

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 394

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

Juni 2011



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
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 a dry filter wall was determined through validation measurements on layer farms.

Keywords

Fine dust, emission, dry filter wall, impaction curtain, poultry, laying hens

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

A. Winkel
J. Mosquera
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 droogfilterwand op leghennenbedrijven

Rapport 394

Samenvatting

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

Trefwoorden

Fijnstof, emissie, droogfilterwand, pluimvee, leghennen



Rapport 394

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

Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: validation of a dry filter wall on layer farms

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

Juni 2011

Voorwoord

In dit onderzoek is de effectiviteit van een stofreducerende droogfilterwand 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 Big Dutchman wordt bedankt voor het bouwen en beschikbaar stellen van een zeecontainer met droogfilterwand welke in het verdere van dit rapport wordt beschreven. Tot slot is onze dank 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 de droogfilterwand, welke kan worden nageschakeld aan een leghennenstal, tussen de dierruimte en de ventilatoren in de gevels. stofdeeltjes worden in de droogfilterwand door inertiedepositie en impactie afgescheiden en door gravitatie op de vloer verzameld.

In 2009 is in een indicatieve beoordeling een inschatting gemaakt van het potentiële verwijderingsrendement en de toepasbaarheid van de droogfilterwand in de praktijk, waaruit geconcludeerd werd dat het systeem goed toepasbaar is en het verwijderingsrendement voor PM10 in de range tussen 20 en 60% ligt.

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

In dit onderzoek is de effectiviteit van de droogfilterwand gevalideerd op twee leghennenbedrijven; een stal met scharrelhuisvesting (stal 1) en een stal met volièrehuisvesting (stal 2). Stal 2 was reeds vanaf de bouw uitgerust met de droogfilterwand. Stal 1 was hiermee niet uitgerust; een zelfstandig werkende zeecontainer, compleet met droogfilter, dakventilator, klimaatcomputer en elektriciteitsvoorzieningen, werd geplaatst en nageschakeld aan stal 1. Aan deze stallen zijn metingen verricht van PM10- en PM2,5-concentraties (zowel van de ingaande als uitgaande luchtstroom van de droogfilterwand), op basis waarvan het verwijderingsrendement voor PM10 en PM2,5 over de droogfilterwand werd vastgesteld. Verder werden metingen verricht van CO₂ (voor berekenen van het ventilatiedebiet), temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en werden dier- en productiegegevens vastgelegd. Aan de hand van gemeten CO₂-concentraties en verzamelde diergegevens werd het ventilatiedebiet bepaald middels de CO₂-massabalansmethode.

De metingen werden verricht volgens het meetprotocol voor fijnstofemissiemetingen. Er werden zes metingen verricht per bedrijf, 12 in totaal, verspreid over het kalenderjaar en de legperiode van de dieren. Van 11 geslaagde metingen werden meetgegevens verkregen.

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

- het gemiddelde verwijderingsrendement (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) van de droogfilterwand voor PM10 bedraagt $40,1 \pm 0,9\%$;
- het gemiddelde verwijderingsrendement (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) van de droogfilterwand voor PM2,5 bedraagt $0,7 \pm 8,3\%$.

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 a commercially available dry filter wall (in some English publications: 'impaction curtain'). This end of pipe technique is placed between the animal space and end wall ventilators of poultry houses. Particulates in the exhaust air stream are removed inside the double layered filter through impaction/inertial deposition and accumulate on the floor through gravitation.

In 2009 an indicative evaluation of the technique was performed with regard to its potential removal efficiency and applicability in poultry houses. From this study, it was concluded that the technique is well applicable and the potential removal efficiency is within the range of 20 to 60% for PM10.

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

In this study the removal efficiency of the dry filter wall was validated at two layer houses; one layer house with floor housing (house nr. 1) and one layer house with aviary housing (house nr. 2). House nr. 2 was already equipped with the technique right from the construction. House nr. 1 was not equipped with the technique. A 'stand-alone' metal cargo container completely equipped with a dry filter wall, roof ventilator, climate computer and electricity was placed directly outside layer house nr. 1 and connected to the animal space through an air shaft in the side wall of the house. At these two locations, PM10 and PM2.5 concentrations were measured (both upstream and downstream of the dry filter wall). Based on these data removal efficiencies for PM10 and PM2.5 were determined. Furthermore, CO₂ (for calculation of ventilation exchange rate), temperature and relative humidity were measured. Based on CO₂-concentrations and animal and production characteristics, ventilation exchange rates were determined using the CO₂ mass balance method.

Measurements were conducted according to the measurement protocol for fine dust emissions: 6 measurements were carried out per house, 12 in total, balanced over the year and the laying period of the hens. 11 Successful measurements yielded useful results.

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

- the removal efficiency (\pm standard deviation between houses) of the dry filter wall for PM10 is $40.1 \pm 0.9\%$;
- the removal efficiency (\pm standard deviation between houses) of the dry filter wall for PM2.5 is $0.7 \pm 8.3\%$.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Hoofdpijnen van het onderzoek	2
2.2	Leghennenstallen	2
2.3	Metingen	3
2.3.1	Stofmetingen	3
2.3.2	CO ₂ -metingen	5
2.3.3	Ventilatiedebiet	5
2.3.4	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	5
2.4	Dataverwerking	5
3	Resultaten	7
3.1	Meetomstandigheden	7
3.2	Ventilatiedebiet	8
3.3	Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM10	9
3.4	Concentratiepatroon van PM10 gedurende 24 uur	10
3.5	Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM2,5	11
4	Discussie	12
5	Conclusies	14
	Literatuur	15
	Bijlagen	16
Bijlage 1	Bedrijfsbeschrijving stal 1	16
Bijlage 2	Bedrijfsbeschrijving stal 2	21
Bijlage 3	Afbeeldingen van het werkingsprincipe van de droogfilterwand	25

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 de droogfilterwand. Deze techniek wordt nageschakeld aan stallen, tussen de stalruimte en de gevel met ventilatoren. Het filter is geplaatst in een raamwerk waarmee een filterwand wordt opgebouwd. De droogfilterwand bestaat uit twee kunststof folies die in een V-vorm zijn gevouwen en achter elkaar zijn gepositioneerd, zodat een dubbelwandig filter ontstaat met verticale kanalen (zie Bijlage 3). In beide folies van de verticale kanalen zijn openingen aanwezig; instroomopeningen in de eerste folie, uitstroomopeningen in de tweede folie. De instroom- en uitstroomopeningen zijn niet in elkaars verlengde gepositioneerd, maar verspringen in zowel horizontale als verticale zin. De lucht die door de droogfilterwand wordt gezogen moet daardoor zowel in het horizontale als verticale vlak een ombuiging maken. Hierdoor vliegen de stofdeeltjes 'uit de bocht' en botsen tegen het tweede folie; stofdeeltjes worden in de droogfilterwand door inertiedepositie en impactie afgescheiden en door gravitatie op de vloer verzameld. Het stof aan het filter en op de vloer wordt m.b.v. een industriële stofzuiger verwijderd.

In 2009 is in een indicatieve beoordeling een inschatting gemaakt van de potentiële effectiviteit en toepasbaarheid van de droogfilterwand in de praktijk (Ogink et al., 2009), o.a. aan de hand van indicatieve fijnstofmetingen aan het systeem. Uit deze studie werd geconcludeerd dat het systeem goed toepasbaar is. Echter; uit modelberekeningen, metingen aan een laboratoriumopstelling en metingen aan een praktijkstal werd geen eenduidig beeld van het verwijderingsrendement verkregen. Geconcludeerd werd dat het verwijderingsrendement van de droogfilterwand zich bevindt in de range van 20 tot 60%.

In het onderhavige onderzoek is de effectiviteit van de droogfilterwand 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 de droogfilterwand. Op grond van dit onderzoek kunnen emissiecijfers worden vastgesteld voor regelgeving en vergunningverlening.

2 Materiaal en methoden

2.1 Hoofdpijnen van het onderzoek

In dit onderzoek is de emissiereductie van de droogfilterwand onder praktijkomstandigheden gevalideerd door rendementsmetingen uit te voeren aan de droogfilterwand op praktijkbedrijven. De metingen zijn uitgevoerd bij een leghennenstal met scharrelhuisvesting en een leghennenstal met volièrehuisvesting. In totaal waren twee leghennenstallen betrokken in dit onderzoek.

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 CO₂ gemeten. De CO₂-concentraties zijn samen met gegevens over de dieren en de eiproduktie gebruikt om het ventilatiedebiet te berekenen d.m.v. de CO₂-massabalansmethode (zie hoofdstuk 2.3.3). Tot slot zijn metingen verricht van de klimaatomstandigheden (temperatuur en relatieve luchtvochtigheid) in de stal (dierruimte; voor de droogfilterwand), tussen droogfilterwand en buitenmuur (na de droogfilterwand) en buiten de stal.

