

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 621

Maatregelen ter vermindering van  
fijnstofemissie uit de pluimveehouderij:  
validatie van een warmtewisselaar op  
vleeskuikenbedrijven

Juni 2013



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

## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](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, 2013

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

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

### Abstract

This study reports the removal efficiency for fine dust (PM10 and PM2.5) from two broiler houses equipped with a heat exchanger.

### Keywords

fine dust, PM10, PM2.5, removal efficiency, broiler, heat exchanger

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteurs

H. Ellen  
J. Mosquera  
J.M.G. Hol  
J.W.H. Huis in 't Veld  
G. Nijeboer  
J.P.M. Ploegaert  
N.W.M. Ogink

### Titel

Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een warmtewisselaar op vleeskuikenbedrijven

Rapport 621

### Samenvatting

In dit onderzoek zijn de verwijderingsrendementen van fijn stof (PM10, PM2,5) uit twee vleeskuikenstallen met een warmtewisselaar bepaald.

### Trefwoorden

fijn stof, PM10, PM2,5, emissies, vleeskuikens, warmtewisselaar



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 621

# Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een warmtewisselaar op vleeskuikenbedrijven

H. Ellen

J. Mosquera

J.M.G. Hol

J.W.H. Huis in 't Veld

G. Nijeboer

J.P.M. Ploegaert

N.W.M. Ogink

Juni 2013

**Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het beleidsondersteunend onderzoek van het ministerie van Economische Zaken**

## **Voorwoord**

In dit onderzoek is de effectiviteit van warmtewisselaars op het verwijderen van fijnstof gevalideerd op twee vleeskuikenbedrijven in de praktijk. Dit onderzoek biedt op grond van praktijkmetingen aan deze vleeskuikenstallen 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. 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 te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijn stof uit belangrijke bronnen terugdringen. Door de pluimveesector is het gebruik van warmtewisselaars aangedragen als potentiële reductietechniek voor fijnstofemissie uit vleeskuikenstallen.

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de metingen die, in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, door Wageningen UR Livestock Research zijn uitgevoerd op twee praktijkbedrijven voor vleeskuikens om het stofverwijderingsrendement van warmtewisselaars te bepalen. De metingen zijn uitgevoerd conform de protocollen zoals beschreven in Ogink e.a. (2011). Dit houdt in dat zes 24-uursmetingen zijn uitgevoerd, verspreid over het jaar. De metingen zijn op twee locaties uitgevoerd in plaats van op de voorgeschreven vier locaties.

Op basis van deze metingen zijn de volgende verwijderingsrendementen voor de warmtewisselaar bepaald (gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen):

Bedrijf	Verwijderingsrendement PM10 (%)	Verwijderingsrendement PM2,5 (%)
1	88,7 $\pm$ 7,5 %	79,2 $\pm$ 11,0 %
2	68,1 $\pm$ 19,6 %	55,1 $\pm$ 24,6 %

De lucht die door de warmtewisselaar naar buiten gaat is slechts een deelstroom van de totale ventilatiehoeveelheid van een stal. Met behulp van het gemiddelde verwijderingsrendement zijn percentages berekend voor de reductie van fijnstof op stalniveau. De wijze van berekenen is weergegeven in een aparte notitie die als bijlage integraal is opgenomen in dit rapport<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> De reductie van fijnstof door een warmtewisselaar is opgenomen in regelgeving. De systeembeschrijvingen zijn te vinden onder de nummers BWL 2011.02 (31% reductie op stalniveau) en BWL2012.03 (13% reductie op stalniveau).

## Summary

To be able to comply with European regulations on concentrations of fine dust in the ambient air, measures need to be implemented in the Netherlands to reduce the emission of fine dust from its major sources. The poultry industry has suggested the use of heat exchangers as a potential technique to reduce fine dust emissions from broiler houses.

This report presents the results of the measurements that were commissioned by of the Ministry of Economic Affairs and carried out by Wageningen UR Livestock Research at two commercial broilers farms to determine the dust removal efficiency of heat exchangers. The measurements were performed according to the protocol described in Ogink et al (2011). This protocol prescribes performing six 24-hour measurements, spread over the year. The measurements were performed at two farm locations instead of the four locations prescribed in the measurement protocol.

Based on these measurements the following removal efficiencies have been determined for the heat exchanger (average  $\pm$  standard deviation between measurements):

Location	Removal efficiency PM10 (%)	Removal efficiency PM2,5 (%)
1	88,7 $\pm$ 7,5 %	79,2 $\pm$ 11,0 %
2	68,1 $\pm$ 19,6 %	55,1 $\pm$ 24,6 %

The air through a heat exchanger is only a small part of the total ventilation rate of a poultry house. For the calculation of the reduction of fine dust for the whole house the average removal efficiency is used. The method for the calculation is described in an separate memo which is included in this report.



# Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode .....</b>	<b>2</b>
2.1	Stal- en bedrijfssituatie .....	2
2.1.1	Huisvesting en bedrijfsvoering .....	2
2.1.2	Warmtewisselaar .....	3
2.1.3	Emissiereducerend principe .....	4
2.2	Metingen .....	4
2.2.1	Meetstrategie .....	4
2.2.2	Stofconcentratie .....	4
2.2.3	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid .....	4
2.2.4	Productiegegevens .....	5
2.3	Verwerking gegevens .....	5
<b>3</b>	<b>Resultaten en discussie .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>10</b>
	<b>Literatuur .....</b>	<b>11</b>
	<b>Bijlagen .....</b>	<b>12</b>
Bijlage A	Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering .....	12
Bijlage B	Notitie over berekenen reductie op stalniveau .....	14



## 1 Inleiding

Om te kunnen voldoen aan de Europese norm voor fijnstofconcentraties in de buitenlucht dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de uitstoot van fijn stof uit belangrijke bronnen terugdringen. In dit kader is door het Ministerie van Economische Zaken verzocht om het uitwerken van een plan van aanpak voor het ontwikkelen van praktijkrijpe bedrijfsoplossingen voor het terugdringen van de fijnstofemissie uit de pluimveehouderij. In het plan van aanpak (Ogink en Aarnink, 2008) zijn verschillende opties voor stofreductie opgenomen die het meeste perspectief bieden voor pluimveestallen. Vanuit het bedrijfsleven werden echter ook opties naar voren gebracht die perspectief zouden kunnen bieden en die niet in het plan van aanpak voorkwamen.

Door de pluimveesector is het gebruik van warmtewisselaars aangedragen als potentiële reductietechniek voor fijnstofemissie uit vleeskuikenstallen. Bij de toepassing van een warmtewisselaar wordt inkomende verse lucht in een uitwisselingsunit opgewarmd door uittredende warme ventilatielucht. Op deze manier kan energie worden bespaard in de eerste weken van de ronde. De warmtewisselaars zijn in de praktijk gedimensioneerd op het opwarmen van een hoeveelheid ventilatielucht dat benodigd is voor het eerste deel van de ronde. In de platen van de uitwisselingsunit treedt impactie op van fijn stof uit de ventilatielucht. In een eerste indicatieve evaluatie (Emous et al., 2010) is ingeschat dat het verwijderingsrendement in de uitwisselingsunit zelf 60-70% kan bedragen. Omdat het hier om stofverwijdering in een deel van de totale ventilatielucht gaat betekent dit op jaarbasis een fijn stofreductie van 10-20% op stalniveau.

Om het daadwerkelijke stofverwijderingsrendement van een warmtewisselaar te kunnen vaststellen is door het Ministerie van Economische Zaken aan Wageningen UR Livestock Research opdracht gegeven om metingen op twee praktijkbedrijven met vleeskuikens uit te voeren. In dit rapport worden de resultaten van deze metingen gepresenteerd.

## 2 Materiaal en methode

In de hierna volgende paragrafen en in de bijlagen wordt een beschrijving gegeven van de stal en de bedrijfssituatie (2.1; Bijlage A en B), van de metingen (2.2; Bijlage B, C en D) en van de wijze van verwerking van de gegevens (2.3).

### 2.1 Stal- en bedrijfssituatie

#### 2.1.1 Huisvesting en bedrijfsvoering

##### **Bedrijf 1**

De stal is 80 m lang en 22,75 m breed. Op dit bedrijf worden 22 dieren per m<sup>2</sup> opgezet. Bij een leeftijd van 30 dagen wordt 25% van de dieren uitgeladen. De dieren werden in de stal vanaf kuiken tot aan een eindgewicht van ca. 2 kg gehouden. Het eindgewicht werd bereikt in ca. 6 weken. Iedere 7 weken wordt een nieuwe ronde opgezet. Tussen beide rondes wordt de stal gereinigd en ontsmet. De inrichting van de stal (grondhuisvesting, water- en voerlijnen) is gelijk aan een traditionele stal. De stal wordt mechanisch geventileerd, waarbij minimaal 0,35 m<sup>3</sup>/uur per dier en maximaal 14,0 m<sup>3</sup>/uur per dier wordt geventileerd. De ventilatiebehoefte van de stal wordt in eerste instantie door de warmtewisselaar ingevuld. Hierdoor kan maximaal 14.000 m<sup>3</sup>/uur worden geventileerd. De buitenlucht die voorverwarmd wordt in de warmtewisselaar wordt via een luchtverdeelstelsel (3 buizen met openingen over de lengte van de stal) vlak boven de dieren gebracht. Wanneer de ventilatiebehoefte toeneemt worden nokventilatoren en later lengteventilatoren bijgeschakeld. Wanneer de ventilatievraag in de stal hoger is dan de maximale capaciteit van de warmtewisselaar overschrijdt wordt de stal traditioneel bij geventileerd. Dit betekent dat de inlaatventielen worden geopend en de ventilatoren in de stal gaan draaien. Het luchtverdelingssysteem blijft in gebruik, waarbij alleen beperkte voorverwarming van de buitenlucht plaats vindt. In de onderzochte stal werd in eerste instantie geventileerd met nokventilatoren (diameter 91 cm). Deze ventilatoren werden m.b.v. een frequentieregelaar aangestuurd waarbij een maximale capaciteit van 126.000 m<sup>3</sup>/uur bereikt kon worden. Daarna werden de lengteventilatoren, afhankelijk van de ventilatiebehoefte, in- en uitgeschakeld. Uiteindelijk bedroeg de totale maximale ventilatiecapaciteit 560.000 m<sup>3</sup>/uur. In Tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf weergegeven.

