

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 657

Emissies uit een vleeskuikenstal met
strooiselbeluchting en warmtewisselaar.
Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

Juni 2013



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2013

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

Aansprakelijkheid

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

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

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

This study reports the emissions of ammonia, odour, fine dust (PM10 and PM2.5), methane and nitrous oxide from a broiler house with litter drying and a heat exchanger.

Keywords

Ammonia, odour, fine dust, methane, nitrous oxide, emissions, broiler, heat exchanger

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

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

Titel

Emissies uit een vleeskuikenstal met strooiselbeluchting en warmtewisselaar. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

Rapport 657

Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissies bepaald van ammoniak, geur, fijn stof (PM10, PM2,5), methaan en lachgas uit een vleeskuikenstal met strooiselbeluchting en een warmtewisselaar.

Trefwoorden

Ammoniak, geur, fijn stof, methaan, lachgas, emissies, vleeskuikens, warmtewisselaar



Rapport 657

Emissies uit een vleeskuikenstal met strooiselbeluchting en warmtewisselaar. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

J. Mosquera

H. Ellen

J.M.G. Hol

J.W.H. Huis in 't Veld

G. Nijeboer

J.P.M. Ploegaert

N.W.M. Ogink

Juni 2013

Voorwoord

Om integraal duurzame stallen in de praktijk toe te kunnen passen moeten de emissies van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijn stof worden gemeten. Om dit te stimuleren is in 2009 door het Ministerie van Economische Zaken het "Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen" opgestart. Dit programma ondersteunt een deel van de kosten van het meten van de emissies uit deze huisvestingssystemen. De metingen worden in opdracht van bedrijven uitgevoerd.

Aan Wageningen UR Livestock Research is door Plettenburg Mestdroging Luchtbehandeling & Ventilatie BV opdracht gegeven om de emissies te meten uit een vleeskuikenstal met strooiseldroging en een warmtewisselaar. In dit rapport worden de resultaten van deze metingen weergegeven.

Dr. J. Mosquera
Projectleider
Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

Om de toepassing van integraal duurzame stallen in de praktijk te stimuleren is in 2009 door het Ministerie van Economische Zaken het "Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen" opgestart. Dit meetprogramma geeft bedrijven financiële ondersteuning voor het meten van de emissies van ammoniak, geur, fijn stof en broeikasgassen uit huisvestingssystemen die als integraal duurzaam worden beschouwd.

In dit rapport worden de metingen gerapporteerd die in het kader van het hiervoor genoemde onderzoeksprogramma uitgevoerd zijn op een vleeskuikenbedrijf met een combinatie van een verwarmingssysteem met wamtheaters en ventilatoren (BWL 2009.14.V2) en een luchtmengsysteem voor droging strooisellaag in combinatie met een warmtewisselaar (BWL 2010.13.V2). Het beoogde emissie reducerende principe van dit systeem is gebaseerd op:

1. het drogen van de mest- en strooisellaag (en daardoor het voorkomen van broei om de ammoniakemissie te beperken) door (warme) lucht uit de nok van de stal, via een ventilator voorzien van een heater (BWL 2009.14.V2), verder op te warmen en over het strooisel aan te brengen. Verse binnenkomende lucht wordt opgewarmd (en daarmee droger) door het opwarmen in een warmtewisselaar (BWL 2010.13.V2);
2. het leiden van inlaatlucht (verse lucht) en stallucht door een warmtewisselaar, waardoor impactie van fijn stof in de platen van de warmtewisselaar optreedt, met als gevolg een reductie van de emissie van fijn stof uit de stal¹.

De emissiemetingen van ammoniak, geur, fijn stof, methaan en lachgas zijn uitgevoerd conform de protocollen zoals beschreven in respectievelijk Ogink e.a. (2011a), Ogink (2011), Ogink e.a. (2011b), Groenestein e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2011). Dit houdt in dat zes 24-uursmetingen (voor geur 2-uur) zijn uitgevoerd, verspreid over het jaar. De metingen zijn echter op slechts één locatie uitgevoerd in plaats van op de voorgeschreven vier locaties.

Op basis van de huidige metingen zijn de volgende jaaremissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 18%) uit de vleeskuikenstal zelf bepaald (het betreft hier de stalemissie voorafgaand aan de behandeling door de warmtewisselaar):

- Ammoniakemissie: $34,8 \pm 28,8$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,37 \pm 0,31$ OUE per dierplaats per s
- PM10 emissie: $21,2 \pm 19,6$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,9 \pm 1,1$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,4 \pm 0,5$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $0,10 \pm 0,05$ g per dierplaats per jaar

Op basis van de huidige metingen zijn de volgende jaaremissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 18%) uit het huisvestingssysteem (stal met warmtewisselaar) bepaald:

- Ammoniakemissie: $34,5 \pm 28,8$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,35 \pm 0,32$ OUE per dierplaats per s
- PM10 emissie: $18,1 \pm 19,2$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,8 \pm 1,0$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,2 \pm 0,5$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $0,11 \pm 0,03$ g per dierplaats per jaar

Ten opzichte van een stal met traditionele huisvesting (categorie E 5.100 in de Rav) is de reductie voor ammoniak voor de stal en de warmtewisselaar samen 57% en voor PM10 17,7%.

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

De volgende verwijderingsrendementen voor de warmtewisselaar werden bepaald (gemiddelde \pm standaarddeviatie tussen metingen) over de luchtstroom door de warmtewisselaar:

- Ammoniak: $10,9 \pm 6,8$ %
- Geur: $41,4 \pm 17,6$ %
- PM10: $89,8 \pm 1,3$ %
- PM2,5: $72,3 \pm 10,3$ %
- Methaan: $1,1 \pm 3,2$ %
- Lachgas: $-0,6 \pm 1,8$ %

Summary

In order to stimulate the application of integral sustainable housing systems in practice, the measurement program "Measuring program for integral sustainable animal houses" was started in 2009 by the Ministry of Economic Affairs. This program gives companies financial support for measuring the emissions of ammonia, odour, fine dust and greenhouse gases from housing systems which have been built as integral sustainable.

This report shows the results of measurements performed within the framework of the in the previous paragraph mentioned measurement programme at a broiler house with a heating system with fans and heaters (BWL 2009.14.V2), and a heat exchanger. The emission reduction principle of this system is based on:

1. drying of the manure and litter layer (to prevent ammonia emissions) by blowing warm air from the top of the building with fans provided with heaters (BWL 2009.14.v2) above the litter layer;
2. by directing fresh and outgoing air through a heat exchanger, resulting in fine dust impacting to the plates of the heat exchanger and depositing before leaving the building. This leads to a reduction of fine dust emissions from the animal house.

Emission measurements of ammonia, odour, fine dust, methane and nitrous oxide were done according to protocols described in Ogink et al. (2011a), Ogink (2011), Ogink et al. (2011b), Groenestein et al. (2011) and Mosquera et al. (2011), for respectively ammonia, odour, fine dust, methane and nitrous oxide. These protocols prescribe performing six 24-h measurements (for odour two h), spread over the year. Measurements were however performed at only one location, instead of the four locations prescribed in the measurement protocols.

Based on this study the following yearly emissions from the broiler house (average \pm standard deviation between measurements; corrected for an empty period of 18%) were determined (representing the emissions from the broiler house before the air is treated by the heat exchangers):

- Ammonia emission: 34.8 ± 28.8 g per animal place per year
- Odour emission: 0.37 ± 0.31 OUE per animal place per s
- PM10 emission: 21.2 ± 19.6 g per animal place per year
- PM2.5 emission: 0.9 ± 1.1 g per animal place per year
- Methane emission: 2.4 ± 0.5 g per animal place per year
- Nitrous oxide emission: 0.10 ± 0.05 g per animal place per year

Based on this study the following yearly emissions from the housing system (average \pm standard deviation between measurements; emissions from the broiler house and heat exchanger, corrected for an empty period of 18%) were determined:

- Ammonia emission: 34.5 ± 28.8 g per animal place per year
- Odour emission: 0.35 ± 0.32 OUE per animal place per s
- PM10 emission: 18.1 ± 19.2 g per animal place per year
- PM2.5 emission: 0.8 ± 1.0 g per animal place per year
- Methane emission: 2.2 ± 0.5 g per animal place per year
- Nitrous oxide emission: 0.11 ± 0.03 g per animal place per year

Compared to the traditional housing of broilers with an emission factor of 80 g per animal place per year, the reduction on ammonia of the housing system together with the heat exchanger is 57%.

The following removal efficiencies (average \pm standard deviation between measurements) were determined for the heat exchanger:

- Ammonia: 10.9 ± 6.8 %
- Odour: 41.4 ± 17.6 %
- PM10: 89.8 ± 1.3 %
- PM2.5: 72.3 ± 10.3 %
- Methane: 1.1 ± 3.2 %
- Nitrous oxide: -0.6 ± 1.8 %

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Stal- en bedrijfssituatie	2
2.1.1	Huisvesting en bedrijfsvoering	2
2.1.2	Emissiereducerend principe	3
2.2	Metingen	4
2.2.1	Meetstrategie	4
2.2.2	Ammoniakconcentratie	4
2.2.3	Geurconcentratie	4
2.2.4	Stofconcentratie	4
2.2.5	Concentratie overige broeikasgassen	5
2.2.6	Ventilatie-debiet	5
2.2.7	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	5
2.2.8	Productiegegevens	5
2.3	Verwerking gegevens	6
3	Resultaten en discussie	7
3.1	Meetomstandigheden	7
3.2	Ventilatie-debiet	9
3.3	Ammoniak	10
3.4	Geur	11
3.5	Fijn stof (PM10 en PM2,5)	12
3.6	Overige broeikasgassen (CH ₄ en N ₂ O)	14
4	Conclusies	18
	Literatuur	19
	Bijlagen	20
Bijlage A	Foto's van de bedrijfssituatie	20
Bijlage B	Doorsnede en plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten	24
Bijlage C	Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering	26
Bijlage D	Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)	29

1 Inleiding

De Minister van Economische Zaken heeft in januari 2008 de toekomstvisie op de veehouderij beschreven met de ambitie dat in 2011 minimaal 5% van de in 2011 in gebruik zijnde stallen voor kippen, koeien en varkens integraal duurzaam moest zijn (LNV, 2008). In de jaren daarna moet dit percentage jaarlijks groeien, met als einddoelstelling dat vanaf 2025 alle te bouwen stallen integraal duurzaam zijn. Onder integraal duurzame stallen worden hier huisvestingssystemen bedoeld die op het gebied van mens, dier en milieu beter presteren dan reguliere huisvestingssystemen. Voor het milieu betekent dit dat de uitstoot van ammoniak, geur en fijn stof onder de maximale emissiewaarden van respectievelijk het Besluit huisvesting ammoniakemissie veehouderij (Staatscourant, 2011a), de Regeling geurhinder en veehouderij (Staatscourant, 2011b), en het overzicht "Emissiefactoren fijn stof voor de veehouderij" (www.rijksoverheid.nl), moet liggen. Daarnaast moet de uitstoot van methaan en lachgas vergelijkbaar of lager zijn dan bij gangbare stalsystemen. Arbeidsomstandigheden, energieverbruik, dierwelzijn en diergezondheid moeten vergelijkbaar of verbeterd zijn ten opzichte van de wettelijke normen voor gangbare stalsystemen.

