde verwijderingsrendement ( $\pm$  standaarddeviatie) van het ionisatiefilter voor PM10 bedraagt  $57,0 \pm 16,7\%$ ;
- het gemiddelde verwijderingsrendement ( $\pm$  standaarddeviatie) van het ionisatiefilter voor PM2,5 bedraagt  $45,3 \pm 17,2\%$ .

## Literatuur

- 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.
- Chai M., M. Lu, T. Keener, S-J Khang, C. Chaiwatpongsakorn, J. Tisch. 2009. Using an improved electrostatic precipitator for poultry dust removal. *Journal of Electrostatics* 67 (2009), pp. 870-875.
- 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.; K. Sällvik).
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink. 2008. Measurement protocol for emissions of fine dust from animal housings. Considerations, draft protocol and validation. Report 134, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Lau, A.K., A.T. Vizcarra, K.V. Lo, J. Luymes. 1996. Recirculation of filtered air in pig barns. *Canadian Agricultural Engineering* 38(4), pp. 297-304.
- Manuzon, R.B., L. Zhao. 2009. Laboratory evaluation and modeling of electrostatic precipitation of PM emissions from poultry buildings. *ASHRAE transactions* 115(2), pp. 831-849.
- Mosquera, J., A. Winkel, F. Dousma, E. Lovink, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009 (herziene versie januari 2011). Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in scharrelhuisvesting. Rapport 279, Wageningen UR Livestock Research.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - Bepaling van de PM10-fractie van zwevend stof - Referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegieljkwaardigheid 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.
- Ogink, N.W.M., 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, 31 pp.
- Ogink, N.W.M., A.J.A. Aarnink. 2008. Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij. Rapport 113, Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, 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.
- 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. Schroeder, 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.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009 (herziene versie januari 2011). Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 278, Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., N.W.M. Ogink. 2010. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: indicatieve evaluatie van positieve ionisatie van uitgaande ventilatielucht. Rapport 314, Wageningen UR Livestock Research.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. *Journal of Aerosol Science*, Vol. 40, Issue 10, October 2009, pp. 868-878.

## Bijlagen

### Bijlage 1 Bedrijfsbeschrijving stal 1

#### A. Belangrijkste kenmerken stal 1

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Leghennenstal in twee etages met volièrehuisvesting in een portaalopstelling
RAV code en emissiefactoren	E 2.11.2 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband met beluchting. Mestbanden minimaal tweemaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages. Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 55 g/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b x h)	115 x 24 x 4,7 (plafondhoogte benedenetage) m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: ca. 2760 m <sup>2</sup> , stalinhoud: ca. 12972 m <sup>3</sup>
Aantal hennen bij opzet	Ca. 46.500 (ca. 16,8 hennen per m <sup>2</sup> )
Dieren	DEKALB wit leghennen
Luchtinlaat	Via mestbandbeluchting met warmtewisselaar en plafondinlaatventielen
Luchttuitlaat	Ventilatoren in eindgevel
Max. ventilatiecapaciteit	Warmtewisselaar op mestbandbeluchting: 32.550 m <sup>3</sup> /uur 9 ventilatoren (aan/uit) van ca. 40.000 m <sup>3</sup> /uur elk 3 ventilatoren (regelbaar) van ca. 15.000 m <sup>3</sup> /uur elk Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: ca. 437.550 m <sup>3</sup> /uur (ca. 9,4 m <sup>3</sup> /uur per hen)
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur en onderdruk
Temperatuur	Streefwaarde: 23 °C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Warmtewisselaar op mestbandbeluchting
Huisvestingsstelsel	Volièrehuisvestingssysteem in portaalopstelling, met mestbandbeluchting: 0,7 m <sup>3</sup> /uur per dier
Voersysteem en voertijden	Voersysteem: voergoten door het systeem Voertijden: 10:30, 12:30, 14:30 en 16:00 uur
Drinksysteem en drinktijden	Drinkleiding met nippels en lekschoteltjes door het systeem Drinktijden: onbeperkt
Strooiselmanagement	De stal wordt niet ingestrooid voor plaatsing van de hennen
Lichtregime	15,5L:8,5D, licht aan van 4:30 tot 20:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 17 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 78 weken Leegstand: ca. 4 weken