##### **Bedrijf 2**

De stal is 84 m lang en 16,5 m breed. Op dit bedrijf worden 22,5 dieren per m<sup>2</sup> opgezet. Op een leeftijd van 34 dagen wordt 30% van de dieren uitgeladen. De dieren werden in de stal vanaf kuiken tot aan een eindgewicht van ca. 2 kg gehouden. Het eindgewicht werd bereikt in ca. 6 weken. Iedere 7 weken wordt een nieuwe ronde opgezet. Tussen beide rondes wordt de stal gereinigd en ontsmet. De inrichting van de stal (grondhuisvesting, water- en voerlijnen) is gelijk aan een traditionele stal. De stal wordt mechanisch geventileerd, waarbij minimaal 0,17 m<sup>3</sup>/uur per dier en maximaal 10,5 m<sup>3</sup>/uur per dier wordt geventileerd. De ventilatiebehoefte van de stal wordt in eerste instantie door de warmtewisselaar ingevuld. Hierdoor kan maximaal 14.000 m<sup>3</sup>/uur worden geventileerd. De buitenlucht die voorverwarmd wordt in de warmtewisselaar wordt in het midden van de stal op ongeveer een meter onder de nok uitgeblazen. Deze lucht wordt via mixventilatoren met de aanwezige stallucht gemengd. Wanneer de ventilatievraag de maximale capaciteit van de warmtewisselaar overschrijdt wordt de stal traditioneel bij geventileerd. Dit betekent dat de inlaatventielen worden geopend en de ventilatoren in de stal gaan draaien. In de gemeten stal werd de stal in eerste instantie geventileerd met nokventilatoren (diameter 63 cm). Eén van deze ventilatoren werd met een frequentieregelaar en de andere 3 met een multistep aan/uit systeem aangestuurd, waarbij een maximale capaciteit van 52.000 m<sup>3</sup>/uur bereikt kon worden. Daarna werden de lengteventilatoren, afhankelijk van de ventilatiebehoefte, in- en uitgeschakeld. Uiteindelijk bedroeg de totale maximale ventilatiecapaciteit 244.000 m<sup>3</sup>/uur. In Tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf weergegeven.

### 2.1.2 Warmtewisselaar

#### **Bedrijf 1**

In de onderzochte stal wordt gebruik gemaakt van een warmtewisselaar die gebruik maakt van een tegenstroomprincipe: buitenlucht wordt opgewarmd door de warme ventilatielucht uit de stal zonder dat beide luchtstromen direct contact hebben. De warmtewisselaar bevindt zich in een geïsoleerde kast. Via een gaasfilter wordt buitenlucht m.b.v. een centrifugaal ventilator aangezogen. Deze buitenlucht wordt door een kunststof kanalenpakket gevoerd. De warme stallucht wordt langs de buitenkant van de kunststof kanalen geleid en warmt zo de koude buitenlucht op. De stallucht wordt door een axiaal ventilator afgevoerd naar buiten. De hoeveelheid buitenlucht die wordt opgewarmd en daarmee de hoeveelheid stallucht die wordt gebruikt in de warmtewisselaar wordt geregeld door een frequentieregelaar die wordt aangestuurd door de klimaatcomputer. Wanneer de warmtebehoefte van de dieren in de stal afneemt zal de hoeveelheid warme stallucht door de warmtewisselaar worden gereduceerd waardoor de ingaande buitenlucht minder wordt opgewarmd. In Tabel 1 staan de afmetingen en instellingen die bepalend zijn voor de geïnstalleerde warmtewisselaar waarbij de metingen hebben plaatsgevonden.

#### **Bedrijf 2**

In de onderzochte stal wordt gebruik gemaakt van een warmtewisselaar die gebruik maakt van een tegenstroomprincipe: buitenlucht wordt opgewarmd door de warme ventilatielucht uit de stal zonder dat beide luchtstromen direct contact hebben. De warmtewisselaar bevindt zich in een geïsoleerde kast. Via een gaasfilter wordt buitenlucht m.b.v. een axiaal ventilator aangezogen. Deze buitenlucht wordt door een kunststof kanalenpakket gehaald. De warme stallucht wordt langs de buitenkant van de kunststof kanalen geleid en warmt zo de koude buitenlucht op. De stallucht wordt door een axiaal ventilator afgevoerd naar buiten. De hoeveelheid buitenlucht die wordt opgewarmd en daarmee de hoeveelheid stallucht die wordt gebruikt in de warmtewisselaar wordt geregeld door een frequentieregelaar die wordt aangestuurd door de klimaatcomputer. Wanneer de warmtebehoefte van de dieren in de stal afneemt zal de hoeveelheid warme stallucht door de warmtewisselaar worden gereduceerd waardoor de ingaande buitenlucht minder wordt opgewarmd. In Tabel 1 staan de afmetingen en instellingen die bepalend zijn voor de geïnstalleerde warmtewisselaar waarbij de metingen hebben plaatsgevonden.

**Tabel 1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stallen en warmtewisselaars

Kenmerk	Bedrijf 1	Bedrijf 2
Grondoppervlak stal [m <sup>2</sup> ]	1815	1400
Leefoppervlak [dieren per m <sup>2</sup> ]	22	22,5
Aantal dierplaatsen	40000	33000
Ventilatiecapaciteit		
warmtewisselaar [m <sup>3</sup> /uur]	14.000	14.000
nokventilatoren [m <sup>3</sup> /uur]	126.000	53.200
lengteventilatoren [m <sup>3</sup> /uur]	420.000	176.900
Afmeting warmtewisselaar (l x b x h; in m)	9,5 x 3,3 x 2,7	9,0 x 1,55 x 2,25
Max. capaciteit ingaande buitenlucht [m <sup>3</sup> /uur per dier]	0,35	0,42
Maximale capaciteit uitgaande stallucht [m <sup>3</sup> /uur per dier]	0,50	0,40
Gebruikte ventilatoren		
Ingaand	Centrifugaal	Axiaal
Uitgaand	Axiaal	Axiaal
Diameter meetventilator	91 cm	63 cm
Bouwjaar	2009	2010

### 2.1.3 Emissiereducerend principe

Het emissie reducerende principe voor fijn stof van dit systeem is gebaseerd op de impactie van fijn stof tegen de platen van de warmtewisselaar dat optreedt wanneer verse lucht en stallucht door de warmtewisselaar worden geleid. Dit leidt tot een lagere emissie van fijn stof uit de stal. Uit oogpunt van reductie stookkosten worden de warmtewisselaars in de praktijk alleen in het eerste deel van de ronde toegepast, waardoor de totale emissiereductie beperkt zou kunnen blijven. Voor de reductie van de emissie van fijnstof blijft de warmtewisselaar de hele ronde aan staan. Zowel de uitgaande als de ingaande luchtstroom.

## 2.2 Metingen

### 2.2.1 Meetstrategie

De metingen voor fijn stof (PM10 en PM2,5) zijn voor bedrijf 1 in de periode januari 2011 – november 2011 en voor bedrijf 2 in de periode februari 2011 – september 2011 uitgevoerd volgens het protocol zoals beschreven in Ogink e.a. (2011). Dit houdt in dat zesmaal verdeeld over een jaar 24-uur metingen zijn uitgevoerd. In afwijking van het meetprotocol is voor bedrijf 2 de meetperiode verkort tot zes maanden in plaats van de metingen te verdelen over het gehele jaar. De metingen zijn daarnaast op twee locaties uitgevoerd in plaats van de voorgeschreven vier locaties. Aanvullend geldt de volgende voorwaarde voor de verdeling van de metingen over de productieronde (Ogink e.a., 2011): *“eerst wordt de productieronde onderverdeeld in drie opeenvolgende gelijke tijdvakken. In het eerste tijdvak dient een meting plaats te vinden, in het tweede tijdvak twee metingen, en in het derde tijdvak drie metingen. De metingen in het derde tijdvak van de productieronde dienen gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld”*. Een meting bestond uit het meten van de concentratie van PM10 en PM2,5 vóór en na de warmtewisselaar (zie hoofdstuk 2.2.2). Daarnaast moet de meetlocatie aan een aantal landbouwkundige randvoorwaarden voldoen (Ogink e.a., 2011).

### 2.2.2 Stofconcentratie

Voor de bepaling van de fijn stof concentraties is de gravimetrische meetmethode toegepast. Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de 24-uurs meetperiode bepaald en geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de fijn stof concentraties tijdens de metingen. In deze methode wordt stof op filters opgevangen. De filters werden vóór en na de metingen onder geconditioneerde omstandigheden gewogen. Zie Zhao e.a. (2009) en Bijlage A voor de complete beschrijving en praktische uitvoering van deze methode.

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens de meetdagen:

- Een monster van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van de uitgaande stallucht vóór en na de warmtewisselaar.
- Een monster van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) van de uitgaande stallucht vóór en na de warmtewisselaar.

### 2.2.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande (buitenlucht) en uitgaande stallucht (vóór en na de warmtewisselaar) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie Bijlage A), met een nauwkeurigheid van respectievelijk ± 1,0 °C en ± 2%. De data werden in een datalogsysteem (Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.

#### 2.2.4 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal geplaatste dieren
- Aantal aanwezige dieren
- De productiedag in de ronde
- Gemiddeld gewicht van de dieren [kg]
- Gemiddelde voeropname per dier [kg]
- Gemiddelde wateropname per dier [l]
- Uitval [%]

#### 2.3 Verwerking gegevens

Het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar voor fijn stof werd per meetdag berekend met behulp van de volgende formule, waarbij  $C_{\text{ingaaand}}$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) staat voor de concentratie van de betreffende component in de stallucht (ingaaende lucht van de warmtewisselaar) en  $C_{\text{uitgaand}}$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) staat voor de concentratie van de betreffende component in de behandelde lucht (uitgaande lucht van de warmtewisselaar):