Om integraal duurzame stallen in de praktijk toe te kunnen passen moeten de emissies van ammoniak, geur, en fijn stof worden opgenomen in respectievelijk de Regeling ammoniak en veehouderij, de Regeling geurhinder en veehouderij, en het overzicht "Emissiefactoren fijn stof voor de veehouderij". De hiervoor benodigde emissiemetingen van ammoniak, geur, fijn stof, methaan en lachgas moeten worden uitgevoerd volgens de protocollen zoals beschreven in respectievelijk Ogink e.a. (2011a), Ogink (2011), Ogink e.a. (2011b), Groenestein e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2011). Om een jaargemiddelde emissie te kunnen vaststellen, schrijven deze meetprotocollen per stallocatie, verspreid over het jaar, zes meetdagen van 24 uur voor. Daarmee houden de meetprotocollen rekening met periodieke variaties in emissie, bijvoorbeeld variaties binnen een dag als gevolg van verschillen in dieractiviteit en variaties tussen dagen als gevolg van verschillen tussen seizoenen en groei van dieren. Afhankelijk van het optreden van ronde-effecten dienen bij een aantal diercategorieën metingen verdeeld over de ronde uitgevoerd te worden.

In 2009 is door het Ministerie van Economische Zaken het "Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen" opgestart om door middel van financiële ondersteuning bij het meten, de ontwikkeling en implementatie van integraal duurzame stallen te stimuleren. In dit rapport worden de metingen gerapporteerd die in het kader van het hiervoor genoemde onderzoeksprogramma uitgevoerd zijn op het vleeskuikenbedrijf van J.H.J. & R.J.G ter Braak te Langeveen. De vleeskuikenstal die was aangemeld voor dit project heeft de beschikking over twee verschillende onderdelen die de emissies van verschillende componenten zouden kunnen verlagen:

1. een deel van de inlaat- en stallucht wordt door middel van een warmtewisselaar gereguleerd;
2. een intern ventilatiesysteem, waarbij (warme) lucht uit de nok van de stal over de mest- en strooisellaag wordt aangebracht.

2 Materiaal en methode

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

2.1 Stal- en bedrijfssituatie

2.1.1 Huisvesting en bedrijfsvoering

De stal (Figuur 1) is 80 m lang en 22,75 m breed. Op dit bedrijf worden 22 dieren per m² opgezet. Bij een leeftijd van 30 dagen wordt 25% van de dieren uitgeladen. De dieren werden in de stal vanaf kuiken tot aan een eindgewicht van ca. 2 kg gehouden. Het eindgewicht werd bereikt in ca. 6 weken. Iedere 7 weken wordt een nieuwe ronde opgezet. Tussen beide rondes wordt de stal gereinigd en ontsmet. De inrichting van de stal (grondhuisvesting, water- en voerlijnen) is gelijk aan een traditionele stal. De stal wordt mechanisch geventileerd, waarbij minimaal 0,35 m³/uur per dier en maximaal 14,0 m³/uur per dier (5,6 m³/uur per kg dier) wordt geventileerd. De ventilatiebehoefte van de stal wordt in eerste instantie door de warmtewisselaar ingevuld. De verse verwarmde lucht wordt hiermee op dierniveau in de stal gebracht. Hierdoor kan maximaal 14.000 m³/uur worden geventileerd. Wanneer de ventilatiebehoefte de capaciteit van de warmtewisselaar overschrijdt worden nokventilatoren (diameter 91 cm) bijgeschakeld. Deze ventilatoren werden m.b.v. een frequentieregelaar aangestuurd waarbij tot een maximale capaciteit van 126.000 m³/uur bereikt kon worden. Het luchtverdelingssysteem blijft in gebruik, waarbij alleen beperkte voorverwarming van de buitenlucht plaats vindt. Wanneer ook deze op maximale capaciteit draaien en er nog meer ventilatiebehoefte is, schakelen ventilatoren in de eindgevel bij. Uiteindelijk bedroeg de totale maximale ventilatiecapaciteit 560.000 m³/uur.

In de stal waar de metingen uitgevoerd zijn is een emissiearme techniek aanwezig (verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren, BWL 2009.14.V2) en wordt daarnaast gebruik gemaakt van een warmtewisselaar van de firma Plettenburg Mestdroging Luchtbehandeling & Ventilatie BV, die volgens een tegenstroomprincipe werkt: buitenlucht wordt opgewarmd door de warme ventilatielucht uit de stal zonder dat beide luchtstromen direct contact hebben². De warmtewisselaar is een geïsoleerde kast. Via een gaasfilter wordt buitenlucht m.b.v. een centrifugaal ventilator aangezogen. Deze buitenlucht wordt door een kunststof kanalenpakket gehaald. De warme stallucht wordt langs de buitenkant van de kunststof kanalen geleid en warmt zo de koude buitenlucht op. De stallucht wordt door een axiaal ventilator afgevoerd naar buiten. De hoeveelheid buitenlucht die wordt opgewarmd en daarmee de hoeveelheid stallucht die wordt gebruikt in de warmtewisselaar wordt geregeld door een frequentieregelaar die wordt aangestuurd door de klimaatcomputer. In Bijlage A zijn foto's van de stalinrichting geplaatst. In Tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf, en de afmetingen en instellingen van de geïnstalleerde warmtewisselaar, weergegeven.

Deze stal wijkt op twee punten af van een traditionele stal:

- 1) Interne circulatie van lucht. Warme lucht uit de nok van de stal wordt aangezogen en met behulp van een verdeelkast weer horizontaal verspreid. Eventueel kan de lucht verder worden opgewarmd door een verwarmingselement, gevoed met warm water.
- 2) Door het gebruik van een warmtewisselaar. De voorverwarmde stallucht uit de warmtewisselaar wordt via een luchtverdelingssysteem in de stal gebracht.

² De warmtewisselaar draagt ook bij aan de reductie van fijnstof. De systeembeschrijvingen zijn te vinden onder de nummers BWL 2011.02 (31% reductie) en BWL2012.03 (13% reductie).



Figuur 1 Overzicht van de binnenzijde van de onderzochte vleeskuikenstal

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de vleeskuikenstal in dit onderzoek

Kenmerk	
Grondoppervlak stal [m ²]	1815
Leefoppervlak [dieren per m ²]	22
Aantal dierplaatsen	40.000
Vloerverwarming	Nee
Ruimteverwarming	Wesselman (4 per stal)
Regeling inlaattemperatuur	Ja, beperkt, via warmtewisselaar
Ventilatiecapaciteit nokventilatoren [m ³ /uur]	126.000
Ventilatiecapaciteit warmtewisselaar [m ³ /uur]	14.000
Ventilatiecapaciteit lengteventilatoren [m ³ /uur]	420.000
Producent warmtewisselaar	Plettenburgh Mestdroging Luchtbehandeling & Ventilatie BV
Afmeting warmtewisselaar (l x b x h in m)	9,5 x 3,3 x 2,7
Maximale capaciteit ingaande buitenlucht [m ³ /uur per dier]	0,35
Maximale capaciteit uitgaande stallucht [m ³ /uur per dier]	0,50
Gebruikte ventilatoren	
Ingaand	Centrifugaal
Uitgaand	Axiaal
Diameter meetventilator [cm]	91
Inwendige afmeting warmtewisselaar	Hoogte en lengte paneel (7 m)
Ingaand	Diameter kleine kanaal
Uitgaand	Ruimte tussen panelen
Bouwjaar	2009

2.1.2 Emissiereducerend principe

De onderzochte vleeskuikenstal maakt gebruik van twee werkingsprincipes om de emissies uit de stal te reduceren:

1. Een intern ventilatiesysteem zorgt ervoor dat (warme) lucht uit de nok van de stal, via een warmtewisselaar voorzien van een heater (BWL 2009.14.V2), verder opgewarmd wordt en over het strooisel aangebracht wordt. Dit om de mest- en strooisellaag te drogen en daardoor broei te voorkomen, en hiermee de ammoniakemissie te beperken. Ook de opgewarmde lucht uit de warmtewisselaar draagt bij aan dit principe.

2. Inlaatlucht (verse lucht) en stallucht worden door een warmtewisselaar geleid. In de platen van de warmtewisselaar treedt impactie op van fijn stof uit de ventilatielucht, met daardoor een reductie van de emissie van fijn stof uit de stal³.

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

De metingen zijn in de periode januari 2011 – november 2011 uitgevoerd. De emissiemetingen voor ammoniak (NH₃), geur, fijn stof (PM10; PM2,5), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) zijn uitgevoerd volgens de protocollen zoals beschreven in respectievelijk Ogink e.a. (2011a), Ogink (2011), Ogink e.a. (2011b), Groenestein e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2011). Dit houdt in dat zesmaal verdeeld over een jaar 24-uurs metingen zijn uitgevoerd. De metingen zijn echter op slechts één locatie uitgevoerd in plaats van de voorgeschreven vier locaties. Aanvullend geldt de volgende voorwaarde voor de verdeling van de metingen over de productieronde (Ogink e.a., 2011a): *“eerst wordt de productieronde onderverdeeld in drie opeenvolgende gelijke tijdvakken. In het eerste tijdvak dient een meting plaats te vinden, in het tweede tijdvak twee metingen, en in het derde tijdvak drie metingen. De metingen in het derde tijdvak van de productieronde dienen gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld”*. Tijdens een emissiemeting werden de concentraties bepaald van NH₃, geur, PM10, PM2,5, CH₄ en N₂O, zowel in de ingaande (achtergrond) als uitgaande stallucht (vóór en na de warmtewisselaar; zie hoofdstuk 2.2.2 t/m 2.2.5), en het meten van het ventilatiedebiet (zie hoofdstuk 2.2.6). Daarnaast moet de meetlocatie aan een aantal landbouwkundige randvoorwaarden voldoen (Ogink e.a., 2011a).

2.2.2 Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie van zowel de ingaande stallucht (achtergrond) als de uitgaande stallucht (vóór en na de warmtewisselaar en bij de nok-ventilatoren) werd volgens de nat-chemische methode voor NH₃ (Wintjes, 1993) bepaald. Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de 24-uurs meetperiode bepaald en geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de NH₃ concentraties tijdens de metingen. In Bijlage C wordt de meetprincipe en praktische uitvoering van de toegepaste meetmethode weergegeven.

2.2.3 Geurconcentratie

Geurconcentraties werden alleen in de uitgaande stallucht (via de nokventilatoren en na de warmtewisselaar) bepaald. Hierbij werd gebruik gemaakt van de zogenaamde longmethode. Bij elke meting werd voor beide meetpunten tussen 10:00 en 12:00 uur lucht aangezogen en verzameld in een 40 L Nalofaan monsterzak. Beide monsters werden direct na bemonstering naar een geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd via dynamische olfactometrie volgens EN 13725:2003. Deze methode geeft een gemiddelde geurconcentratie over de 2-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt het meetprincipe en de praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

2.2.4 Stofconcentratie

Voor de bepaling van de fijnstofconcentraties is de gravimetrische meetmethode toegepast volgens EN 12341:1998 voor PM10 stof en EN 14907:2005 voor PM2,5 stof. Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de 24-uurs meetperiode bepaald. De methode geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de fijnstofconcentraties tijdens de metingen. In deze methode wordt stof op filters verzameld. De filters werden vóór en na de metingen onder geconditioneerde omstandigheden gewogen. Zie Zhao e.a. (2009) en Bijlage C voor de complete beschrijving en praktische uitvoering van deze methode.