2.2 Leghennenstallen

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

Stal 2 betreft de stal waar ook oriënterende metingen zijn verricht voor de indicatieve beoordeling die aan dit validatieonderzoek vooraf ging (Ogink et al., 2009). Dit is een leghennenstal in Duitsland die reeds vanaf de bouw is uitgerust met de droogfilterwand. De metingen aan deze droogfilterwand zijn in dezelfde kamer (westelijke gevel, kamer twee vanaf de voorzijde) uitgevoerd als tijdens de indicatieve beoordeling.

Omdat in Nederland nog geen stal met een droogfilterwand bestond, is door de leverancier van het systeem een zelfstandig functionerende zeecontainer gemaakt, met eigen droogfilterwand, dakventilator, klimaatcomputer en elektriciteitsvoorzieningen. Deze 'stand alone' zeecontainer werd geplaatst en nageschakeld aan een drie-etage leghennenstal met scharrelhuisvesting in Nederland. Hiertoe werd een opening gemaakt in een zijgevel van de benedenetage, waarna de zeecontainer d.m.v. een luchtsluis aan de stal werd verbonden. Op deze manier werd snel een tweede meetlocatie in Nederland gerealiseerd. Tekeningen en foto's van de zeecontainer met droogfilterwand zijn opgenomen in Bijlage 1.

2.3 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	Datum	27-04-10	3-08-10	27-09-10	22-11-10	19-01-11	2-02-11
	Dag in kalenderjaar	117	215	270	326	19	33
	Dag na opzet	419	60	115	171	229	243
	T _{max} Buiten (dag 1; °C)	18,8	19,5	11,6	-4,8	6,6	4,5
	T _{min} Buiten (dag 2; °C)	3,8	11,8	4,5	-7,8	-2,8	3,9
	T _{gem} Buiten (°C)	13,1	15,9	10,2	-7,1	2,8	4,6
	RV _{gem} Buiten (%)	66,5	87,0	97,5	81,5	91,5	93,5
	T _{gem} voor droogfilterwand (°C)	20,8	*)	20,2	18,4	20,7	19,0
	RV _{gem} voor droogfilterwand (%)	55,5	*)	71,8	64,2	64,7	74,6
	T _{gem} na droogfilterwand (°C)	*)	*)	20,1	17,8	20,4	18,6
RV _{gem} na droogfilterwand (%)	*)	*)	77,9	87,9	67,9	76,4	
Stal 2	Datum	27-05-10	9-08-10	20-09-10	20-10-10	9-02-11	23-02-11
	Dag in kalenderjaar	147	221	263	293	40	54
	Dag na opzet	192	266	308	338	20	34
	T _{max} Buiten (dag 1; °C)	15,4	22,0	16,5	9,0	8,1	2,5
	T _{min} Buiten (dag 2; °C)	4,5	13,5	8,6	2,3	2,8	-0,4
	T _{gem} Buiten (°C)	11,4	17,5	13,8	6,5	4,3	0,5
	RV _{gem} Buiten (%)	71,0	82,5	93,0	84,0	89,5	82,0
	T _{gem} voor droogfilterwand (°C)	18,6	22,7	21,0	17,9	*)	14,0
	RV _{gem} voor droogfilterwand (%)	57,7	58,3	69,1	59,7	*)	51,1
	T _{gem} na droogfilterwand (°C)	*)	21,7	21,0	14,7	*)	11,3
RV _{gem} na droogfilterwand (%)	*)	64,2	70,1	64,4	*)	58,5	

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

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

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

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonstername 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 monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 m³/uur en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten).



Figuur 1 Monsterrapparaat voor PM10 en PM2,5. Linksonder: een set apparatuur voor gravimetrische meting van PM10 (linker driepoot) en PM2,5 (rechter driepoot). Middenboven: detailfoto van de 'constant flow' monsternamepomp. Rechtsboven: de DustTrak model 8520 voor optische en continue metingen van het verloop in PM10 concentratie. Linksonder (van links naar rechts): inlaat, PM10 cycloon, PM2,5 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:

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

Op de meetdagen werd tevens elke seconde de PM10 concentratie (mg/m³) gemeten in zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom van de droogfilterwand 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.

2.3.2 CO₂-metingen

De bemonstering van CO₂ (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® 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 CO₂ in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A; detector: HWD).

2.3.3 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (V ; m³/uur per dier, gemiddelde over de meetperiode van 24 uur) is bepaald met behulp van de CO₂-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO₂-concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal (door de droogfilterwand) verlaat (respectievelijk $[CO_2]_{buiten}$ en $[CO_2]_{stal}$; m³/m³ = ppm x 10⁶) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Deze berekening van de CO₂-productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg) en de eiproduktie (kg ei/hen per dag op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht). Het ventilatie-debiet V (m³/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

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

2.3.4 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 datalogstelsel (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS).

2.4 Dataverwerking

Berekening verwijderingsrendementen voor fijnstof (PM10 en PM2,5)

Per stal ($k=1, 2$) en per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) werd voor zowel PM10 als PM2,5 het verwijderingsrendement (R_{ki} ; %) bepaald als het relatieve verschil tussen de concentratie in de ingaande luchtstroom ($C_{\text{ingaa}nd_{ki}}$; mg/m³) en de concentratie in de uitgaande luchtstroom ($C_{\text{uitga}and_{ki}}$; mg/m³) van de droogfilterwand, volgens onderstaande formule:

$$R_{ki} = \frac{C_{\text{ingaa}nd_{ki}} - C_{\text{uitga}and_{ki}}}{C_{\text{ingaa}nd_{ki}}} \times 100\%$$

Berekening gemiddelde verwijderingsrendement voor fijnstof (PM10 en PM2,5)

Uit de 12 metingen (2 stallen x 6 metingen per stal) werden in totaal 11 verwijderingsrendementen verkregen, voor zowel PM10 als PM2,5. Het gemiddelde verwijderingsrendement van de droogfilterwand (R ; %) werd bepaald als het overall gemiddelde van alle verwijderingsrendementen (R_{ki} ; %), volgens onderstaande formule:

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

Berekening fijnstofemissies (PM10 en PM2,5)

Per stal ($k=1, 2$) en per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) werd de fijnstofemissie vóór de droogfilterwand ($E_{voor_{ki}}$; g/dierplaats per jaar; niet gecorrigeerd voor leegstand) bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet (V_{ki} ; m³/uur per dier), de 24-uursgemiddelde fijnstofconcentratie ($C_{ingand_{ki}}$; mg/m³) en de achtergrondconcentratie in de lucht die de stal instroomt ($C_{buitenlucht_k}$; mg/m³). De emissies werden uitgedrukt per dierplaats m.b.v. het aantal aanwezige dieren ($dieren_{aanwezig_{ki}}$) tijdens de meting en het aantal geplaatste dieren ($dieren_{geplaatst_{ki}}$), waarna werd vermenigvuldigd met 24 uur, 365 dagen en omgerekend naar grammen ($\times 0,001$), volgens onderstaande formule:

$$E_{voor_{ki}} = V_{ki} \times ([C_{ingand_{ki}}] - [C_{buitenlucht_k}]) \times \left(\frac{dieren_{aanwezig_{ki}}}{dieren_{geplaatst_{ki}}} \right) \times 24 \times 365 \times 0,001$$

Op vergelijkbare wijze werden de emissies ná de droogfilterwand bepaald:

$$E_{na_{ki}} = V_{ki} \times ([C_{uitgaand_{ki}}] - [C_{buitenlucht_k}]) \times \left(\frac{dieren_{aanwezig_{ki}}}{dieren_{geplaatst_{ki}}} \right) \times 24 \times 365 \times 0,001$$

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/m³ PM10 en 14,8 µg/m³ PM2,5.

Berekening gemiddelde fijnstofemissies (PM10 en PM2,5)