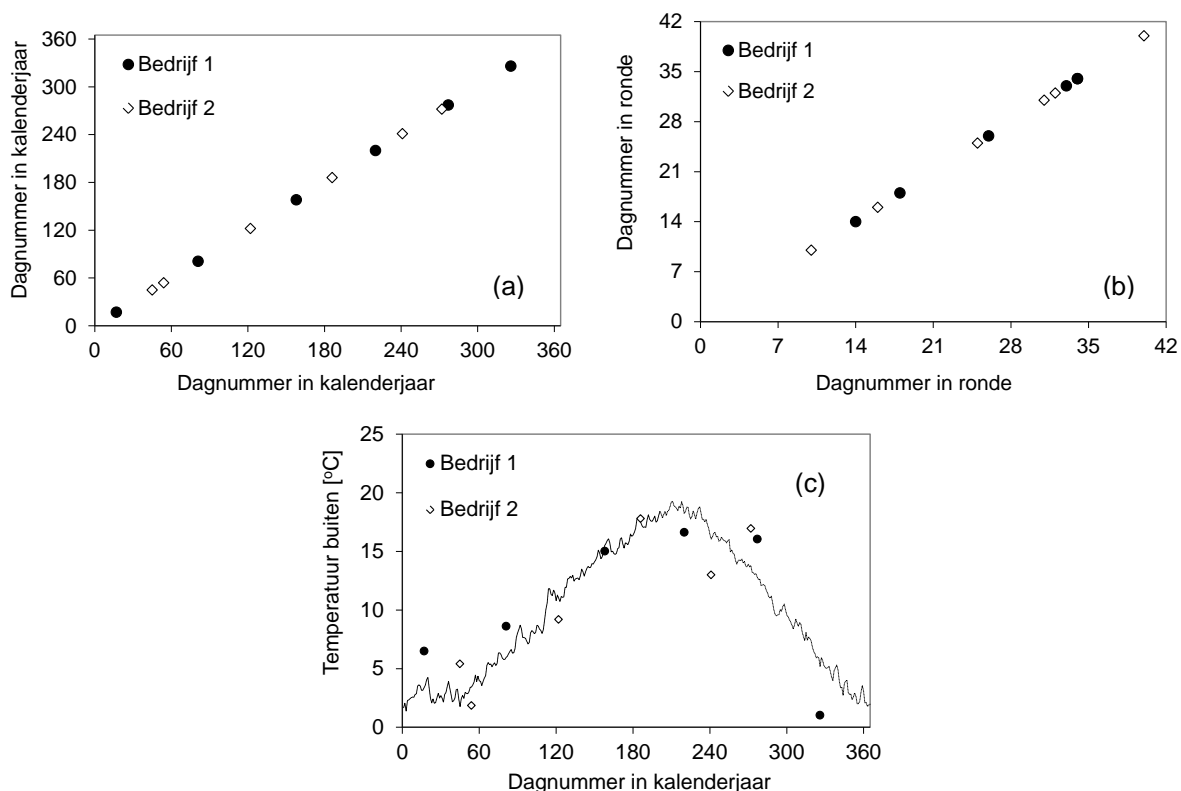
$$\text{Verwijderingsrendement} = \frac{C_{\text{ingaaand}} - C_{\text{uitgaand}}}{C_{\text{ingaaand}}} \times 100\%$$

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de warmtewisselaar werd bepaald door het gemiddelde van alle verwijderingsrendementen te berekenen.

### 3 Resultaten en discussie

In Tabel 2 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht. De metingen zijn over een periode van 309 dagen op bedrijf 1 en over een periode van 227 dagen op bedrijf 2 in het jaar verdeeld. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 180 dagen op bedrijf 1, en 153 dagen op bedrijf 2. De metingen zijn op beide bedrijven over de productieronde verdeeld (Figuur 2). Het gemiddelde dagnummer in de productieronde was 27 dagen op bedrijf 1 en 26 dagen op bedrijf 2. De (daggemiddelde) CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen op beide bedrijven onder de 3000 ppm.

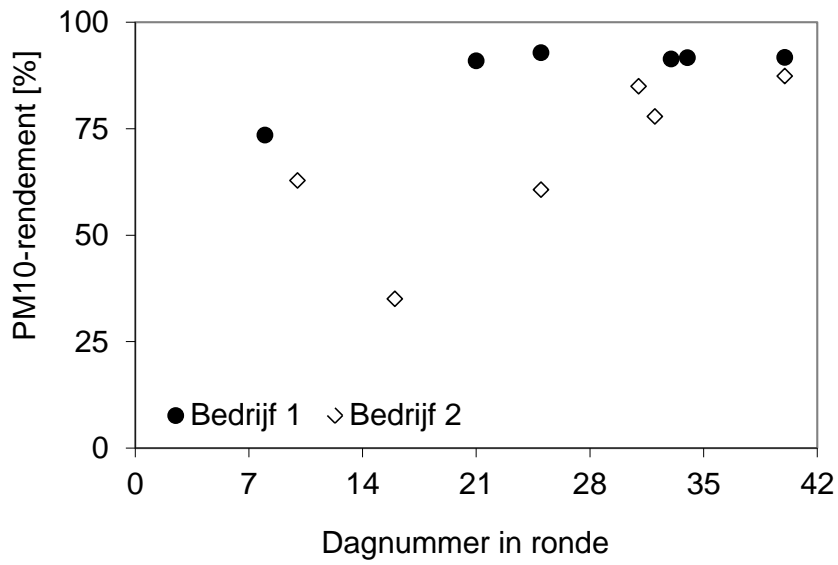
In Figuur 2 worden de gemeten buitentemperaturen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten is zowel voor bedrijf 1 (10,6 °C) als voor bedrijf 2 (10,7 °C) vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C).



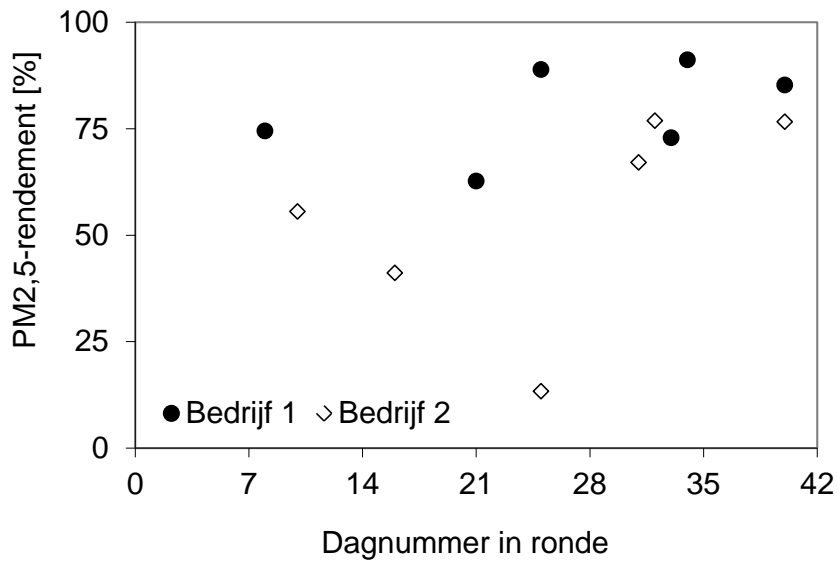
**Figuur 1** Verdeling van de metingen over het jaar (a), over de productieronde (b), en de buitentemperatuur (c) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl); als stippellijn weergegeven). Dagnummer in ronde: dagen na opzet. Op bedrijf 1 zijn twee metingen uitgevoerd op dag 34 in de productieronde.

In Figuur 2 worden de verwijderingsrendementen van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> op de verschillende meetdagen weergegeven. De warmtewisselaar die geïnstalleerd is op bedrijf 1 resulteerde in hogere verwijderingsrendementen voor zowel PM<sub>10</sub> als voor PM<sub>2,5</sub> dan de warmtewisselaar op bedrijf 2. Het verwijderingsrendement was voor beide warmtewisselaars hoog aan het eind van de ronde (hogere concentraties PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in de ingaande luchtstroom) en laag aan het begin van de productieronde (lagere concentraties PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in de ingaande luchtstroom). Het gemiddelde PM<sub>10</sub>-verwijderingsrendement van de warmtewisselaar ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) bedroeg  $88,7 \pm 7,5$  % voor bedrijf 1 en  $68,1 \pm 19,6$  % voor bedrijf 2. Het gemiddelde PM<sub>2,5</sub>-verwijderingsrendement van de warmtewisselaar bedroeg  $79,2 \pm 11,0$  % voor bedrijf 1 en  $55,1 \pm 24,6$  % voor bedrijf 2.





a)



b)

**Figuur 2** a) Gemiddelde verwijderingsrendement van de warmtewisselaar voor PM10 op de verschillende meetdagen. b) Gemiddelde verwijderingsrendement van de warmtewisselaar voor PM2,5 op de verschillende meetdagen

**Tabel 2** Data waarop metingen zijn uitgevoerd, het aantal dieren, de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens tijdens de metingen en de concentraties en verwijderingsrendementen voor PM10 en PM2,5. T-buiten, RV-buiten: temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten (achtergrond). n.b.: door storingen, data niet beschikbaar

Bedrijf	Meting					
	1	2	3	4	5	6
Datum	24-01-2011	02-02-2011	09-05-2011	07-09-2011	09-11-2011	05-03-2012
Dag in het jaar	24	33	129	250	313	65
T-buiten [°C]	4,0	3,3	18,3	13,8	5,4	6,3
RV-buiten [%]	92,0	95,0	64,5	91,0	96,0	73,5
T voor de warmtewisselaar [°C]	23,0	20,3	23,6	30,3	24,2	21,1
RV voor de warmtewisselaar [%]	68,0	75,4	60,3	65,1	67,2	84,0
T na de warmtewisselaar [°C]	12,0	n.b.	21,4	20,6	13,3	12,4
RV na de warmtewisselaar [%]	99,9	n.b.	68,3	99,5	95,6	100,0
Dag in de ronde	25	34	33	8	21	40
Aantal geplaatste dieren	41200	41200	40000	40000	42000	42000
Aantal aanwezige dieren	40038	30766	38677	39586	41519	30973
Gewicht dieren [kg]	1,13	1,82	1,74	0,21	0,80	2,21
PM10 voor warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	3,568	2,711	2,249	0,847	2,129	3,615
PM10 na warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	0,256	0,226	0,194	0,224	0,193	0,298
PM10-rendement [%]	92,8	91,7	91,4	73,5	90,9	91,7
PM2,5 voor warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	0,185	0,228	0,118	0,049	0,072	0,311
PM2,5 na warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	0,020	0,020	0,032	0,012	0,027	0,046
PM2,5-rendement [%]	88,9	91,2	72,9	74,5	62,7	85,3

**Tabel 2 (vervolg)** Data waarop metingen zijn uitgevoerd, het aantal dieren, de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens tijdens de metingen en de concentraties en verwijderingsrendementen voor PM10 en PM2,5. T-buiten, RV-buiten: temperatuur en relatieve luchtvochtigheid buiten (achtergrond). n.b.: door storingen, data niet beschikbaar

Bedrijf	Meting					
	1	2	3	4	5	6
Datum	14-02-2011	23-02-2011	02-05-2011	05-07-2011	29-08-2011	29-09-2011
Dag in het jaar	45	54	122	186	241	272
T-buiten [°C]	5,4	1,9	9,2	17,8	13,0	17,0
RV-buiten [%]	91,0	85,0	48,5	73,0	74,0	81,0
T voor de warmtewisselaar [°C]	21,5	17,6	28,0	25,9	22,1	25,7
RV voor de warmtewisselaar [%]	78,5	74,3	52,8	57,9	68,4	61,9
T na de warmtewisselaar [°C]	16,5	10,6	18,2	23,9	n.b.	21,1
RV na de warmtewisselaar [%]	99,9	99,9	97,9	62,3	n.b.	85,2
Dag in de ronde	31	40	10	25	32	16
2 Aantal geplaatste dieren	29200	29200	31200	31500	32500	31300
Aantal aanwezige dieren	28801	22650	30728	30864	32200	30953
Gewicht dieren [kg]	1,35	2,14	0,21	0,90	1,31	0,50
PM10 voor warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	2,022	2,296	1,439	0,540	1,771	0,318
PM10 na warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	0,305	0,290	0,535	0,212	0,391	0,206
PM10-rendement [%]	84,9	87,4	62,9	60,7	77,9	35,0
PM2,5 voor warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	0,131	0,159	0,055	0,038	0,128	0,035
PM2,5 na warmtewisselaar [mg/m <sup>3</sup> ]	0,043	0,037	0,024	0,033	0,030	0,021
PM2,5-rendement [%]	67,1	76,7	55,6	13,3	76,9	41,1

## 4 Conclusies

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de metingen die op twee praktijkbedrijven voor vleeskuikens zijn uitgevoerd om het stofverwijderingsrendement van warmtewisselaars te bepalen. Op basis van deze metingen zijn de volgende verwijderingsrendementen voor de warmtewisselaar bepaald (gemiddelde  $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen):

Bedrijf	Verwijderingsrendement PM10 (%)	Verwijderingsrendement PM2,5 (%)
1	88,7 $\pm$ 7,5 %	79,2 $\pm$ 11,0 %
2	68,1 $\pm$ 19,6 %	55,1 $\pm$ 24,6 %

## Literatuur

- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A. J. A. Aarnink, en 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, Lelystad.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegeijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M., P. Hofschreuder en A.J.A. Aarnink. 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, en P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. *Aerosol Science* 40: 868 – 878.