³ De reductie van fijnstof door een warmtewisselaar is opgenomen in regelgeving. De systeembeschrijvingen zijn te vinden onder de nummers BWL 2011.02 (31% reductie) en BWL2012.03 (13% reductie).

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens de meetdagen:

- een monster van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van de uitgaande stallucht vóór de warmtewisselaar, na de warmtewisselaar, en bij de nok-ventilatoren, en één monster van PM10 van de ingaande buitenlucht (achtergrond);
- een monster van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) van de uitgaande stallucht vóór de warmtewisselaar, na de warmtewisselaar, en bij de nok-ventilatoren, en één monster van PM2,5 van de ingaande buitenlucht (achtergrond).

2.2.5 Concentratie overige broeikasgassen

Voor de bepaling van de CH₄- en N₂O-concentraties in de ingaande (buitenlucht) en uitgaande stallucht (vóór en na de warmtewisselaar, en bij de nokventilatoren) werd, zoals bij geur het geval was, de longmethode toegepast. Bij alle meetpunten werd lucht gedurende 24 uur aangezogen en in 40 liter Nalofaan monsterzakken verzameld. De concentraties van CH₄ en N₂O in de bemonsterde lucht werden bepaald d.m.v. gaschromatografie. Deze methode geeft een gemiddelde CH₄- en N₂O-concentratie over de 24-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt de meetprincipe en praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

2.2.6 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (m³/uur) door de warmtewisselaar werd met behulp van gegevens uit de klimaatcomputer in de stal berekend. Het totale ventilatie-debiet (m³/uur) uit de stal (inclusief het debiet door de warmtewisselaar) werd met behulp van de CO₂-massabalansmethode bepaald. De CO₂-massabalansmethode maakt gebruik van de gemeten CO₂-concentraties van de uit- en ingaande stallucht (respectievelijk [CO₂]_{stal} en [CO₂]_{buiten}; ppm) en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/dag per dier) in de stal. Aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008) wordt de CO₂-productie van de dieren bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg). 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/dag) wordt dan bepaald op basis van:

$$V = \frac{CO_2 - \text{productie}}{[CO_2]_{\text{stal}} - [CO_2]_{\text{buiten}}} \cdot 10^6$$

Voor de bepaling van de CO₂-concentratie in de in- en uitgaande stallucht werd deze lucht bemonsterd d.m.v. de longmethode (zie 2.2.5) en geanalyseerd d.m.v. gaschromatografie (zie Bijlage C).

2.2.7 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

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

2.2.8 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

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

2.3 Verwerking gegevens

Per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) werden de emissies (E_i) van NH_3 , fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O uit de stal (vóór en na de warmtewisselaar) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V_i) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit_i} ; vóór en na de warmtewisselaar) en in de ingaande buitenlucht (C_{in_i}) van NH_3 , fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O :

$$E_i = V_i \times (C_{\text{uit}_i} - C_{\text{in}_i})$$

Per meetdag ($i=1, 2, \dots, 6$) werden de emissies (E_i) van geur uit de stal (vóór en na de warmtewisselaar) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V_i) en de gemiddelde concentratie (2-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit_i} ; vóór en na de warmtewisselaar) van geur:

$$E_i = V_i \times C_{\text{uit}_i}$$

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.2.1 bevat de productieronde van vleeskuikens drie gelijke tijdvakken. Op basis van de binnen ieder tijdvak beschikbare meetresultaten werd de gemiddelde dagemissie (E_k) voor elk tijdvak afzonderlijk bepaald. De emissie (E) op jaarbasis per dierplaats werd vervolgens bepaald door het gemiddelde van de tijdvakgemiddelden te berekenen, en dit te vermenigvuldigen met 365 dagen en de leegstandsfactor:

$$E = \frac{\overline{E_k} * 365 * (100 - \frac{\text{leegstandspercentage}}{100})}{\text{dierplaatsen}_i}$$

Voor geur werd de mediane emissie bepaald door het gemiddelde op natuurlijke log-schaal terug te transformeren naar normale schaal.

Het verwijderingsrendement van de warmtewisselaar voor ammoniak, geur, fijn stof en broeikasgassen werd per meetdag berekend met behulp van de volgende formule, waarbij C_{ingaaand} staat voor de concentratie van de betreffende component in de stallucht (ingaaand lucht van de warmtewisselaar) en C_{uitgaand} staat voor de concentratie van de betreffende component in de behandelde lucht (uitgaand lucht van de warmtewisselaar):

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

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

In deze rekenregels zijn voor NH_3 , fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in de in- en uitgaande lucht: g/m^3
- ventilatiedebiet per dag (m^3/dag)
- emissies per dag (g/dag)
- emissies op jaarbasis per dierplaats (g per dierplaats per jaar voor NH_3 , CH_4 , N_2O , PM10 en PM2,5)

In deze rekenregels zijn voor geur de volgende eenheden gebruikt:

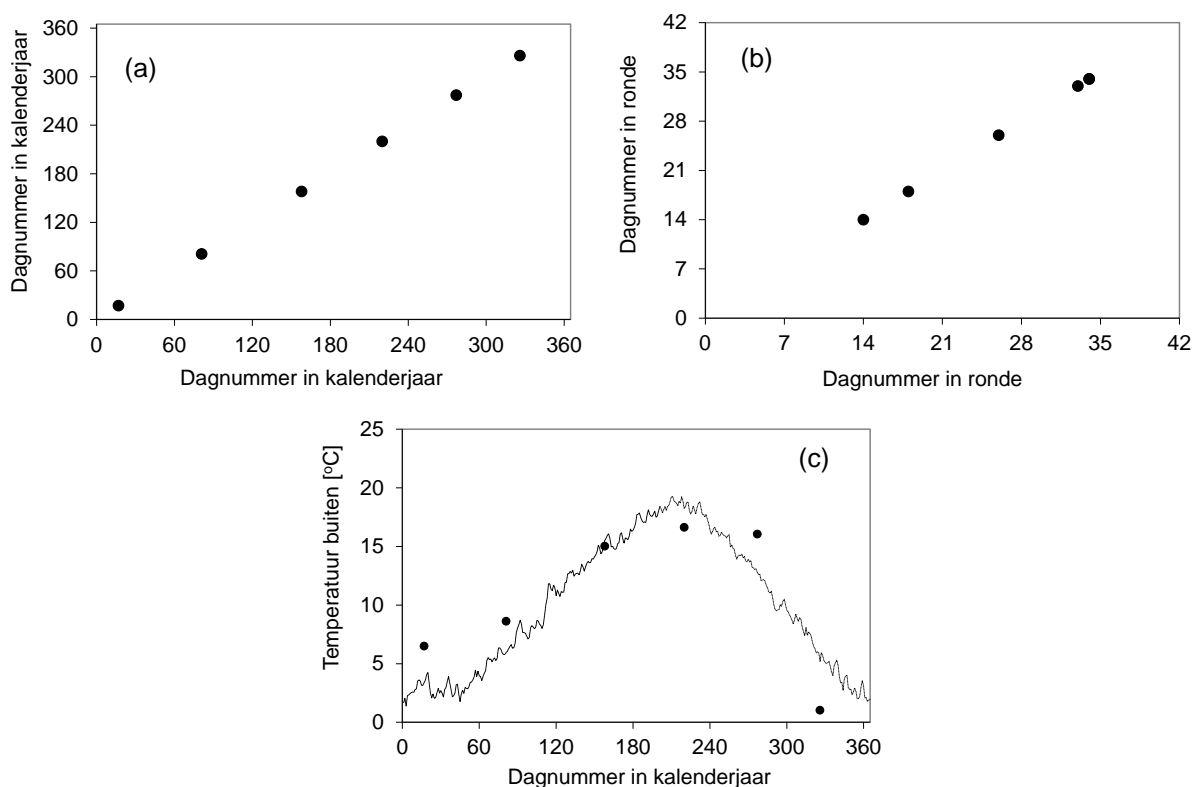
- concentraties in de uitgaande lucht: OU_E/m^3
- ventilatiedebiet per seconde (m^3/s). Het ventilatiedebiet per dag (V_i ; m^3/dag) wordt omgerekend naar m^3/s door het te vermenigvuldigen met "1/(24*60*60) dag/s"
- emissies per seconde (OU_E/s)
- emissies op jaarbasis per dierplaats (OU_E per dierplaats per s)

3 Resultaten en discussie

3.1 Meetomstandigheden

In Tabel 2 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht. De metingen zijn over een periode van 309 dagen over het gehele jaar en over de productieronde verdeeld (Figuur 2), zoals in het meetprotocol voor NH₃ (Ogink e.a., 2011b) voorgeschreven. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 180 dagen. Het gemiddelde dagnummer in de productieronde was 27 dagen. De (daggemiddelde) CO₂-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 3000 ppm. Gemiddeld over alle gemeten ronden werd 17,9 g RE per MJ Omzetbare Energie (OE) in het voer gemeten, variërend tussen 17,2 en 18,7 voor de verschillende ronden. Het uitvalspercentage was gemiddeld 3,0% over alle gemeten ronden (variërend tussen 2,3% en 5,7%). Het eindgewicht van de kuikens was gemiddeld 2,2 kg (variërend van 2,0 kg tot 2,3 kg tussen ronden) op een leeftijd van gemiddeld 40 dagen.

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



Figuur 2 Verdeling van de metingen over het jaar (a), over de productieronde (b), en de buitentemperatuur (c) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation Twente (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven). Dagnummer in ronde: dagen na opzet. Er zijn twee metingen uitgevoerd op dag 34 in de productieronde.

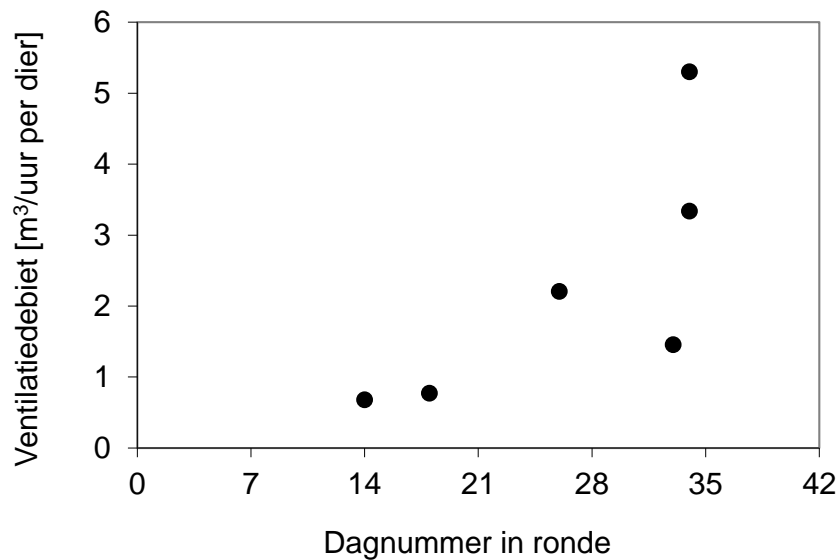
Tabel 2 Data waarop metingen zijn uitgevoerd, het aantal dieren, de bijbehorende bezettingsgraad, productiegegevens (gemiddelden over de gehele productieronde) en de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens tijdens de metingen: temperatuur buiten (T-buiten), vóór en na de warmtewisselaar, en relatieve luchtvochtigheid buiten (RV-buiten), vóór en na de warmtewisselaar. De windrichting en –snelheid op 10 m hoogte zijn afkomstig van het weerstation in Twente (www.knmi.nl). n.b.: data niet beschikbaar

