

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 278

Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting

November 2009 (herziene versie januari 2011)



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
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2010

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
onderzoekopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In this study emissions of fine dust (PM10 and PM2.5) from houses for layer hens in aviary systems were determined. In addition, emissions of ammonia, greenhouse gases and odour were determined.

Keywords

Fine dust, emission, poultry, layers, aviary systems

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

A. Winkel
J. Mosquera
J.M.G. Hol
G.M. Nijeboer
N.W.M. Ogink
A.J.A. Aarnink

Titel

Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in
volièrehuisvesting
Rapport 278 – herziene versie

Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissies bepaald van
fijnstof (PM10 en PM2,5) uit leghennenstallen
met volièrehuisvesting. Additioneel zijn de
emissies van ammoniak, broeikasgassen en
geur bepaald.

Trefwoorden

Fijnstof, emissie, pluimvee, leghennen,
volièrehuisvesting



Rapport 278

Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting

Dust emission from animal houses: layer hens in aviary systems

A. Winkel
J. Mosquera
J.M.G. Hol
G.M. Nijeboer
N.W.M. Ogink
A.J.A. Aarnink

November 2009 (herziene versie januari 2011)

Voorwoord

Voor het vergroten van de kennis over de fijnstofproblematiek (PM10 en PM2,5) in Nederland is het van belang dat betrouwbare en actuele informatie over de fijnstofuitstoot uit de verschillende bronnen beschikbaar is. Fijnstofemissie uit stallen is één van deze bronnen. Van deze bron was tot dusver slechts beperkte informatie beschikbaar, gebaseerd op stofmetingen uitgevoerd in de jaren negentig. Naast de omstandigheid dat deze informatie mogelijk is verouderd door aanpassing aan stalsystemen en bedrijfsvoering, zijn de meetcijfers niet gebaseerd op de huidige standaarden voor het meten van PM10 en PM2,5. Gegeven deze achtergrond bestaat er behoefte aan nauwkeurige en actuele cijfers over de fijnstofemissie uit de veehouderij. In deze behoefte kan nu worden voorzien met de resultaten uit het meetprogramma (2007-2009) dat door Wageningen UR Livestock Research is uitgevoerd in het kader van het 'Programma luchtwassers' van de Ministeries van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en van Infrastructuur en Milieu.

Bij de uitvoering van een systematisch opgezet meetprogramma voor stofemissie uit de veehouderij werd een onderzoeksterrein betreden waarin tot dusver nationaal en internationaal geen of zeer weinig ervaring was opgedaan. Dit stelde de betrokken onderzoekers voor tal van geheel nieuwe meettechnische en logistieke uitdagingen. Dankzij de inzet, ervaring en kennis van alle betrokken medewerkers kon de uitvoering tot een goed einde worden gebracht, waarvoor dank. Door de opdrachtgevers is het onderzoek met grote betrokkenheid en vertrouwen begeleid, waarvoor onze dank. Dank is ook verschuldigd aan de ondernemers van de betrokken veehouderijbedrijven die hun stallen beschikbaar hebben gesteld voor het uitvoeren van de metingen. Dankzij de medewerking van alle betrokken personen levert dit onderzoeksprogramma een belangrijke, internationaal unieke dataset op, waarmee een belangrijke bijdrage wordt geleverd aan het vergroten van de kennis over de fijnstofproblematiek in Nederland.

Dr. ir. A.J.A. Aarnink
Projectleider
Wageningen UR Livestock Research

Voorwoord bij herziene versie januari 2011

Na het uitbrengen van deze rapportage (november 2009) bleek dat deze een berekeningsfout bevatte bij de emissie van geur. In deze herziene versie is de berekeningsfout hersteld. Daarnaast is de spreiding van de gerapporteerde emissies (standaarddeviatie tussen bedrijven) weergegeven, en is ook voor methaan en lachgas een leegstand van 4% gebruikt om de jaaremmissies te bepalen. Bij deze herziening is tevens van de gelegenheid gebruik gemaakt om de tekst op enkele plaatsen nader te verduidelijken.

Samenvatting

Om een beter beeld te krijgen van de huidige situatie ten aanzien van fijnstofemissies uit de veehouderij is een uitgebreid onderzoeksproject opgestart. In dit project zijn bij verschillende diercategorieën en voor verschillende staltypen de fijnstofemissies gemeten. Emissies van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) en van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) zijn bepaald.

Het doel van het project was om op basis van de meetresultaten emissiefactoren voor fijnstof (PM10 en PM2,5) vast te stellen. Bij eerdere vaststelling van fijnstofemissies uit de veehouderij zijn conversiefactoren gehanteerd voor omrekening van totaalstof naar PM10. Een tweede doel van dit project was om op basis van metingen onderbouwde conversiefactoren voor omrekening van totaalstof naar PM10 en PM2,5 te verkrijgen. Aangezien er ook behoefte was aan emissiecijfers van methaan en lachgas, zijn deze tevens meegenomen in het meetprogramma. Daarnaast zijn de emissies van ammoniak en geur gemeten om een volledige meetset van emissies te krijgen. Dit past in de lijn van integrale oplossingen voor het emissieprobleem in de veehouderij. In dit rapport zijn de metingen gerapporteerd die in het kader van het hiervoor genoemde onderzoeksproject uitgevoerd zijn in leghennenstallen met volièrehuisvesting.

Alle metingen zijn uitgevoerd conform een werkwijze die gelijkwaardig is aan eerder vastgestelde meetprotocollen voor de verschillende gasvormige componenten. De metingen zijn gedaan aan vier leghennenstallen met volièrehuisvesting op verschillende locaties. Per locatie zijn zes metingen van 24 uur (voor geur twee uur) verricht, verspreid over het jaar en over de legperiode van de dieren.

Op basis van dit onderzoek in vier leghennenstallen met volièrehuisvesting zijn de volgende jaaremmissies bepaald, waarbij is gerekend met 4% leegstand voor de stof-, methaan-, lachgas- en ammoniakemissies (berekende emissiefactor ± de standaarddeviatie tussen bedrijven):

- PM10 emissie: $64,6 \pm 13,2$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $3,9 \pm 0,8$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: 129 ± 80 g/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,20 \pm 0,04$ OUE/dierplaats per s (niet gecorrigeerd voor leegstand)
- Methaanemissie: $26,2 \pm 10,2$ g/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $10,8 \pm 3,9$ g/dierplaats per jaar

De volgende conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de stofemissie:

- de emissie van PM10 is iets hoger dan de eerder gehanteerde emissiefactor voor PM10 (58 g/jaar per dierplaats);
- de emissie van PM2,5 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde waarde voor PM2,5 (10,3 g/jaar per dierplaats).

Summary

For a better understanding of the present fine dust emissions from livestock production an extensive research project was started. Within this project fine dust emissions were determined for different livestock categories and for different housing types. Emissions of particles smaller than 10 µm (PM10) and of particles smaller than 2.5 µm (PM2.5) have been determined.

The objective of this project was to provide emission figures that can be used to establish emission factors for fine dust (PM10). A second aim of this project was to determine conversion factors for calculating PM10 and PM2.5 from total dust. These conversion factors are required to interpret earlier measurements on livestock farms based on total dust. Because of additional need for emission data for methane and nitrous oxide, these gases have been included in the program as well. Furthermore, the emissions of ammonia and odour have been measured to complete the emission data set. This fits in the line of integral solutions of the emission problem in livestock production. In this report measurements in layer houses with aviary systems are reported that were carried out in the framework of the overall measurement programme.

All measurements have been performed according to a procedure similar to described protocols. Measurements have been done in four layer houses with aviary systems at different locations. For each location, six 24-h measurements (for odour two h) have been performed spread over the year and spread over the laying period of the animals.

