

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 275

Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens

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 onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

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

Keywords

Fine dust, emission, poultry, broilers

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

A. Winkel
J. Mosquera
R.K. Kwikkel
F.A. Gerrits
N.W.M. Ogink
A.J.A. Aarnink

Titel

Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens
Rapport 275 – herziene versie

Samenvatting

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

Trefwoorden

Fijnstof, emissie, pluimvee, vleeskuikens

Rapport 275

Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens

Dust emission from animal houses: broilers

A. Winkel
J. Mosquera
R.K. Kwikkel
F.A. Gerrits
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 18% gebruikt om de jaaremissies 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 vleeskuikenstallen.

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 vleeskuikenstallen op verschillende locaties. Per locatie zijn zes (bedrijf 1, 2 en 4) of vijf (bedrijf 3) metingen van 24 uur (voor geur twee uur) verricht, verspreid over het jaar en over de groeiperiode van de dieren.

Op basis van dit onderzoek in vier vleeskuikenstallen zijn de volgende jaaremissies bepaald, waarbij voor stof-, methaan-, lachgas- en ammoniakemissies is gerekend met 18% leegstand (berekende emissiefactor $\pm$ de standaarddeviatie tussen bedrijven):

- PM10 emissie: $21,9 \pm 7,3$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $1,6 \pm 0,7$ g/dierplaats per jaar
- Totaal stofemissie: $44,5 \pm 21,8$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: $72,0 \pm 25,0$ g/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,39 \pm 0,04$ OUE/dierplaats per s (niet gecorrigeerd voor leegstand)
- Methaanemissie: $3,6 \pm 2,5$ g/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $8,9 \pm 7,8$ g/dierplaats per jaar

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

- de emissie van PM10 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde emissiefactor voor PM10 (53 g/dierplaats per jaar);
- de emissie van PM2,5 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde waarde voor PM2,5 (9,4 g/dierplaats per jaar);
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM10 (0,49) is vergelijkbaar met de conversiefactor (0,45) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven;
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM2,5 (0,036) is beduidend lager dan de conversiefactor (0,08) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven.

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 broiler houses 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 broiler houses at different locations. For each location, six (farms 1, 2 and 4) or five (farm 3) 24-h measurements (for odour two h) have been performed spread over the year and spread over the growing period of the animals.

Based on this study in four broiler houses the following yearly emissions have been determined, corrected for an empty period of 18% in case of dust, methane, nitrous oxide and ammonia emissions (calculated emission factors $\pm$ standard deviation between farms):

- PM10 emission: 21.9 ± 7.3 g/animal place per year
- PM2.5 emission: 1.6 ± 0.7 g/animal place per year
- Total dust emission: 44.5 ± 21.8 g/animal place per year
- Ammonia emission: 72.0 ± 25.0 g/animal place per year
- Odour emission: 0.39 ± 0.04 OUE/animal place per s (not corrected for empty period)
- Methane emission: 3.6 ± 2.5 g/animal place per year
- Nitrous oxide emission: 8.9 ± 7.8 g/animal place per year

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

- the emission of PM10 is considerably lower than the previously used emission factor for PM10 (53 g/animal place per year);
- the emission of PM2.5 is considerably lower than the previously used emission value for PM2.5 (9.4 g/animal place per year);
- the conversion factor for total dust to PM10 (0.49) is comparable with the value (0.45) described by Chardon and Van der Hoek (2002);
- the conversion factor for total dust to PM2.5 (0.036) is considerably lower than the value (0.08) described by Chardon and Van der Hoek (2002).

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Hoofddijn opzet meetprogramma.....	2
2.2	Beschrijving vleeskuikenstallen	3
2.3	Metingen	8
2.3.1	Stofmetingen.....	9
2.3.2	Ammoniakmetingen	10
2.3.3	Geurmetingen	11
2.3.4	Broeikasgasmetingen	11
2.3.5	Ventilatie-debiet	12
2.3.6	Metingen temperatuur en RV.....	12
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	15
3.6	Geuremissie	15
3.7	Methaanemissie	16
3.8	Lachgasemissie	16
4	Discussie	17
5	Conclusies	19
	Literatuur.....	20
	Bijlagen.....	21
Bijlage 1	Foto's vleeskuikenstal 1	21
Bijlage 2	Foto's vleeskuikenstal 2	22
Bijlage 3	Foto's vleeskuikenstal 4	23

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, PM_{2,5}) 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 PM_{2,5} heeft vastgesteld is het van belang om in additioneel onderzoek PM_{2,5} 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 PM_{2,5} 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 PM_{2,5} is binnen dit project naast PM₁₀ gelijktijdig ook PM_{2,5} 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 PM_{2,5} 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 vleeskuikenstallen.

2 Materiaal en methode

2.1 Hoofdlijn opzet meetprogramma

De metingen aan vleeskuikenstallen 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. De specifieke uitvoering van de toegepaste werkwijze bij vleeskuikenstallen wordt in de volgende paragrafen verder toegelicht.

2.2 Beschrijving vleeskuikenstallen

De belangrijkste kenmerken van de vier vleeskuikenstallen in dit onderzoek worden weergegeven in Tabel 2. Foto-impressies van de drie van de vier bemeten vleeskuikenstallen worden weergegeven in bijlagen 1 t/m 3.