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	17-01-2011	22-03-2011	07-06-2011	08-08-2011	04-10-2011	22-11-2011
Dag in het jaar	17	81	158	220	277	326
T-buiten [°C]	6,5	8,6	15,0	16,6	16,1	1,0
RV-buiten [%]	92,4	80,6	84,1	82,9	84,3	99,9
T voor de warmtewisselaar [°C]	25,9	21,3	28,0	24,2	21,9	21,2
RV voor de warmtewisselaar [%]	65,3	65,2	60,2	66,5	71,2	90,5
T na de warmtewisselaar [°C]	14,1	12,9	19,5	18,2	18,4	2,5
RV na de warmtewisselaar [%]	100,0	97,0	99,7	100,0	98,1	87,4
Windrichting (graden)	217	190	171	249	223	67
Windsnelheid [m/s] op 10 m hoogte	3,5	1,8	2,8	5,1	4,4	0,8
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	2300	1410	1820	1460	992	2490
Dag in de ronde	18	34	14	26	34	33
Aantal geplaatste dieren	41200	40400	40000	40000	40000	42000
Aantal aanwezige dieren	40517	39705	39646	39185	28587	41152
Gewicht dieren [kg]	0,64	1,70	0,37	1,20	1,74	1,66
Productierondegegevens						
Aantal dagen	39	40	41	39	40	40
Eindgewicht kuikens [kg]	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2	2,1
Uitval [%]	2,8	2,3	2,4	2,5	5,7	2,5
Voergebruik [kg per dier per week]	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6
Watergebruik [L per dier per week]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RE/MJ Omzetbare energie [MJ/kg]*	18,7	17,2	18,7	18,7	17,2	17,2
Water-voer verhouding	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

* op basis van een geschatte energiewaarde

3.2 Ventilatie-debiet

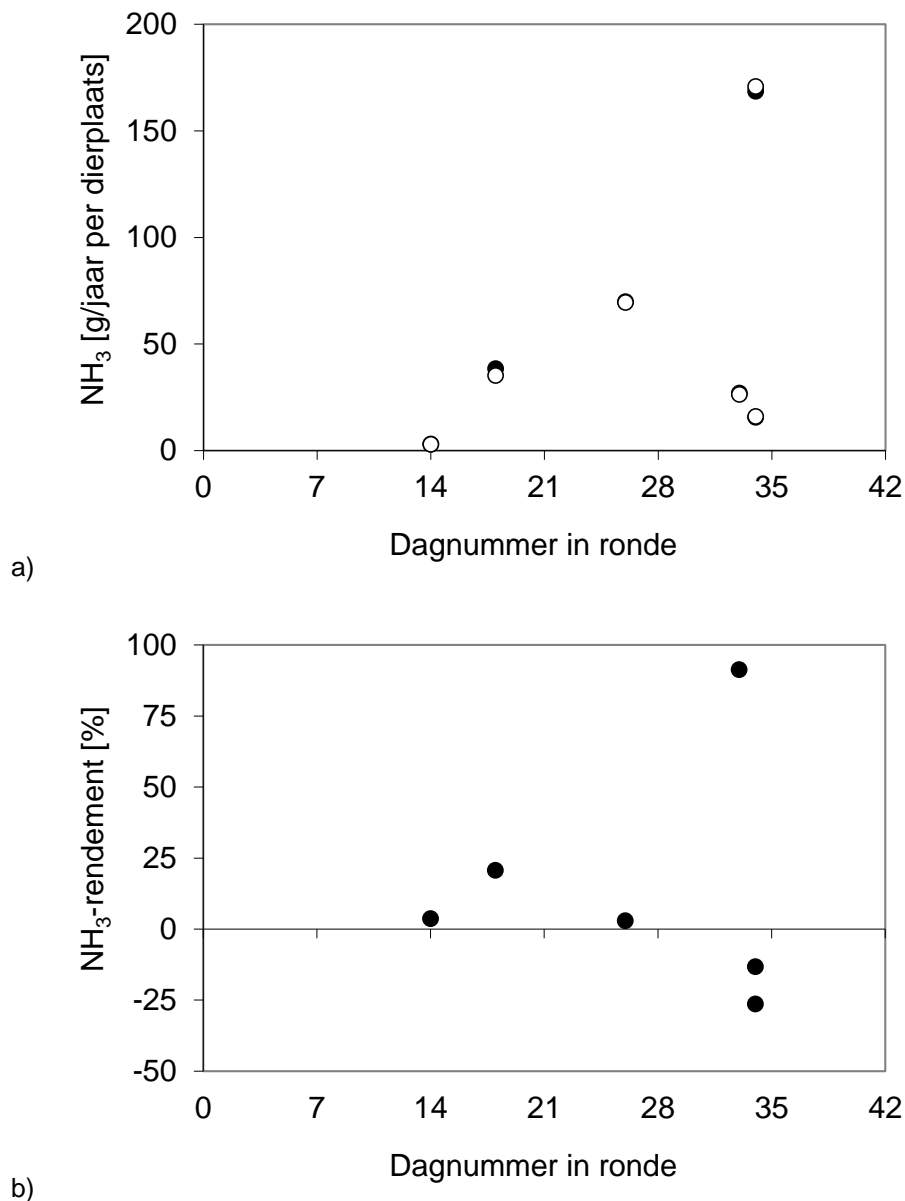
Gemiddeld over alle metingen (Tabel 3 en Figuur 3) bedroeg het ventilatie-debiet $1,8 \pm 1,7$ m³/uur per dier (gemiddelde \pm standaarddeviatie tussen metingen) en varieerde tussen 0,8 en 5,3 m³/uur per dier. Dit is lager dan het gemiddelde ventilatie-debiet (2,1 m³/uur per dier; debiet varieerde tussen 0,1 en 9,6 m³/uur per dier) gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting. Het ventilatie-debiet was laag aan het begin van de productieronde en nam toe naarmate de vleeskuikens ouder werden, eindigend met hoge ventilatie-debieten aan het einde van de ronde (Figuur 3).



Figuur 3 Gemiddelde ventilatie-debiet [m³/uur per dier] op de verschillende meetdagen

3.3 Ammoniak

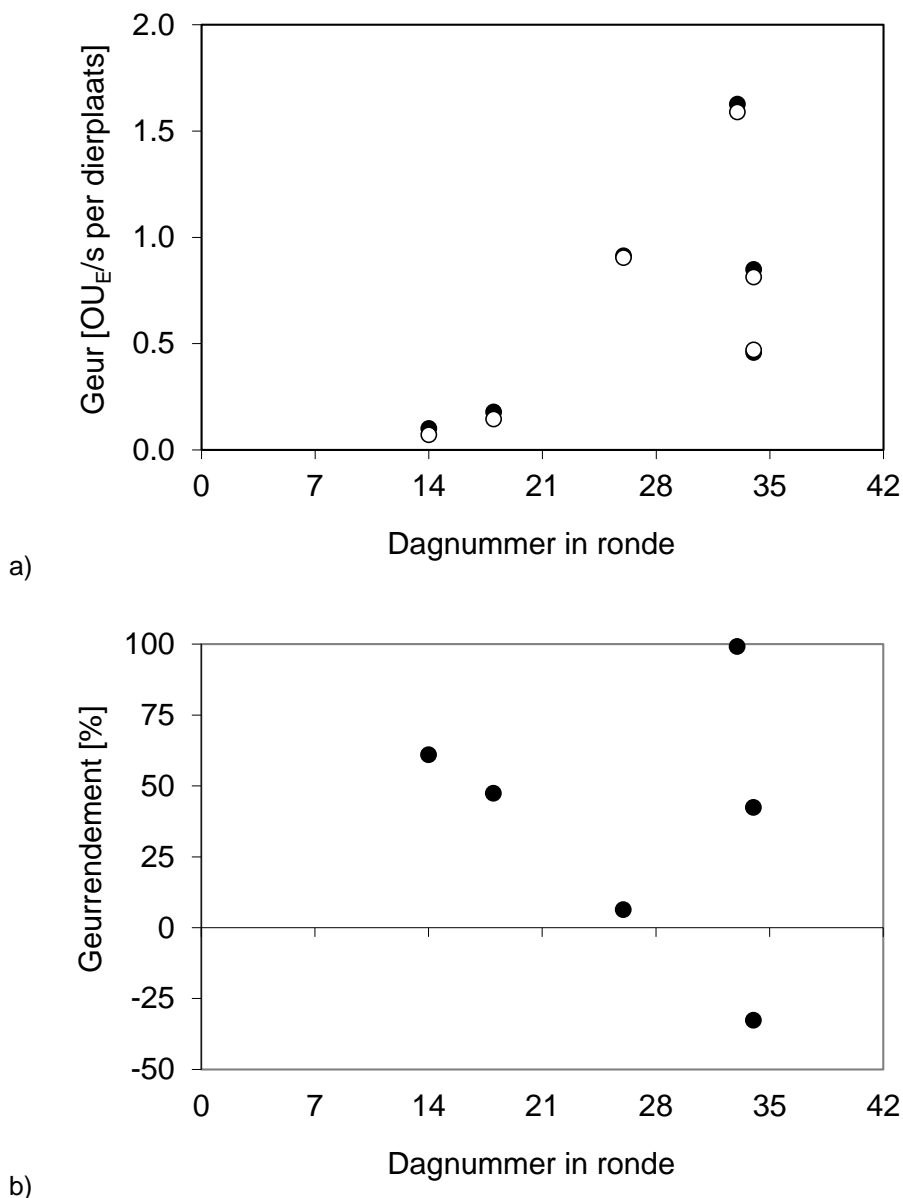
In Figuur 4 worden de ammoniakemissies en -verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal een gemiddelde ammoniakemissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) bepaald van $34,8 \pm 28,8$ g per dierplaats per jaar. Deze emissie is gelijk aan de emissiefactor die toegekend is aan het huisvestingssysteem geplaatst in de stal (35,0 g per dierplaats per jaar; BWL 2009.14.V2). De emissies zijn beduidend lager dan de emissiefactor in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) voor conventionele stallen (80 g per dierplaats per jaar), en dan de ammoniakemissie gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting (72 g per dierplaats per jaar). Het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van de warmtewisselaar bedroeg $10,9 \pm 6,8$ %. De uiteindelijke emissie uit de vleeskuikenstal met warmtewisselaar was $34,5 \pm 28,8$ g per dierplaats per jaar, dit betekent een ammoniakemissiereductie ten opzichte van de emissiefactor voor traditionele huisvesting van 57%. De emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008).



Figuur 4 a) Gemiddelde NH₃-emissie op de verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal (vóór de warmtewisselaar); open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met warmtewisselaar. b) Gemiddelde ammoniakverwijderingsrendementen van de warmtewisselaar op de verschillende meetdagen

3.4 Geur

In Figuur 5 worden de geuremissies en -verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal een geuremissie (voor geur wordt geen correctie voor leegstand toegepast; mediane emissie \pm standaarddeviatie tussen metingen) bepaald van $0,37 \pm 0,31$ OU_E per dierplaats per s. Deze emissie is hoger dan de emissiefactor die toegekend is aan het huisvestingsstelsel geplaatst in de stal ($0,24$ OU_E per dierplaats per s; BWL 2009.14.v2), en vergelijkbaar met de geuremissie ($0,39$ OU_E per dierplaats per s) gerapporteerd in Winkel e.a. (2009). Het gemiddelde geurrendement van de warmtewisselaar bedroeg $41,4 \pm 17,6$ %. De uiteindelijke emissie uit de vleeskuikenstal met warmtewisselaar bedroeg $0,35 \pm 0,32$ OU_E per dierplaats per s.

