

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 611

Emissies uit een vleeskuikenstal met geconditioneerd luchtinlaat, biologische wasser en denitrificatie-unit. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

November 2012



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,
2012

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 gedeponeerd 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 a heat exchanger, biological air scrubber and denitrification unit.

Keywords

Ammonia, odour, fine dust, methane, nitrous oxide, emissions, broiler, biological air scrubber, heat exchanger, denitrification unit

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

J. Mosquera
J.M.G. Hol
J.P.M. Ploegaert
T. van Hattum
E. Lovink
N.W.M. Ogink

Titel

Emissies uit een vleeskuikenstal met
geconditioneerd luchtinlaat, biologische wasser
en denitrificatie-unit. Meetprogramma Integraal
Duurzame Stallen

Rapport 611

Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissies bepaald van
ammoniak, geur, fijn stof (PM10, PM2,5),
methaan en lachgas uit een vleeskuikenstal
met geconditioneerd luchtinlaat, biologische
wasser en denitrificatie-unit.

Trefwoorden

Ammoniak, geur, fijn stof, methaan, lachgas,
emissies, vleeskuikens, biologische wasser,
geconditioneerd luchtinlaat, denitrificatie-unit



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 611

Emissies uit een vleeskuikenstal met geconditioneerd luchtinlaat, biologische wasser en denitrificatie-unit. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

J. Mosquera
J.M.G. Hol
J.P.M. Ploegaert
T. van Hattum
E. Lovink
N.W.M. Ogink

November 2012

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, Landbouw en Innovatie 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 Inno+ BV opdracht gegeven om de emissies te meten uit een vleeskuikenstal met geconditioneerd luchtinlaat, biologische wasser en denitrificatie-unit. 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, Landbouw en Innovatie 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. Het beoogde emissiereducerende principe van dit systeem is tweeledig. De lucht wordt met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar geconditioneerd voordat de lucht de stal binnenstroomt, waardoor minder geventileerd hoeft te worden. Dit resulteert in minder lucht langs het emitterend oppervlak, met als verwachting een verlaging van de ammoniakemissie uit de stal. Daarnaast zorgt de biologische wasser inclusief denitrificatiesysteem voor een reductie van de emissies van ammoniak, geur en fijn stof.

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-uurs (voor geur 2-uurs) metingen zijn uitgevoerd, verspreid over het jaar. De metingen zijn echter op slechts één locatie uitgevoerd in plaats van de voorgeschreven twee locaties.

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

- Ammoniakemissie: $28,3 \pm 25,2$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,32 \pm 0,25$ OU_E per dierplaats per s
- PM10 emissie: $11,8 \pm 10,8$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,7 \pm 0,7$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,8 \pm 0,8$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $2,1 \pm 1,6$ g per dierplaats per jaar

Op basis van de metingen zijn de volgende jaaremissies (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; emissies gecorrigeerd voor een leegstand van 18%) uit het huisvestingssysteem (stal met biologische wasser) bepaald:

- Ammoniakemissie: $7,5 \pm 8,1$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,25 \pm 0,25$ OU_E per dierplaats per s
- PM10 emissie: $7,3 \pm 6,5$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,5 \pm 0,6$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,5 \pm 0,6$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $26,1 \pm 24,7$ g per dierplaats per jaar

De volgende verwijderingsrendementen bij de biologische wasser werden bepaald (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen):

- Ammoniak: $72,4 \pm 5,9$ %
- Geur: $34,4 \pm 14,3$ %
- PM10: $39,5 \pm 7,0$ %
- PM2,5: $25,3 \pm 5,0$ %
- Methaan: $3,0 \pm 2,4$ %
- Lachgas: $-158,6 \pm 131,8$ % (productie van lachgas)

Wanneer de niveaus van de ammoniakverwijdering in het luchtwassysteem worden vergeleken met de lachgasproductie, volgt hieruit dat een groot deel van de NH₃ verwijdering in het luchtwassysteem het gevolg is van omzetting van NH₃ in N₂O. Berekend kan worden dat ca. 72% van de NH₃ die uit de stallucht is verwijderd, is omgezet in N₂O (berekend als gemiddelde over de 6 metingen).

Summary

In order to stimulate the application of integral sustainable housing systems in practice, the measurement program "Measuring Program for integral sustainable stables" was started in 2009 by the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation. 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 research programme on a broiler house. The emission reduction principle of this system is based on two different aspects. First of all, the air is conditioned with groundwater from a soil heat exchanger before air enters the broiler house, resulting in a lower ventilation rate. This leads to less air being in contact with the emitting surface, which may reduce the ammonia emission from the broiler house. Besides, the biological scrubber including the denitrification unit leads to a further reduction of the ammonia emissions, and of the emission of odour and fine dust.

Emission measurements of ammonia, odour, fine dust, methane and nitrous oxide have been performed 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. This implies performing six 24-h measurements (for odour two h), spread over the year. Measurements were however performed at only one location, instead of the two 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%) have been determined (it refers to the emissions from the broiler house before the air is treated by the biological air filtration technique):

- Ammonia emission: 28.3 ± 25.2 g per animal place per year
- Odour emission: 0.32 ± 0.28 OU_E per animal place per s
- PM10 emission: 11.8 ± 10.8 g per animal place per year
- PM2,5 emission: 0.7 ± 0.7 g per animal place per year
- Methane emission: 2.8 ± 0.8 g per animal place per year
- Nitrous oxide emission: 2.1 ± 1.6 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 biological air filtration technique, corrected for an empty period of 18%) have been determined:

- Ammonia emission: 7.5 ± 8.1 g per animal place per year
- Odour emission: 0.25 ± 0.25 OU_E per animal place per s
- PM10 emission: 7.3 ± 6.5 g per animal place per year
- PM2,5 emission: 0.5 ± 0.6 g per animal place per year
- Methane emission: 2.5 ± 0.6 g per animal place per year
- Nitrous oxide emission: 26.1 ± 24.7 g per animal place per year

The following removal efficiencies (average $\pm$ standard deviation between measurements) have been determined for the biological scrubber:

- Ammonia: 72.4 ± 5.9 %
- Odour: 34.4 ± 14.3 %
- PM10: 39.5 ± 7.0 %
- PM2,5: 25.3 ± 5.0 %
- Methane: 3.0 ± 2.4 %
- Nitrous oxide: -158.6 ± 131.8 % (production of nitrous oxide)

When the levels of ammonia removal in the air scrubber are compared with the nitrous oxide production, it follows that a large part of the NH₃ removal in the air scrubber is the result of conversion of NH₃ into N₂O. It can be calculated that approximately 72% of the NH₃ that is removed is converted into N₂O (calculated as an average over the 6 measurements).

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	4
2.2	Metingen	4
2.2.1	Meetstrategie	4
2.2.2	Ammoniakconcentratie	5
2.2.3	Geurconcentratie	5
2.2.4	Stofconcentratie	5
2.2.5	Concentratie overige broeikasgassen	5
2.2.6	Ventilatie-debiet	6
2.2.7	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	6
2.2.8	Waswater	6
2.2.9	Productiegegevens	6
2.3	Verwerking gegevens	7
3	Resultaten en discussie	8
3.1	Meetomstandigheden	8
3.2	Ventilatie-debiet	10
3.3	Ammoniak	10
3.4	Geur	12
3.5	Fijn stof (PM10 en PM2,5)	13
3.6	Overige broeikasgassen (CH ₄ en N ₂ O)	15
3.7	Waswater	17
4	Conclusies	21
	Literatuur	22
	Bijlage A Foto's van de bedrijfssituatie	23
	Bijlage B Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten	26
	Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering	27
	Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)	30

1 Inleiding

De Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie 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, dierenwelzijn 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). Deze meetprotocollen schrijven per locatie, verspreid over het jaar, zes meetdagen van 24 uur voor om een jaargemiddelde emissie te kunnen vaststellen. 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, Landbouw en Innovatie 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 de heer van Lith te Asten Heusden. De vleeskuikenstal die was aangemeld voor dit project heeft de beschikking over twee verschillende onderdelen die de emissie van de verschillende componenten zouden kunnen beïnvloeden:

1. De inlaatlucht wordt door middel van een warmtewisselaar geconditioneerd.
2. Een biologische wasser behandelt alle ventilatielucht die de stal uit gaat. De bijbehorende denitrificatie-unit behandelt continu een deel van het vervuilde waswater.

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 metingen vonden plaats op een bedrijf met vleeskuikens en nageschakelde biologische wasser. De stal en wasser worden mechanisch geventileerd, en alle lucht die uit de stal komt wordt behandeld door de biologische wasser. De stal is 80 m lang en 28 m breed. Op dit bedrijf worden 20 dieren per m² opgezet, dit komt overeen met 45.000 dierplaatsen. Bij een leeftijd van 30 dagen wordt 10% 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 te vergelijken met een traditionele stal. Er zijn 7 waterlijnen waaraan drinknippels met lekbakjes zijn bevestigd en 6 voerlijnen met daaraan voerpannen. Gedurende de eerste periode na opzet wordt vloerverwarming toegepast om het comfort voor de jonge dieren te vergroten.

Deze stal wijkt af van een traditionele stal door het gebruik van een alternatief ventilatiesysteem. Alle lucht die de stal binnenkomt wordt langs een warmtewisselaar geleid (LC-unit). In de LC-unit wordt de lucht geconditioneerd door deze langs buizen met stromend water te leiden, waardoor uitwisseling van warmte plaats kan vinden. Er wordt dwarsventilatie toegepast waarbij de luchtinlaat aan één lengtezijde van de stal is gesitueerd en de luchtuitlaat in de tegenoverliggende lengtezijde. De lucht gaat via over de stalzijde verdeelde meetventilatoren en smookkleppen de stal uit (15 smookkleppen waarvan 5 met meetventilator) en komt in een lange gang terecht. Deze gang loopt over de gehele lengtezijde van de stal. Aan de achterzijde van deze gang zijn vijf ventilatoren geplaatst die de lucht uit de stal trekken en door de biologische wasser heen duwen. De ventilatoren hebben een diameter van 92 cm en een maximale ventilatiecapaciteit van 25000 m³/uur. De lange gang wordt gebruikt om de wervelende stallucht tot rust te laten komen om daarmee het neerslaan van stof uit de stallucht te bereiken. De ventilatoren aan het einde van de gang (vóór de wasser) worden aangestuurd op basis van de gewenste staltemperatuur. De smookkleppen en meetventilatoren reageren weer op de instelling van deze ventilatoren. In Bijlage A zijn foto's van de stalinrichting geplaatst en Bijlage B geeft een schematische indeling van de stal. Tabel 1 vat de belangrijkste stalenmerken samen.

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stal.