B. Foto's



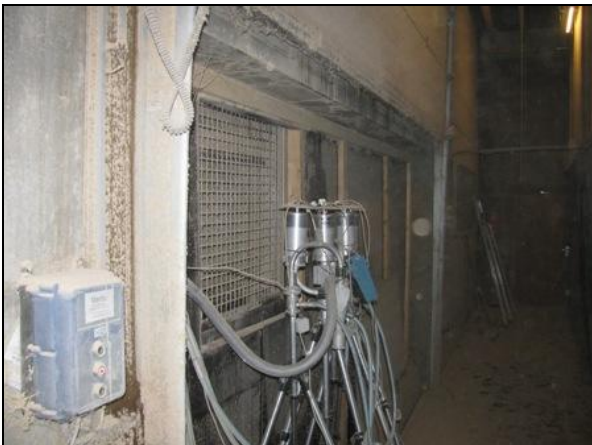
Voorgevel, met positionering ionisatiefilter



Positionering ionisatiefilter tegen voorgevel



Strooiselvloer onder het portaal-volièresysteem



Meting ingaande lucht, binnen in de stal



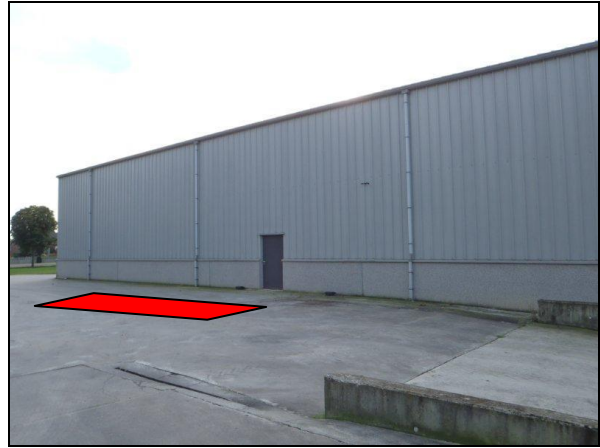
Meting uitgaande lucht in het meethok

**Bijlage 2 Bedrijfsbeschrijving stal 2***A. Belangrijkste kenmerken stal 2*

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Leghennenstal met scharrelhuisvesting; strooiselvloer, verhoogde beun met legnesten en mestopslag onder de beun
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: 315 g/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OUE/dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b x h <sup>goot</sup> /h <sup>nok</sup> )	100 (dierruimte: 96,6) x 25 x 6,5/10,5 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: ca. 2415 m <sup>2</sup> , stalinhoud: ca. 20528 m <sup>3</sup>
Aantal hennen bij opzet	Ca. 21.800 (ca. 9 hennen per m <sup>2</sup> )
Dieren	Lohmann LSL Classic leghennen
Luchtinlaat	Via open nok
Luchtuitleet	Ventilatoren in achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	3 ventilatoren van ca. 15.000 m <sup>3</sup> /uur elk 4 ventilatoren van ca. 33.000 m <sup>3</sup> /uur elk Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: ca. 177.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 8,1 m <sup>3</sup> /uur per hen)
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuur	Streefwaarde: 22 °C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingsysteem	Scharrelhuisvestingssysteem, met strooiselvloer, verhoogd beun (12 m breed, 6 m per zijde van het legnest) en rij met dubbele legnesten. Mestopslag onder de beun. Geen mestbanden of mestbandbeluchting
Voersysteem en voertijden	Voersysteem: voerkettingen over de beun (vijf circuits). Voertijden: tussen 05:00 en 19:00 uur, elke 2 uren
Drinksysteem en drinktijden	Drinkleiding met nippels zonder lekschotelletjes over de beun (drie leidingen per beun, zes totaal). Drinktijden: tijdens lichttijden
Strooiselmanagement	Stal wordt ingestrooid met houtkrullen, daarna wordt niet bijgestrooid
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 05:00 tot 20:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 18 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 76 weken Leegstand: ca. 3 weken



B. Foto's stal 2



Luchtfoto bedrijfssituatie (links) en foto van de zijgevel (rechts), met positionering van het ionisatiefilter



Uitstroomzijde ionisatiefilter (in het meethuisje)