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

$$E_{voor} = \overline{E_{voor_{ki}}}$$

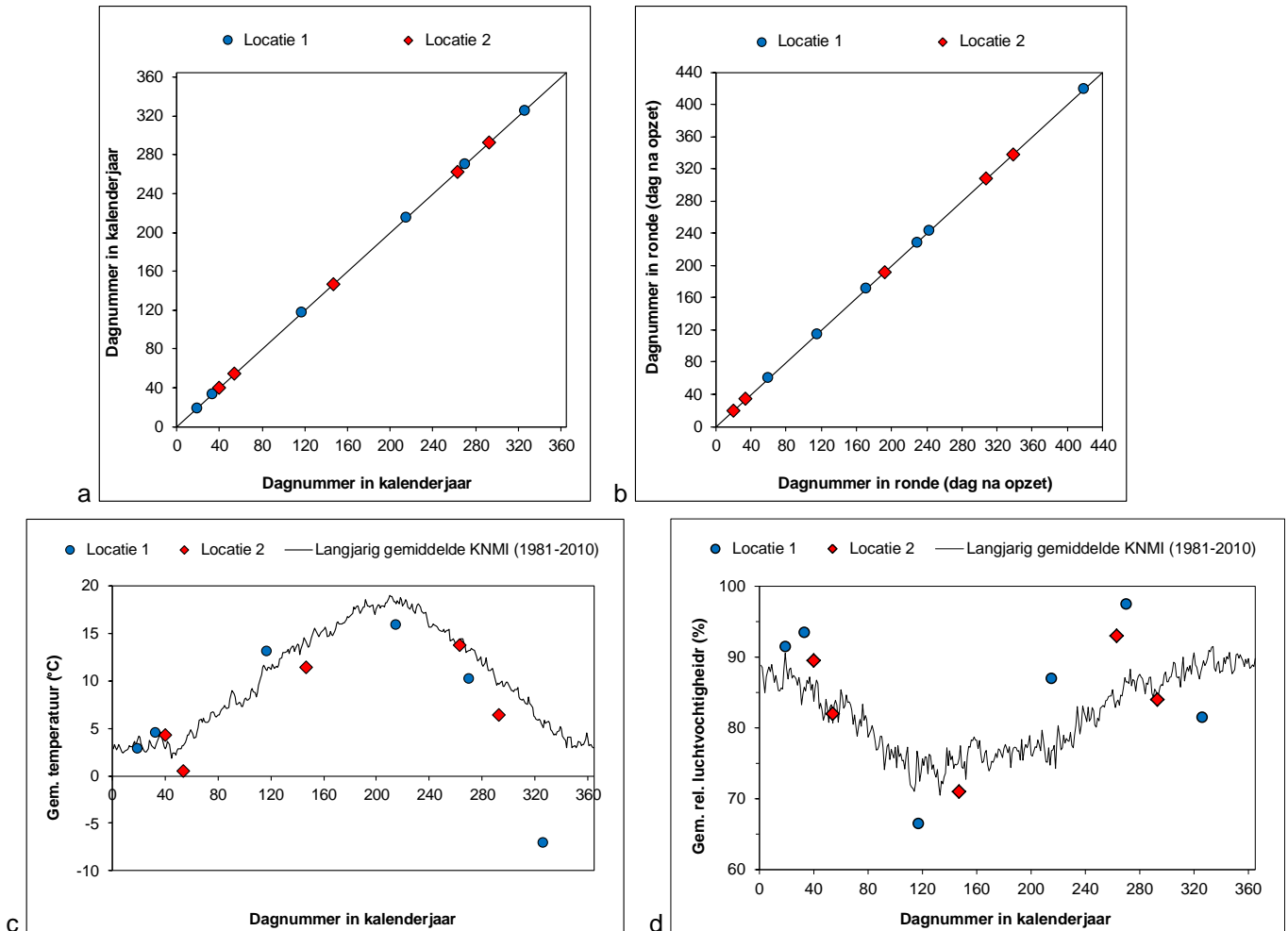
Op vergelijkbare wijze werd de gemiddelde emissie ná de droogfilterwand bepaald:

$$E_{na} = \overline{E_{na_{ki}}}$$

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 metingen in dit onderzoek in werkelijkheid verdeeld waren.

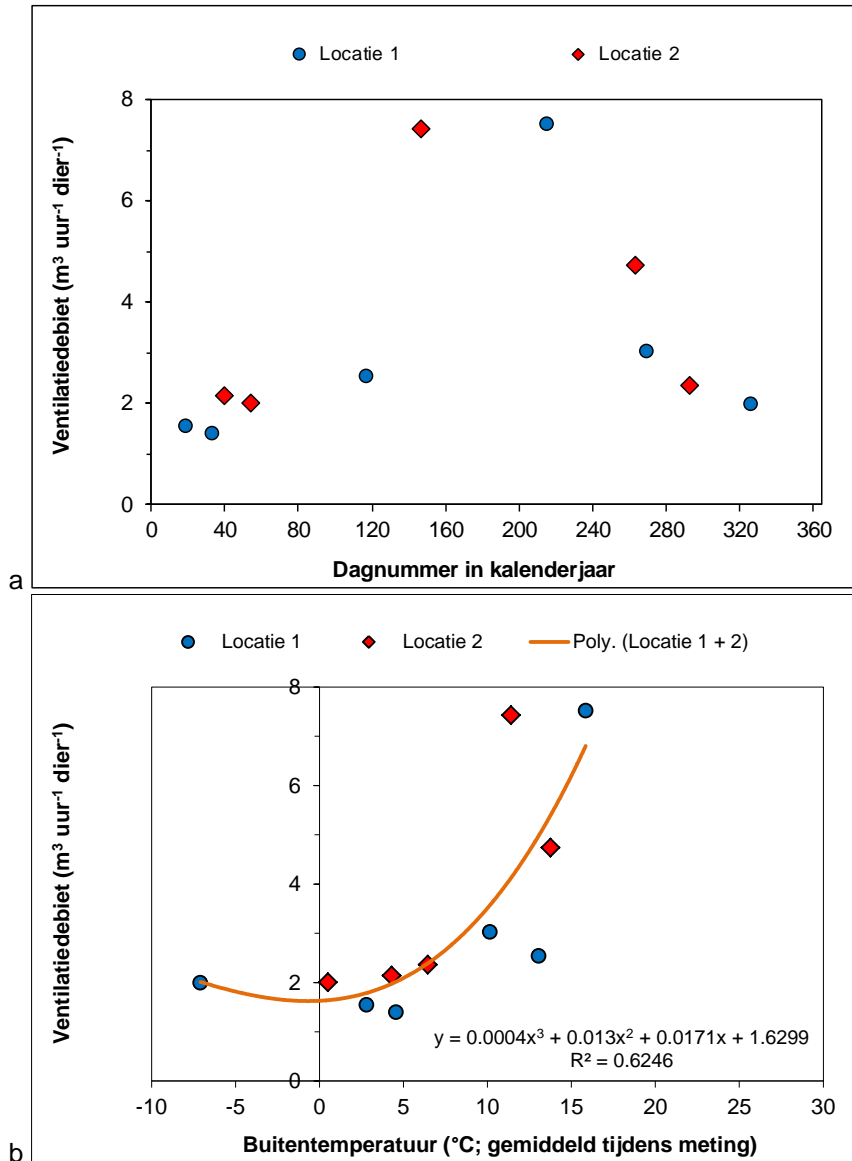


Figuur 2 Verdeling van de metingen over het jaar (a), de productieperiode (b), en de buitentemperatuur (c) en relatieve luchtvochtigheid (d) vergeleken met het langjarig gemiddelde over de jaren 1981 t/m 2010 (bron: www.knmi.nl; als lijn weergegeven)

Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 162 dagen (163 dagen voor locatie 1, 159 dagen voor locatie 2; jaargemiddelde dagnummer: 183). De gemiddelde meetdag in de productieperiode bedroeg 194 dagen (206 dagen voor locatie 1, 178 dagen voor locatie 2; gemiddelde dagnummer in een gangbare productieperiode: ca. 200 dagen). De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten bedroeg 6,9 °C (6,6 °C voor locatie 1 en 7,3 °C voor locatie 2; langjarig gemiddelde: 10,2 °C). Tijdens 7 van de 11 metingen lag de gemiddelde buitentemperatuur onder het langjarig gemiddelde voor die dag. Tijdens de overige 4 metingen lag de gemiddelde buitentemperatuur rond of vlak boven het langjarig gemiddelde voor die dag. De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (buiten) op de meetdagen bedroeg 85,0% (86,3% voor locatie 1 en 83,9% voor locatie 2; 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.

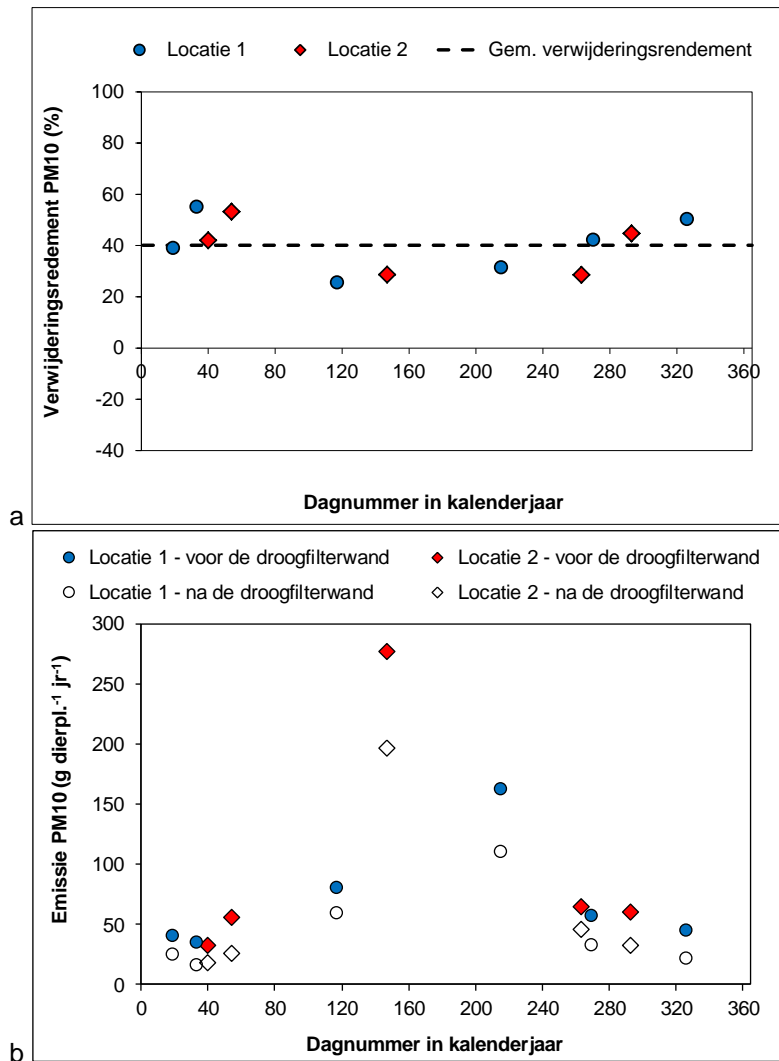


Figuur 3 Het gemiddelde ventilatie-debiet op de meetdagen, uitgezet tegen het dagnummer in kalenderjaar (a) of de gemiddelde buitentemperatuur (b)