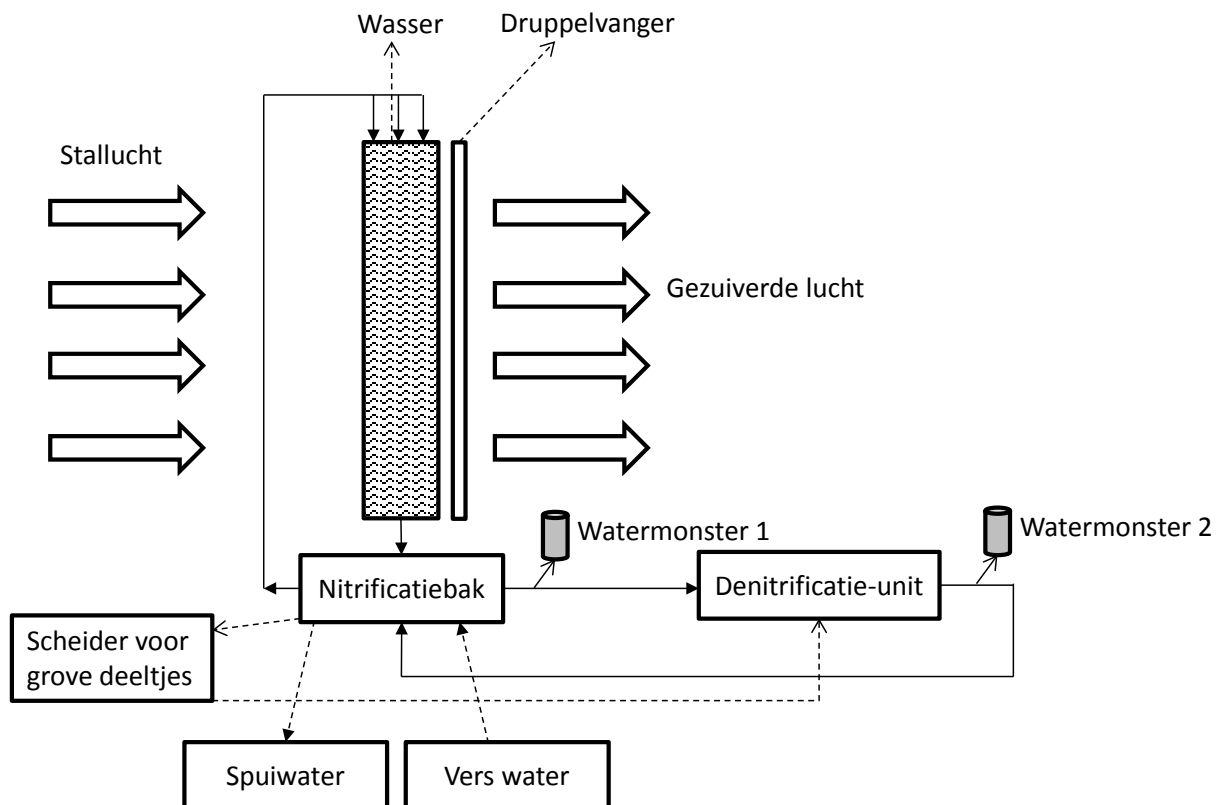
Kenmerk	
Grondoppervlak stal [m ²]	2.240
Inhoud stal [m ³]	11.200
Leefoppervlak [dieren per m ²]	20
Aantal dierplaatsen	45.000
Vloerverwarming	Ja
Ruimteverwarming	Nee
Regeling inlaattemperatuur	Ja, via warmtewisselaar
Ventilatiecapaciteit [m ³ /uur]	125.000
[m ³ /uur per dierplaats]	2,8

De biologische wasser die de ventilatielucht uit de stal behandelt was achter de stal tegen de kopgevel geplaatst en is van het type dwars-stroom. De stallucht wordt door de ventilatoren in de drukkamer vóór de wasser verplaatst. De drukkamer heeft een inhoud van 105 m³. Vanuit de drukkamer kan de lucht alleen door het wasser-pakket naar buiten. Het wasser-pakket (een verticaal opgestelde wand) is 0,55 m dik, 12 m breed en 3 m hoog (19,8 m³) en is opgebouwd uit kunststof pakkingsmateriaal (merk: 2H GmbH; type: NET38; specifieke oppervlakte: 150 m²/m³). Van bovenaf wordt via een verdeelsysteem water bovenop het wasser-pakket gebracht wat vervolgens door het pakket naar beneden stroomt en op deze wijze het pakkingsmateriaal bevochtigt. De laatste 10 cm-dikte van het wasser-pakket wordt niet bevochtigt van bovenaf en fungeert als druppelvanger. De

lucht wordt na het wasser-pakket direct naar buiten afgevoerd. Om verschillende praktische redenen is er op dit bedrijf een schuine plaat na het wasserpakket geplaatst waardoor de uitstromende lucht meer naar boven wordt afgevoerd. In Bijlage A zijn ook foto's van de biologische wasser geplaatst.

Het waswater wordt voortdurend met een drukloos/drukarm waterverdeelsysteem over de bovenzijde van het wasser-pakket verdeeld. (ca. 160 m³/uur). Al het waswater wordt opgevangen in het waswater-reservoir (inhoud: 35 m³) in de drukkamer en onder de wasser. Een deel van het water wordt naar een denitrificatietank gebracht. Deze denitrificatietank is in de gang geplaatst waar ook de ventilatielucht uit de stal terecht komt. Het geheel is 35 m lang, en bevat een reservoir met een laag van ca. 50 cm water. Het water wordt via verschillende overlopen zuurstofarm gemaakt. Het behandelde water wordt weer terug in het waswaterreservoir gepompt.

De hoeveelheid spuiwater is door de luchtwasserleverancier ingesteld op ca. 21 m³ per ronde. Dit staat gelijk aan ca. 7 liter per vleeskuikenplaats per jaar. De hoeveelheid spuiwater is door de luchtwasserleverancier ingesteld op bovengenoemde waarde om voldoende afvoer van stof en ander gesuspendeerd materiaal te realiseren, zodat het water relatief schoon blijft. Daarnaast wordt de geleidbaarheid (EC) gemeten en wordt, indien dit nodig mocht zijn, de spuihoeveelheid verder verhoogd om een EC van maximaal 20 mS/cm te waarborgen (dit staat gelijk aan een stikstofgehalte van ca. 4,3 g N/liter; Melse en Ploegaert, 2011). In Figuur 1 wordt een schematische weergave van de wasser weergegeven. In Tabel 2 worden de belangrijkste kenmerken van deze biologische wasser benoemd.



Figuur 1 Schematische weergave van de biologische luchtwasser met denitrificatie-unit

Tabel 2 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte biologische wasser

Kenmerk	
Ventilatiecapaciteit [m^3/uur]	125.000
Afmeting luchtwasinstallatie (l x b x h) [$\text{m} \times \text{m} \times \text{m}$]	12 x 0,55 x 3
Dikte wasser-pakket [m]	0,45
Druppelvanger [m]	0,10
Pakkingsvolume [m^3]	9,34
Aanstroomoppervlak [m^2]	24,57
Waswaterrecirculatie [m^3/uur]	160
Hoeveelheid waswater in systeem [m^3]	35
Minimum luchtverblijftijd in pakket [sec] ⁽¹⁾	0,57
Spui regeling	basis 21 m^3 /ronde of meer bij overschrijding geleidbaarheid 20mS/cm

⁽¹⁾ Dit wordt berekend door het pakkingsvolume (m^3) te delen door het maximale luchtdebiet (m^3/s)

2.1.2 Emissiereducerend principe

Het emissiereducerende principe voor NH_3 , geur en fijn stof van dit systeem is tweeledig:

- 1) de behandeling van de ventilatielucht die in dit systeem wordt toegepast,
- 2) de biologische wasser.

Ad 1: Voordat de lucht de stal binnenstroomt, gaat de ingaande lucht eerst door een warmtewisselaar, waarin de lucht met grondwater uit een bodemwarmtewisselaar wordt geconditioneerd. Dit heeft tot gevolg dat bij hogere buitentemperaturen de binnenkomende buitenlucht gekoeld kan worden waardoor een lager ventilatiedebiet kan worden gerealiseerd ten opzichte van een traditionele vleeskuikenstal. Bij koud weer kan de ingaande lucht worden voorverwarmd waardoor de vloerverwarming in de stal minder hoeft te worden gebruikt. Door minder te ventileren komt minder lucht langs het emitterend oppervlak, wat de emissie van voornamelijk ammonia (en mogelijk ook geur en fijn stof) kan verlagen. De uitgaande lucht uit de stal komt in een lange gang terecht, met als gevolg een lagere luchtsnelheid en langere verblijftijd, en een grotere kans om stof neer te laten slaan. Tevens wordt het strooisel geconditioneerd, waardoor de verwachting is dat broei minder voorkomt.

Ad 2: De biologische wasser bestaat uit een wasser-pakket (dwarsstroomprincipe). In de wasser wordt NH_3 tot nitraat en nitriet omgezet, met als gevolg een lagere NH_3 -emissie uit de stal. Door biologische activiteit van organisch materiaal op het wasser-pakket en in het waswater worden geurcomponenten afgebroken. Het gebruik van waswater en de doorstroming door een pakket met veel contactpunten blijft een deel van het fijn stof achter in het waswater.

Een nadeel van het gebruik van een biologische wasser is dat er relatief veel water moet worden gespuid om een goede werking te behouden. Aan de afzet van spuiwater zijn kosten verbonden. Om de hoeveelheid spuiwater te verminderen is aan de biologische wasser een nitrificatie/denitrificatie-reactor gekoppeld. Een deel van het waswater wordt naar een denitrificatie-unit geleid, met als doel zoveel mogelijk nitraat en nitriet om te zetten naar N_2 , waarna het water weer wordt teruggedleid naar de wasser. Het is bekend dat in dit type systemen eveneens een hoeveelheid N_2O wordt gevormd.

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

De metingen zijn in de periode oktober 2010 – augustus 2011 uitgevoerd. De emissiemetingen voor ammoniak (NH_3), geur, fijn stof (PM_{10} ; $\text{PM}_{2,5}$), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) 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 een meting van een minimum duur van 24 uur is uitgevoerd. De metingen zijn echter op slechts één locatie uitgevoerd in plaats van de voorgeschreven twee 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". Een meting bestond uit het meten van de concentratie van NH_3 , geur, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, CH_4 en N_2O in de ingaande en uitgaande stallucht (vóór en na de wasser; 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). In afwijking met de meetprotocollen (nog niet officieel wanneer de metingen van start gingen) werd geen elektronisch monitoringssysteem toegepast om relevante parameters van de wasser (pH, EC, kWh verbruik, drukval, spuiwaterproductie) gedurende de volledige meetperiode te monitoren.