Tabel 2a Belangrijkste kenmerken vleeskuikenstal 1 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Vleeskuikenstal met grondhuisvesting metvoer- en waterlijnen en lengteventilatie
Rav code en emissiefactoren 2008	E Hoofdcategorie Kippen E 5 Diercategorie Vleeskuikens E 5.100 Overige huisvestingssystemen Emissie NH ₃ : 0,080 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,24 OU _E per seconde per dier Emissie PM10: 53 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	65 x 12 x 2,5/4,5 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: 780 m ² , stalinhoud: 2730 m ³
Aantal vleeskuikens bij opzet	19.000
Bezetting bij opzet	Ca. 24 kuikens per vierkante meter
Dieren	Ross 308 vleeskuikens
Luchtinlaat	37 inlaatkleppen per zijwand; 74 in totaal
Luchtuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 6 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	3 regelbare ventilatoren (Ø 0,55 m) van elk max. 8.200 m ³ /uur, 1 aan/uit ventilator (Ø 0,80 m) van max. 14.000 m ³ /uur en 2 aan/uit ventilatoren (Ø 1,30 m) van elk max. 40.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 118.600 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Afhankelijk van staltemperatuur
Temperatuurinstellingen	dag 0: 34°C dag 7: 30°C dag 14: 27°C dag 21: 24°C dag 28 t/m 42: 21°C
Verwarming	2 Heteluchtkanonnen van elk 55 kilowatt
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen watervernevelingsinstallatie aanwezig
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	3 Voerlijnen met 80 voerpannen elk; 240 voerpannen totaal. Gevoerd wordt een driefasenvoer: startvoer (0-10 d.), groeivoer (11-28 d.) en eindvoer (29-42 d.). Hoeveelheden: voer wordt onbeperkt verstrekt. Voertijden: gehele dag, behalve ongeveer drie uur per dag waarop de pannen leeg gegeten kunnen worden
Drinksysteem	4 Drinklijnen met 330 drinknippels elk; 1.320 drinknippels totaal, uitgevoerd met morsbakjes. Watertijden: drie uur aan/drie uur uit; aan van 00:00-03:00, 06:00-09:00, 12:00-15:00 en 18:00-21:00 uur
Strooisel	Houtkrullen
Lichtregime	21L:3D, licht aan van 06:00 tot 03:00 uur
Productie	Productiecyclus: 7 weken. Op 35 dagen wordt 25% van de kuikens uitgeladen op een gewicht van ±1700 gram. Op 42 dagen worden de resterende kuikens afgeleverd op een gewicht van ±2400 gram. Vervolgens 1 week leegstand

Tabel 2b Belangrijkste kenmerken vleeskuikenstal 2 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Vleeskuikenstal met grondhuisvesting metvoer- en waterlijnen en lengteventilatie
Rav code en emissiefactoren 2008	E Hoofdcategorie Kippen E 5 Diercategorie Vleeskuikens E 5.100 Overige huisvestingssystemen Emissie NH ₃ : 0,080 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,24 OU _E per seconde per dier Emissie PM10: 53 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	50 x 17,5 x 2,2/3,95 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: 875 m ² , stalinhoud: 2690 m ³
Aantal vleeskuikens bij opzet	21.300
Bezetting bij opzet	Ca. 24 kuikens per vierkante meter
Dieren	Ross 308 vleeskuikens
Luchtinlaat	42 Inlaatventielen per zijwand; 84 in totaal
Luchtuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 8 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	8 Variabele ventilatoren van elk max. 25.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 200.000 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Afhankelijk van staltemperatuur
Temperatuurinstellingen	33°C op dag 0, geleidelijk teruglopend tot 17 á 18°C op dag 28. Van dag 28 t/m 42: 17 á 18 °C
Verwarming	2 Heteluchtkanonnen van elk 75 kilowatt
Speciale klimaatvoorzieningen	Watervernevelingsinstallatie aanwezig
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	3 Voerlijnen met 64 voerpannen elk; 192 voerpannen totaal. Gevoerd wordt een driefasenvoer: startvoer (0-10 d.), groeivoer (10-28 d.) en eindvoer (28-46 d.). Hoeveelheden: voer wordt tijdens voertijden onbeperkt verstrekt. Voertijden: 01:00-04:00, 07:00-10:00, 13:00-16:00 en 19:00-22:00 uur
Drinksysteem	6 Drinklijnen met 267 drinknippels elk; 1602 drinknippels totaal, uitgevoerd met morsbakjes. Watertijden: 01:15-04:15, 07:15-10:15, 13:15-16:15 en 19:15-22:15
Strooisel	Houtkrullen
Lichtregime	Vier uren licht afgewisseld met twee uren donker: 01:00-05:00 L; 05:00-07:00 D; 07:00-11:00 L; 11:00-13:00 D; 13:00-17:00 L; 17:00-19:00 D; 19:00-01:00 D
Productie	Productiecyclus: 7 weken. Op 35 dagen wordt 25% van de kuikens uitgeladen op een gewicht van 1700-1800 gram. Op 42 dagen worden de resterende kuikens afgeleverd op een gewicht van 2400 gram. Vervolgens 1 week leegstand

