

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 610

Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

Augustus 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](mailto: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 loose housing dairy cattle barn with cubicles provided with a slatted floor with a rubber top layer and rubber flaps between the slats.

## Keywords

Ammonia, odour, fine dust, methane, nitrous oxide, emissions, dairy cattle, modified slatted floor

## Referaat

ISSN 1570 - 8616

## Auteur(s)

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

## Titel

Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

Rapport 610

## Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissies bepaald van ammoniak, geur, fijn stof (PM10, PM2,5), methaan en lachgas uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten.

## Trefwoorden

Ammoniak, geur, fijn stof, methaan, lachgas, emissies, melkvee, aangepaste roostervloer



Rapport 610

# Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen

J. Mosquera

J.M.G. Hol

J.W.H. Huis in 't Veld

J.P.M. Ploegaert

N.W.M. Ogink

Augustus 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 Mts. Hans en Jan Hettinga te it Heidenskip opdracht gegeven om de emissies te meten uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. 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 het melkveehouderijbedrijf van Mts. Hans en Jan Hettinga te it Heidenskip (ligboxenstal met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten). Het beoogde emissiereducerende principe van dit systeem (BWL 2010.30) is gebaseerd op het versneld afvoeren van de emitterende bron (urine) naar de kelder (door het aanbrengen van bolle rubber matten op de roostervloer), het verschuiven van het chemisch evenwicht door het verlagen van de pH van de urine op de roostervloer (door het rubberen materiaal dat wordt gebruikt), en beperking van de luchtuitwisseling tussen de stal en de kelder (door gebruik te maken van afdichtflappen in de roosterspleten).

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 vier locaties.

Op basis van de metingen (op één locatie) zijn de volgende jaaremissies bepaald (permanent opstallen; gemiddelde emissie  $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen):

- Ammoniakemissie:  $8,5 \pm 1,6$  kg per dierplaats per jaar (zonder correctie voor staltemperatuur)  
 $9,0 \pm 1,6$  kg per dierplaats per jaar (met correctie voor staltemperatuur)
- Geuremissie:  $49,1 \pm 97,9$  OUE per dierplaats per s
- PM10 emissie:  $87,9 \pm 13,6$  g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie:  $31,6 \pm 15,8$  g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie:  $96,4 \pm 19,4$  kg per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie:  $0,65 \pm 0,83$  kg per dierplaats per jaar

De gemiddelde bedrijfsemissies zijn vergeleken met de huidige emissiefactoren voor overige huisvesting met permanent opstallen zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav; ammoniak), het overzicht "fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij" (PM10), de Netherlands Inventory Report (NIR; methaan, lachgas), en met de gemeten emissies in vier conventionele melkveestallen in het recente onderzoek van Mosquera e.a. (2010), waarin met hetzelfde meetprotocol is gemeten. Er is statistisch getoetst (t-toetsen) of niveaus aantoonbaar verschillen.

De gemiddelde ammoniakemissie in het onderhavige onderzoek was significant lager ( $P < 0,01$  zonder correctie voor staltemperatuur;  $P < 0,05$  met correctie voor staltemperatuur) dan de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen).

De gemeten ammoniakemissie was significant lager ( $P < 0,001$ , zowel met als zonder correctie voor staltemperatuur) dan de emissie gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

Voor het dagelijks gebruik was  $4,0 \text{ m}^2$  per dier loopvloer beschikbaar. Dit is iets hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd ( $3,5 \text{ m}^2$  per dier) en de waarden ( $3,1$  [ $2,6 : 3,6$ ]) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. Volgens het Snelstal model (Monteny e.a., 1998) zal voor dit systeem een toename van de (loop)oppervlakte van  $3,5 \text{ m}^2$  tot  $4,0 \text{ m}^2$  per dier een gering effect ( $< 2\%$ ) hebben op de ammoniakemissie, aangezien de bijdrage van de kelder op de totale ammoniakemissie (door gebruik te maken van afdichtflappen in de roosterspleten om luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelder te beperken) beperkt zou moeten blijven. De afdichtflappen waren in deze stal niet optimaal aangebracht (visuele waarnemingen lieten zien dat de mest in de kelder goed zichtbaar was vanaf de roostervloer), dit zou kunnen hebben geleid tot een hogere ammoniakemissie vanuit de kelder.