2.2.2 Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie van zowel de ingaande stallucht als de uitgaande stallucht vóór en na de wasser werd volgens de nat-chemische methode voor NH_3 (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 NH_3 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 (vóór en na de wasser) bepaald. Hierbij werd gebruik gemaakt van de zogenaamde longmethode. Bij elke meting werd tussen 10:00 en 12:00 uur stallucht uit één meetpunt in de drukkamer (vóór de wasser) aangezogen en verzameld in een 40 liter Nalofaan monsterzak. Tegelijkertijd werd lucht uit één meetpunt na de wasser aangezogen en in een 40 liter Nalofaan monsterzak verzameld. Beide monsters werden direct na bemonstering naar een geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. Deze methode geeft een gemiddelde geurconcentratie over de 2-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt de meetprincipe en praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

2.2.4 Stofconcentratie

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

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens de meetdagen:

- Een monster van deeltjes kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) van de uitgaande stallucht in de drukkamer vóór de wasser, een monster van PM_{10} na de wasser, en één monster van PM_{10} van de ingaande stallucht (achtergrond);
- Een monster van deeltjes kleiner dan $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) van de uitgaande stallucht in de drukkamer vóór de wasser, een monster van $\text{PM}_{2,5}$ na de wasser, en één monster van $\text{PM}_{2,5}$ van de ingaande stallucht (achtergrond);

2.2.5 Concentratie overige broeikasgassen

Voor de bepaling van de CH_4 - en N_2O -concentraties in de ingaande en uitgaande (vóór en na de wasser) stallucht werd, zoals bij geur het geval was, de longmethode toegepast. Voor CH_4 en N_2O werd in één meetpunt in de stal, in één meetpunt vóór de wasser (in de drukkamer), en in één meetpunt buiten de stal (na de wasser) lucht gedurende 24 uur aangezogen en in 40 liter Nalofaan monsterzakken verzameld. Deze methode geeft een gemiddelde CH_4 - en N_2O -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 (m^3/uur) uit de stal werd met behulp van de CO_2 -massabalansmethode bepaald. De CO_2 -massabalansmethode maakt gebruik van de gemeten CO_2 -concentraties van de uit- en ingaande stallucht (respectievelijk $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$ en $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$; ppm) en de CO_2 -productie van de dieren ($\text{m}^3 \text{CO}_2/\text{dag}$ per dier) in de stal. Aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008) wordt de CO_2 -productie van de dieren bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg). Door de CO_2 -productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in de stal kan de totale CO_2 -productie worden berekend. Het ventilatie-debiet V (m^3/dag) wordt dan bepaald op basis van:

$$V = \frac{\text{CO}_2 - \text{productie}}{[\text{CO}_2]_{\text{stal}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}} \cdot 10^6$$

Voor de bepaling van de CO_2 -concentratie in de in- en uitgaande stallucht werd de longmethode (zie 2.2.5) toegepast.

De relatie tussen het ventilatie-debiet (V, omgerekend naar m^3/s) en de geplaatste wasser-pakket (met een inhoud I_{wasser} in m^3) wordt in dit rapport weergegeven in de gemiddelde verblijftijd (T_{verbl} in sec.) van de lucht in de wasser-pakket per meting. Dit wordt als volgt berekend:

$$T_{\text{verbl}} = \frac{I_{\text{wasser}}}{V}$$

2.2.7 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande (1 meetpunt) en uitgaande stallucht (vóór en na de wasser) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie Bijlage C), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ en $\pm 2\%$. De data werden in een datalog-systeem (Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.

2.2.8 Waswater

Op alle meetdagen werden monsters genomen van het waswater uit de nitrificatiebak dat rondgepompt wordt (watermonster 1 in Figuur 1) en het water na behandeling in de denitrificatie-unit (watermonster 2 in Figuur 1). Deze monsters werden geanalyseerd op totaal-N, ammonium-N, nitraat-N, nitriet-N, drogestof, asrest, pH en elektrische geleidbaarheid.

2.2.9 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

Actuele gegevens tijdens de metingen:

- aantal aanwezige dieren
- gewicht dieren
- dag in de productieronde

Gegevens over de productieronde waarin de meting plaats vond:

- Aantal geplaatste dieren
- Aantal productiedagen
- Gemiddeld eindgewicht dieren
- Uitval [%]
- Gemiddeld voergebruik per dier [kg]
- Gemiddeld watergebruik 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 wasser) 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 wasser) en in de ingaande lucht (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 wasser) 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 wasser) 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 wordt de gemiddelde dagemissie (E_k) voor elk tijdvak afzonderlijk bepaald. De emissie (E) op jaarbasis per dierplaats wordt vervolgens bepaald door eerst het gemiddelde van de tijdvakgemiddelden te berekenen, en dit te vermenigvuldigen met 365 en de leegstandsfactor (18%):

$$E = \frac{\overline{E_k} * 365 * (1 - \frac{\text{leegstandspercentage}}{100})}{\text{dierplaatsen}_i}$$

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

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

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

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de wasser 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 (vóór en na de wasser) 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 en N_2O , PM10 en PM2,5)

In deze rekenregels zijn voor geur de volgende eenheden gebruikt:

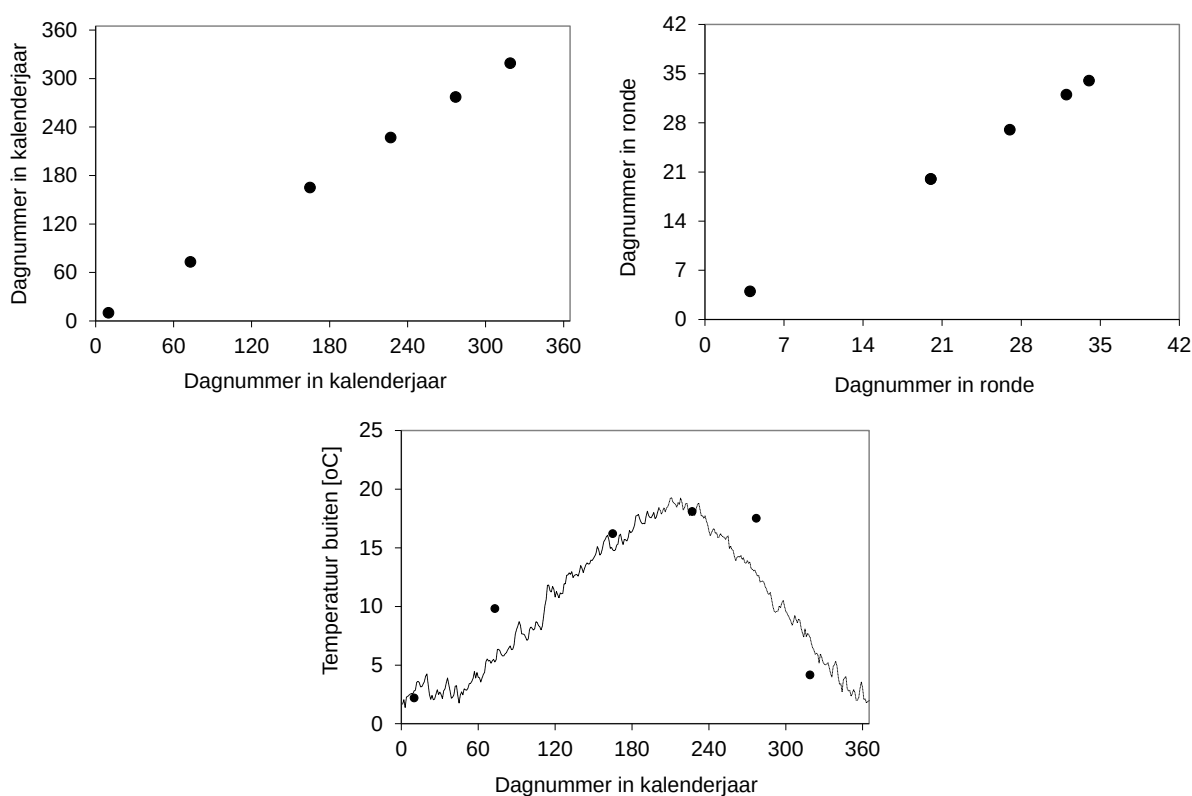
- concentraties in de uitgaande (vóór en na de wasser) lucht: OU_E/m^3
- ventilatiedebiet per seconde (m^3/s). Het ventilatiedebiet per dag (V_i ; m^3/dag) wordt omgerekend naar m^3/s door het te vermenigvuldigen met "1/(24*60*60) dag/s"
- emissies per seconde (OU_E/s)
- emissies op jaarbasis per dierplaats (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). Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 179 dagen. Het gemiddelde dagnummer in de productieronde was 23 dagen. De (daggemiddelde) CO₂-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen (met uitzondering van meetdag 3) onder de 3000 ppm. Gemiddeld over alle gemeten ronden werd 15,5 g RE per MJ Omzetbare Energie (OE) in het voer gemeten, variërend tussen 15,3 en 16,4 g/MJ over de verschillende ronden. Het uitvalspercentage was gemiddeld 3,7% over alle gemeten ronden (variatie tussen 2,4% en 4,7%). Het eindgewicht van de kuikens was gemiddeld 2,4 kg (variërend van 2,2 kg tot 2,6 kg tussen ronden) op een leeftijd van gemiddeld 41 dagen.

In figuur 2 worden de gemeten buitentemperaturen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (11,3 °C) is iets (1,2 °C) hoger dan het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C).



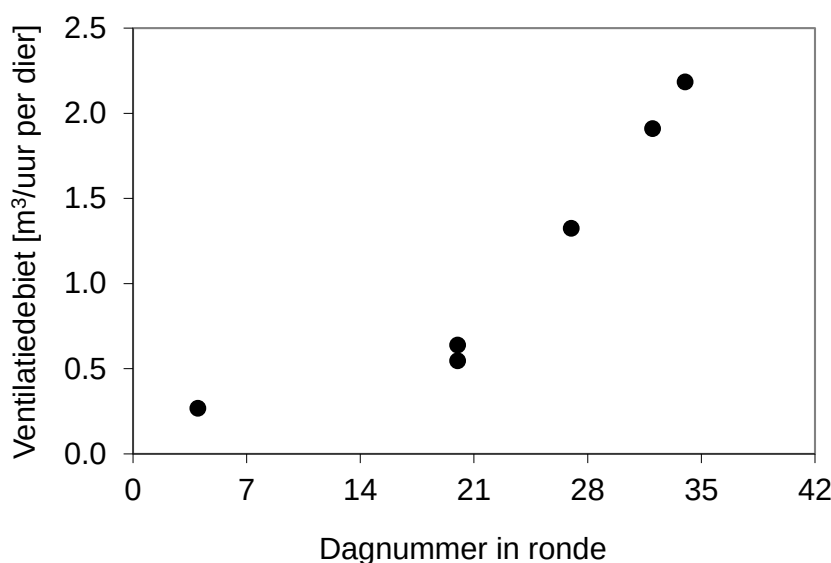
Figuur 2 Verdeling van de metingen over het jaar (a), over de productieronde (b), en de buitentemperatuur (c) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation De Bilt (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven). Dagnummer in ronde: dagen na opzet. Er zijn twee metingen uitgevoerd op dag 20 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 wasser, en relatieve luchtvochtigheid buiten (RV-buiten), vóór en na de wasser. De windrichting en –snelheid op 10 m hoogte zijn afkomstig van het weerstation in De Bilt (www.knmi.nl). n.b.: door storing, data niet beschikbaar.