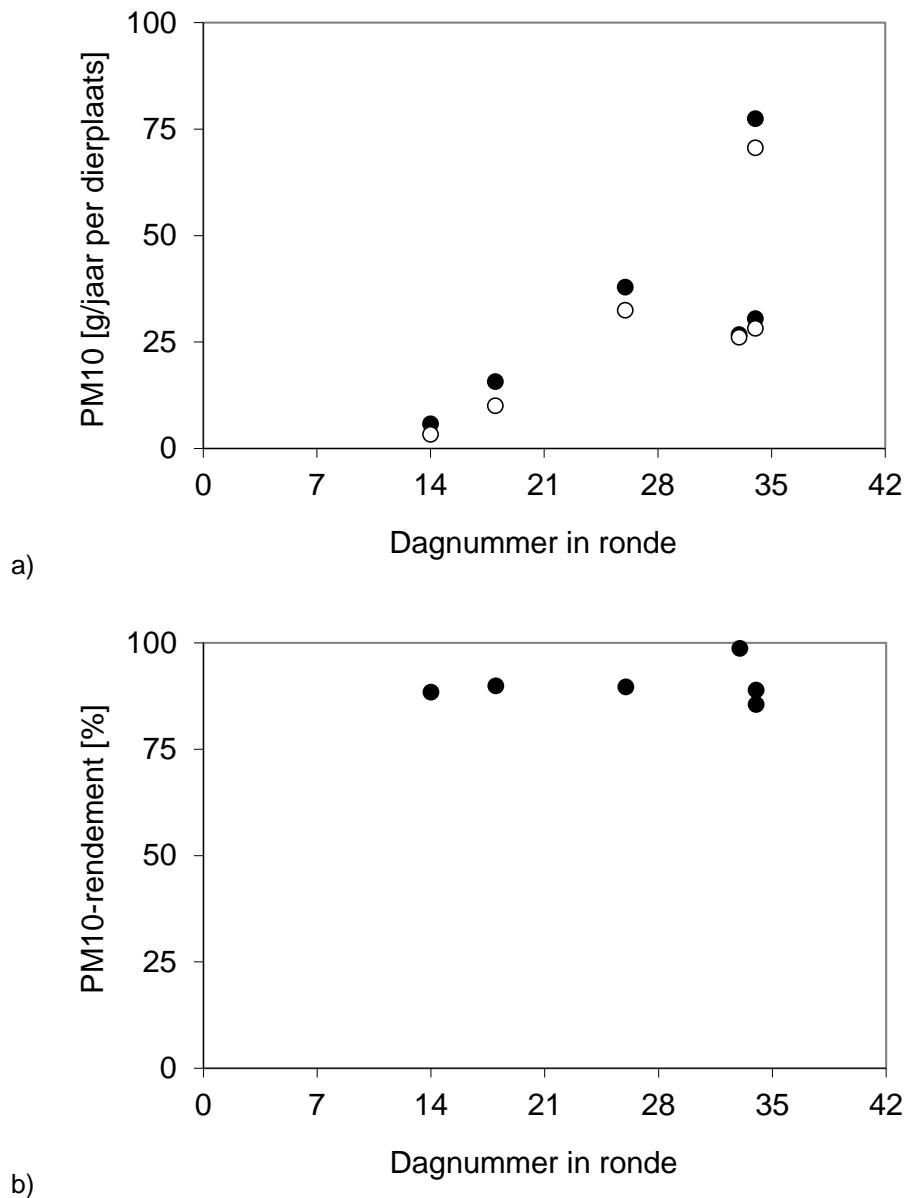


Figuur 5 a) Gemiddelde geuremissie op de verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal (vóór de warmtewisselaar); open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met warmtewisselaar. b) Gemiddelde geurverwijderingsrendementen van de warmtewisselaar op de verschillende meetdagen

3.5 Fijn stof (PM10 en PM2,5)

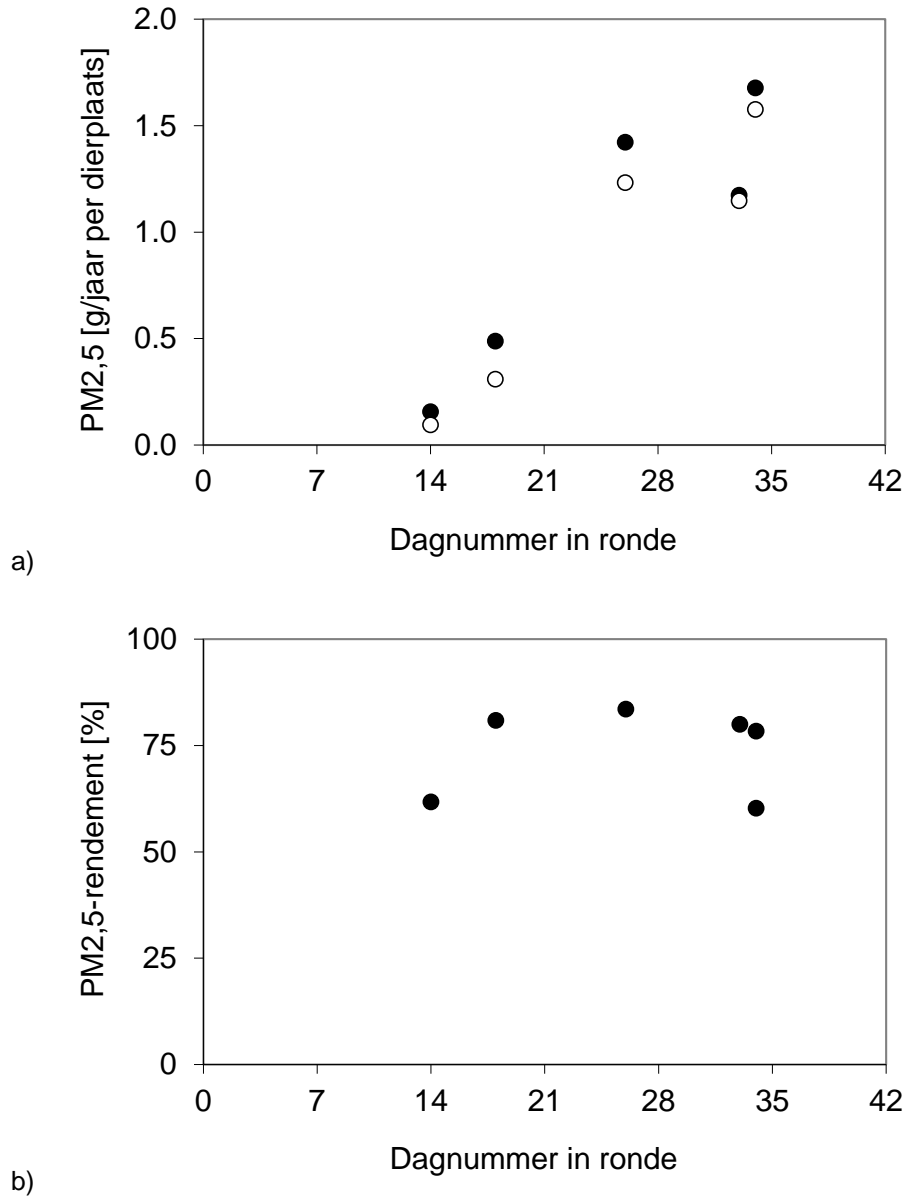
In Figuur 6 worden de emissies en verwijderingsrendementen van PM10 op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal een gemiddelde PM10-emissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) bepaald van $21,2 \pm 19,6$ g per dierplaats per jaar. Deze emissie is vergelijkbaar met de emissiefactor die toegekend is aan het huisvestingssysteem geplaatst in de stal (22 g per dierplaats per jaar; BWL 2009.14.v2), en met de PM10-emissie gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting (21,9 g per dierplaats per jaar). Het gemiddelde PM10-rendement van de warmtewisselaar bedroeg $89,8 \pm 1,3$ %.

De lucht die door de warmtewisselaar gaat is slechts een deel van de totale luchtstroom die wordt afgevoerd uit de stal ten behoeve van de ventilatie. Om de emissie over de totale ventilatie te bepalen zijn alle luchtstromen beoordeeld. De uiteindelijke emissie uit de vleeskuikenstal met warmtewisselaar bedroeg $18,1 \pm 19,2$ g per dierplaats per jaar, dit betekent een PM10-emissiereductie van 17,7 % ten opzichte van de emissiefactor voor traditionele huisvesting. De emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008).



Figuur 6 a) Gemiddelde PM10-emissie op de verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal (vóór de warmtewisselaar); open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met warmtewisselaar. b) Gemiddelde PM10 verwijderingsrendementen van de warmtewisselaar op de verschillende meetdagen

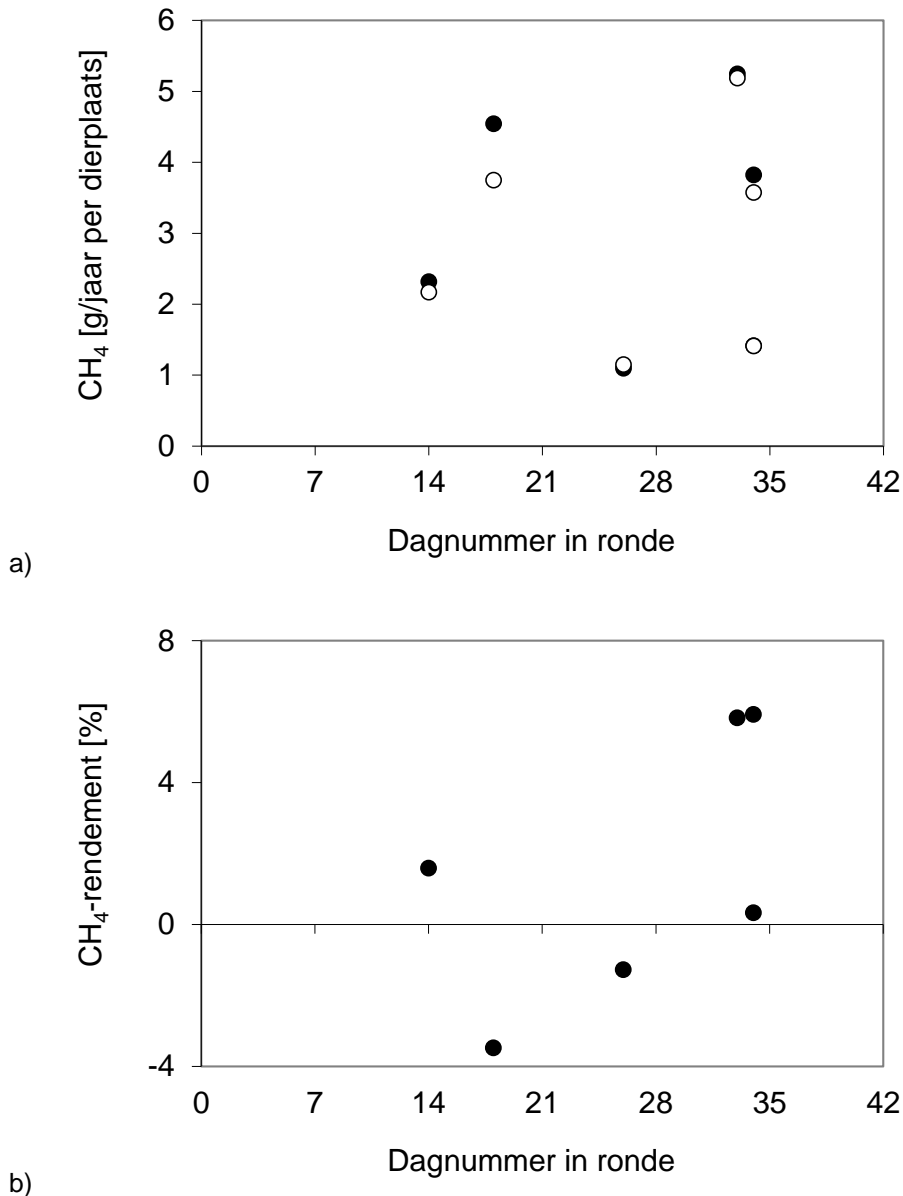
In Figuur 7 worden de emissies en verwijderingsrendementen van PM_{2,5} op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal een gemiddelde PM_{2,5}-emissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) bepaald van $0,9 \pm 1,1$ g per dierplaats per jaar. Deze emissie is lager dan de PM_{2,5}-emissie gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting (1,6 g per dierplaats per jaar). Het gemiddelde PM_{2,5}-rendement van de warmtewisselaar bedroeg $72,3 \pm 10,3$ %. De uiteindelijke emissie uit de vleeskuikenstal met warmtewisselaar bedroeg $0,8 \pm 1,0$ g per dierplaats per jaar. De emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008).