Meting uitgaande lucht in het verlengde meethuisje



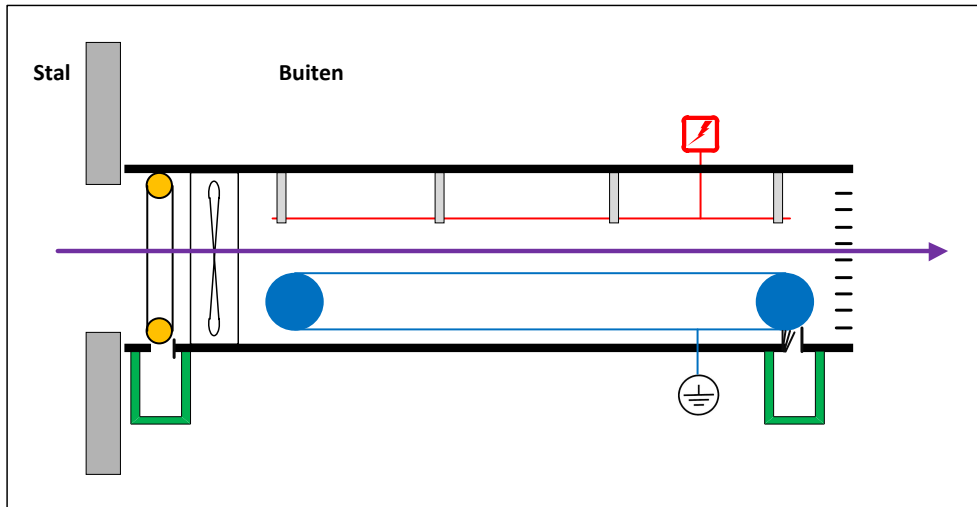
Ventilatoren in achtergevel








Binnenzijde stal met beun en legnesten



**Bijlage 3 Schematische tekening werkingsprincipe ionisatiefilter**



-  Stroomrichting ventilatielucht
-  Hoogspanningsvoeding met draad in isolator
-  Geaard collectoroppervlak
-  Grofstoffilter
-  Voorziening voor afgevangen stof

**Bijlage 4 Foto ionisatiefilter nageschakeld aan een leghennenstal**

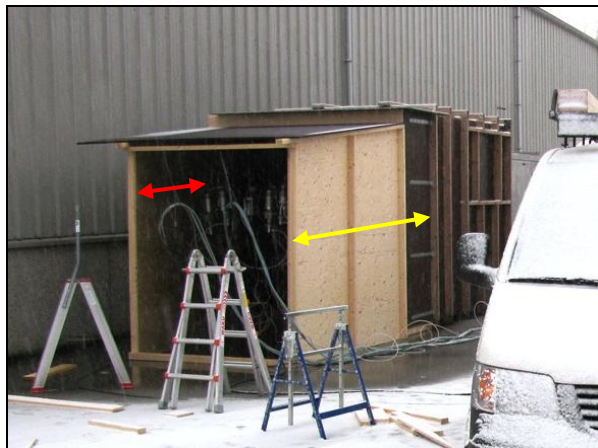
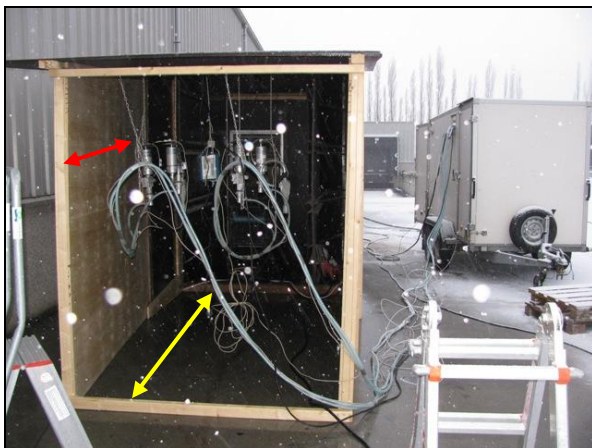


**Bijlage 5 Foto's meetopstelling 1a en 1b**



Meetopstelling 1a – Uitgaande meting bij stal 1 in het originele houten meethuisje van de leverancier

Meetopstelling 1a is toegepast bij metingen 1 t/m 5 (stal 1, meting 1–2 en stal 2, meting 1–3).