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	04/okt/10	15/nov/10	10/jan/11	14/mrt/11	14/jun/11	15/aug/11
Dag in het jaar	277	319	10	73	165	227
T-buiten [°C]	17,5	4,2	2,2	9,8	16,2	18,1
RV-buiten [%]	79,8	90,0	81,3	87,8	71,0	71,5
T voor de wasser [°C]	26,0	25,5	24,4	20,8	24,3	27,1
RV voor de wasser [%]	73,0	70,7	70,8	76,8	72,3	71,5
T na de wasser [°C]	22,3	20,5	19,2	17,3	21,1	20,7
RV na de wasser [%]	100,0	100,0	99,9	99,9	99,8	n.b.
Windrichting	165	141	160	61	199	208
Windsnelheid [m/s] op 10 m hoogte	2,8	0,9	4,9	3,5	2,0	2,4
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	2200	2640	3240	2030	2020	1820
Dag in de ronde	27	20	20	34	32	4
Aantal geplaatste dieren	45450	45340	50580	45000	45630	44000
Aantal aanwezige dieren	44201	44183	49447	32287	44150	43660
Gewicht dieren [kg]	1,23	0,78	0,83	1,85	1,62	0,11
Productierondegegevens						
Aantal dagen	42	44	41	41	39	40
Eindgewicht kuikens [kg]	2,4	2,6	2,3	2,5	2,2	2,3
Uitval [%]	3,9	3,8	3,4	4,7	4,1	2,4
Voergebruik [kg per dier per week]	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Watergebruik [l per dier per week]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
RE/MJ Omzetbare energie [MJ/kg]	16,4	15,5	15,3	15,4	15,5	15,1
Water-voer verhouding	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6

3.2 Ventilatie-debiet

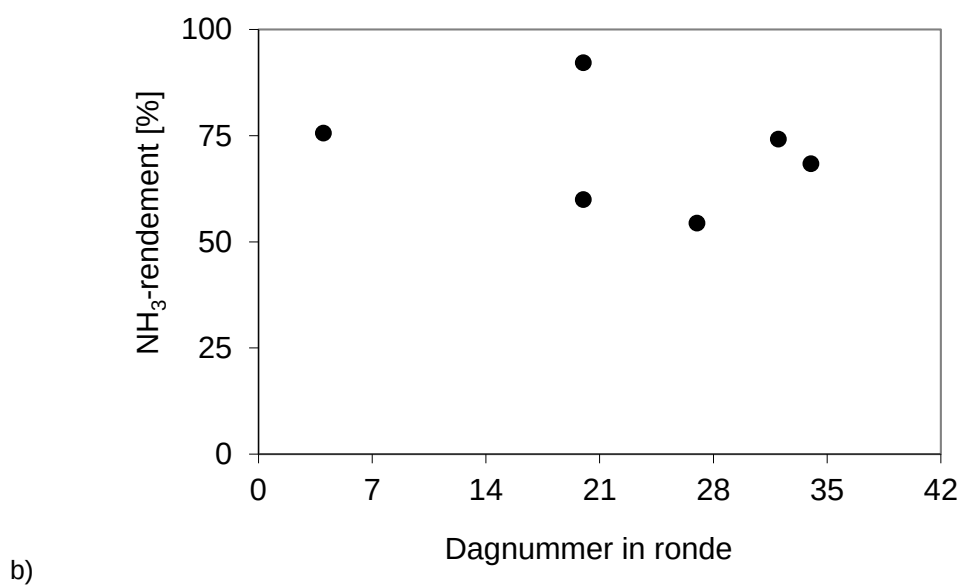
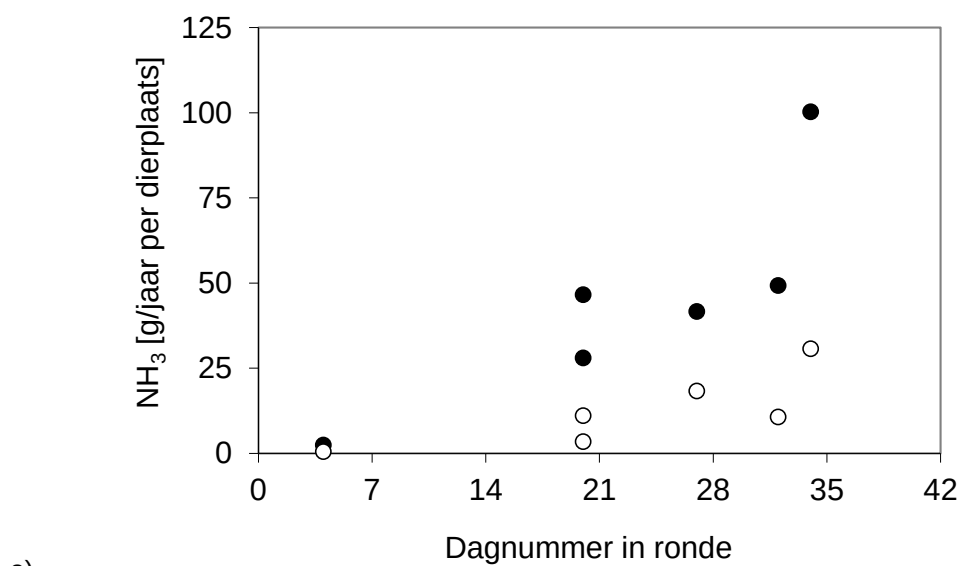
Gemiddelde over alle metingen (Tabel 3 en Figuur 3) was het ventilatie-debiet $0,9 \pm 0,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier en varieerde tussen $0,3$ en $2,2 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier. Dit is vergelijkbaar met het gemiddelde ventilatie-debiet ($1,2 \pm 0,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier; debiet varieerde tussen $0,6$ en $2,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier) gerapporteerd in Melse e.a. (2012) bij metingen aan een vleeskuikenstal met conditionering van de ingaande lucht. Het ventilatie-debiet in onderhavige studie is beduidend lager dan het gemiddelde ventilatie-debiet ($2,1 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier; debiet varieerde tussen $0,1$ en $9,6 \text{ m}^3/\text{uur}$ 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). De gemiddelde luchtverblijftijd in de wasser bedroeg $3,0$ seconden, en de gemiddelde belasting bedroeg 36% van de maximale ventilatiecapaciteit.



Figuur 3 Gemiddelde ventilatie-debiet [m^3/uur per dier] op alle verschillende meetdagen

3.3 Ammoniak

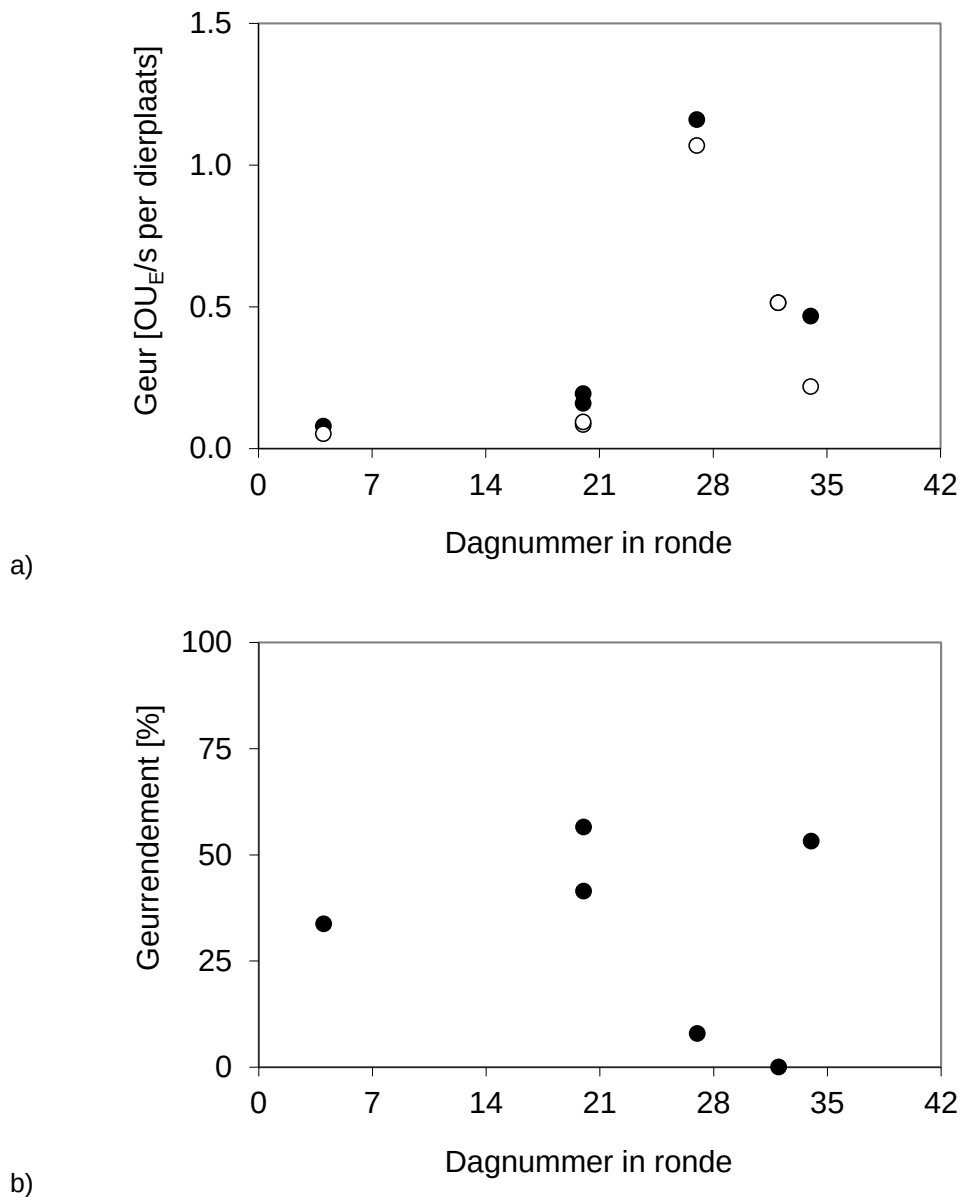
In Figuur 4 worden de ammoniakemissies en -verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal (vóór de biologische wasser) een gemiddelde ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) ammoniakemissie berekend van $28,3 \pm 25,2 \text{ g}$ per dierplaats per jaar. Deze emissie is beduidend lager dan de emissiefactor in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) voor overige huisvestingssystemen (80 g per dierplaats per jaar), de ammoniakemissie gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting (overige huisvestingssystemen; $72 \pm 25 \text{ g}$ per dierplaats per jaar), en de resultaten ($55,6 \pm 15,7 \text{ g}$ per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Melse e.a. (2011, 2012) bij metingen aan een vleeskuikenstal met conditionering van ingaande lucht, biologische wasser en denitrificatie-unit. De uiteindelijke emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) uit de vleeskuikenstal na de biologische wasser was $7,5 \pm 8,1 \text{ g}$ per dierplaats per jaar. Deze emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008). Het gemiddelde ammoniakverwijderingsrendement van de biologische wasser was $72,4 \pm 5,9 \%$ en was lager dan de resultaten ($85 \pm 8 \%$) gerapporteerd in Melse e.a. (2012). Opvallend was dat alleen in drie van de zes metingen het ammoniakverwijderingsrendement boven de 70% lag.



Figuur 4 A) Gemiddelde NH₃-emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal; Open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met biologische wasser. B) Gemiddelde ammoniakverwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen

3.4 Geur

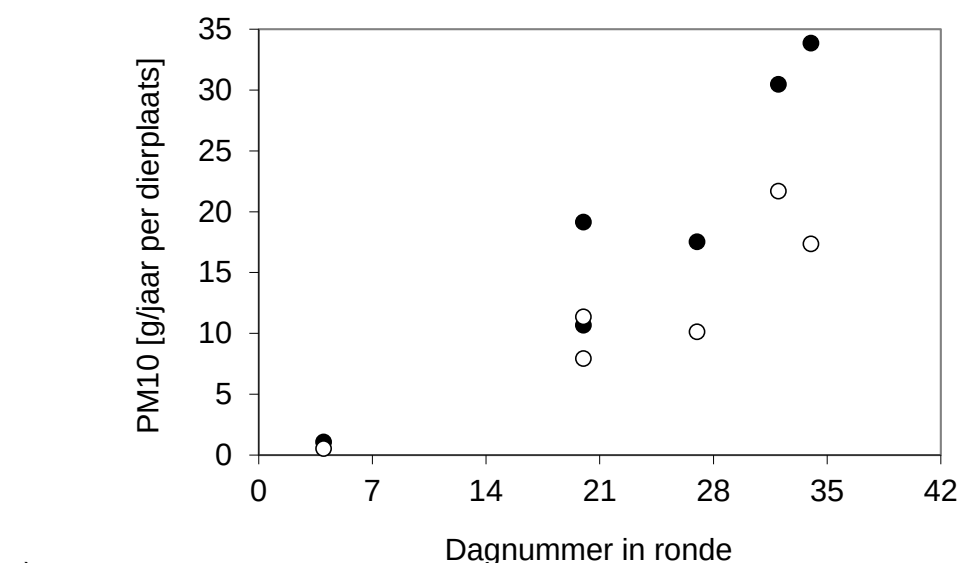
In Figuur 5 worden de geuremissies en -verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal (vóór de biologische wasser) een geuremissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; voor geur wordt geen correctie voor leegstand toegepast) berekend van $0,32 \pm 0,28 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s. Deze emissie is hoger dan de huidige emissiefactor voor overige huisvestingssystemen ($0,24 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s), en lager dan de geuremissie ($0,39 \pm 0,04 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s) gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) en de resultaten ($0,49 \pm 0,18 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s) gerapporteerd in Melse e.a. (2011, 2012). De uiteindelijke emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) uit de vleeskuikenstal met biologische wasser was $0,25 \pm 0,25 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s. Het gemiddelde geurverwijderingsrendement van de biologische wasser was $34,4 \pm 14,3 \%$ en was hoger dan de resultaten ($21 \pm 50 \%$) gerapporteerd in Melse e.a. (2012).