Based on this study in four layer houses with aviary systems the following yearly emissions have been determined, corrected for an empty period of 4% in case of dust, methane, nitrous oxide and ammonia emissions (calculated emission factors \pm standard deviation between farms):

- PM10 emission: 64.4 ± 13.2 g/animal place per year
- PM2.5 emission: 3.9 ± 0.8 g/animal place per year
- Ammonia emission: 129 ± 80 g/animal place per year
- Odour emission: 0.20 ± 0.04 OUE/animal place per s (not corrected for empty period)
- Methane emission: $26.2 \pm 10,2$ g/animal place per year
- Nitrous oxide emission: $10.8 \pm 3,9$ g/animal place per year

The following conclusions could be drawn with respect to dust emissions:

- the emission of PM10 is a bit higher than the previously used emission factor for PM10 (58 g/animal place per year);
- the emission of PM2.5 is considerably lower than the previously used emission value for PM2.5 (10.3 g/animal place per year);

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Hoofdpijn opzet meetprogramma	2
2.2	Beschrijving volièrestallen	3
2.3	Metingen	8
2.3.1	Stofmetingen	8
2.3.2	Ammoniakmetingen	10
2.3.3	Geurmetingen	11
2.3.4	Broeikasgasmetingen	11
2.3.5	Ventilatie-debiet	11
2.3.6	Metingen temperatuur en RV	11
2.4	Verwerking gegevens	12
3	Resultaten	13
3.1	Ventilatie-debiet	13
3.2	PM10 emissie	13
3.3	PM2,5 emissie	14
3.4	Totaalstofemissie	14
3.5	Ammoniakemissie	14
3.6	Geuremissie	15
3.7	Methaanemissie	15
3.8	Lachgasemissie	16
4	Discussie	17
5	Conclusies	19
	Literatuur	20
	Bijlagen	21
Bijlage 1	Foto's volièrestal 1	21
Bijlage 2	Foto's volièrestal 2	22
Bijlage 3	Foto's volièrestal 3	24
Bijlage 4	Foto's volièrestal 4	26

1 Inleiding

Per 1 januari 2005 heeft de Europese Unie grenswaarden opgesteld voor alle EU-lidstaten voor maximale concentraties fijnstof: jaargemiddeld maximaal 40 microgram per m³ lucht en daggemiddeld maximaal 50 microgram per m³ lucht, met maximaal 35 overschrijdingen van het toegestane daggemiddelde. Fijnstof is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer. Dit stof wordt aangeduid als PM10 (PM; Particulate Matter). In 2008 is een nieuwe richtlijn van kracht geworden waarin de jaargemiddelde maximale norm voor deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer (zeer fijnstof, PM2,5) is vastgesteld op 25 microgram per m³ lucht.

Naast verkeer en industrie leveren veehouderijbedrijven een bijdrage aan de uitstoot van fijnstof in Nederland. Voor de terugdringing van de fijnstofuitstoot is het van belang de actuele uitstoot van fijnstof uit stallen vast te stellen. De tot dusver bekende emissies van fijnstof (PM10) uit stallen zijn gebaseerd op metingen die gedaan zijn in de periode van september 1993 tot november 1995 binnen het EU-project Aerial Pollutants (Groot Koerkamp e.a., 1996). Door Chardon en van der Hoek (2002) zijn deze later voor verschillende diercategorieën omgerekend naar emissies van PM10. Sinds de metingen in de jaren negentig zijn er veel ontwikkelingen geweest in de veehouderij, met name naar milieu- en welzijnsvriendelijke huisvestingssystemen die zowel een toename als afname in de uitstoot van fijnstof tot gevolg kunnen hebben gehad. Welzijnsvriendelijke systemen lijken een belangrijke toename te geven van de fijnstofemissie. Bij de omschakeling van het batterijsysteem naar strooiselsystemen in de pluimveehouderij wordt bijvoorbeeld een forse toename van de stofemissie verwacht. Sommige milieuvriendelijke huisvestingssystemen in combinatie met aangepaste ventilatiesystemen, bijvoorbeeld in de varkenshouderij, zullen waarschijnlijk een stofreducerend effect hebben. Door ontwikkelingen in de huisvesting sinds 1993-1995 (o.a. bolle vloeren en metalen roosters in de varkenshouderij) en de voeding van dieren (o.a. meer brijvoersystemen in de varkenshouderij, vervanging tapioca door granen in varkens- en pluimveevoer) kunnen stofemissies van stalsystemen zijn veranderd. Voor een onderbouwing van de impact van deze ontwikkelingen gedurende de laatste jaren op de stofemissie zijn daarom additionele metingen gewenst.

Daarnaast is in additioneel onderzoek een validatie van de tot dusver beschikbare dataset gewenst. De huidige PM10 cijfers zijn omrekeningen van gemeten totaalstof (overeenkomend met PM50) en PM5 waarden, waardoor deze minder nauwkeurig zijn. Bovendien was het onderzoek waarin de meetcijfers zijn verzameld niet gericht op het meten van stofemissies, maar op stofconcentraties. Concentraties zijn op verschillende plekken in de stal gemeten, deze zijn niet per definitie representatief voor de stofconcentraties in de uitgaande stallucht.

Omdat de EU ook grenswaarden voor PM2,5 heeft vastgesteld is het van belang om in additioneel onderzoek PM2,5 op te nemen. Om de huidige dataset waarop de berekende emissiefactoren zijn gebaseerd ook in de toekomst te kunnen gebruiken, is het gewenst naast PM10 en PM2,5 tevens totaalstof te meten volgens de methode die gebruikt is in het onderzoek van Groot Koerkamp e.a. (1996).

Om een beter beeld te verkrijgen van de huidige situatie ten aanzien van fijnstofemissies uit de veehouderij is in 2008 een uitgebreid onderzoeksproject opgestart. In dit project zijn bij verschillende diercategorieën en voor verschillende stalsystemen de fijnstofemissies bepaald. Het doel van dit project was om op basis van deze cijfers emissiefactoren voor fijnstof vast te stellen. Vanwege de nieuwe richtlijn voor PM2,5 is binnen dit project naast PM10 gelijktijdig ook PM2,5 gemeten. Bij eerdere vaststelling van fijnstofemissies uit de veehouderij zijn conversiefactoren gehanteerd voor de omrekening van totaalstof naar PM10. Een tweede doel van dit project was om met metingen onderbouwde conversiefactoren voor omrekening van totaalstof naar PM10 en PM2,5 te verkrijgen.

Aangezien er ook behoefte is aan emissiecijfers van methaan en lachgas, zijn deze tevens meegenomen in het meetprogramma. Daarnaast worden de emissies van ammoniak en geur gemeten ter validatie van de huidige meetgegevens en om een volledige meetset van emissies te krijgen. Dit past in de lijn van integrale oplossingen voor het emissieprobleem in de veehouderij.

In dit rapport worden de metingen gerapporteerd die in het kader van het hiervoor genoemde onderzoeksprogramma uitgevoerd zijn in vier leghennenstallen met volièrehuisvesting.

2 Materiaal en methode

2.1 Hoofdlijn opzet meetprogramma

De metingen aan leghennenstallen met volièrehuisvesting zijn onderdeel van een over meerdere diercategorieën uitgevoerd meetprogramma. De opzet van dit programma zal in deze paragraaf worden toegelicht. Voor de keuze van de te bemeten stallen en diercategorieën is allereerst een prioritering aangebracht op basis van de volgende criteria:

- diercategorieën die de grootste bijdrage leveren aan de fijnstofemissie in Nederland;
- stalsystemen binnen diercategorieën die de grootste bijdrage leveren aan de fijnstofemissie in Nederland (o.a. strooiselsystemen in de pluimveehouderij);
- systemen die op dit moment al worden toegepast en die waarschijnlijk een significante reductie geven van de stofemissie in Nederland t.o.v. het referentiejaar 1990 (bijvoorbeeld luchtwassystemen, brijvoer bij varkens, optimaal hok bij vleesvarkens/biggen);
- systemen die op dit moment al worden toegepast en die waarschijnlijk een significante toename geven van de stofemissie in Nederland t.o.v. het referentiejaar 1990 (bijvoorbeeld strooisel- en mestdroogsystemen bij pluimvee; welzijnsvriendelijke stro(oisel)systemen in de varkenshouderij);
- nieuwe ammoniakemissiearme systemen die waarschijnlijk binnen enkele jaren breed worden toegepast;
- systemen die reeds bemeten zijn, maar met een ander protocol (stallen opgenomen in eerder onderzoek EU-project Aerial Pollutants).

Om gegeven de beschikbare financiële middelen zoveel mogelijk informatie te verkrijgen is bovendien per stalcategorie een afweging gemaakt voor het bemeten van vier of twee bedrijfslocaties. In afstemming met de opdrachtgevers heeft dit geleid tot de volgende lijst met te bemeten stallen en de aantallen (Tabel 1).