Tabel 2c Belangrijkste kenmerken vleeskuikenstal 3 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Vleeskuikenstal met grondhuisvesting met voer- en waterlijnen en lengteventilatie
Rav code en emissiefactoren 2008	E Hoofdcategorie Kippen E 5 Diercategorie Vleeskuikens E 5.100 Overige huisvestingssystemen Emissie NH ₃ : 0,080 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,24 OU _E per seconde per dier Emissie PM10: 53 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	80 x 18,5 x 2,5/6,0 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: 1480 m ² , stalinhoud: 6290 m ³
Aantal vleeskuikens bij opzet	33.750
Bezetting bij opzet	Ca. 23 kuikens per vierkante meter
Dieren	Ross 308 vleeskuikens
Luchtinlaat	45 Inlaatventielen in linker zijgevel, 48 in rechter zijgevel en 4 in de kopgevel; 97 in totaal. Afmetingen: 56 x 32 cm
Luchtuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 9 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	3 ventilatoren (Ø 0,50 m) van elk max. 8.000 m ³ /uur, 1 ventilator (Ø 0,80 m) van max. 16.000 m ³ /uur en 5 ventilatoren (Ø 1,30 m) van elk max. 36.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 220.000 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Afhankelijk van staltemperatuur en luchtvochtigheid stal
Temperatuurinstellingen	34°C op dag 0, geleidelijk teruglopend tot 17°C op dag 49
Verwarming	2 gasgestookte heteluchtkanonnen
Speciale klimaatvoorzieningen	Waterniveleeringsinstallatie aanwezig
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	4 Voerlijnen met 100 voerpannen (merk: Minimax, Roxell) elk; 400 voerpannen totaal. Gevoerd wordt een driefasenvoer: startvoer (0-10 d.), groeivoer (11-28 d.) en afmestvoer (29-49 d.). Hoeveelheden: onbeperkt tijdens voertijden. Voertijden: tijdens lichtperiodes
Drinksysteem	6 Drinklijnen met ±500 drinknippels elk (merk Avtron); 3500 drinknippels totaal, uitgevoerd met morsbakjes. Watertijden: tijdens lichtperiode
Strooisel	Houtkrullen
Lichtregime	Vier uren licht afgewisseld met vier uren donker: 23:00-03:00 L; 03:00-07:00 D; 07:00-11:00 L; 11:00-15:00 D; 15:00-19:00 L; 19:00-23:00 D
Productie	Productiecyclus: 8 weken. Op 36 dagen wordt 25% van de kuikens uitgeladen op een gewicht van ±1850 gram. Op 49 dagen worden de resterende kuikens afgeleverd op een gewicht van ±2750 gram. Vervolgens 1 week leegstand

Tabel 2d Belangrijkste kenmerken vleeskuikenstal 4 in dit onderzoek

Kenmerk	Beschrijving
Omschrijving stal/afdeling	Vleeskuikenstal met grondhuisvesting met voer- en waterlijnen en lengteventilatie
Rav code en emissiefactoren 2008	E Hoofdcategorie Kippen E 5 Diercategorie Vleeskuikens E 5.100 Overige huisvestingssystemen Emissie NH ₃ : 0,080 kg NH ₃ per dierplaats per jaar Emissie Geur: 0,24 OU _E per seconde per dier Emissie PM10: 53 g per dierplaats per jaar
Afmetingen (l x b x h ^{goot} /h ^{nok})	80 x 30 x 2,7/7,8 m
Staloppervlak en stalinhoud	Staloppervlak: 2.400 m ² , stalinhoud: 12.600 m ³
Aantal vleeskuikens bij opzet	52.000
Bezetting bij opzet	Ca. 22 kuikens per vierkante meter
Dieren	Ross 308 vleeskuikens
Luchtinlaat	Inlaatkleppen in de zijgevels; ongeveer 65 in totaal
Luchtuitlaat	Lengteventilatie mechanisch, met 15 ventilatoren in de achtergevel
Max. ventilatiecapaciteit	9 ventilatoren van elk max. 32.000 m ³ /uur en 6 ventilatoren van elk max. 11.000 m ³ /uur. Totaal geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit: 354.000 m ³ /uur
Ventilatie-instellingen	Afhankelijk van leeftijd en staltemperatuur
Temperatuurinstellingen	35°C op dag 0, geleidelijk teruglopend tot 22°C op dag 21 tot einde van de ronde
Verwarming	4 Heteluchtkanonnen van elk 80.000 calorieën die per tweetal automatisch aan- en uitschakelen
Speciale klimaatvoorzieningen	Watervernevelingsinstallatie aanwezig
Voersysteem, voersoorten, hoeveelheden en voertijden	6 Voerlijnen met 100 voerpannen elk; 600 voerpannen totaal. Gevoerd wordt een driefasenvoer: startvoer (0-10 d.), groeivoer (11-28 d.) en eindvoer (29-45 d.). Hoeveelheden: onbepikt met een max. aantal kilogram per dag; aan het einde van de dag zijn de voerpannen enkele uren leeg. Voertijden: gehele dag
Drinksysteem	7 Drinklijnen met ±500 drinknippels elk; 3500 á 3600 drinknippels totaal, uitgevoerd met morsbakjes. Watertijden: onbepikt
Strooisel	Houtkrullen
Lichtregime	Continue verlichting, 24L:0D
Productie	Productiecyclus: 7,5 week. Op 35 dagen worden 12.000 kuikens (23%) uitgeladen op een gewicht van 1700-1800 gram. Op 45 dagen worden de resterende kuikens afgeleverd op een gewicht van 2500-2600 gram. Vervolgens 1 week leegstand