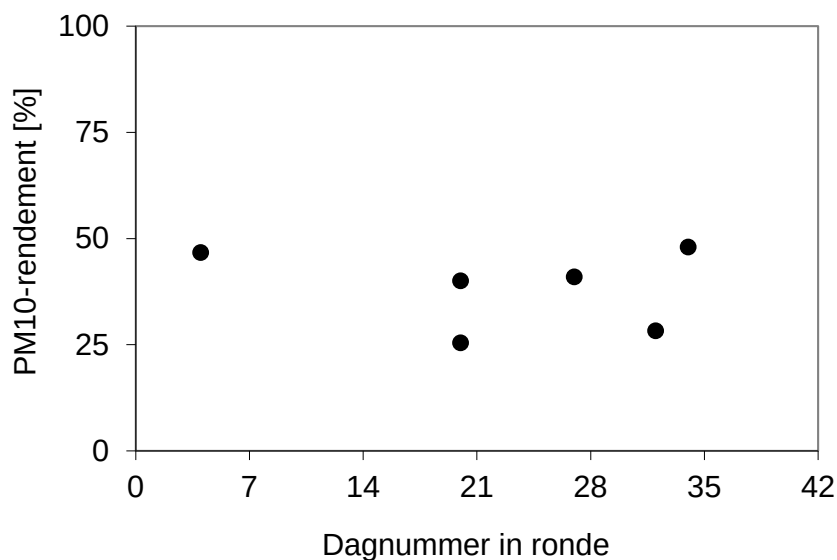
Figuur 5 A) Gemiddelde geuremissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal; Open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met biologische wasser. B) Gemiddelde geurverwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen

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 (vóór de biologische wasser) een gemiddelde ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) PM10-emissie berekend van $11,8 \pm 10,8$ g per dierplaats per jaar. Deze emissie is vergelijkbaar met de resultaten ($13,9 \pm 6,2$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Melse e.a. (2011, 2012), en beduidend lager dan de huidige emissiefactor voor overige huisvestingssystemen (22 g per dierplaats per jaar), en dan de PM10-emissie gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting (overige huisvestingssystemen; $21,9 \pm 7,3$ g per dierplaats per jaar). De uiteindelijke emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) uit de vleeskuikenstal met biologische wasser was $7,3 \pm 6,5$ g per dierplaats per jaar. Deze emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008). Het gemiddelde PM10-verwijderingsrendement van de biologische wasser was $39,5 \pm 7,0$ %, en was lager dan de resultaten (59 ± 9 %) gerapporteerd in Melse e.a. (2012).



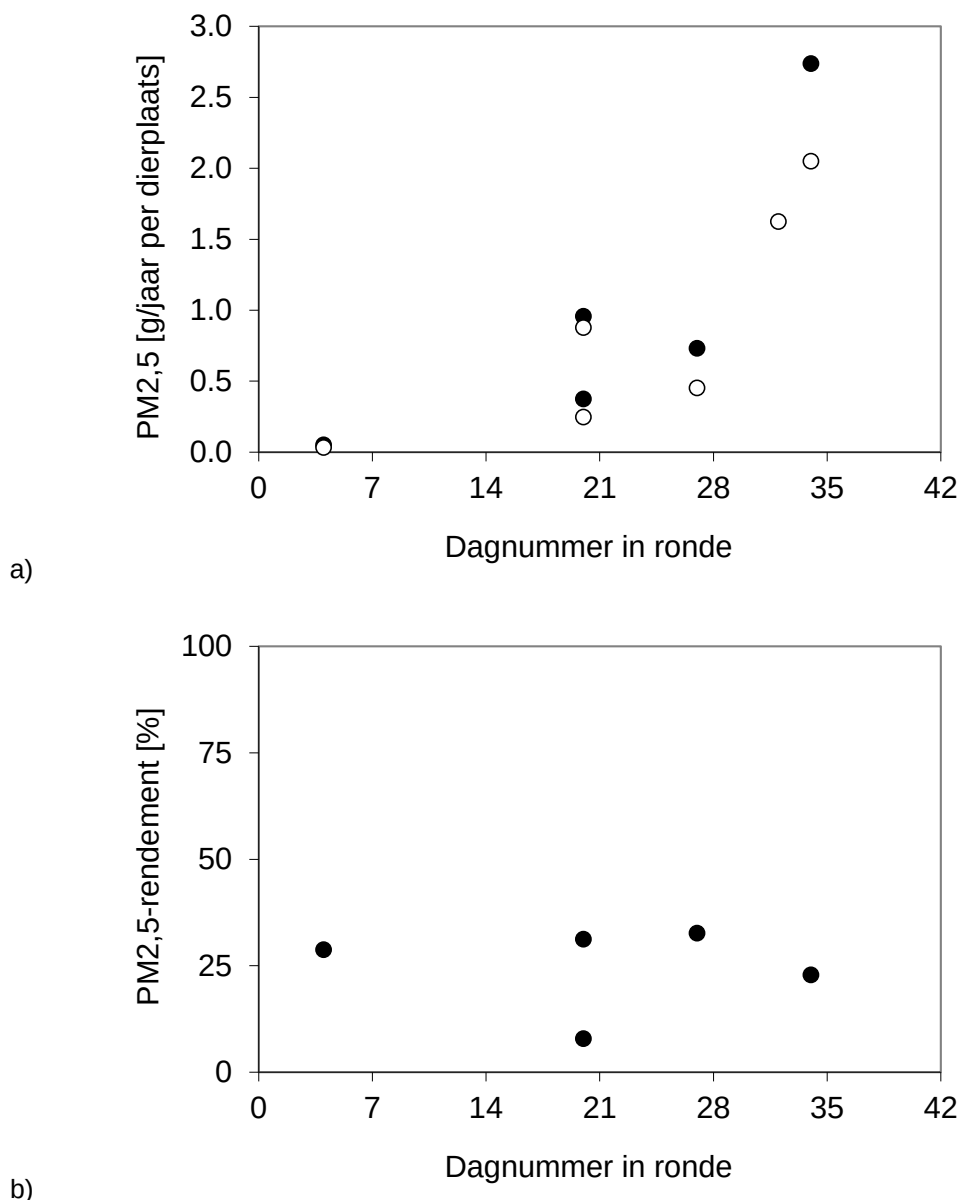
a)



b)

Figuur 6 A) Gemiddelde PM10-emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal; Open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met biologische wasser. B) Gemiddelde PM10 verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen

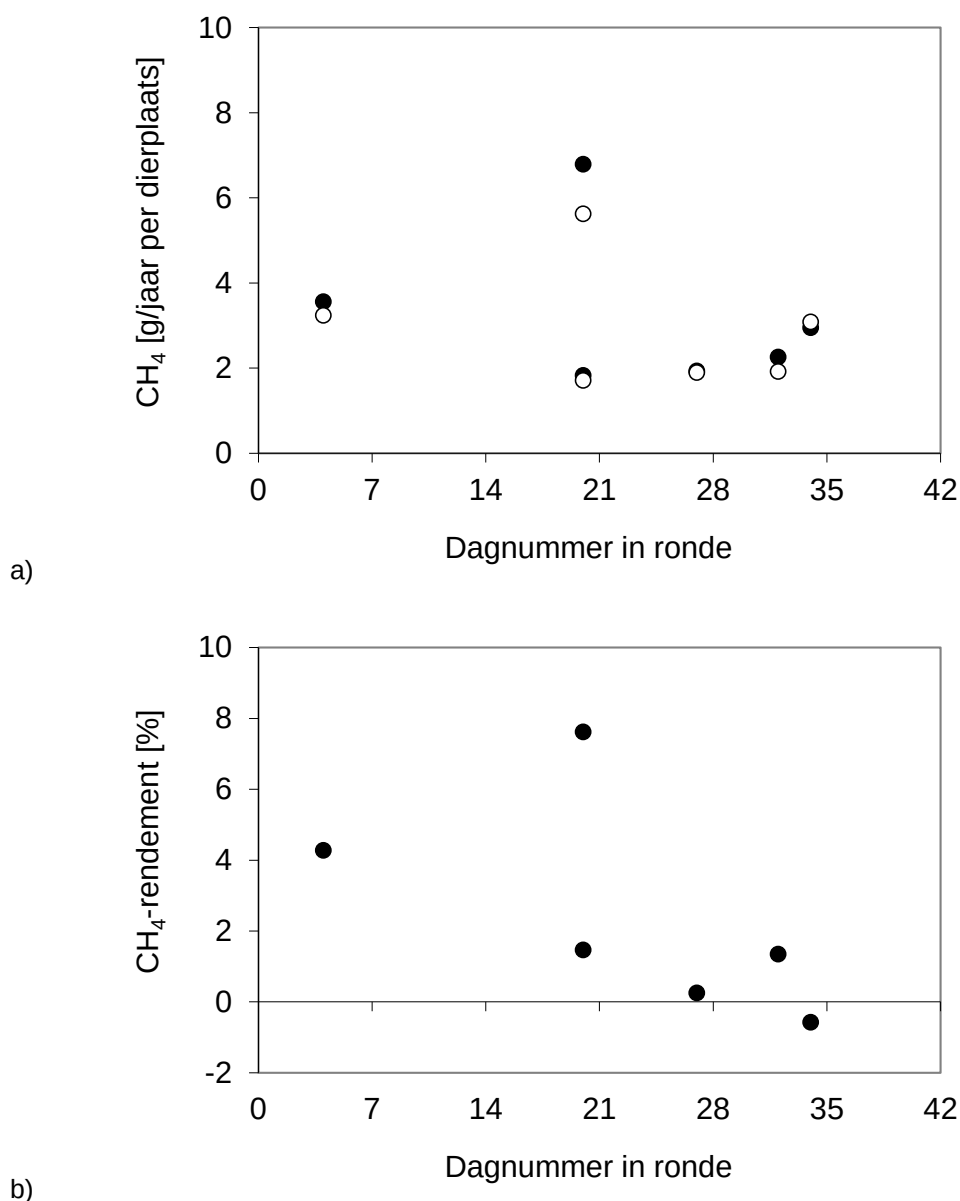
In Figuur 7 worden de emissies en verwijderingsrendementen van PM_{2,5} op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal (vóór de biologische wasser) een gemiddelde ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) PM_{2,5}-emissie berekend van $0,7 \pm 0,7$ g per dierplaats per jaar. Deze emissie is vergelijkbaar met de resultaten ($0,8 \pm 0,3$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Melse e.a. (2011, 2012) en beduidend lager dan de PM_{2,5}-emissie gerapporteerd in Winkel e.a. (2009) bij metingen aan vier vleeskuikenstallen met traditionele inrichting (overige huisvestingssystemen; $1,6 \pm 0,7$ g per dierplaats per jaar). De uiteindelijke emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) uit de vleeskuikenstal met biologische wasser was $0,5 \pm 0,6$ g per dierplaats per jaar. Deze emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008). Het gemiddelde PM_{2,5}-verwijderingsrendement van de biologische wasser was $25,3 \pm 5,0$ % en was lager dan de resultaten (47 ± 12 %) gerapporteerd in Melse e.a. (2012).