Tabel 1 Stalsystemen die zijn opgenomen in het meetprogramma met nummer Regeling ammoniak en veehouderij (Rav-nummer), stalomschrijving en aantal stallen per bemeten systeem

Rav-nummer	Omschrijving stalsysteem	Aantal te bemeten stallen
A 1.100	Melkkoeien in ligboxenstal; overige huisvestingssystemen	4*)
D 1.1.4.1	Biggen, gedeeltelijk roostervloerstal met verkleind mestoppervlak, droogvoer	2*)
D 1.1.13	Biggen, volledig roostervloerstal (water en mestkanaal), droogvoer	2
D 1.3.1	Guste en dragende zeugen in individuele huisvesting met smalle ondiepe kanalen	2*)
D 1.3.101	Guste en dragende zeugen in groepshuisvesting zonder stro met voerligboxen	2
D 3.2.7.2.1	Vleesvarkens, gedeeltelijk roostervloerstal met bolle vloer (water en mestkanaal; optimaal hok), droogvoer	2
D 3.2.7.2.1	Vleesvarkens, gedeeltelijk roostervloerstal met bolle vloer (water en mestkanaal; optimaal hok), brijvoer	2
D 3.2.8.1	Vleesvarkens, biologisch luchtwassysteem 70% emissiereductie voor ammoniak; kan in combinatie met één van de voorgaande systemen worden onderzocht	2
D 3.2.9.1	Vleesvarkens, chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie voor ammoniak; kan in combinatie met één van de voorgaande systemen worden onderzocht	2
D 3.100	Vleesvarkens, overige huisvestingssystemen	4*)
E 2.11.3	Legkippen, volièrestal zonder uitloop (voor stallen met uitloop wordt dezelfde systematiek gehanteerd als voor ammoniak)	4
E 2.100	Legkippen, overig huisvestingssysteem niet batterijhuisvesting	4*)
E 4.100	(Groot)ouderdieren van vleeskuikens, overige huisvestingssystemen	2
E 5.100	Vleeskuikens, overig huisvestingssysteem	4*)
E 6.1	Legkippen, nadroging van de mest in een droogtunnel; kan in combinatie met één van de voorgaande systemen worden onderzocht	2
F 4.100	Vleeskalkoenen, overige huisvestingssystemen	2
H 1.2	Nertsen; dagontmesting met afvoer naar een gesloten opslag	4

*) Bij deze categorieën zijn naast PM10 en PM2,5 eveneens totaalstofmetingen uitgevoerd

In het onderzoeksprogramma zijn PM10 en PM2,5 metingen uitgevoerd gelijkwaardig aan het protocol zoals beschreven in het rapport van Hofschreuder e.a. (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 en variaties als gevolg van groei van dieren. Afhankelijk van het optreden van ronde-effecten dienen bij een aantal diercategorieën metingen verdeeld over de ronde uitgevoerd te worden. Het aantal locaties per stalsysteem dient volgens het voornoemde protocol vier te zijn. Om, gegeven de beschikbare middelen, een zo nauwkeurig mogelijke inschatting te maken van de emissiedeken in Nederland is in dit project hiervan voor een aantal stalsystemen afgeweken. Voor deze systemen is het aantal locaties teruggebracht van vier naar twee (Tabel 1).

Bij een aantal stalsystemen zijn tevens metingen uitgevoerd voor het bepalen van de emissie van totaalstof. Deze stalsystemen zijn eerder eveneens onderzocht in het EU-project Aerial Pollutants. De toen gevolgde meetmethode zoals beschreven in Takai e.a. (1998) en Groot Koerkamp e.a. (1996), wordt ook in dit programma toegepast. In Tabel 1 staat aangegeven voor welke categorieën dit geldt. Op deze wijze wordt het mogelijk de verhouding tussen totaalstof en PM10/PM2,5 op een directe wijze vast te stellen. Daardoor kunnen eerder gemeten emissies van totaalstof op basis van gemeten conversiefactoren worden omgerekend naar PM10 en PM2,5 emissies.

Naast fijnstof en totaalstof zijn ook metingen gedaan aan ammoniak, geur, methaan en lachgas volgens meetprotocollen beschreven door respectievelijk Ogink e.a. (2008), Ogink (2008), Groenestein e.a. (2007) en Mosquera en Groenestein (2008). Deze rapportages bevatten toelichting op en onderbouwing van de wijze waarop de meetprotocollen zijn ontworpen, evenals de beschrijving van het protocol. De protocollen zullen in de nabije toekomst nog als zelfstandige documenten worden gepubliceerd.

2.2 Beschrijving volièrestallen

De belangrijkste kenmerken van de vier leghennenstallen met volièrehuisvesting in dit onderzoek worden weergegeven in Tabel 2. Foto-impressies van de vier leghennenstallen met volièrehuisvesting worden weergegeven in bijlagen 1 t/m 4.

Tabel 2a Belangrijkste kenmerken volièrestal 1 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling RAV code en emissiefactoren 2008	Leghennenstal met volièrehuisvesting en lengteventilatie E Hoofdcategorie Kippen E2 Diercategorie legkippen en (groot-)ouderdieren van legrassen E2.11 Volièresystemen E2.11.1 Minimaal 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters in minimaal twee etages, BWL 2004.09 Emissie NH ₃ : 0,090 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,34 OUE per seconde per dier Emissie PM10: 58 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	55 x 14,60 x 2,20/5,50 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: 803 m ² , stalinhoud: 3092 m ³
Aantal dieren bij opzet	10.897
Dieren	Lohman Brown Nick leghennen
Luchtinlaat	24 Inlaatventielen in beide zijgevels, 48 in totaal. Afmetingen: 60 x 22 cm
Luchttuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 4 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	2 frequentiegeregelde ventilatoren (Ø 0,83 m) van elk max. 12.300 m ³ /uur, 1 ventilator (Ø 0,90 m) van max. 15.000 m ³ /uur en 1 ventilator (Ø 1,30 m) van max. 40.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 79.600 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuurinstellingen	Streef temperatuur: 19°C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Volièresysteem	Bestaande uit twee opstellingen aan weerszijden van de stal met twee etages elk en in het midden een beun met dubbele rij legnesten bestaande uit twee etages. De opstellingen zijn uitgerust met zitstokken boven de bovenste etage. Mestbanden: onder de beun en onder de roosters Mestbanden worden eens per week afgedraaid Mestbeluchting: ja (hoeveelheid beluchting per dier onbekend)
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	Bridomat systeem van Roxell, 3 circuits. Gevoerd wordt een driefasenvoer. Voertijden: 09:00, 11:00, 14:00, 16:00 en 18:00 uur gedurende 6 minuten
Drinksysteem en drinktijden	4 Drinklijnen; twee aan beide zijden van de legnesten op de beun en één in elke opstelling; drinklijnen hebben nippels met lekbakjes. Drinktijden: op de beun tijdens lichttijden, in de stellingen vanaf 10:00 uur tot einde lichtperiode
Strooisel	Vloerzand
Lichtregime	16L:8D, licht aan van 04:00 tot 20:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: 17 weken Leeftijd bij ruimen: 76 weken Leegstand: ±1 week

Tabel 2b Belangrijkste kenmerken volièrestal 2 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling RAV code en emissiefactoren 2008	Leghennenstal met volièrehuisvesting en lengteventilatie E Hoofdcategorie Kippen E2 Diercategorie legkippen en (groot-)ouderdieren van legrassen E2.11 Volièresystemen E2.11.2 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband met beluchting. Mestbanden minimaal tweemaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages, BWL 2004.10 Emissie NH ₃ : 0,055 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,34 OUE per seconde per dier Emissie PM10: 58 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	Stal: 100 x 17 x 4,75/7,0 m Wintergarten: 100 x 4,5 x 2,3/4,25 m, aan beide zijden van de stal
Staloppervlak en stalinhoud	Oppervlak stal: 1700 m ² , inhoud stal: 9988 m ³ Oppervlak wintergarten: 900 m ² , Inhoud wintergarten: 2948 m ³ Oppervlak totaal: 2600 m ² , inhoud totaal: 12936 m ³
Aantal dieren bij opzet Dieren Luchtinlaat	36.800 Isa Warren Brown leghennen 60 Inlaatventielen per zijwand; 120 in totaal. De inlaatventielen zijn geplaatst in de zijgevels van de stal, boven het dak van de wintergarten
Luchttuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 8 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	8 ventilatoren van elk max. 35.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 280.000 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen Temperatuurinstellingen Verwarming Speciale klimaatvoorzieningen Volièresysteem	Afhankelijk van staltemperatuur Streef temperatuur: 18°C Geen Geen Bestaande uit 5 opstellingen. De middelste opstelling heeft twee etages en bevat geen legnesten. De overige vier opstellingen hebben twee etages met daartussen in een etage met een dubbele rij legnesten. Totaal aantal nestvakken: 624. Alle opstellingen zijn uitgerust met zitstokken boven de bovenste etage. Mestbanden: onder alle roosters Mestbanden worden eens per week afgedraaid Mestbeluchting: 0,5 m ³ per dier per uur
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	Sleepketting aan weerszijden van de opstelling op beide etages van alle 5 opstellingen. Gevoerd wordt een driefasenvoer. Hoeveelheden: onbepikt tijdens voertijden. Voertijden: vier maal per dag; 09:30-10:00, 12:30-12:50, 15:30-15:50 en 18:30-18:50 uur
Drinksysteem en drinktijden	Drinklijnen met drinknippels met opvangschoteltjes in het midden van de opstelling op de eerste etage en aan weerszijden van de opstelling voor de legnesten. Drinktijden: tijdens lichtperiode van 06:00 tot 21:30 uur
Strooisel Lichtregime Productie	Houtkrullen 14,5L:8,5D, licht aan van 06:00 tot 21:30 uur Leeftijd bij opzet: 17 weken Leeftijd bij ruimen: 74 weken Leegstand: ±2 weken