Figuur 7 a) Gemiddelde PM_{2,5}-emissie op de verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal (vóór de warmtewisselaar); open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met warmtewisselaar. b) Gemiddelde PM_{2,5} verwijderingsrendementen van de warmtewisselaar op de verschillende meetdagen

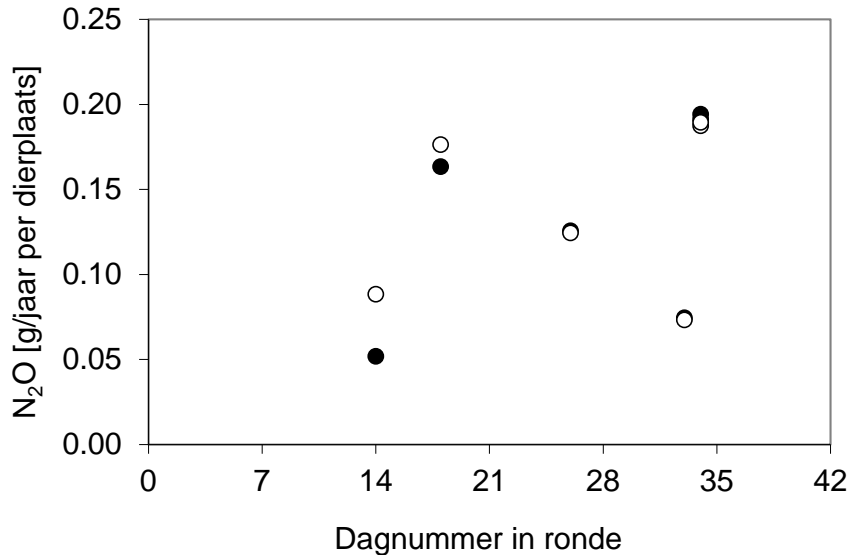
3.6 Overige broeikasgassen (CH₄ en N₂O)

In Figuur 8 worden de CH₄-emissies en -verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal een gemiddelde CH₄-emissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) bepaald van $2,4 \pm 0,5$ g per dierplaats per jaar. Het gemiddelde CH₄-rendement van de warmtewisselaar bedroeg $1,1 \pm 3,2$ %. De uiteindelijke CH₄-emissie uit de vleeskuikenstal met warmtewisselaar bedroeg $2,2 \pm 0,5$ g per dierplaats per jaar. De methaanemissies zijn lager dan de emissies gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (Maas e.a., 2011; 20 g per dierplaats per jaar) en in Winkel e.a. (2009) voor traditionele vleeskuikenstallen (3,6 g per dierplaats per jaar). De emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008).

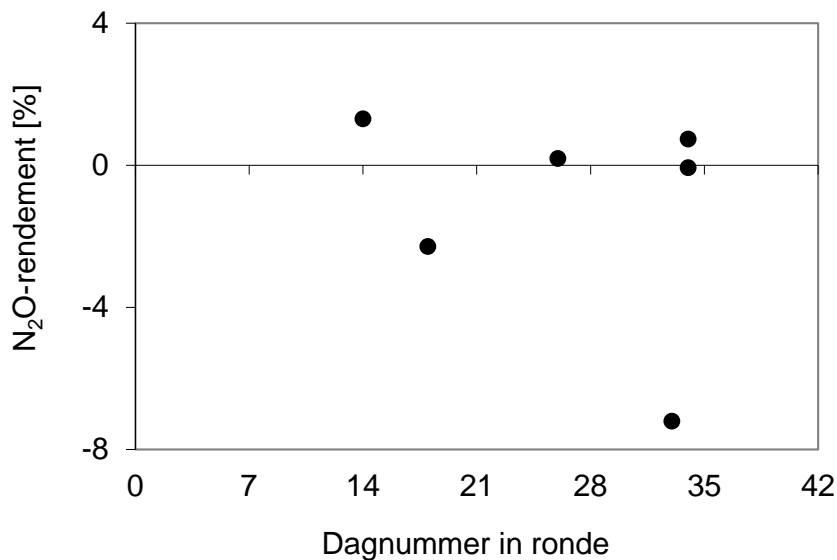


Figuur 8 a) Gemiddelde methaanemissie op de verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal (vóór de warmtewisselaar); open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met warmtewisselaar. b) Gemiddelde methaanverwijderingsrendementen van de warmtewisselaar op de verschillende meetdagen

In Figuur 9 worden de N₂O-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal een gemiddelde N₂O-emissie (\pm standaarddeviatie tussen metingen) bepaald van $0,10 \pm 0,05$ g per dierplaats per jaar. Lachgasemissies zijn lager dan de emissies gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (Maas e.a., 2011; 20 g per dierplaats per jaar) en in Winkel e.a. (2009) voor traditionele vleeskuikenstallen (8,9 g per dierplaats per jaar). Het gemiddelde N₂O-rendement van de warmtewisselaar bedroeg $-0,6 \pm 1,8$ %. De uiteindelijke N₂O-emissie uit de vleeskuikenstal met warmtewisselaar bedroeg $0,11 \pm 0,03$ g per dierplaats per jaar. De emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008).



a)



b)

Figuur 9 a) Gemiddelde N₂O-emissie op de verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal (vóór de warmtewisselaar); open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met warmtewisselaar. b) Gemiddelde lachgasverwijderingsrendementen van de warmtewisselaar op de verschillende meetdagen

Tabel 3 Ventilatie-debiet, concentratie, emissie en verwijderingsrendementen van PM10, PM2,5, NH₃, geur, CH₄ en N₂O op de verschillende meetdagen.

	Meting					
	1	2	3	4	5	6
Datum	17-01-2011	22-03-2011	07-06-2011	08-08-2011	04-10-2011	22-11-2011
Geplaatste dieren	41200	40400	40000	40000	40000	42000
Aanwezige dieren	40517	39705	39646	39185	28587	41152
Debiet door de warmtewisselaar [m ³ /uur]	12427	12847	12909	13648	12925	1367
Debiet door de warmtewisselaar [m ³ /uur per dier]	0,31	0,32	0,33	0,35	0,45	0,03
Debiet totaal [m ³ /uur]	31233	132463	26815	86412	151566	59808
Debiet totaal [m ³ /uur per dier]	0,77	3,34	0,68	2,21	5,30	1,45
NH ₃ voor warmtewisselaar [ppm]	8,24	8,37	0,80	5,29	0,75	3,14
NH ₃ na warmtewisselaar [ppm]	6,54	9,48	0,77	5,14	0,95	0,27
NH ₃ buiten [ppm]	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
NH ₃ emissie [g per dierplaats per jaar]						
Stal, vóór de warmtewisselaar	38,3	168,6	3,0	69,8	15,5	26,9
Stal + warmtewisselaar	35,1	170,7	2,9	69,4	15,9	26,4
NH ₃ verwijderingsrendement warmtewisselaar [%]	20,7	-13,2	3,7	2,9	-26,4	91,3
Geur voor warmtewisselaar [OU _E /m ³]	846	931	538	1521	435	4111
Geur na warmtewisselaar [OU _E /m ³]	445	536	210	1425	577	33
Geur emissie [OU _E per dierplaats per s]						
Stal, vóór de warmtewisselaar	0,18	0,85	0,10	0,91	0,46	1,63
Stal + warmtewisselaar	0,14	0,81	0,07	0,90	0,47	1,59
Geurverwijderingsrendement warmtewisselaar [%]	47,4	42,4	61,0	6,3	-32,6	99,2
PM10 voor warmtewisselaar [mg/m ³]	2,393	2,750	0,998	2,024	0,946	2,165
PM10 na warmtewisselaar [mg/m ³]	0,242	0,305	0,115	0,209	0,137	0,028
PM10 buiten [mg/m ³]	0,029	0,055	0,017	0,023	0,029	0,023
PM10 emissie [g per dierplaats per jaar]						
Stal, vóór de warmtewisselaar	15,7	77,4	5,8	37,9	30,5	26,7
Stal + warmtewisselaar	10,0	70,6	3,3	32,4	28,2	26,1
PM10-verwijderingsrendement warmtewisselaar [%]	89,9	88,9	88,4	89,7	85,5	98,7
PM2.5 voor warmtewisselaar [mg/m ³]	0,084	0,152	0,036	0,076	0,059	0,115
PM2.5 na warmtewisselaar [mg/m ³]	0,016	0,033	0,014	0,013	0,024	0,023
PM2.5 buiten [mg/m ³]	0,011	0,013	0,009	0,001	0,009	0,021
PM2.5 emissie [g per dierplaats per jaar]						
Stal, vóór de warmtewisselaar	0,5	4,0	0,2	1,4	1,7	1,2
Stal + warmtewisselaar	0,3	3,7	0,1	1,2	1,6	1,1
PM2.5-verwijderingsrendement warmtewisselaar [%]	80,9	78,3	61,7	83,6	60,2	80,0

Tabel 3 (vervolg) Ventilatiedebit, concentratie en emissie van PM10, PM2,5, NH₃, geur, CH₄ en N₂O op de verschillende meetdagen.

	Meting					
	1	2	3	4	5	6
CH ₄ voor warmtewisselaar [ppm]	2,46	2,12	2,76	1,92	1,84	2,68
CH ₄ na warmtewisselaar [ppm]	2,55	1,99	2,72	1,95	1,84	2,52
CH ₄ buiten [ppm]	2,01	1,93	2,24	1,84	1,78	2,24
CH ₄ emissie [g per dierplaats per jaar]						
Stal, vóór de warmtewisselaar	4,5	3,8	2,3	1,1	1,4	5,2
Stal + warmtewisselaar	3,7	3,6	2,2	1,1	1,4	5,2
CH ₄ -verwijderingsrendement warmtewisselaar [%]	-3,5	5,9	1,6	-1,3	0,3	5,8
N ₂ O voor warmtewisselaar [ppm]	0,40	0,46	0,42	0,29	0,36	0,35
N ₂ O na warmtewisselaar [ppm]	0,41	0,46	0,42	0,29	0,36	0,38
N ₂ O buiten [ppm]	0,37	0,45	0,39	0,29	0,35	0,37
N ₂ O emissie [g per dierplaats per jaar]						
Stal, vóór de warmtewisselaar	0,16	0,19	0,05	0,13	0,19	0,07
Stal + warmtewisselaar	0,18	0,19	0,09	0,12	0,19	0,07
N ₂ O-verwijderingsrendement warmtewisselaar [%]	-2,29	0,74	1,30	0,19	-0,07	-7,21

4 Conclusies

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van de metingen die in het kader van het "Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen" zijn uitgevoerd om de emissies van ammoniak, geur, PM10, PM2,5, methaan en lachgas uit een vleeskuikenstal met warmtewisselaar te bepalen.