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 m³/uur per dier) en hoog in de middenperiode van het kalenderjaar (hogere buitentemperaturen). Het ventilatie-debiet nam exponentieel toe met de buitentemperatuur. De totaal geïnstalleerde maximale ventilatie bedroeg ca. 10,2 m³/uur per dier voor bedrijf 1 en ca. 11,8 m³/uur per dier voor bedrijf 2. Twee van de 11 metingen werden uitgevoerd bij een hoog ventilatieniveau. Het gemiddelde ventilatie-debiet tijdens de metingen bedroeg 3,3 m³/uur per dier (3,0 m³/uur per dier voor bedrijf 1 en 3,7 m³/uur per dier voor bedrijf 2).

3.3 Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM10

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



Figuur 4 a. Verwijderingsrendementen voor PM10 en b. emissies van PM10, zowel vóór de droogfilterwand (gekleurde symbolen) als ná de droogfilterwand (transparante symbolen) op de verschillende meetdagen en bedrijven

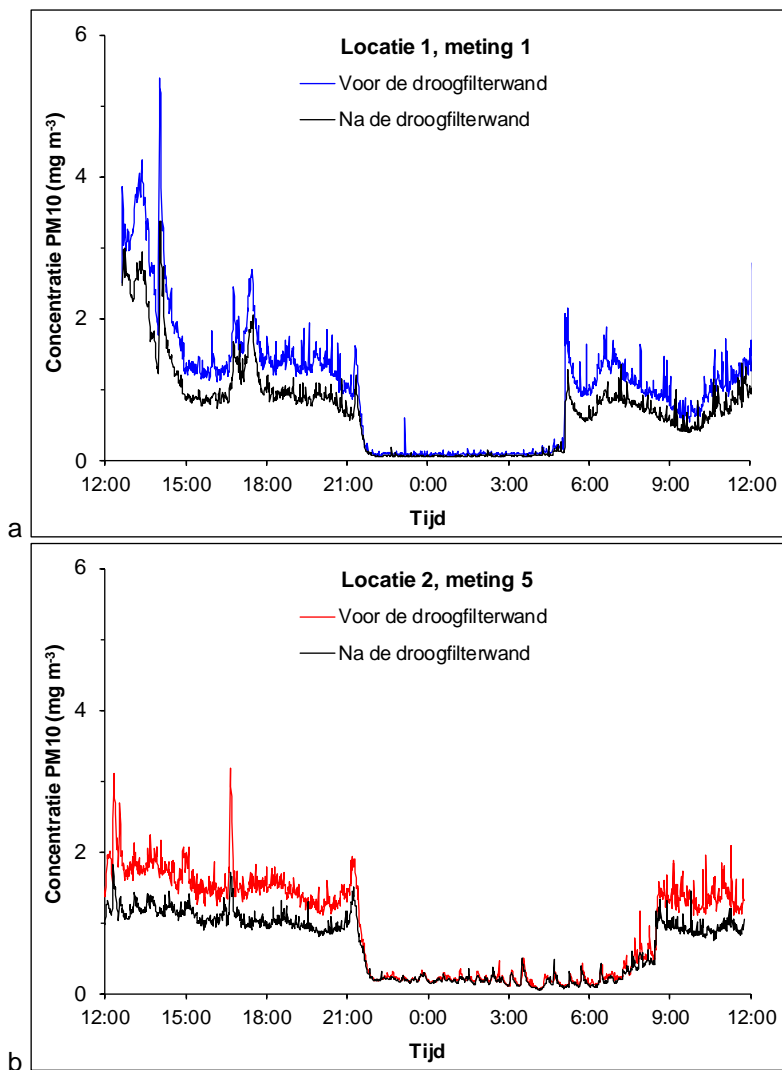
De gemiddelde PM10-concentratie vóór de droogfilterwand (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $2,885 \pm 0,039 \text{ mg/m}^3$. De gemiddelde uitgaande PM10-concentratie ná de droogfilterwand (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $1,741 \pm 0,035 \text{ mg/m}^3$.

Het gemiddelde verwijderingsrendement voor PM10 (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $40,1 \pm 0,9\%$. De verwijderingsrendementen voor PM10 lagen in een vrij stabiele range tussen 26 en 55% (Figuur 4a). Het gemiddelde verwijderingsrendement voor PM10 was zeer vergelijkbaar tussen bedrijf 1 met scharrelhuisvesting en bedrijf 2 met volièrehuisvesting.

De gemiddelde PM10 emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) op bedrijf 1 bedroeg $69,9 \text{ g/dierplaats per jaar}$ vóór de droogfilterwand en $43,8 \text{ g/dierplaats per jaar}$ ná de droogfilterwand. De gemiddelde PM10 emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) op bedrijf 2 bedroeg $97,9 \text{ g/dierplaats per jaar}$ vóór de droogfilterwand en $63,7 \text{ g/dierplaats per jaar}$ ná de droogfilterwand.

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 de droogfilterwand in- als uitstroomt.

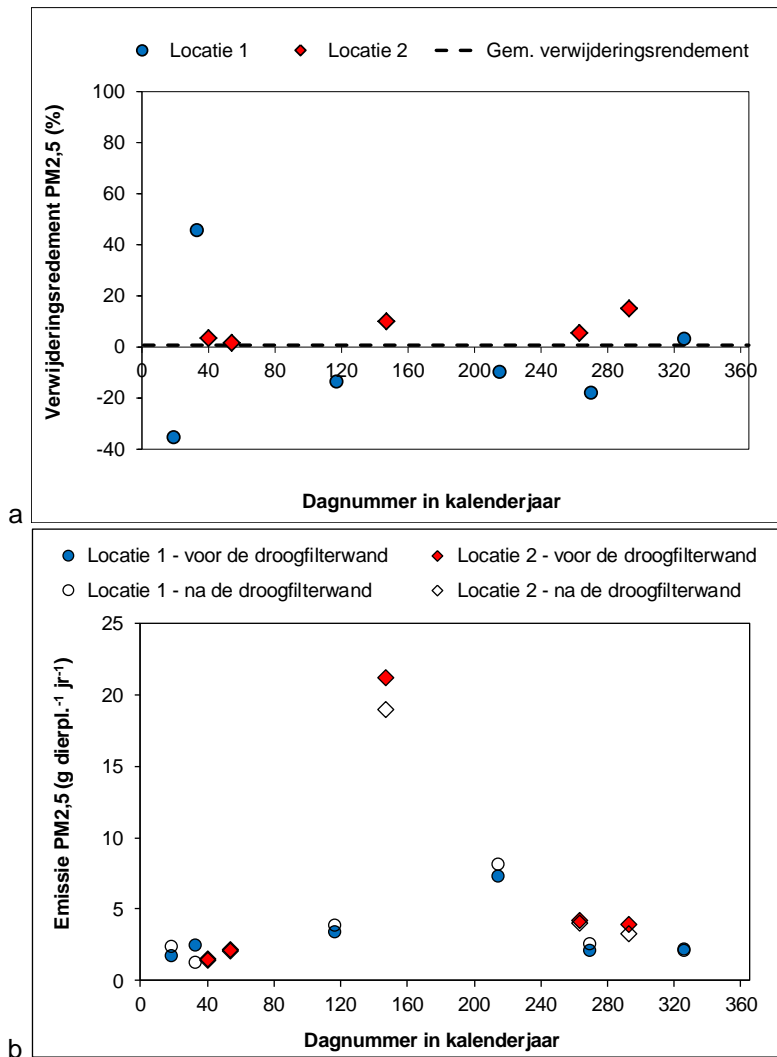


Figuur 5 Twee voorbeelden van het concentratiepatroon van PM10 over de loop van een meetdag van de lucht dat de droogfilterwand in- en uitstroomt; voor bedrijf 1, meting 1 (a) en voor bedrijf 2, meting 5 (b)

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 de droogfilterwand.

3.5 Concentraties, verwijderingsrendementen en emissies van PM_{2,5}

In Figuur 6 worden de verwijderingsrendementen en emissies van PM_{2,5} (vóór en ná de droogfilterwand) weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven.