Tabel 2c Belangrijkste kenmerken volièrestal 3 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling RAV code en emissiefactoren 2008	Leghennenstal met volièrehuisvesting en lengteventilatie E Hoofdcategorie Kippen E2 Diercategorie legkippen en (groot-)ouderdieren van legrassen E2.11 Volièresystemen E2.11.1 Minimaal 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters in minimaal twee etages, BWL 2004.09 Emissie NH ₃ : 0,090 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,34 OUE per seconde per dier Emissie PM10: 58 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok}) Staloppervlak en stalinhoud Aantal dieren bij opzet	83 x 24 x 2,2/7,0 m Staloppervlak: 1992 m ² , stalinhoud: 9163 m ³ 35.650
Dieren	Lohman Brown Lite leghennen
Luchtinlaat	32 Inlaatventielen per zijgevel en 10 in de kopgevel; 74 in totaal. Afmetingen: 32 x 70 cm
Luchtuitlet	Lengteventilatie mechanisch, met 10 ventilatoren in de achtergevel, in twee rijen boven elkaar
Max. ventilatiecapaciteit	Onderste rij: 2 ventilatoren (Ø 0,50 m) van elk max. 7.800 m ³ /uur, 1 ventilator (Ø 0,80 m) van max. 15.000 m ³ /uur en 4 ventilatoren (Ø 1,30 m) van elk max. 40.000 m ³ /uur. De 2 ventilatoren van Ø 0,50 m draaien altijd als minimumventilatie, de anderen springen bij. Bovenste rij: 3 ventilatoren (Ø 1,30 m) van elk max. 40.000 m ³ /uur. De middelste ventilator draait altijd als minimumventilatie. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 190.600 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Afhankelijk van staltemperatuur
Temperatuurinstellingen	Streef temperatuur: 18°C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Volièresysteem	Volledige strooiselvloer met 2 portalen met 3 etages. Met twee dubbele rijen legnesten op de zolderetage en drie enkele rijen legnesten op de eerste etages Mestbanden: onder alle roosteroppervlakken Mestbanden worden eens per week afgedraaid Mestbeluchting: geen
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	Sleepkettingen op leefniveaus 1, 2, 3 en de zolderetage. Gevoerd wordt een driefasenvoer (fase 1: 17-24 weken, fase 2: 25-50 weken, fase 3: 50 weken tot einde legperiode). Voer wordt zesmaal daags verstrekt
Drinksysteem en drinktijden	Drinklijnen op leefniveaus 1 en 3 en de zolderetage, met drinknippels met opvangschoteltjes (merk: Impex). Water wordt onbeperkt verstrekt
Strooisel	Witte houtkrullen
Lichtregime	16L:8D, licht aan van 04:00 tot 20:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: 18 weken Leeftijd bij ruimen: 76 weken Leegstand: ±2 weken

Tabel 2d Belangrijkste kenmerken volièrestal 4 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling RAV code en emissiefactoren 2008	Leghennenstal met volièrehuisvesting en lengteventilatie E Hoofdcategorie Kippen E2 Diercategorie legkippen en (groot-)ouderdieren van legrassen E2.11 Volièresystemen E2.11.2 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband met beluchting. Mestbanden minimaal tweemaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages, BWL 2004.10 Emissie NH ₃ : 0,055 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,34 OUE per seconde per dier Emissie PM10: 58 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	73,5 x 20,0 x 2,0/4,5 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: 1470 m ² , stalinhoud: 4778 m ³
Aantal dieren bij opzet	25.650
Dieren	High Line Brown leghennen
Luchtinlaat	45 Inlaatventielen in beide zijgevels, 90 in totaal. Afmetingen: 60 x 22 cm
Luchtuitleat	Lengteventilatie mechanisch met 9 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	4 Ventilatoren van elk max. 8.000 m ³ /uur, 1 ventilator van max. 15.000 m ³ /uur en 4 ventilatoren van elk max. 30.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 167.000 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuurinstellingen	18-19°C
Verwarming	Vloerverwarming (wordt alleen de dag voor opzet gebruikt)
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Volièresysteem	Bestaande uit 5 opstellingen van elk 67,1 m lang. De middelste opstelling bestaat uit drie etages en bevat geen legnesten. De twee opstellingen aan weerszijden van de middelste opstelling bestaan uit vier etages en bevatten een dubbele rij geïntegreerde legnesten op de derde etage vanaf de vloer, in totaal 55 nestvakken per opstelling. De twee opstellingen aan de buitenzijde bestaan uit drie etages en bevatten een dubbele rij geïntegreerde legnesten op de tweede etage vanaf de vloer, in totaal 55 nestvakken per opstelling. Totaal aantal legnesten: 220. Alle opstellingen zijn uitgerust met zitstokken boven de bovenste etage. Mestbanden: onder alle roosteroppervlakken Mestbanden worden eens per week afgedraaid Mestbeluchting: 0,2 m ³ per dier per uur
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	Voersysteem: voergoten (sleepketting) op twee leefniveaus per opstelling, aan beide zijden; 4 voergoten per opstelling. Voersoort: Combinantvoer met tarwe. Hoeveelheden: onbepaald tijdens voertijden (110-120 g/dier per dag). Voertijden: 06:00, 10:00, 14:00, 16:30 en 18:00 uur, gedurende 12 minuten
Drinksysteem en drinktijden	Drinklijnen met drinknippels in de opstellingen. Watertijden: tijdens lichttijden
Strooisel	Houtkrullen
Lichtregime	14L:9D, licht aan van 04:00 tot 19:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: 18 weken Leeftijd bij ruimen: 72-74 weken Leegstand: ±2 weken

2.3 Metingen

In Tabel 3 worden de data van de metingen aangegeven en de leeftijd van de dieren op de meetdagen.

Tabel 3 Data waarop metingen zijn uitgevoerd met de leeftijd van de dieren (dagen na opzet) en de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens: gemiddelde buitentemperatuur (T-buiten; [°C]) en gemiddelde relatieve luchtvochtigheid buiten (RV-buiten; [%]) volgens het dichtstbijzijnde weerstation, gemiddelde staltemperatuur (T-stal; [°C]) en gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de stal (RV-stal; [%])

Bedrijf		Meting					
		1	2	3	4	5	6
1	Datum	20-05-08	01-07-08	01-09-08	22-10-08	26-11-08	26-01-09
	Leeftijd	132	174	236	288	322	383
	T-buiten	10,9	20,0	17,1	8,5	4,7	1,3
	RV-buiten	63	58	78	81	94	81
	T-stal	19,6	25,6	*)	21,1	21,6	18,9
	RV-stal	51,4	54,4	*)	63,1	67,2	65,8
2	Datum	23-06-08	01-09-08	06-10-08	19-11-08	29-12-08	02-02-09
	Leeftijd	383	7	42	86	126	161
	T-buiten	14,3	17,1	11,0	9,2	-3,8	1,4
	RV-buiten	73	78	94	86	81	73
	T-stal	21,7	20,3	19,2	19,3	18,1	19,6
	RV-stal	54,2	63,7	92,9	69,7	57,9	58,0
3	Datum	26-05-08	22-07-08	08-09-08	16-10-08	02-12-08	20-01-09
	Leeftijd	369	426	27	65	112	161
	T-buiten	13,9	16,2	14,8	10,9	3,6	4,0
	RV-buiten	86	79	92	80	92	84
	T-stal	21,1	*)	24,6	23,4	25,4	23,9
	RV-stal	66,5	*)	59,6	60,0	*)	55,2
4	Datum	28-11-07	15-04-08	09-07-08	25-08-08	22-10-08	10-12-08
	Leeftijd	344	42	127	174	232	281
	T-buiten	4,9	7,0	15,3	16,9	7,6	2,0
	RV-buiten	86	82	81	82	87	94
	T-stal	19,0	20,4	21,4	21,7	16,6	16,7
	RV-stal	62,4	63,1	71,2	64,8	70,9	68,6