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	12-2-2008	15-4-2008	21-5-2008	18-8-2008	15-10-2008	3-12-2008
	Dagnr.	22	36	23	17	30	33
	T-buiten	4,4	5,8	12,5	16,5	14	3,5
	RV-buiten	90	75	69	83	90	80
	T-stal	22,5	18,0	*)	29,5	21,2	19,7
	RV-stal	86,4	65,6	*)	76,2	76,0	76,2
2	Datum	4-3-2008	13-5-2008	11-8-2008	6-10-2008	1-12-2008	9-2-2009
	Dagnr.	13	34	25	31	39	12
	T-buiten	1,7	17,9	16,9	11,5	2,3	1,7
	RV-buiten	82	58	77	97	97	95
	T-stal	29,1	24,8	23,5	*)	17,4	28,2
	RV-stal	59,0	54,8	69,1	*)	79,2	50,5
3	Datum	27-5-2008	18-8-2008	27-10-2008	4-12-2008	11-2-2009	
	Dagnr.	42	13	27	7	22	
	T-buiten	17,6	16,6	7,5	2,4	2,1	
	RV-buiten	84	91	88	96	86	
	T-stal	22,3	29,5	22,0	28,9	26,3	
	RV-stal	*)	76,7	66,4	52,1	67,5	
4	Datum	16-1-2008	6-5-2008	7-7-2008	15-9-2008	17-11-2008	14-1-2009
	Dagnr.	29	33	42	7	18	27
	T-buiten	6,7	18,3	15,5	11,5	5,2	3,4
	RV-buiten	87	56	79	79	79	97
	T-stal	21,8	24,4	*)	*)	*)	*)
	RV-stal	73,1	55,7	*)	*)	*)	*)

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

In de meetprotocollen voor vleeskuikens wordt uitgegaan van het per bedrijf uitvoeren van drie metingen in de eerste helft en drie metingen in de tweede helft van de ronde. Rondeverloop-effecten op de emissie kunnen daardoor meer gebalanceerd worden meegenomen. Tijdens de uitvoering van de metingen werd duidelijk dat stofemissieniveaus fors hoger zijn en veel meer spreiding vertonen in het tweede deel van de rondes. Dit heeft er toe geleid dat uiteindelijk meer metingen zijn opgenomen in het tweede deel van de rondes met de verwachting een nauwkeuriger gemiddeld niveau te kunnen vaststellen. Om vervolgens een representatief gemiddelde te kunnen berekenen is de berekeningswijze voor het gemiddelde aangepast ten opzichte van het meetprotocol (zie 2.4).

2.3.1 Stofmetingen

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens meetdagen van 24 uur:

- duplo 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (PM10) van de uitgaande stallucht en enkelvoudige 24-uurs monsters van PM10 van de ingaande stallucht;
- duplo 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan $2,5\ \mu\text{m}$ (PM2,5) van de uitgaande stallucht en enkelvoudige 24-uurs monsters van PM2,5 van de ingaande stallucht;
- minuutmonsters van deeltjes kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (PM10) van de uitgaande stallucht;
- enkelvoudige 24-uurs monsters van totaalstof van de uitgaande stallucht.



Figuur 1 Monsterapparatuur voor PM10 en PM2,5. Linksboven: de 'constant flow' monsternamerpomp. 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 monsternam-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de standaard referentie monsternamkoppen 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 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 monsternametekop (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 monsternametekoppen naar impactor monsternametekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

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

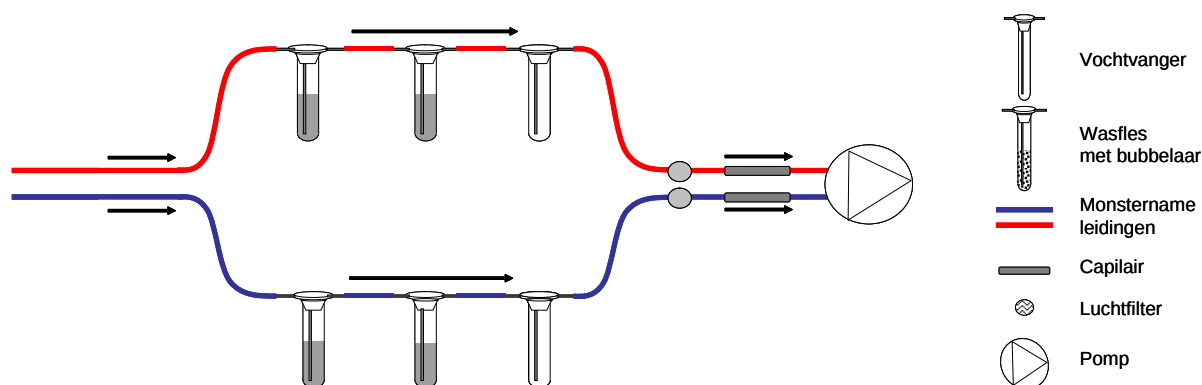
PM2,5: geen correctie

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 monsternametekoppen (SKC Inc., Pennsylvania, VS) bij een debiet van $2,0\text{ l}/\text{min}$. 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 ($\sim 1,0\text{ l}/\text{min}$) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van $\sim 1,0\text{ l}/\text{min}$. 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 $0,05\text{ M}$. 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 monsternameleiding 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 $\text{OU}_\text{E}/\text{m}^3$ en $\text{OU}_\text{E}/\text{s}$. 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 CH_4 -, N_2O - en CO_2 -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 (CH_4 , CO_2), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : 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 [CO₂]_{stal} en [CO₂]_{buiten}; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m³/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 (m³/uur) wordt dan bepaald op basis van:

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

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 ± 1,0 °C en ± 2%, en de data werden opgeslagen in een datalogstelsel (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, ..., 6) de emissies van fijnstof, ammoniak, methaan en lachgas (E_{ij}) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatie-debiet (V_{ij}) en de gemiddelde concentraties van de uitgaande lucht (C_{uitij}) en de ingaande lucht (C_{inij}):

$$E_{ij} = V_{ij} \times (C_{\text{uit}_{ij}} - C_{\text{in}_{ij}})$$

Voor alle bedrijven (j=1, 2, 3, 4) werden per meetdag (i=1, 2, ..., 6) de emissies van totaal stof en geur (E_{ij}) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatie-debiet over de meetperiode (V_{ij}) en de gemiddelde concentraties van de uitgaande lucht (C_{uitij}):

$$E_{ij} = V_{ij} \times C_{\text{uit}_{ij}}$$

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, en uitgedrukt als natuurlijke logaritme.