## Bijlagen

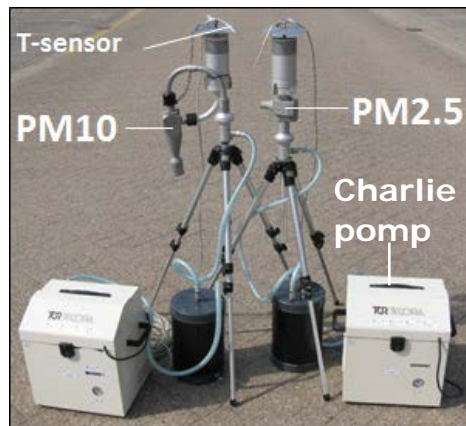
### Bijlage A Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering

#### Gravimetrische meetmethode fijn stof

De gravimetrische meetmethode is er op gebaseerd om het verschil in gewicht van het filter voor en na de meting te bepalen om zodoende de hoeveelheid ingevangen stof vast te stellen. Omdat het bij deze meetmethode slechts om kleine gewichtsverschillen gaat is de meetmethode om het stof te verzamelen aan strikte randvoorwaarde verbonden. De apparatuur voor gravimetrische meting van PM10 en PM2,5 is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en de standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafscheider is vervangen door een cycloon voorafscheider. Dit vanwege het gevaar van overbelading van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM2,5 (Zhao e.a., 2009). In Hofschreuder e.a. (2008) worden correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gemeten met cycloon monsternametekoppen naar impactor monsternametekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

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

Voor de bepaling van de concentraties PM10 en PM2,5 in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht werd lucht door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend,  $6 \text{ m}^3/\text{uur}$ , Ravebo Supply BV, Brielle; zie foto hieronder). De pompen werden geprogrammeerd op een flow van  $1,0 \text{ m}^3/\text{uur}$  en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode.



Overzichtsfoto van een gravimetrische meetopstelling voor PM10 (linker statief) en PM2,5 (rechter statief)

PM10 en PM2,5 werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland), nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). De filters werden voor en na de stofmonsternamete gewogen onder standaard condities: temperatuur  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $50\% \pm 5\%$  relatieve luchtvochtigheid (NEN-EN 14907, 2005). De hoeveelheid verzameld stof werd bepaald door het verschil in gewicht te bepalen van het filter voor en na de monsternamete.

### **Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid**

Voor de meting van temperatuur (T; °C) en relatieve luchtvochtigheid (RV; %) werd gebruik gemaakt van Rotronic T en RV sensoren (ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie foto hieronder), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 1,0$  °C en  $\pm 2\%$ . Per meetpunt werd een sensor opgehangen. De data werd eenmaal per uur gelogd als gemiddelde over dat uur.



*De Rotronic sensor voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid*

**Bijlage B Notitie over berekenen reductie op stalniveau**



# **Effecten van de warmtewisselaar op de fijnstofemissie voor verschillende pluimveecategorieën**

R. van Emous, H.H. Ellen en N.W.M. Ogink

*Interne Notitie*

## Inleiding

De laatste jaren worden door pluimveehouders in het kader van de reductie van ammoniak steeds meer warmtewisselaars geplaatst. Doordat met het toepassen van een warmtewisselaar ook flink bespaard kan worden op de verwarmingskosten is het systeem de laatste jaren in de praktijk behoorlijk populair geworden. Met name bij sectoren met een hoge warmtevraag (vleeskuikens, opfok, etc.) worden regelmatig warmtewisselaars geïnstalleerd.

Het werkingsprincipe van de warmtewisselaar berust op de voortplanting van warmte door geleiding, waarbij warmte door een scheidingswand moet worden overgedragen met als doel warmteterugwinning. Met een warmtewisselaar is het mogelijk 100% verse buitenlucht op te warmen of af te koelen. Dit zorgt voor een optimaal stalklimaat. De verse buitenlucht wordt opgewarmd door stallucht die uit de stal wordt gezogen. Dit heeft als doel een zo hoog mogelijk rendement van warmteterugwinning te bereiken. De koude buitenlucht wordt door een buizensysteem geleid dat in tegenstroom of in kruisstroom wordt opgewarmd door af te voeren stallucht. Het resultaat is geconditioneerde verse buitenlucht die een temperatuur heeft nagenoeg gelijk aan de staltemperatuur en een lage luchtvochtigheid kent.

Recentelijk (juni 2010) is de warmtewisselaar voor vleeskuikens (E 5.11 / BWL 2010.13) opgenomen in de Rav-lijst waarbij de emissiewaarde voor ammoniak op 0,045 kilogram per dierplaats is gesteld. In de beschrijving, zoals opgenomen in de Rav-lijst, staat dat de capaciteit minimaal 0,35 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur moet zijn. In de praktijk zijn en worden warmtewisselaars geïnstalleerd met een grotere capaciteit tot ruim 1,0 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur.

Tijdens het schoonmaken van de warmtewisselaar in de praktijk zag men, tussen verschillende koppels vleeskuikens door, dat veel stof in de warmtewisselaar aanwezig was. Dit stof is nadelig voor de warmte overdacht in de warmtewisselaar, en verstopt een deel van de luchtstroom waardoor het elektra verbruik toeneemt. Daarom hebben veel gebruikers van een warmtewisselaar het apparaat uitgerust met een spoelinstallatie die frequent (dagelijks) het apparaat schoonspoelt. Dit heeft ook als voordeel dat aan het eind van de ronde het apparaat minder vuil is en dus sneller te reinigen.

Door de waargenomen stofophoping in de warmtewisselaars ontstond het idee dat de warmtewisselaar een potentieel apparaat is om de fijnstofemissie uit pluimveestallen te reduceren. Het principe van het reduceren van PM10 via de warmtewisselaar is gebaseerd op het feit dat het fijnstof in de uitgaande lucht aan het materiaal in de warmtewisselaar blijft kleven.

In dit memo wordt via berekeningen nagegaan wat de mogelijke reductie van een warmtewisselaar is op de PM10 emissie van de verschillende diercategorieën. Deze berekeningen zijn gebaseerd op een gestandaardiseerde weergave van de fijnstofconcentratie en het ventilatiedebiet gedurende een productieperiode van de verschillende pluimveecategorieën. Voor twee variabelen (capaciteit warmtewisselaar en verwijderingsrendement warmtewisselaar) zijn in de berekeningen verschillende niveaus doorgerekend. Dit is gedaan omdat in de praktijk met warmtewisselaars wordt gewerkt met verschillende capaciteiten en het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar niet exact bekend is. Hiervoor zijn tot nu toe slechts indicatieve metingen door een fabrikant van warmtewisselaars gedaan. De oriënterende metingen lieten waarden zien tussen de 50% en ruim 80% verwijderingsrendement voor fijnstof. Verder onderzoek naar het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar moet meer inzicht geven op de hoogte van het verwijderingsrendement. Dit onderzoek is in 2011 opgestart.

In dit memo worden de methoden van berekeningen, de verschillende niveaus van de variabelen in de scenarioberekeningen en de resultaten toegelicht. Op basis van deze informatie wordt een advies uitgebracht hoe deze informatie gebruikt kan worden voor het vaststellen van reductiepercentages bij inzet van warmtewisselaars in de verschillende pluimveecategorieën.

## Methode

Voor het berekenen van het reducerend vermogen van een warmtewisselaar zijn een aantal gegevens nodig:

1. Verloop van het ventilatiedebiet per dier per uur gedurende de productieperiode
2. Verloop van de PM10 concentratie (mg/m<sup>3</sup>) gedurende de productieperiode
3. Verwijderingsrendement van PM10 door de warmtewisselaar
4. Capaciteit van de warmtewisselaar (m<sup>3</sup> lucht per dierplaats per uur)

Bij de berekeningen is gebruikt gemaakt van twee methodes voor het vaststellen van het ventilatiedebiet van de stal. Hiermee kan het effect van de fijnstofverwijdering in de deelstroom door de warmtewisselaar worden ingeschat. De eerste methode is gebaseerd op het jaarrond klimaat ("graaduren" methode) en de tweede methode is gebaseerd op een groeiperiode ("verloop" methode), zoals hierna toegelicht.

### 1. "Graaduren" berekeningsmethode

Voor leghennen en vleeskuikenuouderdieren is gebruik gemaakt van de "graaduren" berekeningsmethode. Deze methode wordt gebruikt bij diercategorieën waarin sprake is van een min of meer stabiele situatie qua lichaamsgewicht, temperatuur stal, etc. Via deze methode wordt in beeld gebracht wat het aantal uren per jaar is, met een bepaalde buitentemperatuur. Daarna wordt de relatie berekend tussen de buitentemperatuur en het debiet en de relatie tussen buitentemperatuur en PM10 concentratie in de stal.

### 2. "Verloop" berekeningsmethode

Voor de opfok leghennen, opfok vleeskuikenuouderdieren, (vleeskuikens), vleeskalkoenen en vleeseenden is gebruik gemaakt van de "verloop" berekeningsmethode. Bij deze diercategorieën heb je te maken met een niet stabiele situatie maar verandert de staltemperatuur en lichaamsgewicht in de tijd. In het begin van de productie periode worden kuikens gehouden bij een hoge staltemperatuur (> 30°C) en een laag lichaamsgewicht. Aan het einde van de groeiperiode worden de dieren echter gehouden bij een lage staltemperatuur (ca. 20°C) en een hoog lichaamsgewicht. Dit heeft gevolgen voor het verloop van het ventilatiedebiet gedurende de periode. Bij het toenemen van het gewicht en het afnemen van de staltemperatuur zal het ventilatiedebiet exponentieel toenemen.