Figuur 7 A) Gemiddelde PM_{2,5}-emissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal; Open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met biologische wasser. B) Gemiddelde PM_{2,5} verwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen

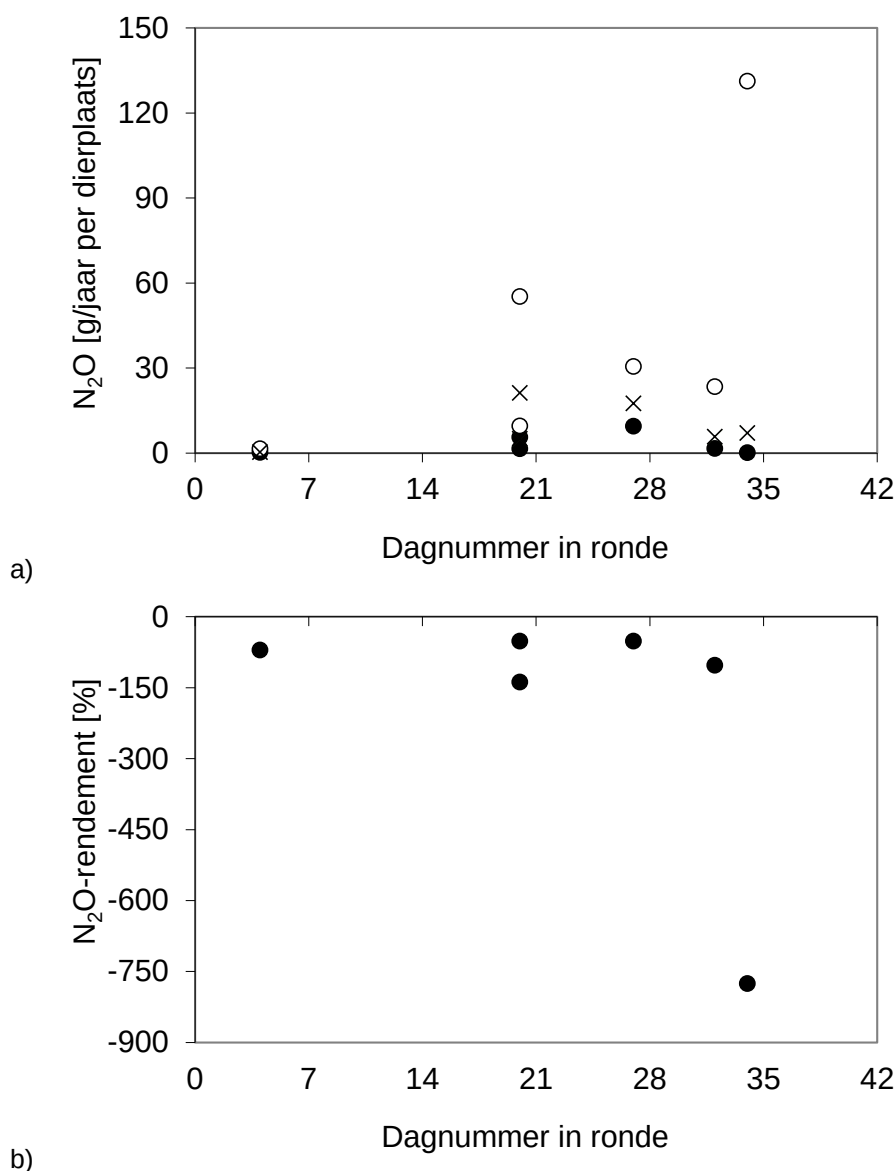
3.6 Overige broeikasgassen (CH₄ en N₂O)

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 (vóór de biologische wasser) een gemiddelde ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) CH₄-emissie berekend van $2,8 \pm 0,8$ g per dierplaats per jaar. 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 (overige huisvestingssystemen; $3,6 \pm 2,5$ g per dierplaats per jaar), en de resultaten ($13,5 \pm 1,4$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Melse e.a. (2011, 2012). De uiteindelijke CH₄-emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) uit de vleeskuikenstal met biologische wasser was $2,5 \pm 0,6$ g per dierplaats per jaar. Deze emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008). Het gemiddelde verwijderingsrendement voor CH₄ van de biologische wasser was $3,0 \pm 2,4\%$ en was lager dan de resultaten ($12 \pm 15\%$) gerapporteerd in Melse e.a. (2012).



Figuur 8 A) Gemiddelde methaanemissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal; Open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met biologische wasser. B) Gemiddelde methaanverwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen

In Figuur 9 worden de N_2O -emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.3 werd uit de stal (vóór de biologische wasser) een gemiddelde ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) N_2O -emissie berekend van $2,1 \pm 1,6$ 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 (overige huisvestingssystemen; $8,9 \pm 7,8$ g per dierplaats per jaar), en de resultaten ($12,2 \pm 12,7$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Melse e.a. (2011, 2012). Deze emissies zijn gecorrigeerd voor een leegstand van 18% (Groenestein en Aarnink, 2008). De denitrificatie-unit resulteerde in een toename van de N_2O -emissie: de emissie vóór de wasser (stal+denitrificatie-unit) was $6,4 \pm 5,4$ g per dierplaats per jaar. De N_2O -emissie nam verder toe door de biologische wasser: de uiteindelijke emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) uit dit huisvestingssysteem was $26,1 \pm 24,7$ g per dierplaats per jaar. De toename in N_2O -productie door de biologische wasser en denitrificatie-unit was $158,6 \pm 131,8\%$.



Figuur 9 A) Gemiddelde lachgasemissie op alle verschillende meetdagen. Gesloten symbolen: emissie uit de stal; Kruisen: emissie vóór de wasser (stal + denitrificatie-unit); Open symbolen: uiteindelijke emissie uit de stal met biologische wasser. B) Gemiddelde lachgasverwijderingsrendementen op de verschillende meetdagen

Wanneer de metingen van de lachgasconcentratie in de stal en na de wasser worden vergeleken, blijkt dat gemiddeld gezien over deze 6 metingen de lachgasconcentratie met een factor 5 toeneemt. Hieruit volgt dat een groot deel van de NH_3 verwijdering in het luchtwassysteem het gevolg is van omzetting van NH_3 in N_2O . Ook de zeer lage gehalten van stikstofverbindingen in de waswatermonsters (zie Tabel 4) wijzen in deze richting. Berekend kan worden dat ca. 72% van de NH_3 die uit de stallucht is verwijderd, is omgezet in N_2O (berekend als gemiddelde over de 6 metingen). In andere metingen aan een vergelijkbaar luchtwassysteem met denitrificatie bij vleeskuikenstallen werden eveneens aanzienlijke lachgasproducties gemeten, maar werden percentages vastgesteld die een lagere waarde (ca. 18%; Melse e.a., 2012) hadden.

3.7 Waswater

In Tabel 4 worden de resultaten van de analyses van de waswatermonsters weergegeven. De samenstelling van het waswater uit de biologische wasser en uit de denitrificatie-unit was over de verschillende metingen gelijkwaardig. Uit Tabel 4 blijkt dat het nitraatgehalte over de verschillende metingen afnam en dat er weinig nitriet werd gevormd. De pH varieerde tussen 6,8 en 7,9 (normaal is een pH-niveau tussen 6,5 en 7,5 bij een reguliere biologische wasser; www.infomil.nl). Het totaal-N gehalte was laag en varieerde tussen 0,1 en 0,6 g/kg (normaal is een niveau tussen 0,8 en 3,2 g/liter bij een reguliere biologische wasser; www.infomil.nl). Het NH_4^+ -gehalte was op alle metingen lager dan 0,4 g/kg. De verhouding tussen ammonium-N en nitriet-N+nitraat-N lag in meting 4 boven de normale waarde van 1,2, en in meting 5 boven de onderhoud-grens van 3,0 zoals deze worden gehanteerd bij een biologische wasser (www.infomil.nl).

Tabel 3 Ventilatie-debiet, concentratie en emissie van PM10, PM2,5, NH₃, geur, CH₄ en N₂O op de verschillende meetdagen. n.b.: door storing, data niet beschikbaar

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	04 okt 2010	15 nov 2010	10 jan 2011	14 mrt 2011	14 jun 2011	15 aug 2011
Aantal aanwezige dieren	44201	44183	49447	32287	44150	43543
Debiet [m ³ /uur per aanwezig dier]	1,43	0,63	0,55	2,00	1,81	0,17
Verblijftijd van de lucht in de wasser [s]	1,13	2,55	2,61	1,11	0,89	9,81
NH ₃ voor wasser [ppm]	5,38	7,32	14,15	10,46	4,55	1,55
NH ₃ na wasser [ppm]	2,45	2,94	1,11	3,31	1,18	0,38
NH ₃ buiten [ppm]	0,17	0,07	0,08	0,15	0,25	0,07
NH ₃ emissie stal [g per dierplaats per jaar]	44,91	27,78	47,21	91,63	46,71	1,52
NH ₃ emissie na wasser [g per dierplaats per jaar]	19,70	10,99	3,45	28,03	10,08	0,32
NH ₃ rendement [%]	54,4	59,9	92,2	68,4	74,1	75,6
Geur voor wasser [OU _E /m ³]	3244	1121	1077	1073	1003	1071
Geur na wasser [OU _E /m ³]	2988	487	631	502	1003	710
Geur emissie stal [OU _E per dierplaats per s]	1,25	0,19	0,16	0,43	0,49	0,05
Geur emissie na wasser [OU _E per dierplaats per s]	1,15	0,08	0,09	0,20	0,49	0,03
Geurrendement [%]	8	57	41	53	0	34
PM10 voor wasser [mg/m ³]	1,60	1,98	4,16	2,50	1,92	0,49
PM10 na wasser [mg/m ³]	0,94	1,47	2,49	1,30	1,38	0,26
PM10 buiten [mg/m ³]	0,05	0,02	0,06	0,04	0,04	0,03
PM10 emissie stal [g per dierplaats per jaar]	18,90	10,58	19,41	30,94	28,89	0,66
PM10 emissie na wasser [g per dierplaats per jaar]	10,93	7,87	11,52	15,85	20,56	0,33
PM10-rendement [%]	41,0	25,4	40,0	48,0	28,2	46,7
PM2,5 voor wasser [mg/m ³]	0,08	0,08	0,21	0,22	n.b.	0,03
PM2,5 na wasser [mg/m ³]	0,05	0,05	0,20	0,17	0,11	0,02
PM2,5 buiten [mg/m ³]	0,01	0,01	0,01	0,02	n.b.	0,01
PM2,5 emissie stal [g per dierplaats per jaar]	0,79	0,37	0,97	2,50	n.b.	0,03
PM2,5 emissie na wasser [g per dierplaats per jaar]	0,49	0,24	0,89	1,87	1,54	0,02
PM2,5-rendement [%]	32,6	31,2	7,9	22,8	n.b.	28,7