In afwijking van het meetprotocol is de gemiddelde emissie niet berekend als overall gemiddelde. Op basis van de dag in de productiecyclus waarop de emissies werden gemeten, werden de emissies ingedeeld in drie perioden van twee weken (k=1, 2, 3) binnen een productiecyclus van zes weken. Per periode werd daarna een gemiddelde emissie berekend (E_k). De emissie (E) op jaarbasis per dierplaats werd vervolgens bepaald als de gemiddelde emissie over de drie verschillende perioden in de productiecyclus:

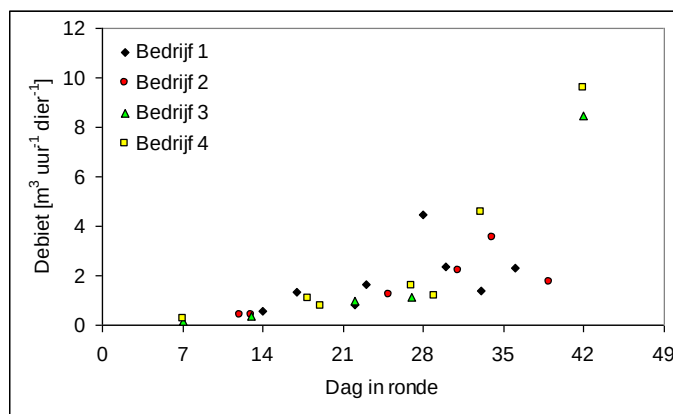
$$E = \overline{E_k}$$

De berekening vanuit drie periodegemiddeldes is toegepast omdat het aantal waarnemingen in de tweede helft van de ronde groter was dan in de eerste helft (zie inleiding van paragraaf 2.3). 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 vleeskuikenstallen weergegeven.

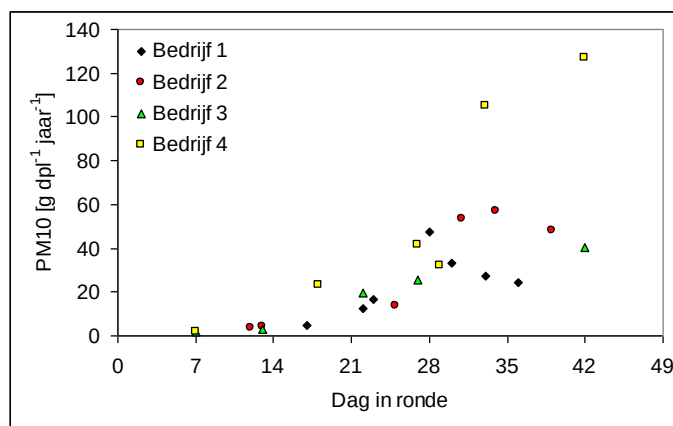


Figuur 3 Gemiddeld ventilatie-debiet op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de ventilatie-debieten laag waren aan het begin van de productieronden en toenamen naarmate de vleeskuikens ouder werden, eindigend met hoge ventilatie-debieten aan het einde van de ronde. De gemeten ventilatie-debieten en de trend hierin waren consistent tussen de vier bedrijven. Bedacht moet worden dat metingen op dezelfde dagen in een ronde in verschillende seizoenen gedaan kunnen zijn.

3.2 PM10 emissie

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

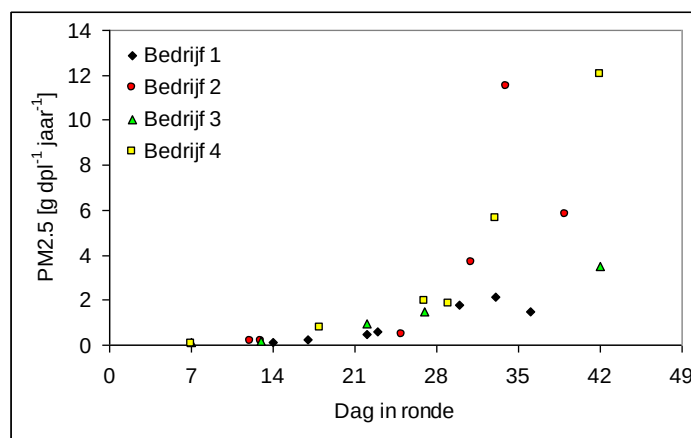


Figuur 4 Gemiddelde PM10 emissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de PM10 emissies laag waren aan het begin van de productieronden en toenamen naarmate de vleeskuikens ouder werden. De emissies van de vier bedrijven geven samen een consistent beeld. Alleen bedrijf 4 lijkt een hogere PM10 emissie te hebben aan het einde van de ronde ten opzichte van bedrijven 1, 2 en 3. Op basis van de resultaten weergegeven in Figuur 3 werd een jaaremissie berekend voor PM10 per dierplaats van $26,8 \pm 8,8$ 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 vleeskuikenstallen weergegeven.