Op basis van de huidige metingen zijn de volgende jaaremissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 18%) uit de vleeskuikenstal zelf bepaald (het betreft hier de stalemissie voorafgaand aan behandeling door de warmtewisselaar):

- Ammoniakemissie: $34,8 \pm 28,8$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,37 \pm 0,31$ OUE per dierplaats per s
- PM10 emissie: $21,2 \pm 19,6$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,9 \pm 1,1$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,4 \pm 0,5$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $0,10 \pm 0,05$ g per dierplaats per jaar

Op basis van de huidige metingen zijn de volgende jaaremissies (gecorrigeerd voor een leegstand van 18%) uit het huisvestingssysteem (stal met warmtewisselaar) bepaald:

- Ammoniakemissie: $34,5 \pm 28,8$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,35 \pm 0,32$ OUE per dierplaats per s
- PM10 emissie: $18,1 \pm 19,2$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,8 \pm 1,0$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,2 \pm 0,5$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $0,11 \pm 0,03$ g per dierplaats per jaar

De volgende verwijderingsrendementen voor de warmtewisselaar werden bepaald (gemiddelde \pm standaarddeviatie tussen metingen):

- Ammoniak: $10,9 \pm 6,8$ %
- Geur: $41,4 \pm 17,6$ %
- PM10: $89,8 \pm 1,3$ %
- PM2,5: $72,3 \pm 10,3$ %
- Methaan: $1,1 \pm 3,2$ %
- Lachgas: $-0,6 \pm 1,8$ %

Ten opzichte van een stal met traditionele huisvesting (categorie E 5.100 in de Rav) is de reductie voor ammoniak voor de stal en de warmtewisselaar samen 57% en voor PM10 17,7%.

Literatuur

- CEN 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Groenestein, C.M. en A.J.A. Aarnink. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808, Animal Science Group van Wageningen UR, Lelystad, The Netherlands.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera en N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 493, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A. J. A. Aarnink, en N. W. M. Ogink. 2008. Measurement protocol for emissions of fine dust from animal housings. Considerations, draft protocol and validation. Report 134, Animal Sciences Group, Lelystad.
- LNV. 2008. Toekomstvisie of de veehouderij. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, 16 januari 2008.
- Maas, C.W.M. van der , P.W.H.G., Coenen, P.J. Zijlema, K. Baas, G. van den Berghe, J.D. te Biesebeek, A.T. Brandt, G. Geilenkirchen, K.W. van der Hoek, R. te Molder, R. Dröge, C.J. Peek, J. Vonk, I. van den Wyngaert. 2011. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2009. National Inventory Report 2011, MNP, Bilthoven, The Netherlands.
- Mosquera, J., C.M. Groenestein en N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 494, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentie gelijkwaardigheid 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., G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.
- Ogink, N.W.M.. 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 491, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera en J.M.G. Hol. 2011a. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 454, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., P. Hofschreuder en A.J.A. Aarnink. 2011b. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, en 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.
- Staatscourant. 2011a. Wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij. Staatscourant 18726, 18 oktober 2011.
- Staatscourant. 2011b. Wijziging van de Regeling geurhinder en veehouderij. Staatscourant 18729, 3 oktober 2011.
- Winkel, A., J. Mosquera, R.K. Kwikkell, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2009. Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens. Rapport 275, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, The Netherlands.
- 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, en P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. Aerosol Science 40: 868 – 878.

Bijlagen

Bijlage A Foto's van de bedrijfssituatie



Wesselman (warme stallucht uit de nok wordt via één ventilator naar beneden gebracht (eventueel verwarmd) en radiaal verdeeld over de dieren



Traditionele inlaatventielen



Nokventilator



Warmtewisselaar aangepast voor de metingen. De lucht wordt i.p.v. recht omhoog, nu via de buizen in een uitstroomgang gebracht met als doel de luchtsnelheid te verlagen



Warmtewisselaar (instroom warme stallucht)



Warmtewisselaar (instroom koude buitenlucht)

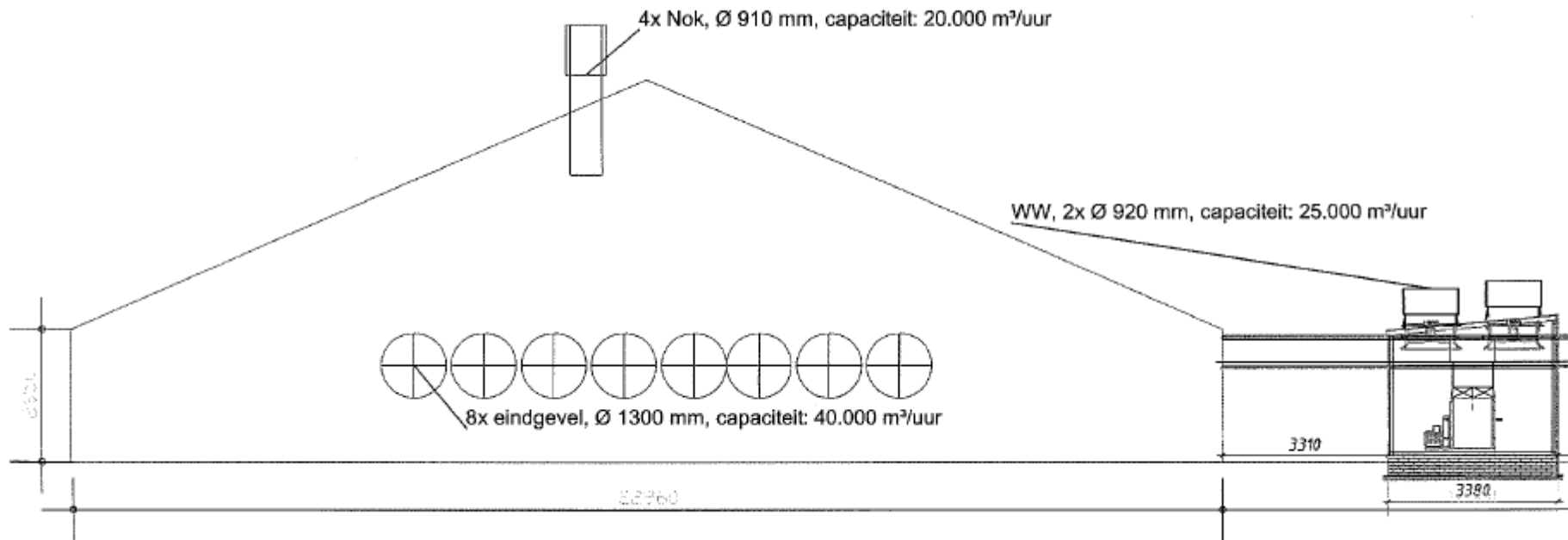


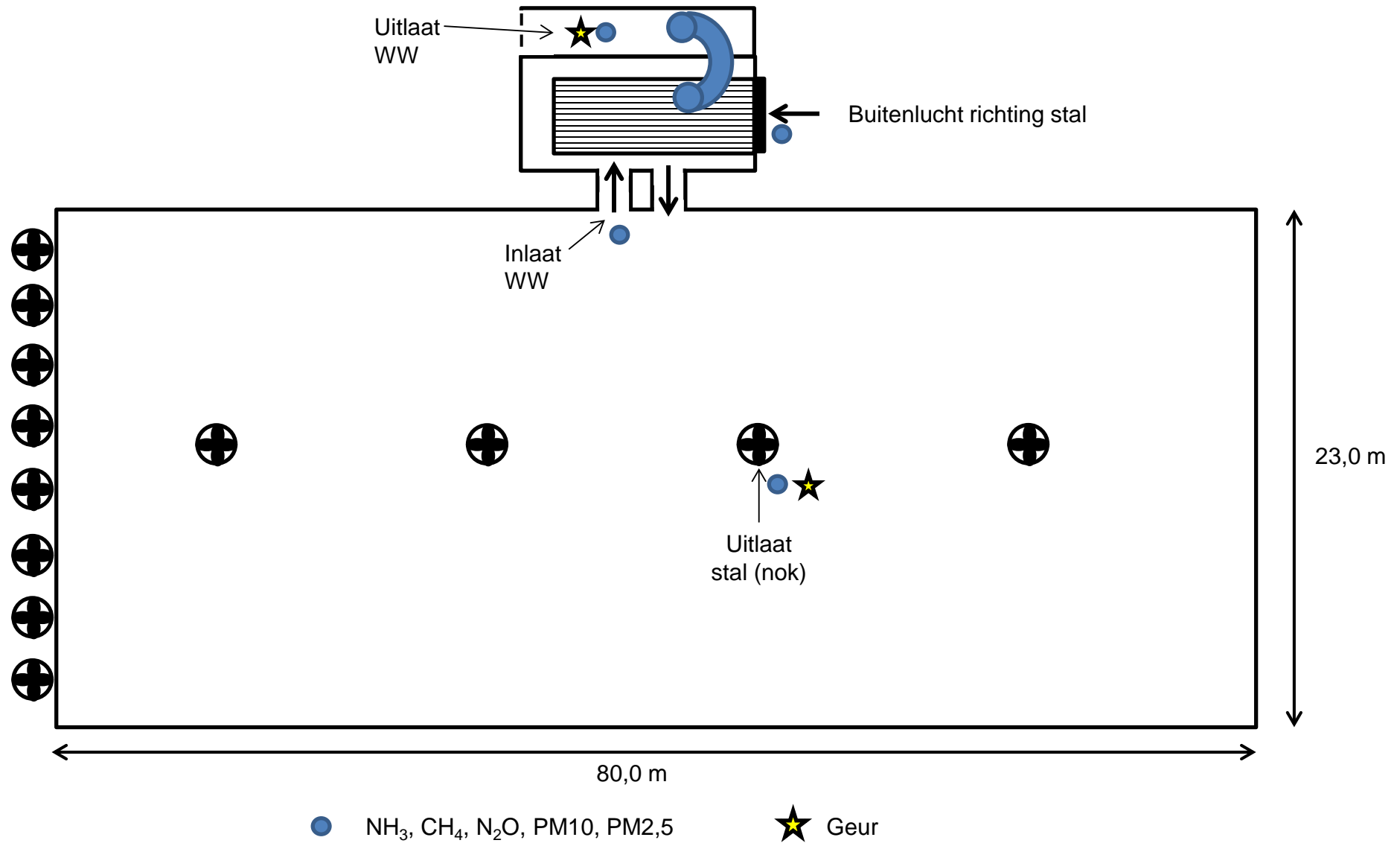
*Pijl: uitstroomopening van de warme stallucht richting de warmtewisselaar
Buizen: instroom verwarmde buitenlucht uit de warmtewisselaar naar de dieren*



Luchtverdelingssysteem voor de verwarmde buitenlucht

Bijlage B Doorsnede en plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten





Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering

Natchemisch met wasflessen en impingers (NH₃)

Bij de nat-chemische methode (Wintjes, 1993) wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom (~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 ~1,0 L/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH₃ chemisch wordt gebonden. 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 door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (zie foto hieronder). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden NH₃ spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH₄⁺ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH₃-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.