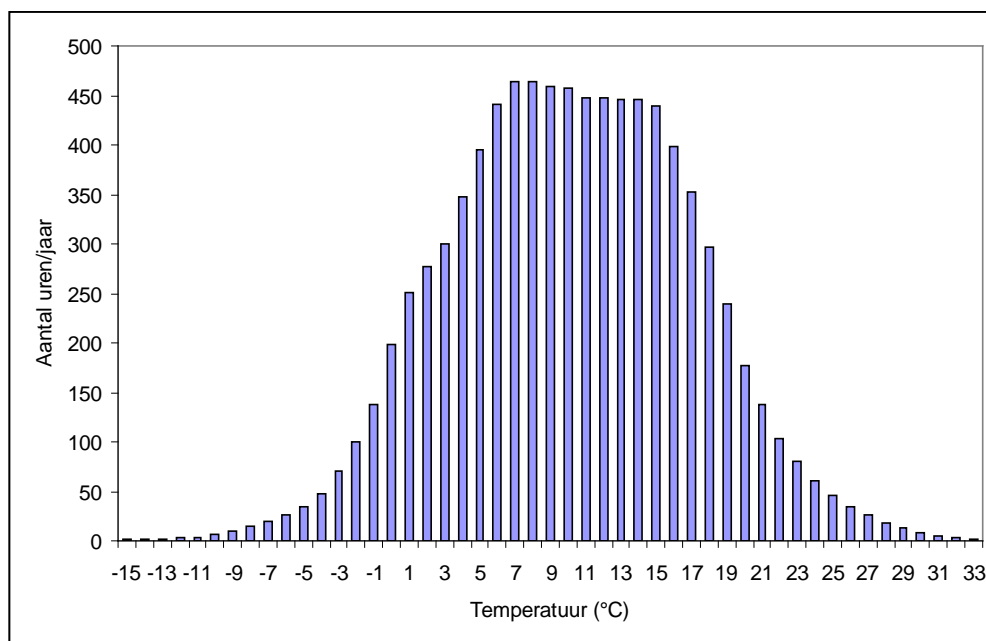
Voor elke diercategorie is met de uitgangspunten de verwachte reductie op de jaargemiddelde PM10 emissie berekend. Per diercategorie worden de uitgangspunten hieronder toegelicht.

## Diercategorieën

### Leghennen (E2)

Zoals hierboven opgemerkt is bij leghennen sprake van een min of meer stabiele situatie qua lichaamsgewicht en staltemperatuur. Daarom is bij deze diercategorie voor het ventilatiedebiet gerekend met de "graaduren" methode. Via deze methode wordt in beeld gebracht wat het aantal uren per jaar is, met een bepaalde buitentemperatuur.

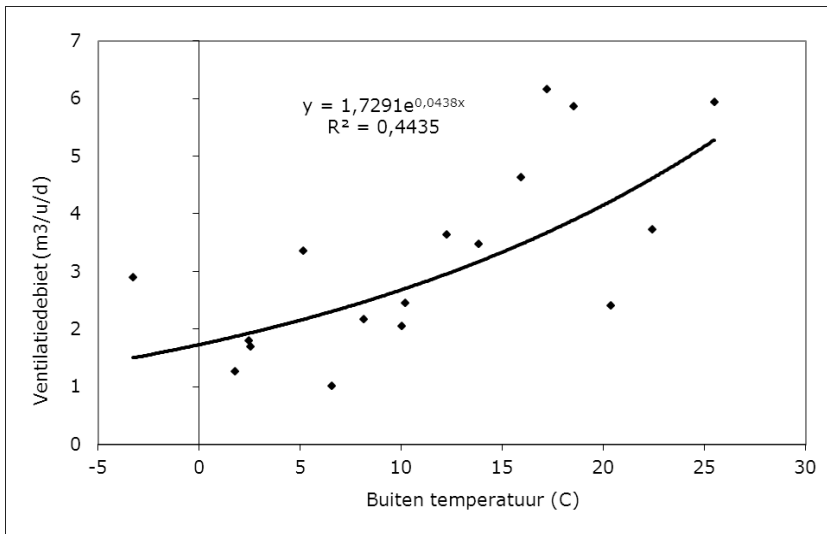
Om inzicht te krijgen in het verloop van de buitentemperatuur in Nederland zijn gegevens van het KNMI gebruikt (<http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/>). De uurwaarden van temperatuur van de jaren 1951 tot en met 2009 zijn gemiddeld (figuur 1).



**Figuur 1** Verdeling van het aantal uren per jaar bij een bepaalde temperatuur

De relatie van het ventilatiedebiet met de buitentemperatuur is berekend uit de gegevens van vier volièrestallen die binnen het kader van het project actualisatie fijnstofemissiefactoren verzameld zijn (Winkel e.a., 2009). Dit waren gangbare en representatieve praktijkstallen van gemiddeld 27.250 dieren groot.

De basisgegevens en de trendlijn voor het verloop van het totale ventilatiedebiet in relatie tot de buitentemperatuur is weergegeven in figuur 2. Het verband tussen de buitentemperatuur en het ventilatiedebiet ( $\text{m}^3$  lucht per dier per uur) is exponentieel verondersteld. Er is gekozen voor een exponentieel verband omdat dat de meest waarschijnlijke trend is. Bij een lineaire trend zou de minimumventilatie bij  $-12\text{ }^\circ\text{C}$  negatief zijn. In de praktijk zal bij buitentemperaturen onder de 0 graden Celsius altijd met een bepaald minimum worden geventileerd. Bij volwassen legkippen van 1,7 kg is dat  $0,7\text{ m}^3$  lucht per kg lichaamsgewicht per uur. Dus  $1,2\text{ m}^3$  lucht per dier per uur. De trendlijn is gebruikt in de reductieberekeningen voor PM10.

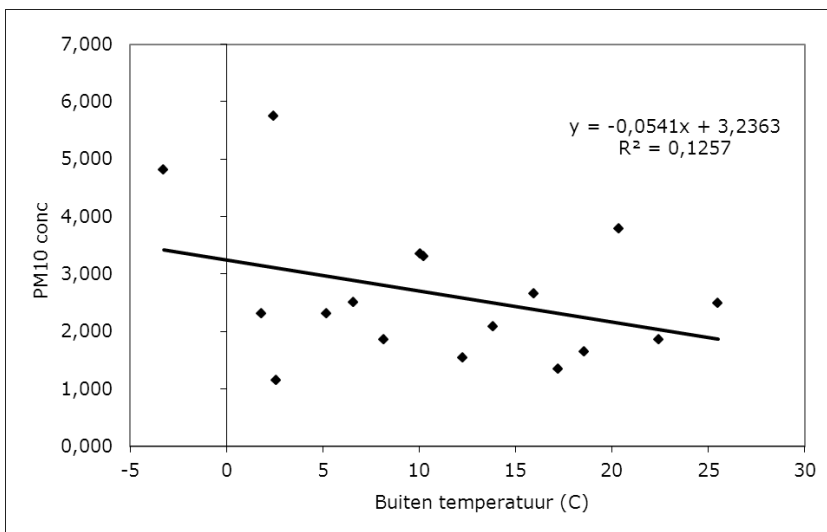


**Figuur 2** Relatie buitentemperatuur en totaal ventilatiedebiet volièrestal leghennen

De relatie tussen de buitentemperatuur en PM10 concentratie is eveneens berekend uit de gegevens van de vier volièrestallen die binnen het kader van het project actualisatie fijnstofemissiefactoren verzameld zijn (Winkel e.a., 2009).

De basisgegevens en de trendlijn voor het verloop van de PM10 concentratie in relatie tot de buitentemperatuur is weergegeven in figuur 3. Uit de figuur blijkt dat bij een hogere buitentemperatuur (en dus ook ventilatiedebiet) de PM10 concentratie licht lineair zal afnemen. Dit is een effect wat ook wordt waargenomen bij ammoniak.

De trendlijn is gebruikt in de reductieberekeningen voor PM10.



**Figuur 3** Relatie buitentemperatuur en PM10 concentratie volièrestal leghennen

Er is gerekend met een warmtewisselaar met een capaciteit van 0,2 of 0,7 m<sup>3</sup> per uur per dier met vier verwijderingsrendementen (50, 60, 70 en 80%). De twee verschillende capaciteiten van de warmtewisselaar zijn gebaseerd op de hoeveelheden lucht voor beluchting van de mest op de mestbanden, zoals die zijn opgenomen in de beschrijvingen van de volièresystemen gekoppeld aan de Rav. In tabel 1 zijn de eisen ten aanzien van de beluchting van de mest weergegeven.

**Tabel 1** Eisen ten aanzien van de beluchting op de mestbanden bij volièresystemen voor leghennen

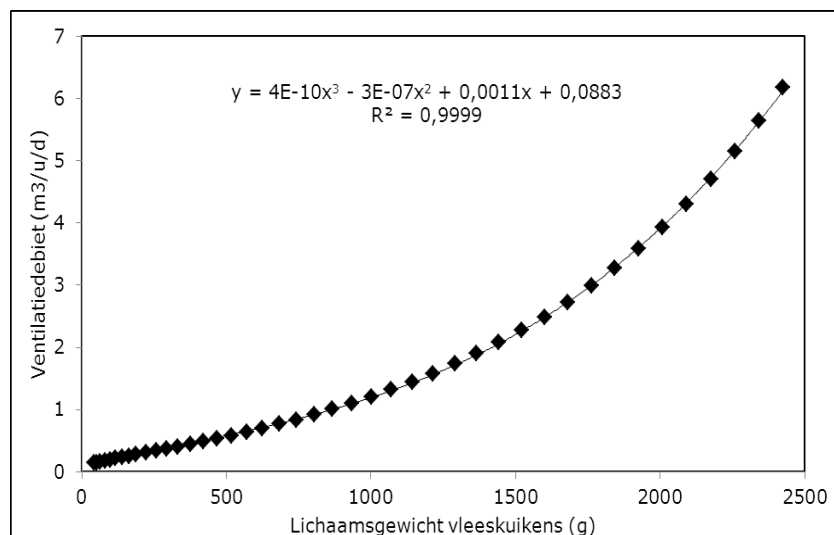
Categorie	Beschrijving	Hoeveelheid lucht (m <sup>3</sup> /dier/uur)	Temperatuur	Herkomst
E 2.11.1	BWL 2004.09.V1	Geen eisen t.a.v. de beluchting		
E 2.11.2	BWL 2004.10.V1	0,2	> 18 °C	Geen eis
E 2.11.3	BWL 2005.04.V1	0,7	> 17 °C	100% buitenlucht
E 2.11.4	BWL 2005.05.V1	0,7	> 17 °C	100% buitenlucht

Gesteld kan worden dat met name bij de laatste twee systemen genoemd in tabel 2 een warmtewisselaar toegepast zal worden om de lucht op te warmen.