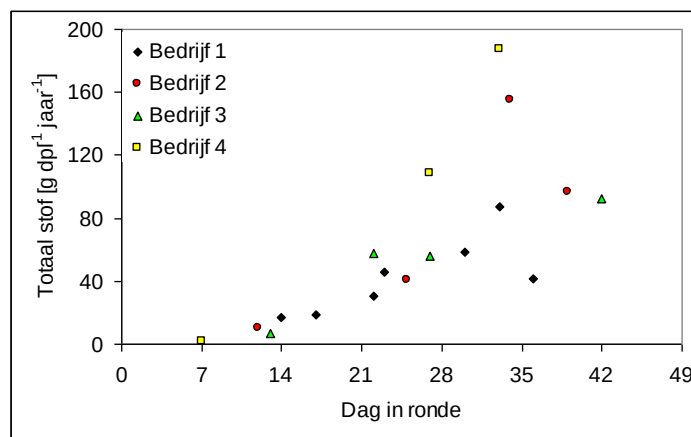


Figuur 5 Gemiddelde PM2,5 emissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de PM2,5 emissies laag waren bij het begin van de productieronden en toenamen naarmate de vleeskuikens ouder werden. De PM2,5 emissies van de vier bedrijven geven samen een consistent beeld. Aan het einde van de ronde nam de spreiding in emissie tussen de vier bedrijven toe. Op basis van deze gegevens werd een jaaremissie berekend voor PM2,5 per dierplaats van $2,0 \pm 0,9$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.4 Totaalstofemissie

In Figuur 6 wordt de totaalstofemissie op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen weergegeven.

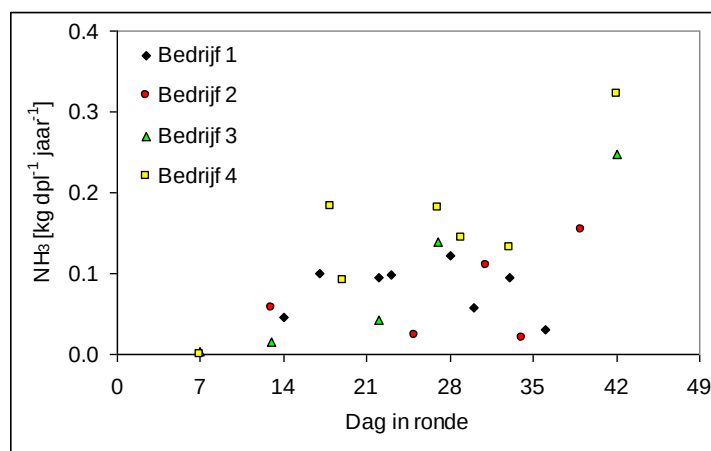


Figuur 6 Gemiddelde totaalstofemissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de totaalstofemissies laag waren in het begin van de productieronden en toenamen naarmate de vleeskuikens ouder werden. De totaalstofemissies van de vier bedrijven geven samen een consistent beeld. Vanwege problemen op sommige meetdagen zijn voor totaalstof een aantal metingen uitgevallen. Aan het einde van de ronde nam de spreiding in emissie tussen de vier bedrijven toe. Op basis van deze gegevens werd een jaaremissie berekend voor totaalstof per dierplaats van $54,2 \pm 26,5$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.5 Ammoniakemissie

In Figuur 7 wordt de ammoniakemissie op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen weergegeven.

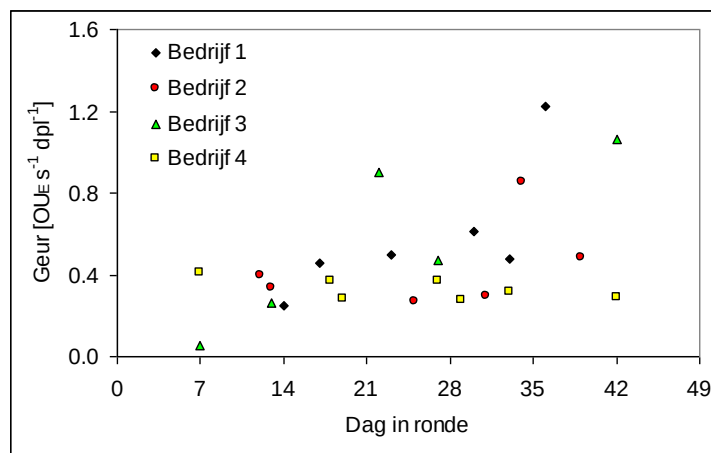


Figuur 7 Gemiddelde ammoniakemissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de ammoniakemissie toenam met de leeftijd van de dieren. Er was een grote variatie in ammoniakemissie binnen en tussen bedrijven. Bedacht moet worden dat meetpunten binnen een bedrijf niet op opeenvolgende momenten van dezelfde ronde gedaan zijn, maar gedaan zijn tijdens verschillende ronden in verschillende seizoenen. Bedrijf 4 lijkt een hogere ammoniakemissie te hebben dan de andere bedrijven. Op basis van deze gegevens werd een jaaremissie berekend voor ammoniak per dierplaats van $87,8 \pm 30,5$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.6 Geuremissie

In Figuur 8 wordt de geuremissie op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen weergegeven.