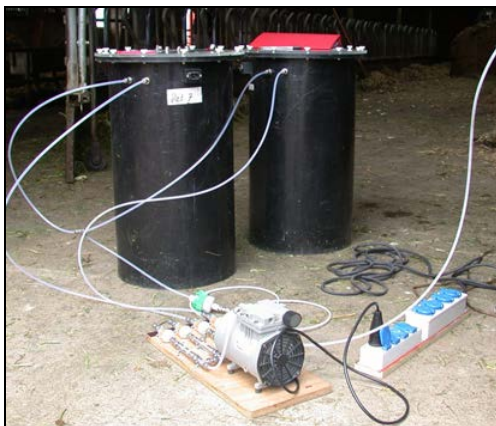


Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp

Longmethode (geur en broeikasgassen)

Bij de toepassing van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) werd een 40 L Nalophan monsterzak 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, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak.

Bij de bepaling van de geurconcentratie werd gedurende twee uur (tussen 10:00 en 12:00 uur) stallucht aangezogen met een flow van ca. 0,4 L/min. Voordat de lucht in een geurvrije zak werd verzameld werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). De geuranalyses werden uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer L400 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses.



Meetopstelling voor het meten van de geur- en broeikasgas- (CH₄, N₂O) concentraties

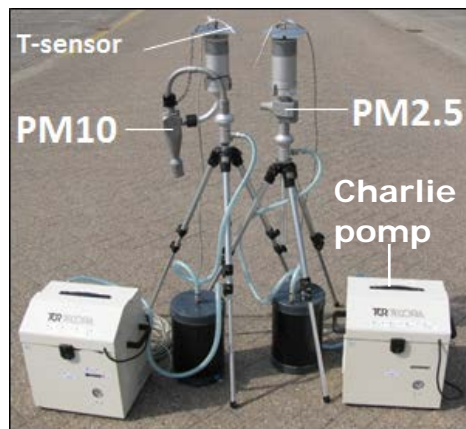
Bij de bepaling van de concentratie broeikasgassen werd de monsterzak gedurende 24 uur continu gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 L/min. Op deze wijze werd een 24-uurs monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂), Haysep Q (N₂O); detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: HWD).

Gravimetrische meetmethode fijn stof

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

PM10: < 222,6 µg/m³: $Y = 1,0877 X$
 > 222,6 µg/m³: $Y = 0,8304 X + 57,492$
 PM2,5: geen correctie

Voor de bepaling van de concentraties PM10 en PM2,5 in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht werd lucht door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle; zie foto hieronder). De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 m³/uur en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode.



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

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



Stofapparatuur luchtinlaat vóór de warmtewisselaar



Stofapparatuur luchtuitlaat na de warmtewisselaar

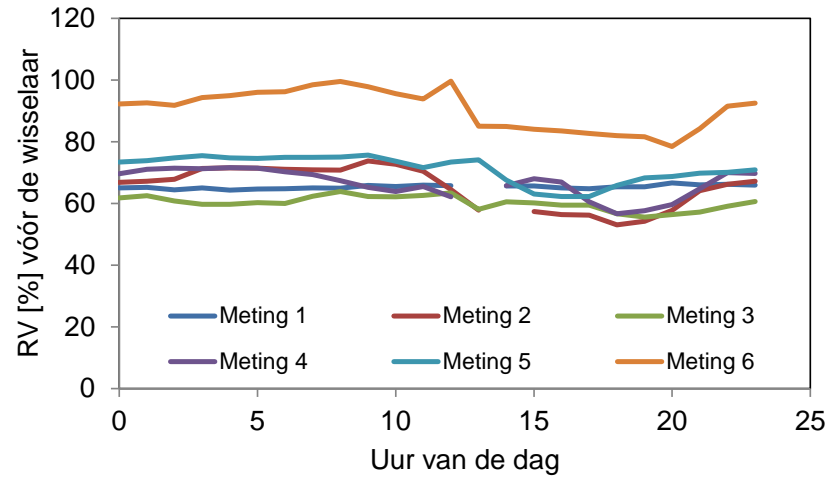
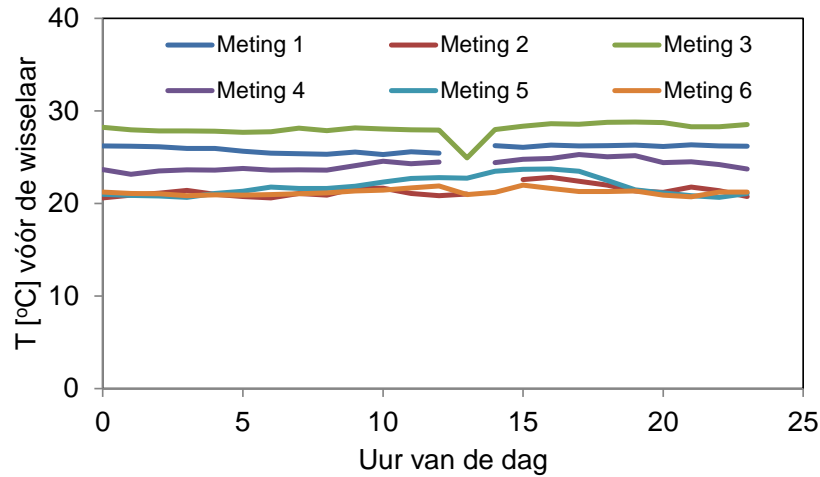
Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

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

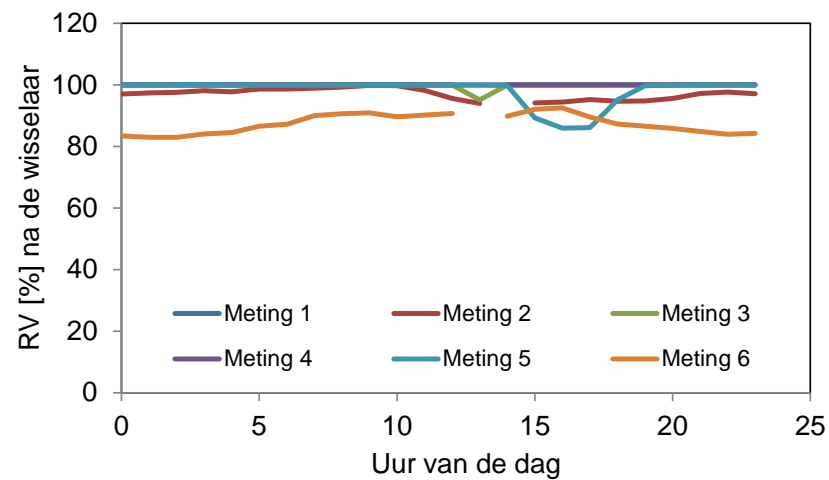
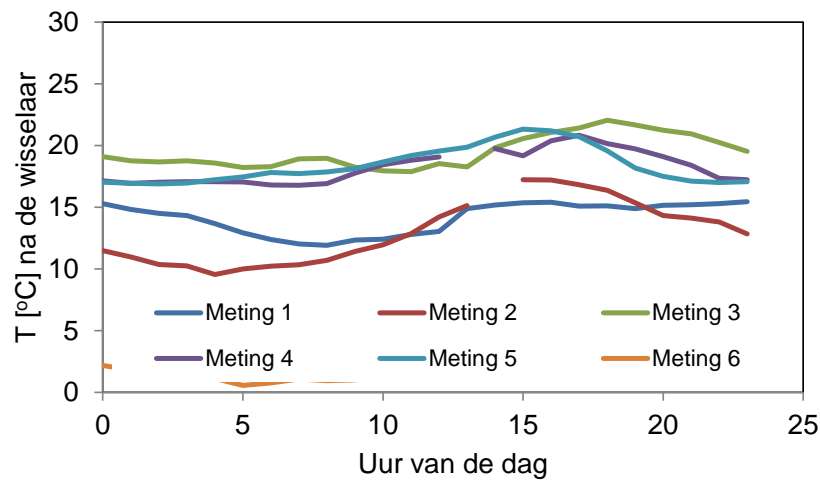


De Rotronic sensor voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

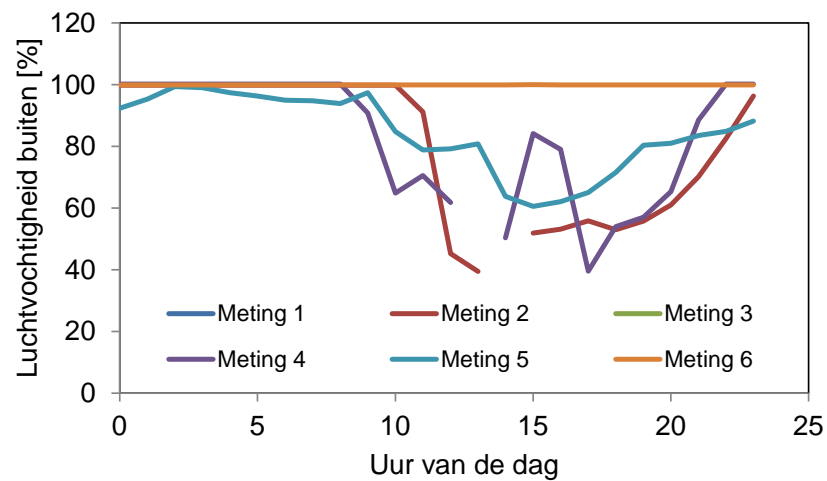
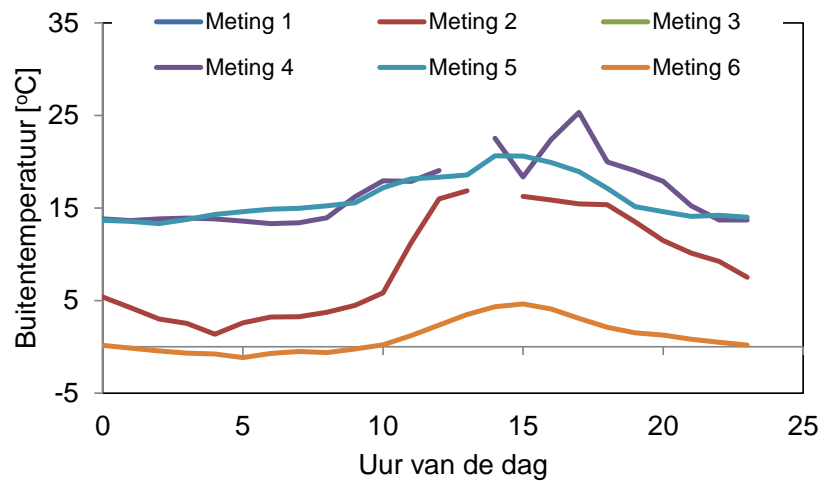
Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)



Uurgemiddelden temperatuur en luchtvochtigheid vóór de warmtewisselaar



Uurgemiddelden temperatuur en luchtvochtigheid na de warmtewisselaar



Uurgemiddelden buitentemperatuur en -luchtvochtigheid



Wageningen UR Livestock Research

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

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