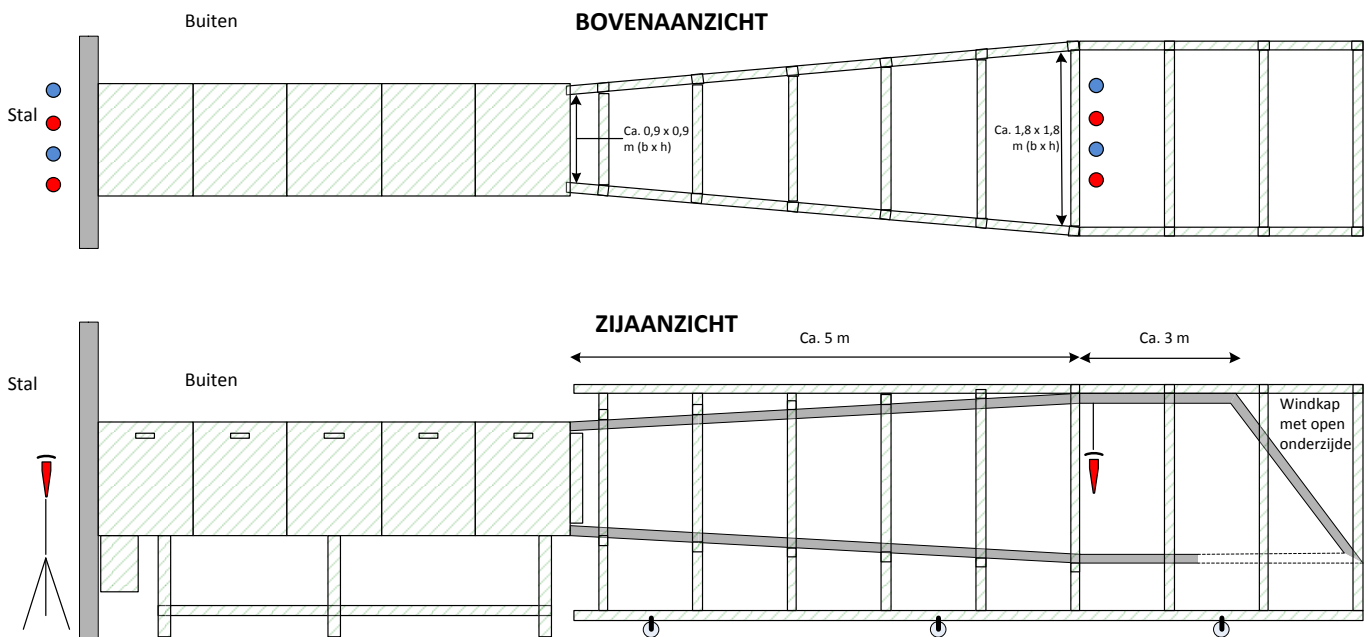


Meetopstelling 1b – Uitgaande meting bij stal 2. De deuren van het meethuisje staan 90° open en het meethuisje is met houtplaatmateriaal verlengd tot een kanaal met een diameter van (ca. 1,8 x 1,8 m; b x h) en een totale lengte van ca. 7 m. Gele pijl: verlenging t.o.v. oorspronkelijke meethuisje (ca. 4 m). Rode pijl: afstand tussen meetpositie en drempel (ca. 1 m)

Meetopstelling 1b is toegepast bij metingen 6 t/m 12 (stal 1, meting 3–6 en stal 2, meting 4–6).

## Bijlage 6 Tekening en foto's meetopstelling 2

### A. Schematische tekening meetopstelling 2



Blauwe cirkels: meetpositie PM10  
 Rode cirkels: meetpositie PM2,5

Meetopstelling 2 is toegepast bij metingen 13 t/m 18 (stal 1, meting 7–12)

### B. Foto's meetopstelling 2



Ionisatiefilter en meetopstelling 2 (onder groene zeil) nageschakeld aan stal 1



Detailfoto van het ionisatiefilter en meetopstelling 2, ingepakt in waterdicht groen zeil. Rechts is de uitstroomopening onder de windkap zichtbaar.



Detailfoto van het meetpunt in het kanaal van meetopstelling 2. Foto genomen vanuit de voorzijde/aanstroomzijde van het pyramidevormige kanaal naar de uitstroomopening toe. Op de achtergrond zijn de windkap en de uitstroomopening in de bodem van het kanaal zichtbaar. De diameter van het kanaal neemt naar achteren (naar de uitstroomopening) toe



Detailfoto van het meetpunt in het kanaal van meetopstelling 2. Foto genomen vanuit de achterzijde/uitstroomopening van het piramidevormige kanaal naar voren toe.