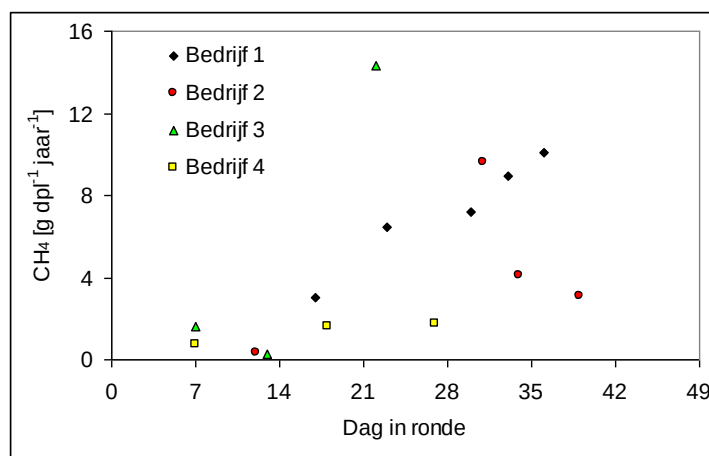


Figuur 8 Gemiddelde geuremissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de geuremissie vrij constant was over de productieperiode. Alleen aan het einde van de ronde lijken de emissies toe te nemen en werd de spreiding tussen de bedrijven groter. Op basis van deze gegevens werd een (mediane) geuremissie op jaarbasis berekend per dierplaats van $0,39 \pm 0,04$ OU_E/s (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.7 Methaanemissie

In Figuur 9 wordt de methaanemissie op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen weergegeven.

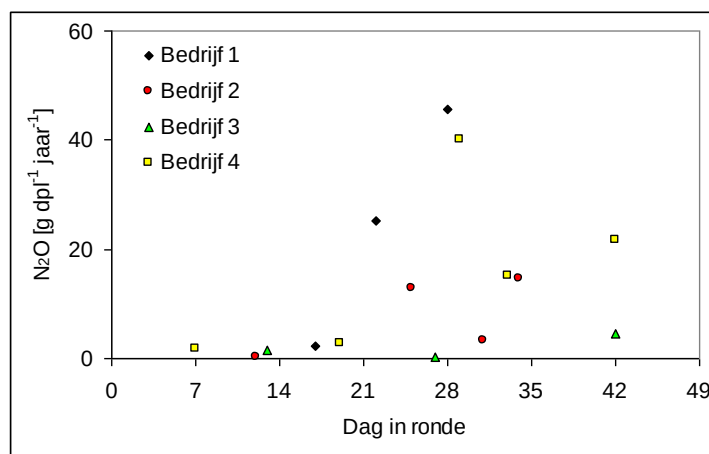


Figuur 9 Gemiddelde methaanemissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de methaanemissie toenam met de leeftijd van de dieren. Op basis van deze gegevens werd een gemiddelde emissie berekend voor methaan per dierplaats van $4,4 \pm 3,1$ g/jaar (niet gecorrigeerd voor leegstand).

3.8 Lachgasemissie

In Figuur 10 wordt de lachgasemissie op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen weergegeven.



Figuur 10 Gemiddelde lachgasemissies op de verschillende meetdagen voor de vier vleeskuikenstallen

Uit deze figuur blijkt dat de lachgasemissie toenam met de leeftijd van de dieren. Vanaf dag 21 van de ronde nam ook de spreiding tussen de bedrijven duidelijk toe. Op basis van deze gegevens werd een gemiddelde emissie berekend voor lachgas per dierplaats van $10,9 \pm 9,6$ 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 vleeskuikens in het geval van stof, methaan, lachgas en ammoniak een gemiddelde correctie voor leegstand van 0,82 (18% 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)	26,8 ± 8,8	21,9 ± 7,3 ¹⁾	53 ²⁾
PM2,5 (g/dierplaats per jaar)	2,0 ± 0,9	1,6 ± 0,7 ¹⁾	9,4 ³⁾
Totaalstof (g/dierplaats per jaar)	54,2 ± 26,5	44,5 ± 21,8 ¹⁾	118
Ammoniak (g/dierplaats per jaar)	87,8 ± 30,5	72,0 ± 25,0 ¹⁾	80
Geur (OU _E /dierplaats per s)	0,39 ± 0,04	0,39 ± 0,04	0,24
Methaan (g/dierplaats per jaar)	4,4 ± 3,1	3,6 ± 2,5 ¹⁾	-
Lachgas (g/dierplaats per jaar)	10,9 ± 9,6	8,9 ± 7,8 ¹⁾	-

¹⁾ Gecorrigeerd voor leegstand van 18%

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)

Uit Tabel 4 kan opgemaakt worden dat de huidige metingen beduidend lagere stofemissiecijfers laten zien voor de verschillende fracties (PM10, PM2,5 en totaalstof) dan de eerder gehanteerde waarden. In dit onderzoek werd een conversiefactor tussen totaalstof en PM10 berekend van 0,49. Dit is vergelijkbaar met de waarde (0,45) die is beschreven door Chardon en Van der Hoek (2002). Deze auteurs hanteren een conversiefactor tussen totaalstof en PM2,5 van 0,08. Dit is beduidend hoger dan de waarde die gevonden werd in dit onderzoek, namelijk 0,036.

De eerder gehanteerde fijnstofemissiefactoren (PM10) zijn gebaseerd op omrekeningen van totaalstofmetingen in het EU-project Aerial Pollutants, dat werd uitgevoerd in de jaren 1993–1995. Een verklaring voor het verschil in berekende emissie in het EU-project en het huidige project zou kunnen zijn dat in het EU-project de emissies bij vleeskuikens werden gemeten op ca. driekwart van de productiecycclus. Uit Figuur 6 blijkt dat de emissie van totaalstof toenam met de leeftijd van de dieren. In het EU-project werd een gemiddelde emissie van totaalstof op jaarbasis gevonden van 144 g (zonder correctie voor leegstand). Als we in Figuur 6 op dag 32 kijken (op driekwart van de productiecycclus) dan zien we dat 144 g nog net in de range valt van de gemeten waarden binnen dit project.