Figuur 6 a. Verwijderingsrendementen voor PM_{2,5} en b. Gemiddelde PM_{2,5} emissie, zowel vóór de droogfilterwand (gekleurde symbolen) als ná de droogfilterwand (transparante symbolen) op de verschillende meetdagen en bedrijven

De gemiddelde PM_{2,5}-concentratie vóór de droogfilterwand (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $0,166 \pm 0,029 \text{ mg/m}^3$. De gemiddelde uitgaande PM₁₀-concentratie ná de droogfilterwand (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $0,158 \pm 0,017 \text{ mg/m}^3$.

Het gemiddelde verwijderingsrendement voor PM_{2,5} (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) bedroeg $0,7 \pm 8,3\%$. De verwijderingsrendementen voor PM_{2,5} lagen voor de meeste metingen in een stabiele range rondom 0% verwijderingsrendement. Op bedrijf 2 lag het gemiddelde verwijderingsrendement voor PM_{2,5} (7,1%) enigszins hoger dan op bedrijf 1 (-4,6%).

De gemiddelde PM_{2,5} emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) op bedrijf 1 bedroeg 3,2 g/dierplaats per jaar vóór de droogfilterwand en 3,3 g/dierplaats per jaar ná de droogfilterwand. De gemiddelde PM_{2,5} emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) op bedrijf 2 bedroeg 6,6 g/dierplaats per jaar vóór de droogfilterwand en 6,0 g/dierplaats per jaar ná de droogfilterwand.

4 Discussie

Uit de indicatieve evaluatie van de droogfilterwand (Ogink et al., 2009), welke aan dit onderzoek vooraf ging, werd geen eenduidig beeld van het verwijderingsrendement verkregen. Geconcludeerd werd dat het werkelijke gemiddelde PM10 verwijderingsrendement van de droogfilterwand zich bevindt in de range tussen 20 en 60%. In dit validatieonderzoek is nu het verwijderingsrendement van de droogfilterwand bepaald door metingen volgens het meetprotocol voor fijnstofemissiemetingen op twee leghennenbedrijven in de praktijk. Uit dit onderzoek blijkt dat de droogfilterwand een gemiddeld verwijderingsrendement kent van 40,1% voor PM10 en geen verwijderingsrendement voor PM2,5.

De metingen in dit onderzoek zijn redelijk verspreid over het kalenderjaar verricht met een gemiddeld dagnummer in het kalenderjaar van 162 (jaargemiddelde dagnummer: 183). Rond het begin en einde van het kalenderjaar werden enigszins meer metingen verricht dan in de middenperiode van het kalenderjaar.

De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten ligt met 6,9 °C lager dan het langjarig jaargemiddelde van 10,2 °C. Dit is te verklaren doordat: a) relatief iets meer metingen uitgevoerd werden in het koudere begin en einde van het kalenderjaar en b) de meetdagen op zichzelf al enigszins kouder waren dan het langjarig gemiddelde voor deze dagen. De gemiddelde buitentemperatuur lag tijdens 7 van de 11 metingen onder het langjarig gemiddelde voor die dag en tijdens 4 van de 11 metingen op of vlak boven het langjarig gemiddelde voor die dag.

De metingen in dit onderzoek zijn goed verspreid over de legperiode van de dieren met een gemiddeld dagnummer na opzet van 194 (gemiddelde dagnummer in een gangbare productieperiode: ca. 200 dagen).

Tabel 2 Vergelijking van de resultaten van dit onderzoek met eerder internationaal onderzoek (in chronologische volgorde van uitvoering) met rendementsmetingen voor PM10 (op basis van massaconcentraties) aan dezelfde droogfilterwand nageschakeld aan pluimveestallen

Studie	Land	Staltype	Meettechniek	Meetperiode	Verwijderingsrendement PM10
a. Lim et al., 2007	Ohio, USA	Leghennen, kooihuisvesting, 169.000 d.	Continu; TEOM 1400	7-10 juni 2004 10-14 juni 2004 1-8-04 t/m 31-1-05	33,7% (bij 0,50 m/s) 46,0% (bij 0,73 m/s) 41,0% (bij 0,80 m/s)
b. Mostafa & Nannen, 2011	D	Windtunnel, proefstal en praktijkstal met leghennen	Grimm Aerosol Spectrometer 1.108	2006-2007	Rendementen op basis van deeltjesconcentraties
c. Ogink et al., 2009	D	Leghennenstal, volièrehuisvesting, 38.860 d.	Continu; DustTrak model 8520	18-11-2008; korte, oriënterende meting overdag (ca. 4 uren)	18-22% (bij 0,6-0,7 m/s)
d. LUFA, 2009	D	Leghennenstal, volièrehuisvesting, 38.860 d.	Continu; TEOM 1400	Eenmalige meting; 8 t/m 10 dec. 2008	57,6% (bij 0,6-0,7 m/s)
e. Demmers et al., 2010	UK	Vleeskuikenstal, grondhuisvesting	Continu; TEOM 1400	Een winterdag + een zomerdag (48-72 uur)	64% (aanstroomsnelheid onbekend)
f. Deze studie	NL D	Leghennen, scharrelhuisvesting, 20.000 d. Leghennen, volièrehuisvesting, 38.860 d.	Gravimetrisch, volgens CEN-EN 12341 (cycloon samplers + constant flow pompen)	April 2010 t/m februari 2011; 6 metingen van 24 uur per stal, 12 metingen in totaal; gebalanceerd over jaar en legperiode	40,1% (bij 0,6-0,7 m/s) Range: 26-55%

In totaal is nu in een zestal studies metingen verricht van het PM10 verwijderingsrendement van de droogfilterwand nageschakeld aan een leghennenstal. In Tabel 2 worden deze studies samengevat en vergeleken. Uit deze tabel blijkt dat de gemeten verwijderingsrendementen voor PM10 in de range van 18 tot 64% liggen. De in dit onderzoek gevonden gemiddelde waarde van 40,1% ligt in het centrum van deze range en is verder zeer vergelijkbaar met resultaten van Lim et al. (2007) aan eenzelfde droogfilterwand nageschakeld aan een leghennenstal met batterijhuisvesting. Twee andere studies vinden een gemiddeld verwijderingsrendement dat enigszins hoger ligt dan de range van waarden gemeten in dit onderzoek (LUFA, 2009; Demmers et al., 2010).

In een recent gepubliceerde studie (Mostafa en Nannen, 2011) zijn rendementmetingen van totaalstof, PM10 en PM2,5 uitgevoerd aan de droogfilterwand in een windtunnelopstelling, een semi-praktijkstal en een praktijkstal met leghennen. Deze resultaten kunnen echter niet als vergelijking dienen omdat rendementen zijn berekend op basis van deeltjesconcentraties (uitgaand versus ingaand). Rendementen op het praktijkbedrijf werden bepaald door de stofemissies gedurende twee dagen met en twee dagen zonder de droogfilterwand te meten (een rendementmeting in de tijd), waardoor aan dit rendement slechts een beperkte betrouwbaarheid kan worden toegeschreven.

5 Conclusies

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

- het gemiddelde verwijderingsrendement (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) van de droogfilterwand voor PM10 bedraagt $40,1 \pm 0,9\%$;
- het gemiddelde verwijderingsrendement (\pm standaarddeviatie tussen bedrijven) van de droogfilterwand voor PM2,5 bedraagt $0,7 \pm 8,3\%$.

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.
- 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).
- Demmers, T.G.M., A. Saponja, R. Thomas, G.J. Phillips, A.G. McDonald, S. Stagg, A. Bowry, E. Nemitz. 2010. Dust and ammonia emissions from UK poultry houses. Conference paper, XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), Québec City, Canada June 13-17, 2010. 10 pp.
- 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.
- Lim, T.T., H. Sun, J.-Q. Ni, L. Zhao, C.A. Diehl, A.J. Heber, S.M. Hanni. Field test of a particulate impaction curtain on emissions from a high-rise layer barn. Transactions of the ASABE 50(5): 1795-1805.
- LUFA, 2009. 2009. Messbericht über die Durchführung von Emissionmessungen (StuffNix Big Dutchman). Meetrapport LUFA Nord.west, Institut für Boden und Umwelt van 12 januari 2009. Projekt-Nr. 031008.656. 18 pp.
- 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.
- Mostafa, E., W. Buescher. 2011. Indoor air quality improvement from particle matters for laying hen poultry houses. Biosystems Engineering, januari 2011, in druk.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - Bepaling van de PM10-fractie van zwevend stof - Referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegelijkwaardigheid 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.
- Ogink, N.W.M., A.J.A. Aarnink, A. Winkel. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: indicatieve evaluatie van het droogfiltersysteem StuffNix van Big Dutchman. Rapport 203, 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.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cycloneas a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. Journal of Aerosol Science, Vol. 40, Issue 10, October 2009, pp. 868-878.