*) Ontbrekende 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 de uitgaande stallucht en enkelvoudige 24-uurs monsters van PM10 van de ingaande stallucht;
- duplo 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) van de uitgaande stallucht en enkelvoudige 24-uurs monsters van PM2,5 van de ingaande stallucht;
- minuutmonsters van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van de uitgaande stallucht;



Figuur 1 Monsterrapparaat voor PM10 en PM2,5. Linksboven: 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 (van links naar rechts): de constructie van de inlaat

Figuur 1 laat de monstername-apparaatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparaatuur 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 apparaatuur en deze standaard apparaatuur 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).

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 $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ en $50\% \pm 5\%$ 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, $6\text{ m}^3/\text{uur}$, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de 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 $1,0\text{ m}^3/\text{uur}$ 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).

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

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

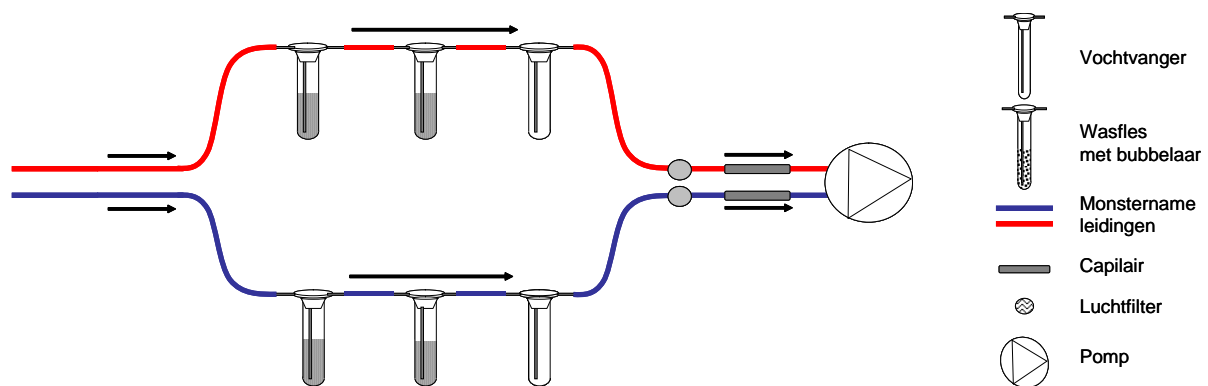
PM2,5: geen correctie

Op de meetdagen werd tevens elke seconde de PM10 concentratie (mg/m^3) gemeten in de uitgaande stallucht met behulp van de DustTrak (Figuur 1, DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, USA). Minuutgemiddelde PM10 concentraties werden gelogd. Deze metingen werden verricht om het verloop van de stofconcentratie gedurende de dag te bepalen.

Totaalstof werd bepaald volgens de methode zoals beschreven door Groot Koerkamp e.a. (1996). Deze methode werd toegepast in het EU-project Aerial Pollutants waaruit de eerste cijfers voor stofemissie uit de veehouderij zijn bepaald. Bij deze methode werd totaalstof (zoals gedefinieerd in de Europese Standaard EN 481) bemonsterd volgens de gravimetrische meetmethode: met IOM monsterkoppen (SKC Inc., Pennsylvania, VS) bij een debiet van 2,0 l/min. De filters werden voor en na bemonstering gewogen om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen.

2.3.2 Ammoniakmetingen

De ammoniakconcentratie werd volgens de natchemische meetmethode voor NH_3 (Wintjes, 1993) gemeten. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom ($\sim 1,0$ l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van $\sim 1,0$ l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de NH_3 wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. De metingen werden per meetplek in duplo uitgevoerd (Figuur 2). De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van NH_3 dat moet worden gebonden; voor deze stallen was deze 0,05 M. Na de bemonsteringstijd (24 uur) wordt de concentratie gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Zowel de ingaande als uitgaande stallucht werd in duplo bemonsterd.



Figuur 2 Meetopstelling natchemisch methode voor ammoniakemissiemetingen

2.3.3 Geurmetingen

Geurmonsters werden genomen tussen 10:00 en 12:00 uur. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd driemaal gespoeld met geurloze lucht en 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 (0,4 l/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te voorkomen wordt verwarmingslint langs de monsternamleiding aangebracht. Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium van de Animal Sciences Group vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium van de Animal Sciences Group volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium van Animal Sciences Group is onder nummer L313 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses. Aan de geuranalyses wordt deelgenomen door een groep van vier tot zes panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden wordt voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en -emissies worden vermeld in respectievelijk OU_E/m^3 en OU_E/s . De eenheid 'OU_E' staat hierbij voor 'European Odour Units'. Deze aan de EN 13725 ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied. Gedurende twee van de zes meetdagen is tevens van de ingaande stallucht de geurconcentratie bepaald op dezelfde manier als de uitgaande stallucht.

2.3.4 Broeikasgasmetingen

De bepaling van de CH₄-, N₂O- en CO₂-concentraties in de uitgaande stallucht werd op dezelfde wijze gedaan als voor een geurmonster (zie de longmethode hierboven beschreven). De monsterzak werd in 24 uur gevuld via discontinue bemonstering. Met behulp van een tijd klok werd elk uur gedurende vijf minuten een vaste luchtstroom aangezogen van 0,4 l/min, gedurende 55 minuten werd er niet bemonsterd. Op deze wijze werd een tijdsgemiddeld monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂), Haysep Q (N₂O)); detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: HWD).

2.3.5 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet is bepaald met behulp van de CO₂-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO₂-concentratie van de in- en uitgaande stallucht (respectievelijk $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$ en $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m^3/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008). Door de CO₂-productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in de stal kan de totale CO₂-productie worden berekend. Het ventilatie-debiet V (m^3/uur) wordt dan bepaald op basis van:

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

2.3.6 Metingen temperatuur en RV

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande en uitgaande stallucht werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$, en de data werden opgeslagen in een datalogysysteem (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS).

2.4 Verwerking gegevens

Voor alle bedrijven ($j=1, 2, 3, 4$) werden per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) de emissies van fijnstof, ammoniak, methaan en lachgas (E_{ij}) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet (V_{ij}) en de gemiddelde concentraties van de uitgaande lucht ($C_{uit_{ij}}$) en de ingaande lucht ($C_{in_{ij}}$):

$$E_{ij} = V_{ij} \times (C_{uit_{ij}} - C_{in_{ij}})$$

Voor alle bedrijven ($j=1, 2, 3, 4$) werden per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) de emissies van geur (E_{ij}) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de meetperiode (V_{ij}) en de gemiddelde concentraties van de uitgaande lucht ($C_{uit_{ij}}$):

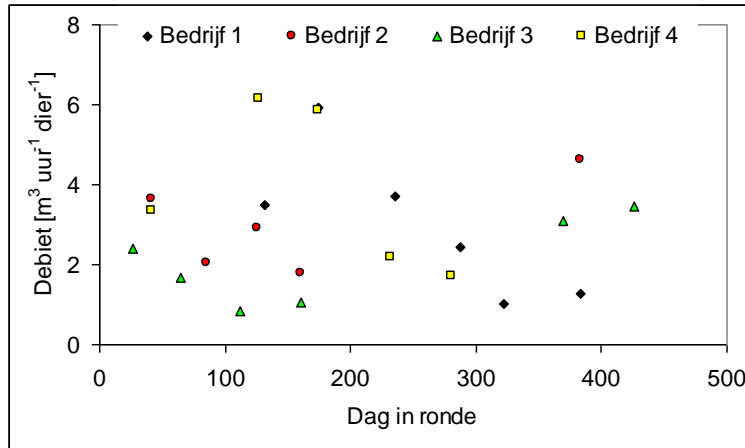
$$E_{ij} = V_{ij} \times C_{uit_{ij}}$$

Deze gemiddelde dagemissies werden, behalve voor geur, vervolgens vermenigvuldigd met 365 dagen om de jaaremmissies (niet gecorrigeerd voor leegstand) te berekenen. Voor geur werd de emissie uitgedrukt in OU_E/s . Hiervan werd vervolgens de natuurlijke logaritme genomen, waar verder mee werd gerekend. De emissie (E) op jaarbasis per dierplaats werd vervolgens bepaald als de gemiddelde van de waarden van alle meetdagen. Voor geur werd de mediane emissie bepaald door het gemiddelde op log-schaal terug te transformeren naar normale schaal.