#### Opfok leghennen (E1)

Voor opfok leghennen waren geen gegevens over het verloop van de PM10 concentratie en ventilatiedebiet beschikbaar vanuit meetprojecten aan fijnstof. Om toch een redelijke inschatting te kunnen maken is voor de PM10 concentratie gebruik gemaakt van cijfers die gemeten zijn bij kalkoenen. Qua lengte productieperiode het meest vergelijkbaar met opfok leghennen. Voor het ventilatiedebiet is gebruik gemaakt van basisgegevens die bij vleeskuikens zijn gemeten. Met die gegevens is de relatie berekend tussen het lichaamsgewicht en het ventilatiedebiet (figuur 4). De formule van de trendlijn uit de figuur is toegepast voor opfok leghennen om een redelijke benadering van het ventilatiedebiet (gerelateerd dus aan het lichaamsgewicht) in de tijd te krijgen. Om het ventilatiedebiet te berekenen is dus gebruik gemaakt van de "verloop" methode.

Gegevens voor het verloop van het lichaamsgewicht leghennen (gemiddelde bruin en wit) zijn afkomstig vanuit verzorgingsgidsen van de diverse merken leghennen.



**Figuur 4** Relatie lichaamsgewicht vleeskuikens en ventilatiedebiet

Er is gerekend met een warmtewisselaar met een capaciteit van 0,1, 0,3 of 0,4 m<sup>3</sup> per uur per dier met vier verwijderingsrendementen (50, 60, 70 en 80%). Ook hierbij zijn de capaciteiten van de warmtewisselaar gebaseerd op de aan de Rav gekoppelde beschrijvingen van volièresystemen. De eisen hiervoor staan in tabel 2.

**Tabel 2** Eisen ten aanzien van de beluchting op de mestbanden bij volièresystemen voor opfokleghennen

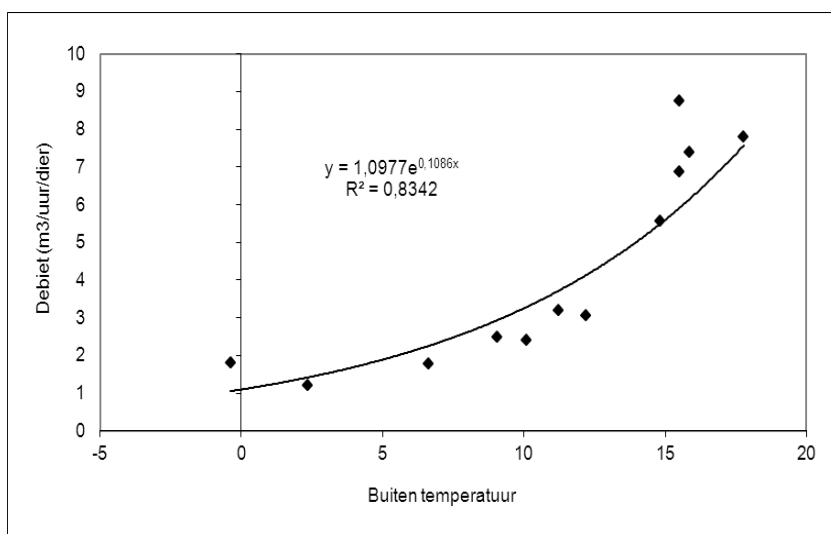
Categorie	Beschrijving	Hoeveelheid lucht (m <sup>3</sup> /dier/uur)	Temperatuur	Herkomst
E 1.8.1	BWL 2005.02.V1	Geen eisen t.a.v. de beluchting		
E 1.8.2	BWL 2005.03.V1	0,3	> 20 °C	Geen eis
E 1.8.3	BWL 2006.10.V1	0,1	> 18 °C	Geen eis
E 1.8.4	BWL 2006.11.V1	0,4	> 17 °C	100% buitenlucht
E 1.8.5	BWL 2006.12.V1	0,4	> 17 °C	100% buitenlucht

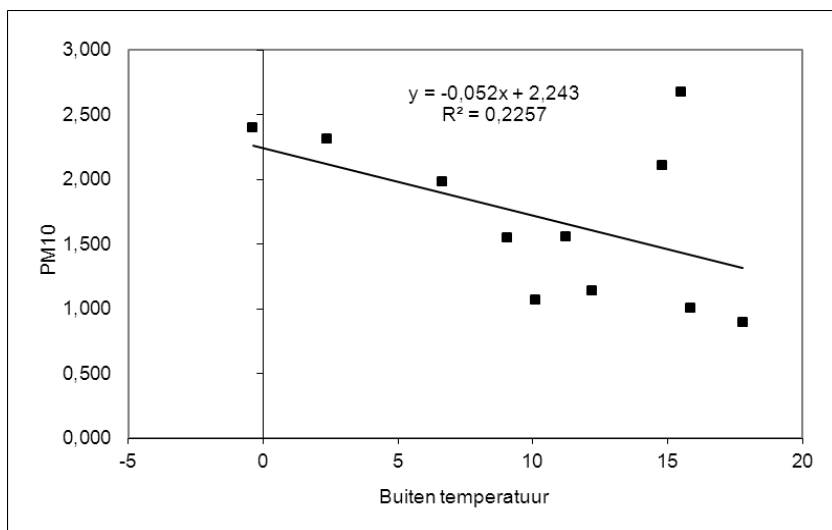
Gesteld kan worden dat met name bij de laatste twee systemen genoemd in tabel 2 een warmtewisselaar toegepast zal worden om de lucht op te warmen. Ook bij het tweede systeem zal vaak gekozen worden voor het toepassen van een warmtewisselaar om hoge stookkosten te voorkomen.

#### Vleeskuikenouderdieren (E4)

Zoals hierboven opgemerkt is bij vleeskuikenouderdieren sprake van een min of meer stabiele situatie qua lichaamsgewicht, temperatuur stal, etc. Daarom is bij de vleeskuikenouderdieren gebruik gemaakt van de "graaduren" methoden om het ventilatiedebiet te berekenen. Via deze methode wordt in beeld gebracht wat het aantal uren per jaar is, met een bepaalde buitentemperatuur. De uitleg van de methodiek staat beschreven onder leghennen.

Basisgegevens van ventilatiedebiet en PM10 concentratie zijn gebruikt vanuit het project: actualisatie fijnstofemissiefactoren (Mosquera e.a., 2009a). In figuur 5 en 6 is de relatie weergegeven van de buitentemperatuur met respectievelijk het ventilatiedebiet en de PM10 concentratie. Het verband tussen de buitentemperatuur en het ventilatiedebiet (m<sup>3</sup> lucht per dier per uur) is exponentieel verondersteld. Er is gekozen voor een exponentieel verband omdat dat de meest waarschijnlijke trend is. Uit figuur 6 blijkt dat bij een hogere buitentemperatuur (en dus ook ventilatiedebiet) de PM10 concentratie licht lineair zal afnemen. Dit is een effect wat ook wordt waargenomen bij ammoniak.

**Figuur 5** Relatie buitentemperatuur en totaal ventilatiedebiet vleeskuikenouderdieren



**Figuur 6** Relatie buitentemperatuur en PM10 concentratie vleeskuikenouderdieren

Er is gerekend met een warmtewisselaar met een capaciteit van  $1,5 \text{ m}^3$  per uur per dier met vier verwijderingsrendementen (50, 60, 70 en 80%). De keuze van de capaciteit van de warmtewisselaar sluit aan bij de beschrijving van categorie E 4.4.3 (BWL 2010.03) waarin wordt uitgegaan van deze hoeveelheid lucht. In de beschrijving wordt een keuze open gelaten voor buitenlucht. In die situatie kan een warmtewisselaar worden toegepast om aan de eis van minimaal  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  te voldoen.

#### *Opfok vleeskuikenouderdieren (E3)*

Ook voor opfok vleeskuikenouderdieren waren geen gegevens beschikbaar over PM10 concentratie en debiet gegevens vanuit meetprojecten aan fijnstof. Om toch een redelijke inschatting te kunnen maken is voor PM10 concentratie gebruik gemaakt van gegevens bij kalkoenen. Voor het ventilatiedebiet is gebruik gemaakt van de gegevens zoals beschreven bij opfok leghennen. Dus de relatie lichaamsgewicht en ventilatiedebiet. Gegevens over het verloop van het lichaamsgewicht zijn afkomstig vanuit de verzorgingsgids van Aviagen-EPI (Ross 308).

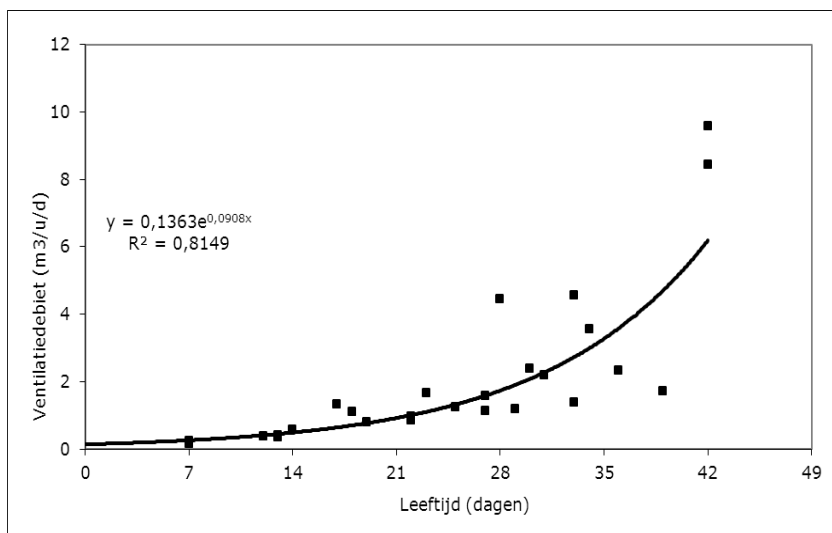
Er is gerekend met een warmtewisselaar met een capaciteit van  $0,35 \text{ m}^3$  per uur per dier met vier verwijderingsrendementen (50, 60, 70 en 80%). De capaciteit van  $0,35 \text{ m}^3$  is gebaseerd op de beschrijving van de warmtewisselaar zoals die bij vleeskuikens is opgenomen in de Rav.