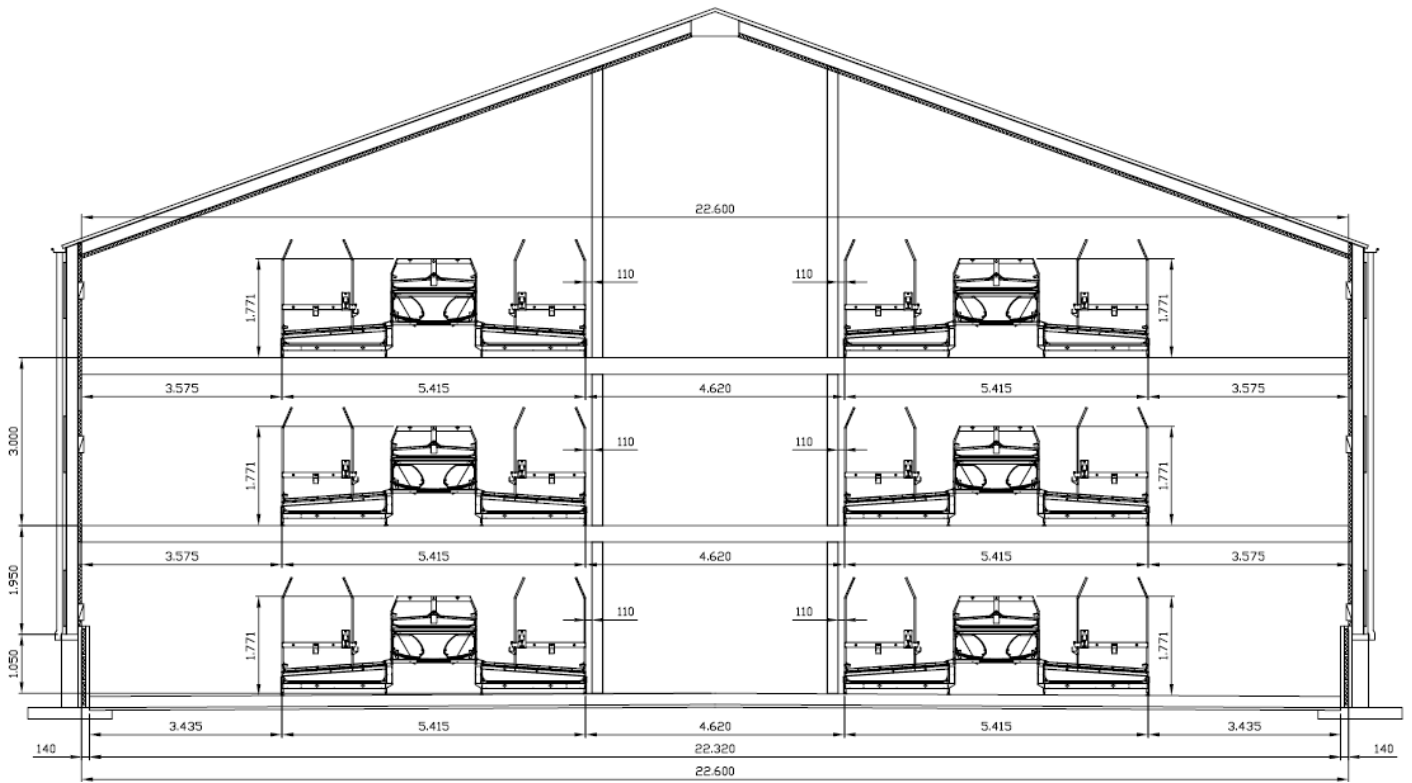
Bijlagen

Bijlage 1 Bedrijfsbeschrijving stal 1

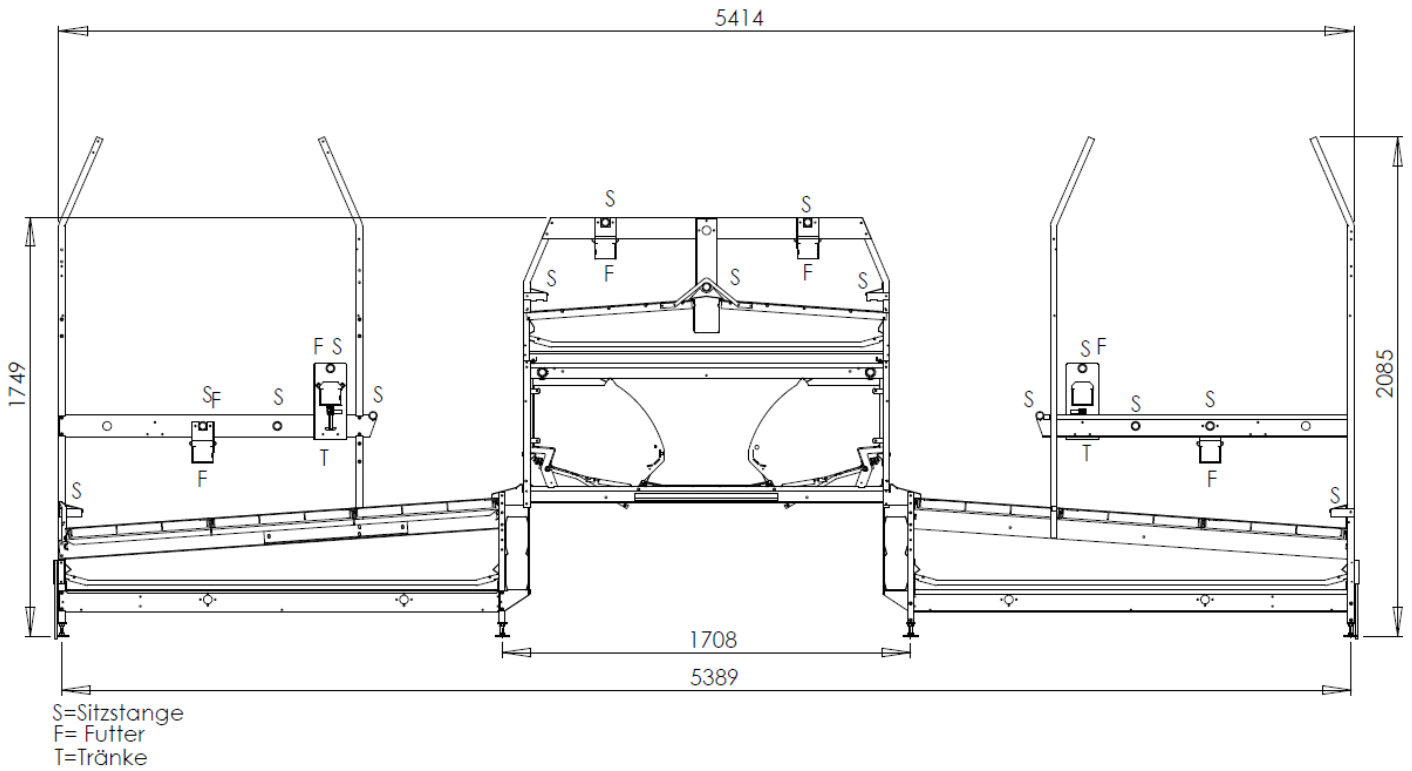
A. Belangrijkste kenmerken stal 1

Kenmerk	Beschrijving
RAV code	E2.12.1 Scharrelstal in twee verdiepingen met mestbanden
Omschrijving stal/afdeling	onder de roosters (twee maal per week afdraaien), bezetting 9 dieren per m ² (BWL 2004.11)
Emissiefactoren	PM10: 84 g/dierplaats per jaar Ammoniak: 68 g/dierplaats per jaar Geur: 0,34 OU _E /s per dierplaats
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	105,6 x 22,6 x 3,0/3,0 m (alleen onderste etage)
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: ca. 2387 m ² , stalinhoud: ca. 7160 m ³
Aantal hennen bij opzet	Ca. 20.000 (ca. 8,4 hen per m ²)
Dieren	Lohmann LSL Classic leghennen
Luchtinlaat	Inlaatventielen in zijgevels achter winddrukcap
Luchtuitleet	Ventilatoren in eindgevel
Max. ventilatiecapaciteit	4 ventilatoren (aan/uit) van ca. 40.800 m ³ /uur elk 2 ventilatoren (regelbaar) van ca. 20.000 m ³ /uur elk Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: ca. 203.200 m ³ /uur (ca. 10,2 m ³ /uur per hen)
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuur	Streefwaarde: 19 °C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingssysteem	Scharrelhuisvestingssysteem: strooiselvloer met twee systeemrijen (lengte: 98,8 m) met legnesten, beun met mestbanden en mestbandbeluchting (0,3 m ³ /uur per dier)
Droogfilterwand	- De stal was niet uitgerust met het de droogfilterwand. Een zelfstandig werkende zeecontainer met droogfilterwanden en ventilator is aan de stal geplaatst. Luchtdoorvoer vond plaats door een luchtsluis tussen stal en zeecontainer. - Afmetingen droogfilterwand (b x h): 2,95 x 1,32 m - Totaal aanstroomoppervlak twee droogfilterwanden: 7,8 m ² - Max. ventilatiecapaciteit ventilator: ca. 29.000 m ³ /uur (Ø 92 cm) - Instelling ventilator: 72% (effectief: ca. 18.500 m ³ /uur bij 30 Pa) - Luchtsnelheid ter hoogte van droogfilterwand: ca. 0,7 m/s >> <i>Zie afbeeldingen D en E</i>
Voersysteem en voertijden	Voersysteem: voerketting door het systeem (drie circuits per rij). Voertijden: 10:00, 11:00, 15:00, 16:00 en 19:00 uur
Drinksysteem en drinktijden	Drinkleiding met nippels en lekschoteltes door het systeem (twee leidingen per rij, een op elke beun). Drinktijden: 4:00 tot 21:00 uur
Strooiselmanagement	Houtkrullen en luzerne
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 4:30 tot 19:30 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 18 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 80 weken Leegstand: ca. 14 dagen