De berekende ammoniakemissie op basis van de huidige metingen (72,0 g/dierplaats per jaar) komt goed overeen met de huidige emissiefactor voor ammoniak (80 g/dierplaats per jaar) in de Rav. Voor geur ligt het gemiddelde van de huidige metingen (0,39 OU_E/dierplaats per s) hoger dan de huidige emissiefactor (0,24 OU_E/dierplaats per s) in de Rgv.

Het is moeilijk om bedrijven die in het onderzoek hebben meegedaan met elkaar te vergelijken ten aanzien van emissies. Dit is vooral lastig 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 voor een stalsysteem. Zes metingen op één bedrijf is onvoldoende om voor dat bedrijf zelf een emissiefactor vast te stellen. Deze zes 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 heeft daarom niet veel zin om te proberen te verklaren 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.

In dit onderzoek is er voor gekozen om wat meer metingen te doen in de tweede helft van de groeiperiode dan in de eerste helft. De aanleiding hiervoor was de waarneming dat er een veel grotere variatie in emissies in de tweede helft van de groeiperiode optrad. Dit betekende echter wel dat we de jaaremissies niet konden bepalen door het gemiddelde te nemen van alle waarnemingen. Dan zouden de emissies namelijk overschat worden. Daarom is er voor gekozen om de groeiperiode op te splitsen in drie perioden van twee weken. Door eerst gemiddelden te berekenen per twee weken en vervolgens deze drie perioden te middelen wordt elke periode van de groeiperiode even zwaar gewogen in het uiteindelijke emissiecijfer. Wanneer de waarnemingen binnen elk van de drie perioden een lineaire (niet-exponentiële) trend volgen, zijn er geen rekenkundige bezwaren om deze methode toe te passen. Er zijn geen metingen verricht tijdens de eerste zes dagen van de ronde. Aangezien de stofconcentraties tijdens de eerste dagen zeer laag zijn is het effect hiervan op het uiteindelijke emissiecijfer met de gehanteerde rekenmethode te verwaarlozen. De metingen zijn vrij goed verspreid over het jaar genomen met een gemiddeld dagnummer in het jaar van 185. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten ($9,4^{\circ}\text{C}$) komt vrij goed overeen met het langjarige gemiddelde in Nederland ($9,8^{\circ}\text{C}$). De set van metingen is dus bij representatieve temperatuursomstandigheden verricht.

5 Conclusies

Op basis van dit onderzoek in vier vleeskuikenstallen zijn de volgende jaaremissies bepaald, waarbij voor stof-, methaan-, lachgas- en ammoniakemissies is gerekend met 18% leegstand (berekende emissiefactor $\pm$ de standaarddeviatie tussen bedrijven):

- PM10 emissie: $21,9 \pm 7,3$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $1,6 \pm 0,7$ g/dierplaats per jaar
- Totaal stofemissie: $44,5 \pm 21,8$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: $72,0 \pm 25,0$ g/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,39 \pm 0,04$ OUE/dierplaats per s (niet gecorrigeerd voor leegstand)
- Methaanemissie: $3,6 \pm 2,5$ g/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $8,9 \pm 7,8$ g/dierplaats per jaar

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

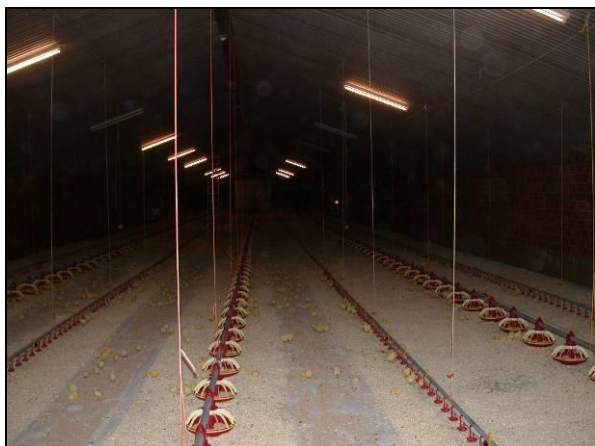
- de emissie van PM10 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde emissiefactor voor PM10 (53 g/dierplaats per jaar);
- de emissie van PM2,5 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde waarde voor PM2,5 (9,4 g/dierplaats per jaar);
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM10 (0,49) is vergelijkbaar met de conversiefactor (0,45) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven;
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM2,5 (0,036) is beduidend lager dan de conversiefactor (0,08) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven.

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 vleeskuikenstal 1



Binnenzijde stal, met strooisel, voer- en drinklijnen



Luchtinlaat buitenzijde in de zijgevels



Luchtuitlet buitenzijde



Ventilatoren in de buitenmuur onder de lichtklep



Meting van de uitgaande stallucht



Meting van de ingaande stallucht

Bijlage 2 Foto's vleeskuikenstal 2



Binnenzijde stal, tijdens leegstandperiode



Luchtinlaat buitenzijde, in de zijgevels



Luchttuitlaat buitenzijde



Overzicht vleeskuikenstallen



Luchtinlaat kopgevel



Ventilatoren tijdens meting uitgaande lucht

Bijlage 3 Foto's vleeskuikenstal 4



Luchtinlaat buitenzijde, in de zijgevels



Luchtuitlaat in achtergevel



Ventilatoren in de achtergevel, onder de lichtklep



Meting uitgaande lucht



Binnenzijde vleeskuikenstal



Wageningen UR Livestock Research

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

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