#### *Vleeskuikens (E5)*

Het verloop van het ventilatiedebiet is berekend met behulp van de gegevens van het ventilatiedebiet van vier vleeskuikenstallen die binnen het kader van het project actualisatie fijnstofemissiefactoren verzameld zijn (Winkel e.a., 2009). Dit waren gangbare en representatieve praktijkstallen van gemiddeld 31.500 dieren groot. Verder werden bij al deze bedrijven op ca. 35 dagen leeftijd 25% van de vleeskuikens uitgeladen.

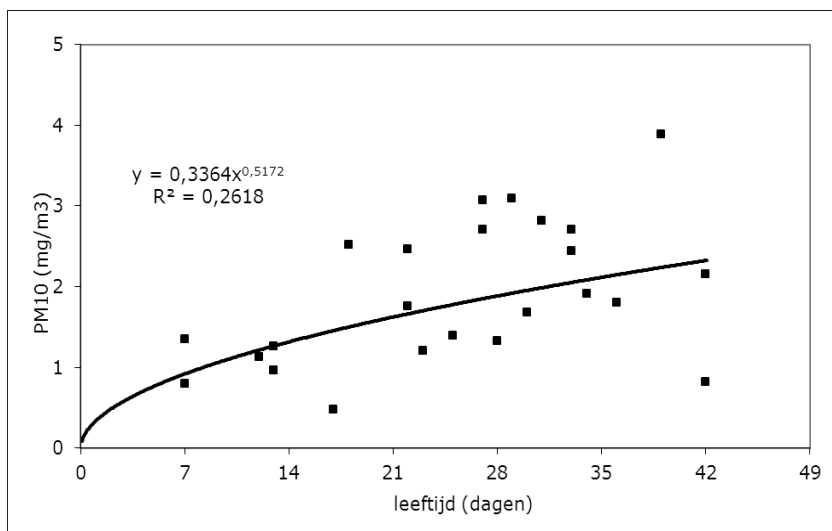
De gegevens en de trendlijn voor het verloop van het ventilatiedebiet zijn weergegeven in figuur 7. De trendlijn van het ventilatiedebiet is gebruikt in de reductie berekeningen voor PM10 emissie.

Er bestaat in de praktijk geen overeenstemming op het gebied van de benodigde hoeveelheid ventilatiedebiet bij het toepassen van een warmtewisselaar. Enkele deskundigen geven aan dat met een warmtewisselaar minder geventileerd hoeft te worden omdat het strooisel droger is. Echter andere deskundige veronderstellen het tegendeel. Dus dat juist iets meer wordt geventileerd. Men geeft aan dat vleeskuikenhouders meer ventileren om meer frisse verse lucht in de stal bij de dieren te krijgen wat positief is voor de technische resultaten (met name uitval en groei). In dit memo is uitgegaan van de situatie van een vergelijkbaar ventilatieniveau bij een stal met een warmtewisselaar ten opzichte van een standaardstal (zonder wisselaar).



**Figuur 7** Verloop en trendlijn van het ventilatiedebit (m<sup>3</sup> lucht per dierplaats per uur) bij vleeskuikens vanuit het project actualisatie fijnstofemissiefactoren

Ook voor het berekenen van het verloop van de PM10 concentratie is gebruik gemaakt van de gegevens uit het project actualisatie fijnstofemissiefactoren. De PM10 concentraties en trendlijn zijn weergegeven in figuur 8 en de trendlijn is gebruikt voor de berekeningen. De fabrikanten van warmtewisselaars noemen regelmatig een verbetering van de strooiselkwaliteit bij het toepassen van een wisselaar. Dit heeft mogelijk ook gevolgen voor de PM10 concentratie in de stal. Bij droger strooisel is de kans op meer fijnstof ontwikkeling namelijk groter dan bij vochtiger strooisel. Er zijn echter geen harde gegevens bekend over het drogestofgehalte van het strooisel bij het toepassen van een wisselaar. Verder zijn geen gegevens bekend over het effect van het drogestofgehalte van het strooisel op de PM10 concentratie. In de berekeningen is dit dus niet meegenomen. Dit is echter een punt dat bij validatiemetingen in de praktijk zeker mee genomen moet worden.



**Figuur 8** Verloop en trendlijn van de PM10 concentratie (mg/m<sup>3</sup>) bij vleeskuikens vanuit het project actualisatie fijnstofemissiefactoren

Om het verwijderingsrendement van fijnstof van de warmtewisselaar te onderzoeken heeft een fabrikant van warmtewisselaars indicatieve metingen uitgevoerd. De wisselaar was geplaatst bij een vermeerderingsbedrijf. Op twee verschillende dagen in juni 2009 zijn indicatieve metingen gedaan waarbij gevarieerd werd in de instellingen van de warmtewisselaar. De metingen zijn gedaan met behulp van DustTraks waarbij de in- en uitgaande lucht is bemonsterd. De PM10 concentratie werd elke seconde gemeten en 2 minuutgemiddelde concentraties werden gelogd in het geheugen van de DustTrak.

Tijdens de eerste en tweede testdag zag men een reductie van de PM10 concentratie (voor en na de wisselaar) in de uitgaande lucht van respectievelijk gemiddeld 57 en 80%. Deze verschillen



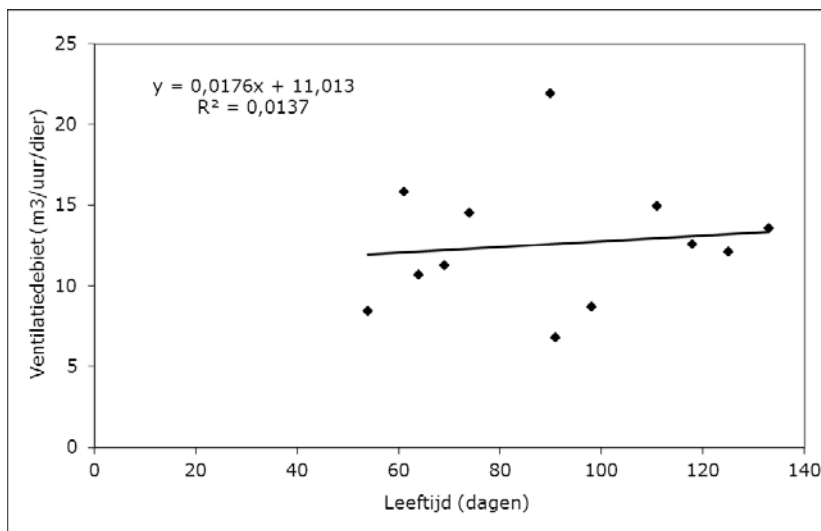
ontstonden door de verschillende instellingen van de warmtewisselaar. In het algemeen zag men na het spoelen van de warmtewisselaar hogere reducties op PM10 dan zonder spoelen. Het verwijderingsrendement voor PM10 emissie door de warmtewisselaar is voor de berekeningen in dit memo gesteld op 50, 60, 70 of 80%.

Bij de berekeningen is uitgegaan van warmtewisselaars met verschillende capaciteiten. In de eerste plaats is de minimale capaciteit ( $0,35 \text{ m}^3/\text{dierplaats/jaar}$ ) aangehouden zoals in de Rav-lijst is weergegeven. Daarnaast is gerekend met warmtewisselaars met een capaciteit van respectievelijk 1,0 en  $1,5 \text{ m}^3$  per dierplaats per jaar. Voor de verschillende capaciteiten betekent dat respectievelijk de eerste 10, 22 en 26 dagen alle ventilatielucht via de warmtewisselaar de stal verlaat. Daarna springen de stalventilatoren bij om het overgebleven gedeelte van de ventilatie voor hun rekening te nemen.

#### *Vleeskalkoenen (hanen en hennen, F4)*

Basisgegevens van PM10 concentratie zijn gebruikt vanuit het project: actualisatie fijnstofemissiefactoren (Mosquera e.a., 2009b). Voor het ventilatiedebiet is ook gekeken naar de gegevens vanuit het voornoemde project. Echter deze gegevens waren niet goed bruikbaar om een betrouwbaar verloop van het debiet te plotten (figuur 9). Daarom is bij kalkoenen voor het bepalen van het ventilatiedebiet gebruik gemaakt van een formule waarbij het gewicht vermenigvuldigd werd met de factor 1,15. Het verloop van het lichaamsgewicht is afkomstig vanuit de managementgids van Aviagen Turkeys (BUT). Deze methode is enigszins discutabel maar gezien de verhouding van de capaciteit van de warmtewisselaar ( $0,35 \text{ m}^3$  per uur per dier) ten opzichte van de maximale capaciteit van het ventilatiedebiet ( $85 \text{ m}^3$  per uur per dier) is de verwachting dat de WW slechts een heel klein effect zal sorteren.

Er is gerekend met een warmtewisselaar met een capaciteit van  $0,35 \text{ m}^3$  per uur per dier met vier verwijderingsrendementen (50, 60, 70 en 80%). De capaciteit van de warmtewisselaar is gebaseerd op de beschrijving van de warmtewisselaar zoals die bij vleeskuikens is opgenomen in de Rav.



**Figuur 9** Relatie leeftijd en ventilatiedebiet bij vleeskalkoenen (hanen)

#### *Vleeseenden (G2)*

Voor vleeseenden waren geen gegevens beschikbaar vanuit meetprojecten aan fijnstof. Om toch een redelijke inschatting te kunnen maken is voor de PM10 concentratie gebruik gemaakt van cijfers die gemeten zijn bij vleeskuikens. Het is de vraag of dat representatief is omdat het strooisel in stallen met vleeseenden veel vochtiger is en mogelijk minder fijnstof zal emitteren. Om het effect van het verloop van de PM10 concentratie te checken zijn voor de controle de gegevens van kalkoenen in het model geplaatst. Dit gaf slechts een zeer kleine afwijking (0,1%) van de reductie. Kortom het is slechts van klein belang welke trendlijn wordt aangehouden voor de PM10 concentratie. Dit heeft te maken met het feit dat er niet gewerkt wordt met absolute maar relatieve waarden.

Voor het ventilatiedebiet is gebruik gemaakt van de gegevens zoals beschreven bij opfok leghennen. Dus de relatie lichaamsgewicht en ventilatiedebiet. Gegevens over het verloop van het lichaamsgewicht van vleeseenden zijn afkomstig uit een artikel van de Buissonje (1997).

Er is gerekend met een warmtewisselaar met een debiet van 0,35 m<sup>3</sup> per uur per dier met vier verwijderingsrendementen (50, 60, 70 en 80%). De capaciteit van de warmtewisselaar is gebaseerd op de beschrijving van de warmtewisselaar zoals die bij vleeskuikens is opgenomen in de Rav.

### Resultaten berekeningen

De bovenstaande uitgangspunten zijn in een Excel bestand ingebracht en doorgerekend. De resultaten zijn per diercategorie weergegeven.

De resultaten zijn uiteraard geheel afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. Een kritische nog te toetsen factor is wat het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar in de praktijk daadwerkelijk zal zijn. Dit gegeven moet uit metingen komen die op dit moment in de praktijk worden uitgevoerd.