B. Dwarsdoorsnede van stal 1

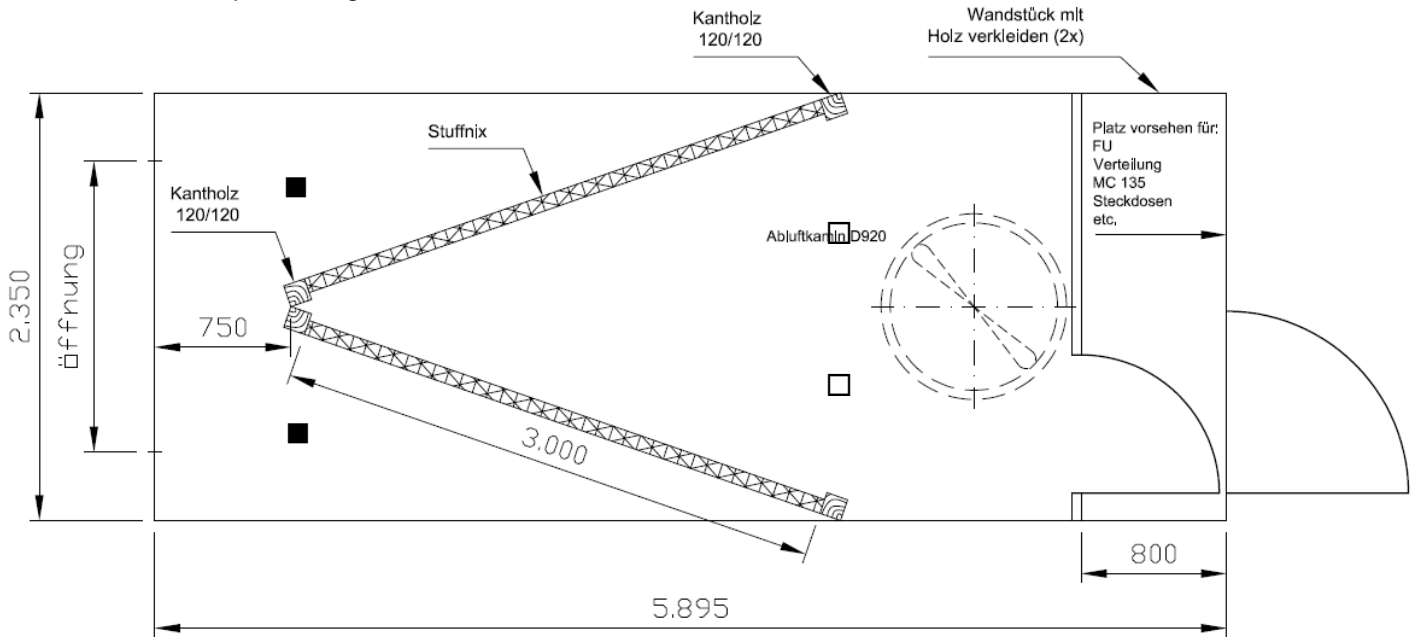


C. Dwarsdoorsnede van het scharreelsysteem in stal 1

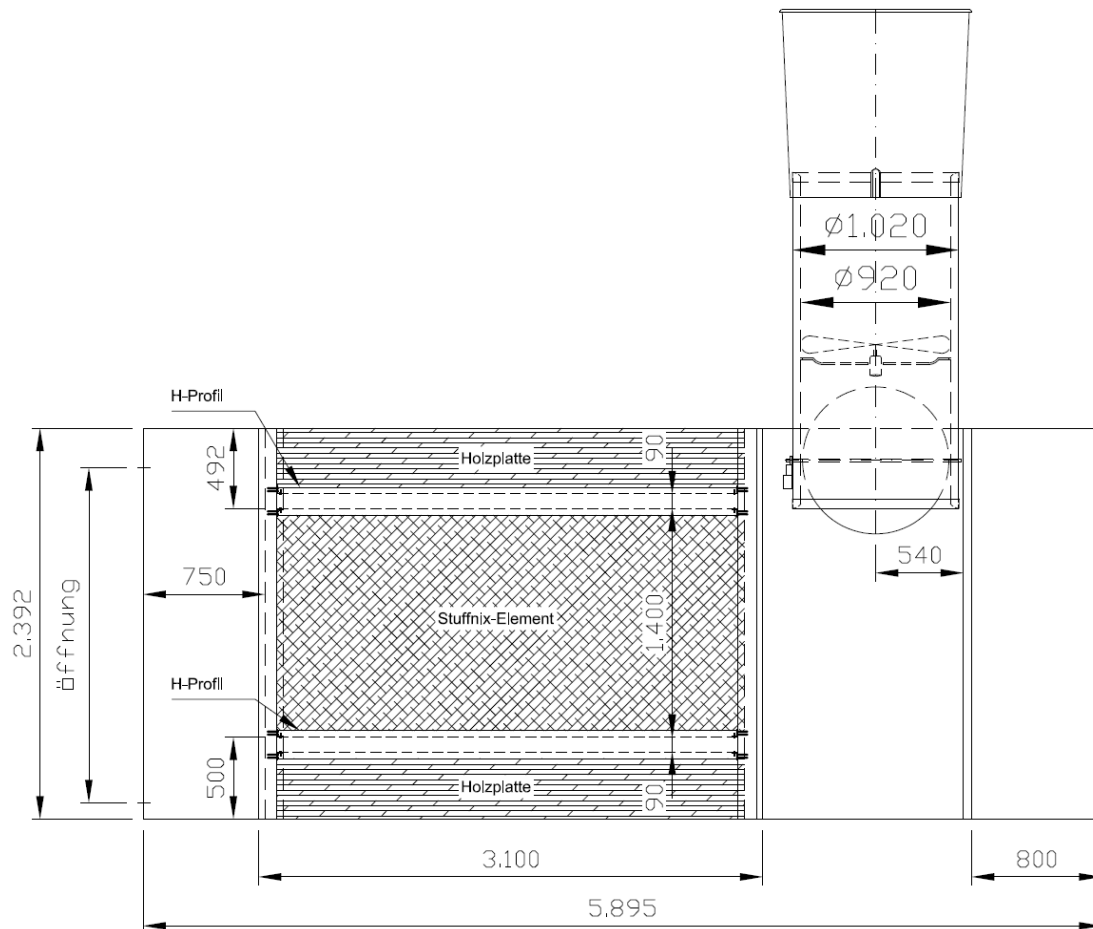


D. Bovenaanzicht/plattegrond van de opstelling in een zeecontainer nageschakeld aan stal 1

- Meetpositie ingaande lucht
- Meetpositie uitgaande lucht



E. Zijaanzicht van de proefopstelling in een zeecontainer nageschakeld aan stal 1



F. Foto's bedrijfssituatie en opstelling in een zeecontainer



Linkerzijde zeecontainer
(toegangsdeur naar ingaande compartiment)



Rechterzijde zeecontainer



Toegangsdeur naar voorportaal en uitgaande
compartiment in voorzijde zeecontainer



Inlaatventiel achter winddrukcap zijgevel stal



Detailfoto's binnenzijde stal





Doorgang van stal naar ingaande compartiment



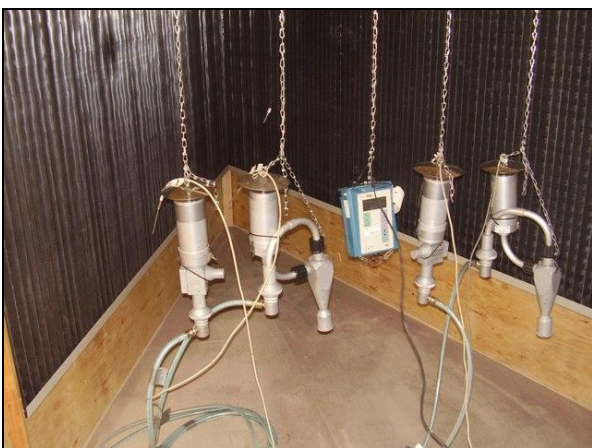
Detailfoto droogfilterwand uitgaande zijde



Meting ingaande lucht (in duplo)



Meting ingaande lucht (in duplo), met daarachter de stofzuiginstallatie



Meting uitgaande lucht (in duplo)