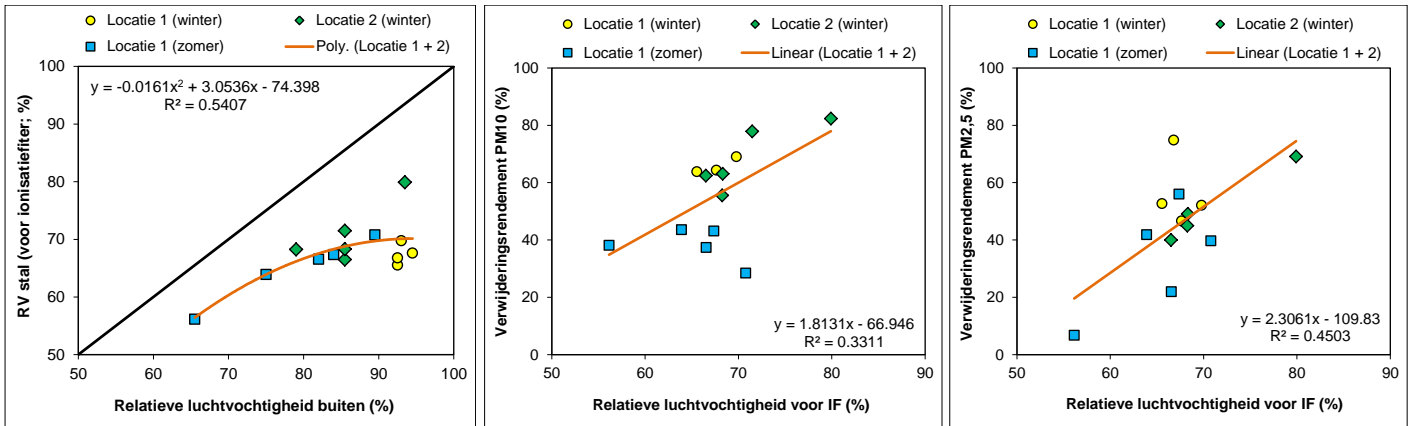
**Bijlage 7 Inschatting effect van RV (langjarig) op het verwijderingsrendement**

*Aanleiding*

De meetdata uit dit validatieonderzoek suggereren dat het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter toeneemt met de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht dat door het ionisatiefilter wordt geblazen. Deze relatie is weergegeven in de trendlijnen midden (voor PM10) en rechts (voor PM2,5) hieronder.

Verder zijn de metingen niet ideaal gebalanceerd over het kalenderjaar; in het voorjaar tussen dag 38 en 159 zijn geen metingen uitgevoerd. Dit is echter juist de periode waarin de buitenlucht vaak droog is (zie het verloop in de langjarig gemiddelde relatieve luchtvochtigheid; Figuur 2d) en waarbij deze techniek mogelijk minder effectief is.

*Trendlijn links:* de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht (voor het ionisatiefilter) als functie van de relatieve luchtvochtigheid gemeten in de buitenlucht. *Trendlijn midden:* het verwijderingsrendement voor PM10 als functie van de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht (voor het ionisatiefilter). *Trendlijn rechts:* het verwijderingsrendement voor PM2,5 als functie van de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht (voor het ionisatiefilter).



*Werkwijze*

Om inzicht te krijgen in het potentiële effect van het ontbreken van één of enkele meetdagen in deze droge voorjaarsperiode, is het gemiddelde verwijderingsrendement over het kalenderjaar nauwkeurig geschat, op basis van:

- de langjarig gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per kalenderdag (zie Figuur 2d);
- de relatie tussen de relatieve luchtvochtigheid buiten en in de stal (zie figuur hierboven; links);
- de relatie tussen de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht en het verwijderingsrendement voor PM10 (zie figuur hierboven; midden) en PM2,5 (zie figuur hierboven; midden).

Op basis van deze gegevens is het verwijderingsrendement van het ionisatiefilter berekend per kalenderdag. Vervolgens zijn de 365 dagwaarden gemiddeld tot een jaargemiddeld verwijderingsrendement.

*Resultaten*

Het op deze manier geschatte jaargemiddelde verwijderingsrendement bedroeg 54,9% voor PM10 (gemiddelde uit de gemeten waarden: 57,0) en 45,1% voor PM2,5 (gemiddelde uit de gemeten waarden: 45,3).

*Conclusie*

Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat het ontbreken van één of enkele metingen in de droge voorjaarsperiode geen effect heeft op het eindrendement. De opzet van dit validatieonderzoek (aantal en spreiding van de uitgevoerde metingen buiten de voorjaarsperiode) is dermate robuust dat het eindrendement niet wezenlijk wordt beïnvloed door het ontbreken van één of enkele waarnemingen in een korte periode van het kalenderjaar.





Wageningen UR Livestock Research

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

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)