3 Resultaten

3.1 Ventilatie-debiet

In Figuur 3 wordt het ventilatie-debiet op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen weergegeven.

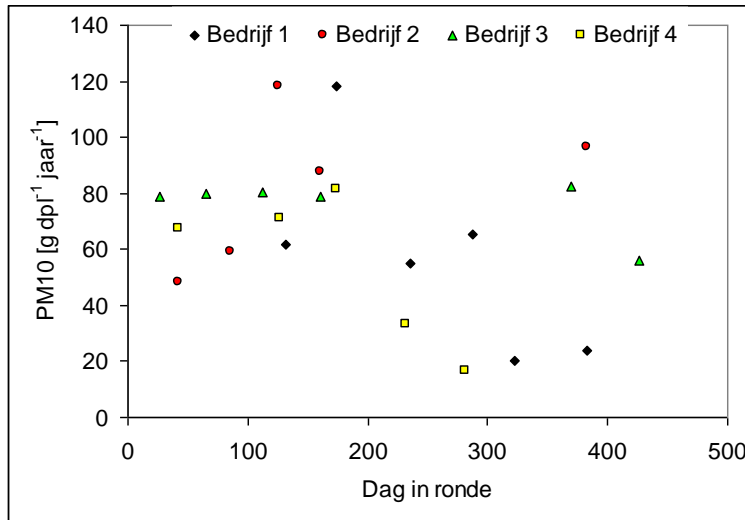


Figuur 3 Gemiddeld ventilatie-debiet op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen

Uit deze figuur blijkt dat de metingen gedurende alle fasen van de legperiode bij zowel lage als hoge ventilatie-debieten hebben plaatsgevonden.

3.2 PM10 emissie

In Figuur 4 wordt de PM10 emissie op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen weergegeven.

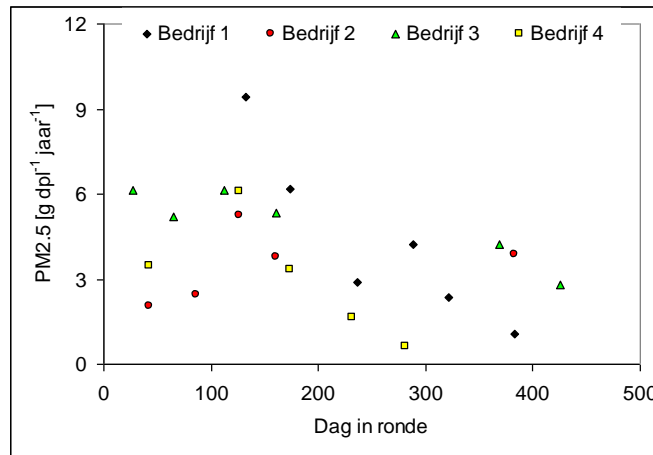


Figuur 4 Gemiddelde PM10 emissies op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen

Uit deze figuur blijkt dat de PM10 emissies geen duidelijke trend volgden in de loop van de legperiode. Binnen een bedrijf kwamen dagen met een lage emissie en dagen met een hoge emissie voor. Op basis van deze gegevens werd een emissie berekend voor PM10 per dierplaats van $67,3 \pm 13,8$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.3 PM2,5 emissie

In Figuur 5 wordt de PM2,5 emissie op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen weergegeven.



Figuur 5 Gemiddelde PM2,5 emissies op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen

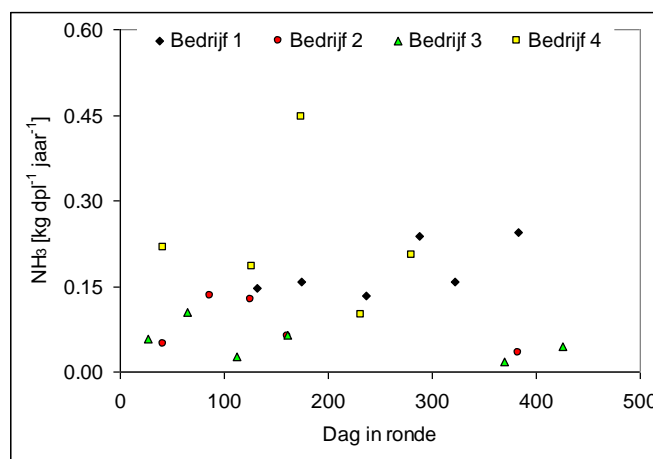
Uit deze figuur blijkt dat de PM2,5 emissie neigde af te nemen in de tweede helft van de legperiode. Dit geldt met name voor bedrijf 1, 3 en 4. Op basis van deze gegevens werd een jaaremisse berekend voor PM2,5 per dierplaats van $4,0 \pm 0,9$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.4 Totaalstofemissie

In de volièrerestallen is geen totaalstof gemeten, aangezien deze stallen niet zijn bemeten in het EU-project Aerial Pollutants.

3.5 Ammoniakemissie

In Figuur 6 wordt de ammoniakemissie op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen weergegeven.

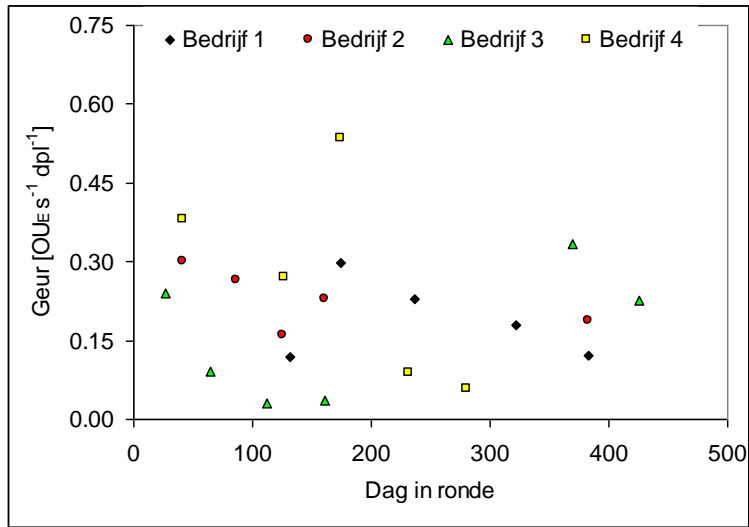


Figuur 6 Gemiddelde ammoniakemissies op de verschillende meetdagen voor de vier volièrerestallen

Uit deze figuur blijkt dat de ammoniakemissie geen duidelijke trend volgde over de legperiode. Binnen een bedrijf kwamen dagen met een lage emissie en dagen met een hoge emissie voor. Op basis van deze gegevens werd een jaaremisse berekend voor ammoniak per dierplaats van 134 ± 83 g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.6 Geuremissie

In Figuur 7 wordt de geuremissie op de verschillende meetdagen voor de vier volièrestallen weergegeven.

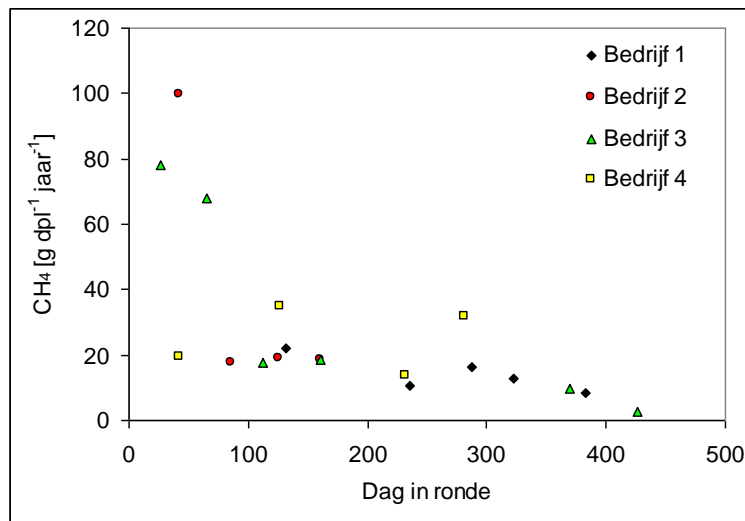


Figuur 7 Gemiddelde geuremissies op de verschillende meetdagen voor de vier volièrestallen

Uit deze figuur blijkt dat de geuremissie geen duidelijke trend volgde over de legperiode. Binnen een bedrijf kwamen dagen met een lage emissie en dagen met een hoge emissie voor. Op basis van deze gegevens werd een (mediane) geuremissie op jaarbasis berekend per dierplaats van $0,20 \pm 0,04$ OU_E/s .