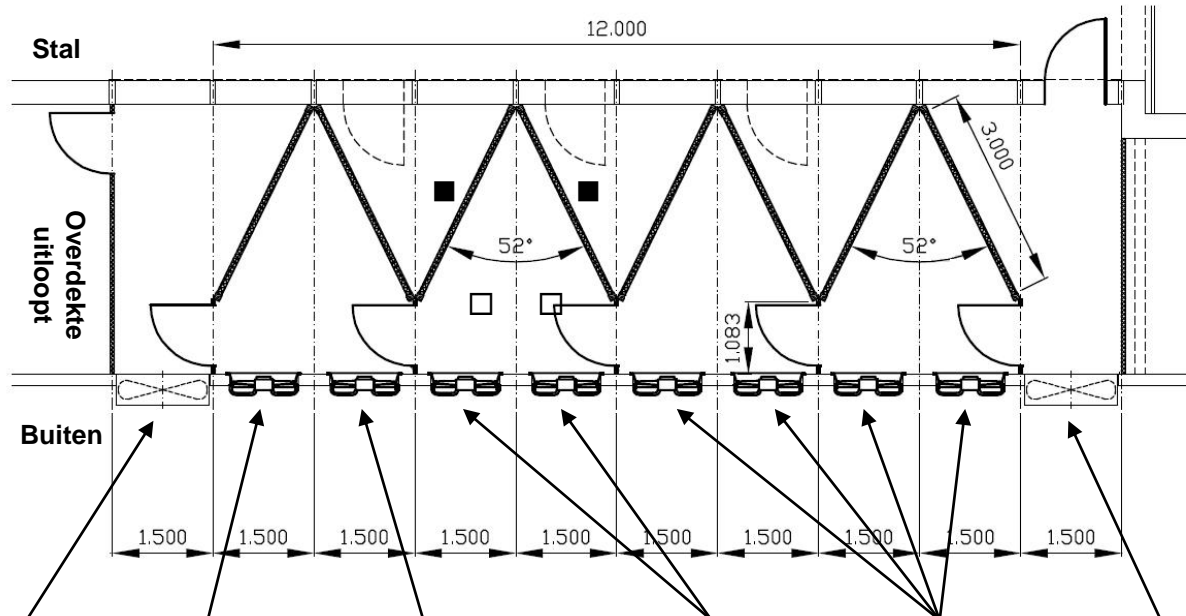
Detailfoto ventilator in schoorsteen zeecontainer

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

Kenmerk	Beschrijving
RAV code	Onbekend (stal in Duitsland); E 2.11 volièrehuisvesting
Omschrijving stal/afdeling	Volieresysteem met twee leefniveaus van roosters met mestbanden en mestbandbeluchting
RAV code en emissiefactoren 2008	PM10: 65 g/dierplaats per jaar Ammoniak: 25 tot 55 g/dierplaats per jaar Geur: 0,34 OUE/s per dierplaats
Afmetingen stal (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	Alleen de stal: 158 x 12 x 3,2 / 5,0 m
Afmetingen overdekte uitloop	Twee uitlopen langs zijde de stal, onder het doorlopende staldak Elk: 158 x 4 x 2,2 / 3,2 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: ca. 1828 m ² , stalinhoud: 7557 m ³ Staloppervlak inclusief uitlopen: ca. 3010 m ² , Stalinhoud inclusief uitlopen: ca. 10936 m ³
Aantal hennen bij opzet	Ca. 38860 (ca. 12,9 per m ²)
Dieren	Lohmann Brown leghennen
Luchtinlaat	Inlaatventielen in zijgevel tussen stal en overdekte uitloop + mestbandbeluchting (mengkast voor binnenlucht en buitenlucht aangezogen door nokpijpen)
Luchttuitlaet	Ventilatoren in beide zijgevels
Max. ventilatiecapaciteit en droogfilterwand	- Algemene situatie: zowel in de oostelijke als westelijke zijgevel bevindt zich halverwege de lengte van de stal een unit met vier kamers met in elke kamer twee droogfilterwanden en twee drukventilatoren. Daarnaast zijn beide units voorzien van twee v-snaar bypassventilatoren (<i>zie afbeelding B</i>) - Totaal aantal ventilatoren: 20 (16 in acht kamers, 4 bypass) - De droogfilterwanden meten elk (b x h): 3,0 x 2,48 m - Totaal aanstroomoppervlak per kamer: 14,9 m ² - Max. ventilatiecapaciteit per drukventilator: ca. 20.000 m ³ /uur, per kamer: ca. 40.000 (effectief: ca. 34.000) m ³ /uur - Luchtsnelheid ter hoogte van droogfilterwand: ca. 0,6 m/s - Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: ca. 460.000 m ³ /uur (ca. 11,8 m ³ /uur per hen) >> <i>Zie afbeeldingen B en C</i>
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuur	Streefwaarde: 17 °C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingssysteem	Volièresysteem: twee rijen stellingen met twee leefniveaus (roosters boven mestbanden met mestbandbeluchting) en een rij dubbele legnesten
Voersysteem en voertijden	Voersysteem: voerketting in het systeem (twee circuits per stelling). Voertijden: viermaal per dag
Drinksysteem en drinktijden	Drinkleiding met nippels door het systeem met lekschoteltjes. Drinktijden: onbeperkt
Strooiselmanagement	Stal en overdekte uitlopen worden niet ingestrooid voor plaatsing van de hennen
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 04:00 tot 21:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 16 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 60 weken Leegstand: ca. 14 dagen

B. Bovenaanzicht/plattegrond van de vier kamers met droogfilterwanden aan de westzijde van de stal. Aan de oostzijde van de stal bevindt zich een identieke unit van vier kamers

- Meetpositie ingaande lucht
- Meetpositie uitgaande lucht



Stap 4 V-snaar vent. Ø 130 cm Aan/uit ca. 35.000 m ³ /h	Stap 1 (regelbaar) Drukventilator Ø 91 cm 0-100% ca. 20.000 m ³ /h	Stap 1 (aan/uit) Drukventilator Ø 91 cm Aan/uit ca. 20.000 m ³ /h	Stap 2 2 Drukventilatoren Ø 91 cm Aan/uit ca. 20.000 m ³ /h	Stap 3 4 Drukventilatoren Ø 91 cm Aan/uit ca. 20.000 m ³ /h	Stap 5 V-snaar vent. Ø 130 cm Aan/uit ca. 35.000 m ³ /h
--	---	--	--	--	--

C. Luchtfoto bedrijfssituatie



Twee units met kamers met droogfilterwanden (west- en oostzijde)

D. Foto's bedrijfssituatie



Voorzijde leghennenstal



Zijaanzicht stal (westzijde) met uitloop



Ventilatoren halverwege de lengte van de stal



Overdekte uitloop



Inlaat in zijgevel tussen stal en wintergarten



Volièresysteem in de stal



Gang uitgaande zijde met openstaande deuren tussen de 4 kamers



Kamers aan de ingaande zijde: rechts achter de kippengazen afscheiding

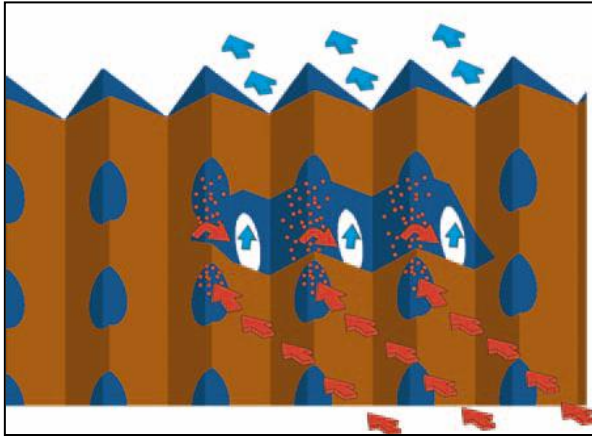


Meting uitgaande lucht



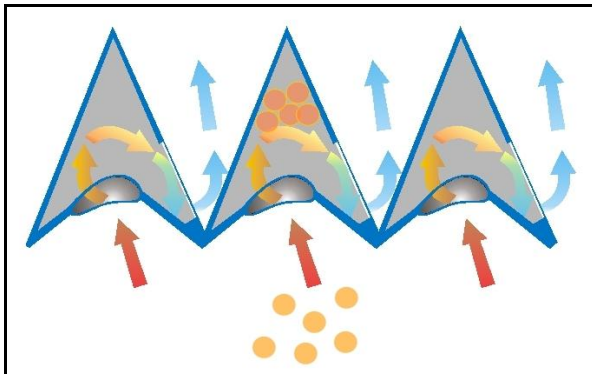
Bijlage 3 Afbeeldingen van het werkingsprincipe van de droogfilterwand

A. Vooraanzicht filterwand



Rode pijlen: ingaande, stofrijke lucht
Blauwe pijlen; uitgaande, stofarme lucht
Blauwe openingen: ingang in voorste filterlaag
Witte openingen: uitgang in achterste filterlaag

b. Bovenaanzicht filterwand



Rode pijlen: ingaande, stofrijke lucht
Blauwe pijlen; uitgaande, stofarme lucht



Wageningen UR Livestock Research

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

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