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

Meting	1	2	3	4	5	6
CH ₄ voor water [ppm]	2,24	4,23	2,65	2,47	2,35	4,80
CH ₄ na water [ppm]	2,23	3,90	2,61	2,49	2,32	4,60
CH ₄ buiten [ppm]	1,98	2,36	2,06	2,15	2,14	2,50
CH ₄ emissie stal [g CH ₄ per dierplaats per jaar]	2,09	6,73	1,86	2,70	2,14	2,22
CH ₄ emissie na water [g CH ₄ per dierplaats per jaar]	2,04	5,57	1,73	2,82	1,82	2,02
CH ₄ -rendement [%]	0,2	7,6	1,5	-0,6	1,3	4,3
N ₂ O stal [ppm]	0,83	0,55	1,05	0,36	0,44	0,38
N ₂ O vóór water (stal+denitrificatie-unit) [ppm]	1,22	0,90	2,87	0,64	0,58	0,39
N ₂ O na water [ppm]	1,85	1,36	6,85	5,57	1,17	0,67
N ₂ O buiten [ppm]	0,38	0,40	0,40	0,36	0,38	0,32
N ₂ O emissie stal [g N ₂ O per dierplaats per jaar]	10,22	1,50	5,64	0,13	1,54	0,16
N ₂ O emissie stal + denitrificatie-unit [g N ₂ O per dierplaats per jaar]	18,84	4,95	21,50	6,41	5,50	0,20
N ₂ O emissie na water [g N ₂ O per dierplaats per jaar]	32,92	9,51	55,99	119,90	22,19	0,93
N ₂ O-rendement [%]	-52	-51	-138	-776	-103	-71

Tabel 4 Waswatermonsters (Ammonium-N, Totaal-N, Nitriet-N, Nitraat-N, Drogstof en As in [g/kg], Geleidbaarheid (EC) in [mS/cm], en pH []) op de verschillende meetdagen bij de nitrificatiebak (watermonster 1 in Figuur 1) en de denitrificatie-unit (watermonster 2 in Figuur 1).

Watermonster 1	1	2	3	4	5	6
Datum	04 okt 2010	15 nov 2010	10 jan 2011	14 mrt 2011	14 jun 2011	15 aug 2011
Ammonium-N	0,16	0,06	0,13	0,29	0,20	0,01
Nitriet-N	< 0,010	< 0,010	0,05	0,09	< 0,010	< 0,010
Nitraat-N	0,38	0,11	0,05	0,06	0,05	0,03
Totaal-N	0,57	0,19	0,30	0,49	0,32	0,04
Drogstof	3,88	2,90	1,29	1,82	1,73	1,18
As	2,72	2,44	1,00	0,83	1,22	0,86
pH	6,78	7,94	7,10	7,59	7,46	6,12
EC	6,56	4,65	2,59	3,87	2,83	1,21

Watermonster 2	1	2	3	4	5	6
Datum	04 okt 2010	15 nov 2010	10 jan 2011	14 mrt 2011	14 jun 2011	15 aug 2011
Ammonium-N	0,17	0,06	0,11	0,33	0,16	0,02
Nitriet-N	< 0,010	< 0,010	0,03	0,08	0,01	< 0,010
Nitraat-N	0,31	0,07	0,04	0,05	0,02	< 0,010
Totaal-N	0,50	0,18	0,21	0,46	0,21	0,03
Drogstof	4,16	2,87	1,01	1,07	1,53	1,05
As	2,72	2,42	0,81	0,62	1,13	0,81
pH	7,47	7,88	7,66	7,84	7,49	6,82
EC	6,50	4,67	2,22	3,65	2,58	1,32

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, biologische wasser en denitrificatie-unit 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 reiniging door de biologische wasser):

- Ammoniakemissie: $28,3 \pm 25,2$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,32 \pm 0,25$ OU_E per dierplaats per s
- PM10 emissie: $11,8 \pm 10,8$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,7 \pm 0,7$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,8 \pm 0,8$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $2,1 \pm 1,6$ g per dierplaats per jaar

Op basis van de huidige metingen zijn de volgende jaaremissies (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; emissies gecorrigeerd voor een leegstand van 18%) uit het huisvestingssysteem (stal met biologische wasser) bepaald:

- Ammoniakemissie: $7,5 \pm 8,1$ g per dierplaats per jaar
- Geuremissie: $0,25 \pm 0,25$ OU_E per dierplaats per s
- PM10 emissie: $7,3 \pm 6,5$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $0,5 \pm 0,6$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $2,5 \pm 0,6$ g per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $26,1 \pm 24,7$ g per dierplaats per jaar

De volgende verwijderingsrendementen bij de biologische wasser werden bepaald (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen):

- Ammoniak: $72,4 \pm 5,9$ %
- Geur: $34,4 \pm 14,3$ %
- PM10: $39,5 \pm 7,0$ %
- PM2,5: $25,3 \pm 5,0$ %
- Methaan: $3,0 \pm 2,4$ %
- Lachgas: $-158,6 \pm 131,8$ % (productie van lachgas)

Wanneer de niveaus van de ammoniakverwijdering in het luchtwassysteem worden vergeleken met de lachgasproductie, volgt hieruit dat een groot deel van de NH₃ verwijdering in het luchtwassysteem het gevolg is van omzetting van NH₃ in N₂O. Berekend kan worden dat ca. 72% van de NH₃ die uit de stallucht is verwijderd, is omgezet in N₂O (berekend als gemiddelde over de 6 metingen).

Literatuur

- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- 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. Wageningen UR Livestock Research Rapport 493.
- 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.
- Melse, R.W. en J.P.M. Ploegaert. 2011. Sturing van spuiwaterafvoer bij een biologische luchtwasser door middel van meting van de elektrische geleidbaarheid. Wageningen UR Livestock Research Rapport 435.
- Melse, R.W., T.G. van Hattum, J.W.H. Huis in 't Veld en F.A. Gerrits. 2012. Metingen aan twee luchtwassersystemen in een vleeskuikenstal met conditionering van ingaande lucht. Wageningen UR Livestock Research Rapport 403.
- Mosquera, J., C.M. Groenestein en N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research Rapport 494.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegetrouwheid 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. Wageningen UR Livestock Research Rapport 491.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera en J.M.G. Hol. 2011a. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research Rapport 454.
- Ogink, N.W.M., P. Hofschreuder en A.J.A. Aarnink. 2011b. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research Rapport 492.
- 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. Kwikkeld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2009. Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens. Wageningen UR Livestock Research Rapport 275.
- 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 Ouwerkerk), 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.

Bijlage A Foto's van de bedrijfssituatie



Wasser-pakket (buitenkant)



Wasser-pakket (binnenkant)



Luchtinlaat met warmtewisselaar (LC-units)



Luchttuitlaat stal naar centraal afzuigkanaal

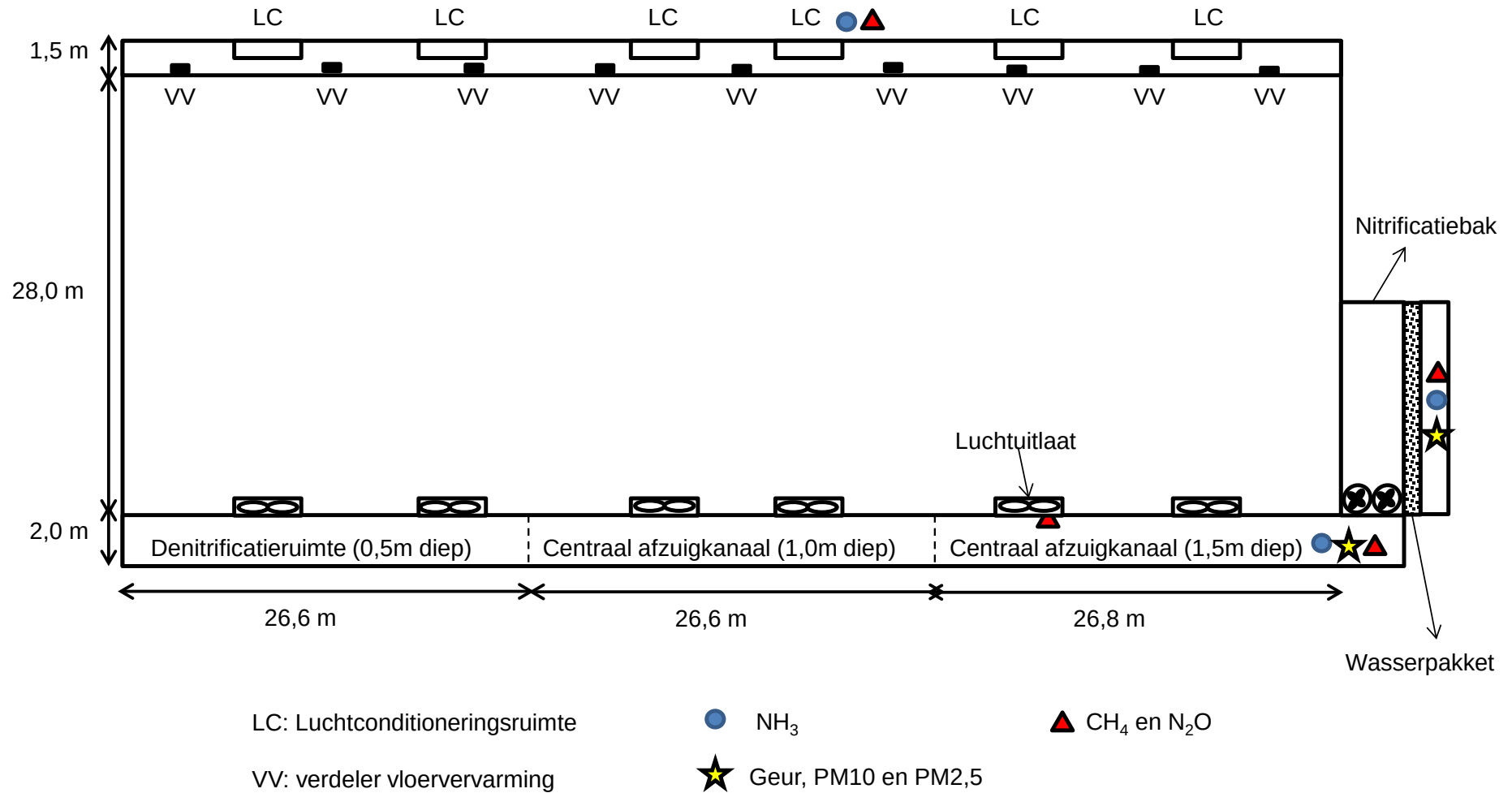


Denitrificatieruimte



Ventilatoren (drukkamer vóór de wasser)

Bijlage B 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 monsternamelleiding 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 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 (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.