3.7 Methaanemissie

In Figuur 8 wordt de methaanemissie op de verschillende meetdagen voor de vier volièrestallen weergegeven.

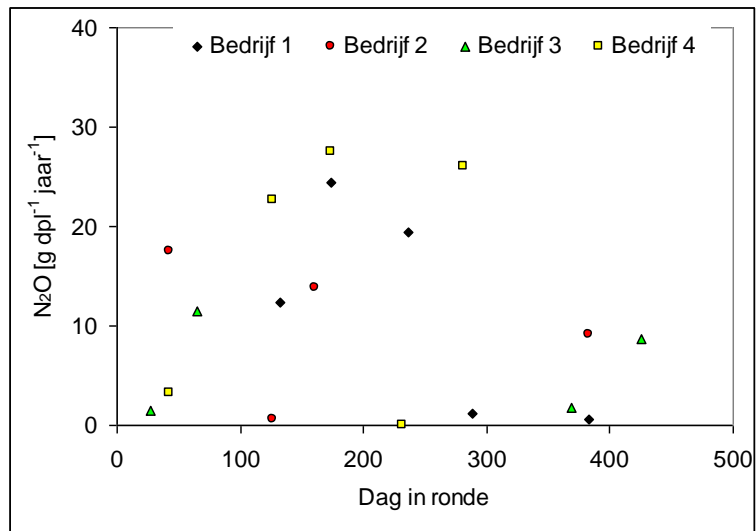


Figuur 8 Gemiddelde methaanemissies op de verschillende meetdagen voor de vier volièrestallen

Uit deze figuur blijkt dat de methaanemissie lijkt af te nemen in de loop van de legperiode. Op basis van deze gegevens werd een gemiddelde emissie berekend voor methaan per dierplaats van $27,3 \pm 10,6$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.8 Lachgasemissie

In Figuur 9 wordt de lachgasemissie op de verschillende meetdagen voor de vier volièrestallen weergegeven.



Figuur 9 Gemiddelde lachgasemissies op de verschillende meetdagen voor de vier volièrestallen

Uit deze figuur blijkt dat de lachgasemissie geen duidelijke trend volgde over de legperiode. Binnen een bedrijf kwamen dagen met een lage emissie en dagen met een hoge emissie voor. Op basis van deze gegevens werd een gemiddelde emissie berekend voor lachgas per dierplaats van $11,2 \pm 4,1$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

4 Discussie

In het hoofdstuk resultaten zijn de verschillende emissies op jaarbasis berekend zonder correctie voor leegstand. Volgens de meetprotocollen dienen bij de berekening van de emissiefactoren voor leghennen in volièrehuisvesting in het geval van stof, methaan, lachgas en ammoniak een gemiddelde correctie voor leegstand van 0,96 (4% leegstand) te worden toegepast. In Tabel 4 worden de in dit onderzoek gemeten, voor leegstand gecorrigeerde, emissiecijfers weergegeven. Ter vergelijking zijn voor stof de emissiefactoren opgenomen die zijn gebaseerd op de eerdere totaalstofmetingen van Groot Koerkamp e.a., (1996) en die zijn omgewerkt naar PM10 en PM2,5 door Chardon en van der Hoek (2002). In Tabel 4 staan deze opgenomen in de kolom gehanteerde emissiefactoren. Deze waarden worden sinds 2008 gehanteerd in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (Rbl 2007). Voor ammoniak en geur kunnen de metingen vergeleken worden met de corresponderende waarden in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) en de Regeling geur en veehouderij (Rgv).

Tabel 4 Emissies van PM10, PM2,5, totaalstof, ammoniak, geur, methaan en lachgas, uitgedrukt per dierplaats; onderscheiden naar meetwaarden met en zonder leegstandcorrectie voor zover vereist volgens meetprotocol; eerdere Rbl 2007-, Rav- en Rgv-waarden (zie tekst)

Emissie	Waarde huidige metingen (niet gecorr. voor leegstand)	Waarde huidige metingen (gecorrigeerd voor leegstand)	Gehanteerde emissiefactoren
PM10 (g/dierplaats per jaar)	67,3 ± 13,8	64,6 ± 13,2 ¹⁾	58 ²⁾
PM2,5 (g/dierplaats per jaar)	4,0 ± 0,9	3,9 ± 0,8 ¹⁾	10,3 ³⁾
Totaalstof (g/dierplaats per jaar)	-	-	129 ⁴⁾
Ammoniak (g/dierplaats per jaar)	134 ± 83	129 ± 80 ¹⁾	E2.11.1: 90 E2.11.2: 55
Geur (OU _E /dierplaats per s)	0,20 ± 0,04	0,20 ± 0,04	0,34
Methaan (g/dierplaats per jaar)	27,3 ± 10,6	26,2 ± 10,2 ¹⁾	-
Lachgas (g/dierplaats per jaar)	11,2 ± 4,1	10,8 ± 3,9 ¹⁾	-

¹⁾ Gecorrigeerd voor leegstand van 4%

²⁾ Berekend als (0,45 * emissie totaalstof) door Chardon en Van der Hoek (2002)

³⁾ Berekend als (0,08 * emissie totaalstof) door Chardon en Van der Hoek (2002)

⁴⁾ Gebaseerd op metingen in scharrelhuisvesting

Uit Tabel 4 blijkt dat de huidige metingen van de PM10 emissie iets hogere waarden laten zien (64,6 g) dan de huidige emissiefactor (58 g). Voor PM2,5 ligt de gemeten waarde ongeveer een factor 2,5 lager dan de eerder gehanteerde waarde. Tot nu toe werd het aandeel PM2,5 stof in PM10 stof geschat op ca. 18% (zie Tabel 4). De huidige metingen laten zien dat deze verhouding een stuk lager ligt, namelijk op 6%. De tot nu toe gehanteerde waarden waren gebaseerd op extrapolaties vanuit ander onderzoek en vanuit andere deeltjesgroottes. De huidige metingen zijn de eerste metingen in Nederland waarbij PM10 en PM2,5 gelijktijdig zijn gemeten volgens een vastgesteld meetprotocol (Hofschreuder e.a., 2008).

De berekende ammoniakemissie op basis van de huidige metingen (129 g) ligt beduidend hoger dan de huidige emissiefactoren voor beide systemen (met en zonder mestbeluchting). Het is opvallend dat bedrijven 1 en 4 de hoogste ammoniakemissie hadden, terwijl bedrijf 4 een mestbandsysteem had met beluchting. Bedrijven 1 en 4 hadden daarentegen wel de laagste PM10 emissie. Dit zou te maken kunnen hebben met het drogestofgehalte van het strooisel. Een lager drogestofgehalte van het strooisel geeft bij leghennen een hogere ammoniakemissie. Voor de fijnstofemissie daarentegen, is een lager drogestofgehalte juist gunstig; de emissie van fijnstof is lager uit strooisel met een laag drogestofgehalte. Voor geur ligt het gemiddelde van de huidige metingen (0,20 OU_E/s) de helft lager dan de eerder gehanteerde emissiefactor (0,34 OU_E/s).