#### *Leghennen*

In tabel 3 zijn de resultaten van de berekeningen met de verschillende scenario's voor leghennen in een volièrestal weergegeven. Uit de tabel blijkt dat het toepassen van een warmtewisselaar bij leghennen in een volièrestal de PM10 emissie licht kan reduceren. De hoogte van de reductie wordt logischerwijs sterk bepaald door de capaciteit van de warmtewisselaar. Bij een grotere capaciteit van de wisselaar zal het percentage van de lucht die via de wisselaar de stal verlaat ook groter zijn en daardoor zal meer fijnstof uit de lucht worden genomen. Bij een capaciteit van 0,2 en 0,7 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur wordt de reductie op de PM10 emissie geschat op respectievelijk 5 en 17%. Het effect van het verwijderingsrendement van de wisselaar op de PM10 emissie reductie is kleiner maar nog steeds een belangrijke factor.

**Tabel 3** Te verwachten reductie op PM10 emissie bij het toepassen van twee verschillende capaciteiten (0,2 en 0,7 m<sup>3</sup>/u/d) warmtewisselaar bij een volièrestal leghennen met vier verschillende verwijderingsrendementen

Verwijderingsrendement	0,2 m <sup>3</sup>	0,7 m <sup>3</sup>
50	4%	13%
60	5%	16%
70	5%	18%
80	6%	21%
Gemiddeld	5%	17%

#### *Opfok leghennen*

In tabel 4 zijn de resultaten van de berekeningen met de verschillende scenario's voor opfok leghennen weergegeven. De reductie op PM10 emissie wordt voor de verschillende capaciteiten warmtewisselaars geschat op respectievelijk 6, 18 en 23%.

**Tabel 4** Te verwachten reductie op PM10 emissie bij het toepassen van drie verschillende capaciteiten (0,1, 0,3 en 0,4 m<sup>3</sup>/u/d) warmtewisselaar bij opfok leghennen

Verwijderingsrendement	0,1 m <sup>3</sup>	0,3 m <sup>3</sup>	0,4 m <sup>3</sup>
50	5%	14%	18%
60	6%	16%	22%
70	7%	19%	25%
80	7%	22%	29%
Gemiddeld	6%	18%	23%

#### *Vleeskuikenouderdieren*

Uit de berekeningen blijkt dat de reductie op PM10 emissie bij vleeskuikenouderdieren met een warmtewisselaar met een capaciteit van 1,5 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur uitkomt op gemiddeld 25%. Voor de verwijderingsrendementen 50, 60, 70 en 80% is de reductie op PM10 emissie respectievelijk 20, 23, 27 en 31%.

#### *Opfok vleeskuikenouderdieren*

Uit de berekeningen blijkt dat de reductie op PM10 emissie bij opfok vleeskuikenouderdieren met een warmtewisselaar met een capaciteit van 0,35 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur uitkomt op gemiddeld 9%. Voor de verwijderingsrendementen 50, 60, 70 en 80% is de reductie op PM10 emissie respectievelijk 7, 8, 10 en 11%.

*Vleeskuikens*

De resultaten van de berekeningen voor vleeskuikens zijn weergegeven in tabel 5. Uit de tabel blijkt dat het toepassen van een warmtewisselaar bij een vleeskuikenstal de PM10 emissie flink kan reduceren. De hoogte van de reductie wordt sterk bepaald door de capaciteit van de warmtewisselaar. Bij een grotere capaciteit van de wisselaar zal het percentage van de lucht die via de wisselaar de stal verlaat ook groter zijn en daardoor zal meer fijnstof uit de lucht worden genomen. Het effect van het verwijderingsrendement van de wisselaar op de PM10 emissie reductie is kleiner maar nog steeds een belangrijke factor.

De gemiddelde reductie op PM10 emissie is voor de verschillende capaciteiten (0,35, 1,0 en 1,5 m<sup>3</sup>/dplts/u) van de warmtewisselaar respectievelijk 11, 27 en 36%.

**Tabel 5** Te verwachten PM10 emissie reductie warmtewisselaar bij verschillende uitgangspunten bij vleeskuikens

Capaciteit warmtewisselaar (m <sup>3</sup> /dplts/u)	% lucht via de WW uit de stal	Verwijderingsrendement warmtewisselaar (%)	Reductie PM10 emissie(%)
0,35	19,4	50	8,5
0,35	19,4	60	10,2
0,35	19,4	70	12,0
0,35	19,4	80	13,7
1,0	43,1	50	20,5
1,0	43,1	60	24,7
1,0	43,1	70	28,8
1,0	43,1	80	32,9
1,5	56,2	50	27,4
1,5	56,2	60	32,9
1,5	56,2	70	38,4
1,5	56,2	80	43,9

*Vleeskalkoenen*

Uit de berekeningen blijkt dat bij vleeskalkoenen een warmtewisselaar met een capaciteit van 0,35 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur een marginaal effect heeft op de reductie van PM10 emissie. Het effect ligt tussen de 1 en 4%. Dit heeft alles te maken met het hoge ventilatiedebiet dat bij vleeskalkoenen wordt toegepast. Aan het einde van de groeiperiode bij de hanen wordt gemiddeld meer dan 25 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur geventileerd.

*Eenden*

Uit de berekeningen blijkt dat bij eenden een warmtewisselaar met een capaciteit van 0,35 m<sup>3</sup> per dierplaats per uur een klein effect heeft op de reductie van PM10 emissie. De berekende reductie van de PM10 emissie bij eenden ligt tussen 3 en 6%.

**Discussie**

Het verwijderingsrendement voor PM10 emissie door de warmtewisselaar is voor de berekeningen in dit memo gesteld op 50, 60, 70 of 80%. Deze range is aangehouden omdat in de praktijk het verwijderingsrendement van de warmtewisselaars niet exact bekend is. Hiervoor zijn tot nu toe slechts indicatieve metingen door een fabrikant van warmtewisselaars gedaan. De oriënterende metingen lieten waarden zien tussen de 50% en ruim 80% verwijderingsrendement voor fijnstof. Verder onderzoek naar het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar moet meer inzicht geven op de hoogte van het verwijderingsrendement. Dit onderzoek is in 2011 opgestart.

Verder is verondersteld dat het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar constant is gedurende de gehele groeiperiode. Dit is hoogstwaarschijnlijk niet het geval omdat bij een hogere fijnstofconcentratie (oudere dieren) in de stal de reductie lager zal zijn. Hier is echter geen informatie over beschikbaar en daarom is gerekend met een constant verwijderingsrendement. Verder wordt opgemerkt dat voor de werking van de warmtewisselaar als fijnstof reducerend systeem het belangrijk is dat deze dagelijks wordt gespoeld. Doordat de warmtewisselaar vervuild raakt door fijnstof kan het reducerend vermogen in de tijd afnemen tot mogelijk zelfs 0% aan het einde van de groeiperiode. Door de warmtewisselaar regelmatig te spoelen kan het rendement op een hoog niveau worden gehouden.

## Advies voor vaststellen fijnstofemissiefactoren

### Aanpak

Onderscheid maken naar:

- 1) inzet van warmtewisselaar in combinatie met interne recirculatie voor ammoniakreductie en fijnstofreductie
- 2) inzet van warmtewisselaar voor fijnstofreductie zonder voorgeschreven interne koppeling aan onderdelen van een huisvestingsstelsel

#### Ad 1)

Voor de eerste groep bestaat er nu een beschrijving gericht op de vleeskuikencategorie. Bij de huidige dimensionering en een verwacht verwijderingsrendement van 70% (verwachting mede gebaseerd op eerste rendementmetingen in de range 80-90%) over de wisselaar levert dit een reductie op stalniveau van 12% over het jaar. Veiligheidshalve kan dit naar 10% worden afgerond zolang de volledige meetserie nog niet beschikbaar is. In principe is deze gecombineerde reductietechniek in de toekomst ook voor gelijksoortige categorieën als opfok bij leghennen/vkod en bij kalkoenen en eenden inzetbaar.

#### Ad 2)

Voor de tweede groep wordt een inzet voorgesteld van warmtewisselaars in alle pluimveecategorieën met een voorgeschreven capaciteit. Er wordt binnen de categorieën geen verplichte koppeling gemaakt met het huisvestingsstelsel of luchtverdelingstechniek in de stal. De filterende werking van de wisselaar is daar namelijk geheel onafhankelijk van. De investeringsafweging is wel afhankelijk van het type huisvestingsstelsel. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de warmtewisselaar het stalklimaat verbetert doordat negatieve effecten van koude luchtinlaat worden teruggedrongen, en energie bespaart voor die systemen waar moet worden bijgestookt in koude periodes. Niettemin ligt het voor de hand dat bedrijven met een mestbeluchtingsstelsel eerder geneigd zijn een dergelijke investering te doen omdat zij aanvullend voordeel hebben door de warmtewisselaar in te zetten in mestdroging. Het kan de mestdroging verbeteren (opgewarmde relatief droge buitenlucht) en daarmee de mestafzetkosten verminderen. Een betere mestdroging heeft ook milieutechnische voordelen doordat mestdroging effectief kan plaatsvinden en ammoniakemissiereductie beter wordt gewaarborgd. In de praktijk heeft de inzet van warmtewisselaars voor mestbeluchting inmiddels vaste voet verworven.

Regeltechnisch kan dit als een aanvullende techniek onder E7 worden beschreven met een eigen BWL en een generiek rendement. De ventilatiecapaciteit van de wisselaars voor de diercategorieën kan hierop afgestemd worden. Voorstel is om een rendement van 20% te hanteren. Veiligheidshalve kan de benodigde capaciteit eerst berekend worden voor minimaal 25% fijnstofreductie. In tabel 6 staat de benodigde capaciteit per diercategorie weergegeven samen met het bij die capaciteit berekende reductiepercentage op stalniveau. De getallen zijn afgeleid uit de berekeningen voor deze notitie en deels aanvullend berekend conform dezelfde werkwijze. Daarbij is uitgegaan van een verwijderingsrendement over de warmtewisselaar van 70%.

**Tabel 6** Minimaal geïnstalleerde capaciteit door de warmtewisselaar en berekende reductiepercentage voor fijnstof (PM10)

Diercategorie	Capaciteit m <sup>3</sup> /uur per dierplaats	Berekend fijnstofrendement (%) op stalniveau bij 70% verwijdering over de wisselaar
E1 opfokleghennen	0,4	25
E2 leghennen	1,0	26
E3 opfok vkod	1,0	26
E4 vleeskuikenouderdieren	1,5	27
E5 vleeskuikens	1,0	29
F4 vleeskalkoenen;		
- hennen	3,0	26
- hanen	6,2	25
G2.1 vleeseenden (binnen)	2,3	25



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)