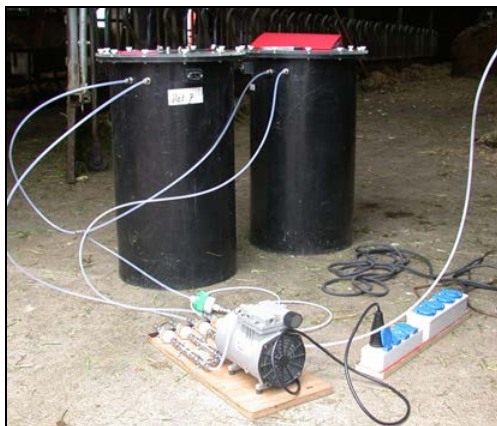
Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp

Longmethode (geur en broeikasgassen)

Bij de toepassing van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) werd eerst een 40 liter Nalofaan 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.

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).



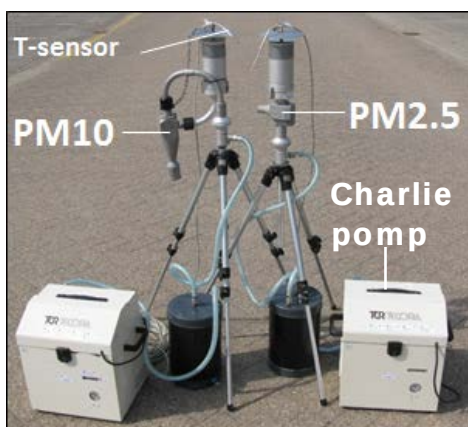
Meetopstelling voor het meten van de geur- en broeikasgas- (CH_4 , N_2O) concentraties.

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 PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ 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 $\text{PM}_{2,5}$ (Zhao e.a., 2009). In Hofschreuder et al. (2008) worden correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gemeten met cycloon monsternametekoppen naar impactor monsternametekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

PM_{10} : $< 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $Y = 1,0877 X$
 $> 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $Y = 0,8304 X + 57,492$
 $\text{PM}_{2,5}$: geen correctie

Voor de bepaling van de concentraties PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht werd lucht door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, $6 \text{ m}^3/\text{uur}$, Ravebo Supply BV, Brielle; zie foto hieronder). De pompen werden geprogrammeerd op een flow van $1,0 \text{ m}^3/\text{uur}$ en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode.



PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ 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 PM_{10} of $\text{PM}_{2,5}$ cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). De filters werden voor en na de stofmonsternamte gewogen onder standaard condities: temperatuur $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ en $50\% \pm 5\%$ relatieve luchtvochtigheid (NEN-EN 14907, 2005). De hoeveelheid verzameld stof werd bepaald door het verschil in gewicht te bepalen van het filter voor en na de monsternamte.



Stofapparatuur voor de wasser in de drukkamer



Stofapparatuur na de wasser



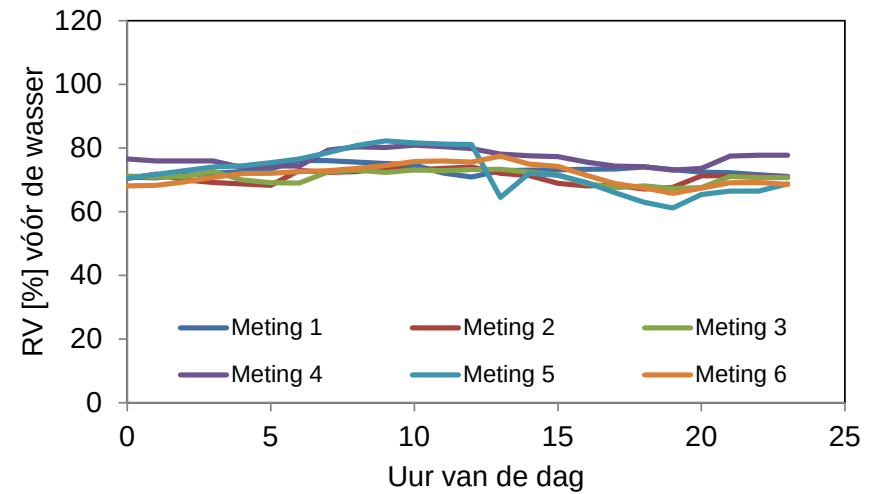
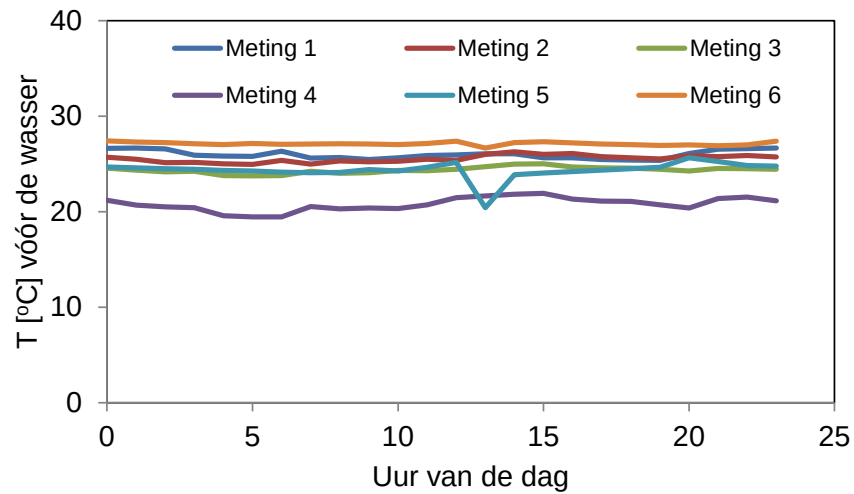
Meetapparatuur luchtinlaat buitenzijde stal

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

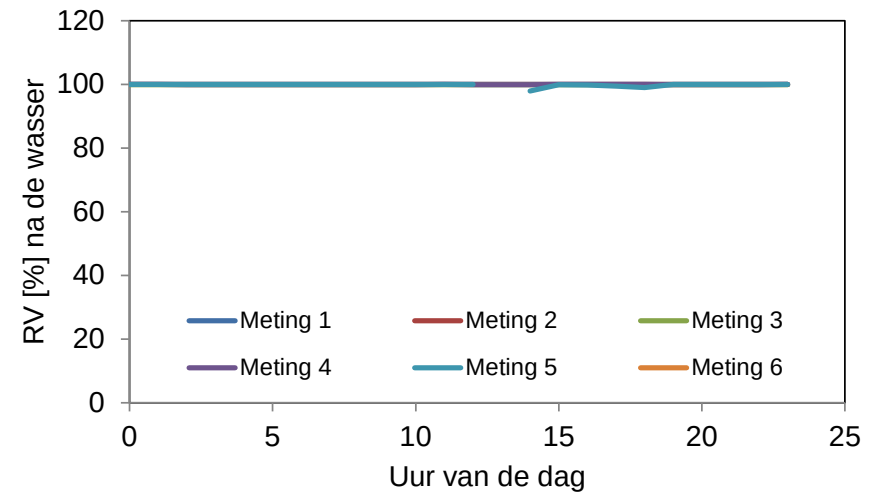
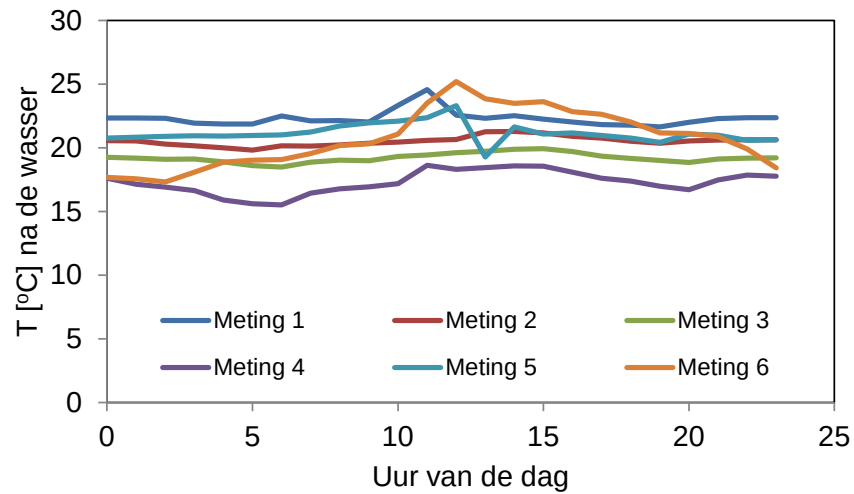
Voor de meting van temperatuur en relatieve wordt gebruik gemaakt van Rotronic T en RV sensoren (ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie foto hieronder), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$. Per meetpunt wordt een rotronic opgehangen. De data wordt eenmaal per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



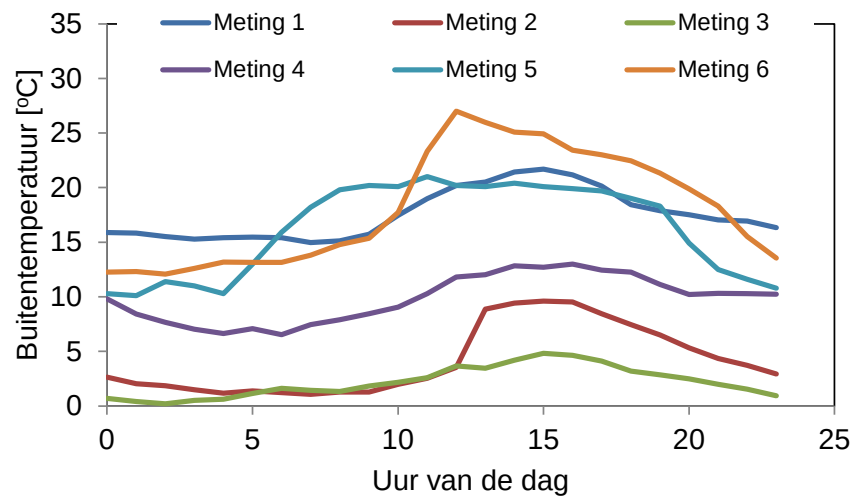
Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)



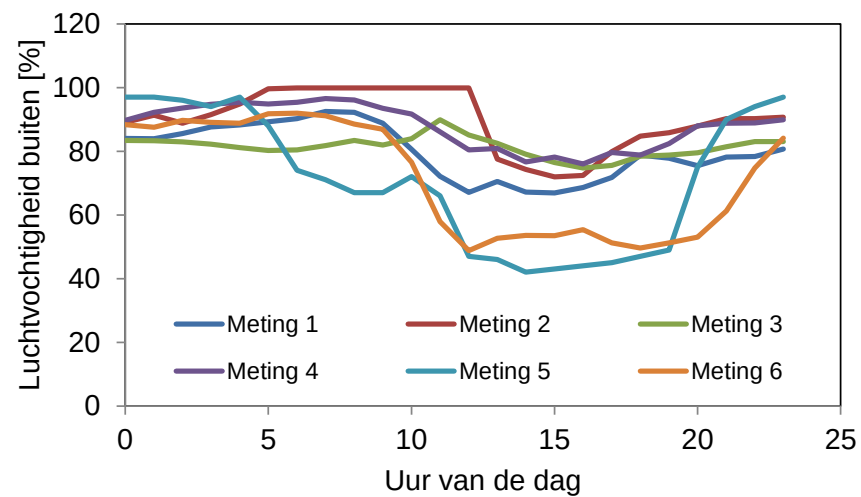
Uurgemiddelden temperatuur en luchtvochtigheid vóór de wasser



Uurgemiddelden temperatuur en luchtvochtigheid na de wasser



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