Het is moeilijk om bedrijven die in het onderzoek hebben meegedaan met elkaar te vergelijken ten aanzien van emissies. Dit is vooral moeilijk omdat zes metingen van één bedrijf onvoldoende zijn om het bedrijf voldoende nauwkeurig te karakteriseren ten aanzien van emissies. Het meetprotocol is dusdanig opgezet dat alle metingen van alle bedrijven (ca. 24) nodig zijn om een voldoende nauwkeurige emissiefactor vast te stellen. Zes metingen op één bedrijf zijn onvoldoende om voor dat bedrijf alleen een emissiefactor vast te stellen. Deze 6 metingen kunnen voor één bedrijf net gunstig uitvallen, bijvoorbeeld door minder waarnemingen gedurende de laatste weken van de

productieperiode (wanneer de emissies hoog zijn), minder waarnemingen in perioden met hoge luchtvochtigheid (wanneer het strooisel vochtiger en de stofconcentraties lager zijn) of juist ongunstig uitvallen. Het is daarom vaak speculatief om verklaringen te vinden waarom één bedrijf een hogere of juist een lagere emissie heeft dan een ander bedrijf. Dit afgezien van het feit dat er zoveel factoren verschillend zijn dat het zeer moeilijk is om een duidelijke oorzaak aan te wijzen.

De waarnemingen waren gemiddeld redelijk gespreid over de legperiode van ca. 400 dagen. Het gemiddelde dagnummer van de metingen na opzet van de leghennen was 196. Tussen bedrijven waren er wel verschillen, bedrijf 1 had wat meer waarnemingen in de tweede helft van de legperiode (gemiddeld dagnummer 256), terwijl bedrijf 2 meer waarnemingen had in de eerste helft van de legperiode (gemiddeld dagnummer 134). De andere twee bedrijven zaten ongeveer op het gemiddelde (gemiddelde dagnummers 193 en 200). Er zijn relatief veel waarnemingen gedaan in de tweede helft van 2008. Het gemiddelde dagnummer in het jaar was 225. De gemiddelde temperatuur op de dagen waarop is gemeten (9,5 °C) komt echter vrij goed overeen met het langjarige gemiddelde in Nederland (9,8 °C). De set van metingen is dus bij representatieve temperatuursomstandigheden verricht.

5 Conclusies

Op basis van dit onderzoek in vier leghennenstallen met volièrehuisvesting zijn de volgende jaaremissies bepaald, waarbij is gerekend met 4% leegstand voor de stof-, methaan-, lachgas- en ammoniakemissies (berekende emissiefactor \pm de standaarddeviatie tussen bedrijven):

- PM10 emissie: $64,6 \pm 13,2$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $3,9 \pm 0,8$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: 129 ± 80 g/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,20 \pm 0,04$ OUE/dierplaats per s (niet gecorrigeerd voor leegstand)
- Methaanemissie: $26,2 \pm 10,2$ g/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $10,8 \pm 3,9$ g/dierplaats per jaar

De volgende conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de stofemissie:

- de emissie van PM10 is iets hoger dan de eerder gehanteerde emissiefactor voor PM10 (58 g/dierplaats per jaar);
- de emissie van PM2,5 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde waarde voor PM2,5 (10,3 g/dierplaats per jaar).

Literatuur

- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Chardon, W. J. en K. W. Van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. p 35. Alterra / RIVM, Wageningen.
- CIGR, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik).
- Groot Koerkamp, P. W. G., G. H. Uenk en H. Drost. 1996. De uitstoot van respirabelstof door de Nederlandse veehouderij. Rapport 96-10, Instituut voor Milieu- en Agritechniek.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera, N.W.M. Ogink en J.M.G. Hol. 2007 Meetprotocol voor het bepalen van een emissiefactor voor methaan uit stalsystemen. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A.J.A. Aarnink and 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.
- Mosquera, J. en C.M. Groenestein. 2008. Bouwstenen voor een meetprotocol voor het bepalen van een emissiefactor voor lachgas uit stalsystemen. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- 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. 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. 2008. Protocol voor het meten van de geuremissie uit stalsystemen in de veehouderij. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Ogink, N.W.M., J.M.G. Hol, J. Mosquera en H.M. Vermeer. 2008. Bouwstenen voor een nieuw meetprotocol ammoniak emissiemetingen voor huisvestingssystemen in de veehouderij. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- 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.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M.J.W. Heetkamp and A.J.A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- 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.
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds. E.N.J. van Ouwkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. Journal of Aerosol Science, Vol. 40, Issue 10, October 2009, pp. 868-878.

Bijlagen

Bijlage 1 Foto's volièrestal 1



Achtergevel stal, met ventilatoren (uitgaande lucht)



Meting ingaande lucht onder winddrökkap



Binnenzijde inlaatventielen in zijgevel



Binnenzijde ventilatoren voor de uitgaande lucht



Het volièresysteem in de stal

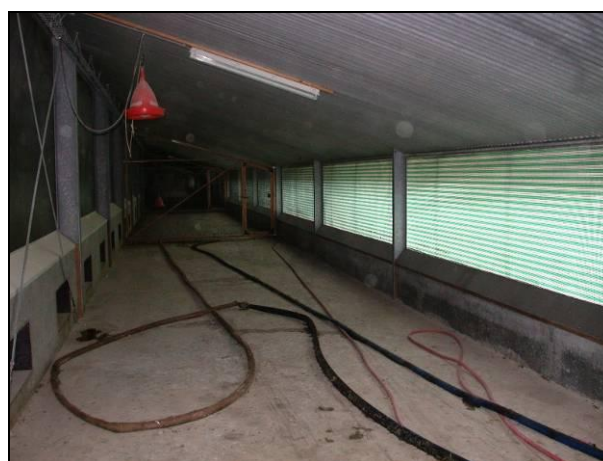
Bijlage 2 Foto's volièrestal 2



Overzicht van de stallen (achtergevels met luchtuitlaat)



Leghennen in het volièresysteem



De wintergarten



Meting van de ingaande lucht



Detailfoto van de meting van de ingaande lucht



Meting van de uitgaande lucht



Binnenzijde ventilatoren voor de uitgaande lucht

Bijlage 3 Foto's volièrestal 3



Achtergevel met luchtuitleet (linker stal)



Binnenzijde ventilatoren voor de uitgaande lucht



Binnenzijde inlaatventiel in zijgevel

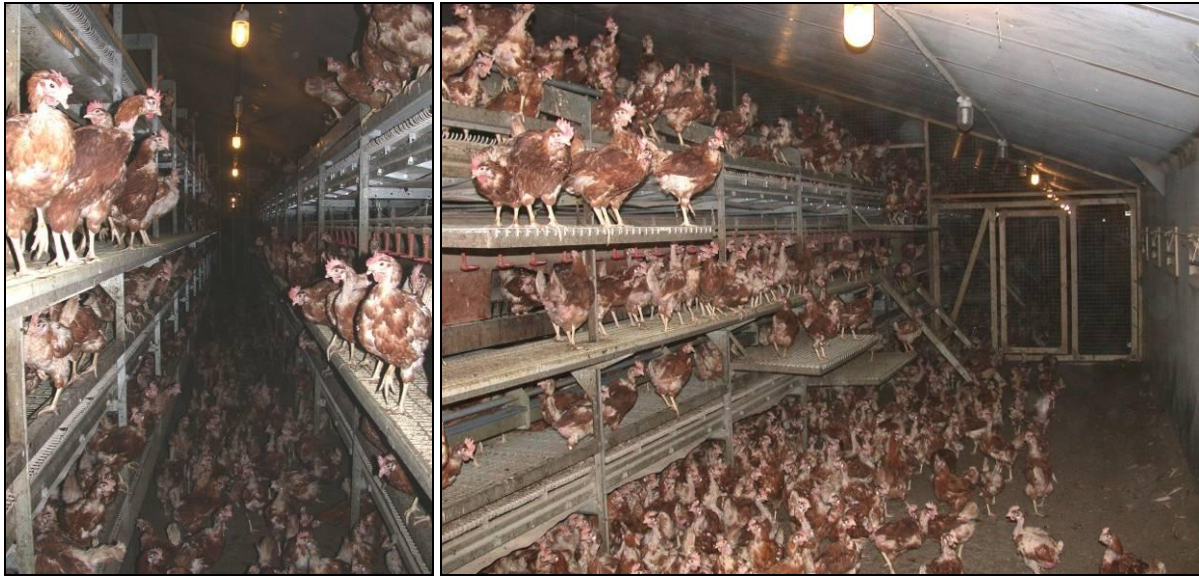


Ruimte tussen Red L volièresysteem en zijgevel



Red L volièresysteem met legnesten in de zolderetage

Bijlage 4 Foto's volièrestal 4



Volièresysteem in de stal



Luchtinlaat (winddrukcap, stal rechts)



Detailfoto luchtinlaat buitenzijde



Binnenzijde inlaatventiel in zijgevel



Binnenzijde ventilatoren voor de uitgaande lucht



Achtergevel stal, met ventilatoren voor de uitgaande 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