De gemiddelde geuremissie was significant ( $P < 0,05$ ) lager dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde PM10-emissie was significant lager ( $P < 0,001$ ) dan de emissiefactor opgenomen in het overzicht "fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij" voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen) en dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde PM2,5-emissie was lager en wijkt niet af ( $P > 0,10$ ) van de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde methaanemissie was significant ( $P < 0,001$ ) lager dan de emissiefactor gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (NIR2011: Maas e.a., 2011). De emissie was significant lager ( $P < 0,01$ ) dan de waarden in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde lachgasemissie was hoger en wijkt niet significant af ( $P > 0,10$ ) van de emissies gerapporteerd in Maas e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2010).



## 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 the loose housing barn with cubicles for dairy cattle of Mts. Hans and Jan Hettinga (it Heidenskip). The barn has a slatted floor with a rubber top layer and rubber flaps between the slats. The emission reduction principle of this system (BWL 2010.30) is based on the accelerated removal of the emitting source (urine) into the manure pit (by fitting convex rubber mats on the slatted floor) and at the same time by shifting the chemical equilibrium by lowering the pH (by using rubber material). Besides, exchange of air between the barn and the manure pit is reduced by using rubber flaps between the slats.

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 four locations prescribed in the measurement protocols.

Based on this study (measurements at one location) the following yearly emissions (no grazing; average  $\pm$  standard deviation between measurements) have been determined:

- Ammonia emission:  $8.5 \pm 1.6$  kg per animal place per year (without correction for temperature)  
 $9.0 \pm 1.6$  kg per animal place per year (with correction for temperature)
- Odour emission:  $49.1 \pm 97.9$  OU<sub>E</sub> per animal place per s
- PM10 emission:  $87.9 \pm 13.6$  g per animal place per year
- PM2,5 emission:  $31.6 \pm 15.8$  g per animal place per year
- Methane emission:  $96.4 \pm 19.4$  kg per animal place per year
- Nitrous oxide emission:  $0.65 \pm 0.83$  kg per animal place per year

The average farm emission from this research was compared (t-tests) with current emission factors for conventional dairy barns (no grazing) used in regulations (the Directive ammonia and livestock farming (Rav) for NH<sub>3</sub>, the list "Fine dust emission factors from livestock farming" for PM10, and the emission factors reported in the Netherlands Inventory Report for methane and nitrous oxide), and with the emissions measured in 4 conventional dairy barns (Mosquera et al., 2010) based on the same measurement protocol.

The average ammonia emission in this study was significantly lower ( $P < 0.01$  without correction;  $P < 0.05$  with correction for temperature inside the barn) than the emission factor in the Rav.

The measured ammonia emission was significantly lower ( $P < 0.001$ , both with or without correction for temperature inside the barn) than the emission reported in Mosquera et al. (2010).

In this barn, the animals had  $4.0 \text{ m}^2$  walking area per animal available. This is higher than the value ( $3.5 \text{ m}^2$  per animal) used for the emission factor in the Rav, and higher than the values ( $3.1 [2.6 : 3.6]$ ) reported in Mosquera et al. (2010). According to the Snelstal model (Monteny et al., 1998), the effect of increasing the walking area in the barn from  $3.5 \text{ m}^2$  to  $4.0 \text{ m}^2$  per animal on the ammonia emission will be negligible ( $< 2\%$ ), due to the use of rubber flaps between the slats to reduce the exchange of air between the slurry pit and the barn, and therefore minimize the contribution of the slurry pit to the ammonia emission. However, visual inspection of the floor showed that the rubber flaps were often open, this could have led to higher emissions from the slurry pit.

The average odour emission was significantly lower ( $P < 0.05$ ) than the emissions reported in Mosquera et al. (2010).

The average PM10 emission was significantly lower ( $P < 0.001$ ) than the emission factor reported in the list "Fine dust emission factors from livestock farming" and the emissions reported in Mosquera et al. (2010).

The average PM2.5 emission was not significantly lower ( $P > 0.10$ ) than the emissions reported in Mosquera et al. (2010).

The average methane emission was significantly lower ( $P < 0.001$ ) than the emission factor reported in the Netherlands Inventory Report 2011 (Maas et al., 2011). The emission was significantly lower ( $P < 0.01$ ) than the values reported in Mosquera et al. (2010).

The average nitrous oxide emission was not significantly higher ( $P > 0.10$ ) than the emissions reported in Maas et al. (2011) and Mosquera et al. (2010).

# Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b> .....	<b>3</b>
2.1	Stal- en bedrijfssituatie .....	3
2.1.1	Huisvesting en bedrijfsvoering .....	3
2.1.2	Ventilatie .....	4
2.1.3	Emissiereducerend principe .....	5
2.2	Metingen .....	6
2.2.1	Meetstrategie .....	6
2.2.2	Ammoniakconcentratie .....	6
2.2.3	Geurconcentratie .....	6
2.2.4	Stofconcentratie .....	7
2.2.5	Concentratie overige broeikasgassen .....	7
2.2.6	Ventilatie-debiet .....	7
2.2.7	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid .....	8
2.2.8	Productiegegevens .....	8
2.3	Verwerking gegevens en statistische toetsing .....	8
2.3.1	Emissies .....	8
2.3.2	Statistische toetsing .....	9
<b>3</b>	<b>Resultaten en discussie</b> .....	<b>11</b>
3.1	Meetomstandigheden .....	11
3.2	Ventilatie-debiet .....	13
3.3	Ammoniak .....	13
3.4	Geur .....	16
3.5	Fijn stof (PM10 en PM2,5) .....	16
3.6	Overige broeikasgassen (CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O) .....	17
<b>4</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>19</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>21</b>
	<b>Bijlage A</b> Foto's van de bedrijfssituatie .....	<b>23</b>
	<b>Bijlage B</b> Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten .....	<b>25</b>
	<b>Bijlage C</b> Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering .....	<b>26</b>
	<b>Bijlage D</b> Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid) .....	<b>30</b>



## 1 Inleiding

De Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (voorheen Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit) 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 "Fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij" ([www.rijksoverheid.nl](http://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 "Fijn stof emissiefactoren 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 melkveehouderijbedrijf van Mts. Hans en Jan Hettinga te it Heidenskip. Het beoogde emissiereducerende principe van dit systeem (BWL 2010.30) is gebaseerd op:

1. Het versneld afvoeren van de emitterende bron (urine) naar de kelder door tet aanbrenge van bolle rubber matten op de roostervloer, en het verschuiven van het chemisch evenwicht door het verlagen van de pH van de urine op de roostervloer door het rubberen materiaal.
2. Het gebruik maken van afdichtflappen in de roosterspleten om luchtuitwisseling tussen de stal en de kelder te beperken.



## 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 in een ligboxenstal voor melkvee. In deze stal kunnen de dieren vrij bewegen en hebben de beschikking over 214 ligboxen, 11 separatieboxen en 1 strohok. De stal was ingedeeld met twee voergangen aan beide zijkanten en zes rijen met ligboxen (0+6+0) in het midden van de stal (Bijlage B). Op het loopgedeelte van de stal zijn bolle, enigszins verende, rubber matten en afdichtflappen in de roosterspleten aangebracht (BWL 2010.30). In de stal is een open melkput geplaatst (2x14 met 'rapid exit'), bereikbaar via een uitloopruijmt. Deze ruimte (onderkelderd en ook voorzien van bolle rubber matten op de roosters en afdichtflappen in de roosterspleten) wordt alleen tijdens het melken gebruikt. Na het melken wordt deze vloer gedeeltelijk schoongespoten en de ruimte afgesloten voor koeverkeer. Naast de melkput, aan beiden zijden, is de separatuurruimte waar de koeien apart van de koppel geplaatst kunnen worden. Aan een kant bestaat de ruimte uit 7 ligboxen, en aan de andere kant uit 4 ligboxen en een strohok. Deze ruimtes worden beperkt gebruikt voor zieke dieren en verse koeien die nog biest geven. Voor het dagelijks gebruik is 4,0 m<sup>2</sup> per dier loopvloer beschikbaar. Dit is iets hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd (3,5 m<sup>2</sup> per dier) en de waarden (3,1 [2,6 : 3,6]) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestond tijdens de metingen uit zowel ruwvoer als krachtvoer. Ruwvoer werd aan het voerhek en krachtvoer in krachtvoerboxen in de stal en in de melkput verstrekt. In de krachtvoerboxen kregen de dieren, op basis van productieniveau en leeftijd, individueel krachtvoer verstrekt. Daarnaast werd tijdens het melken in de melkput een basis hoeveelheid krachtvoer verstrekt waarbij de hoeveelheid voer vergelijkbaar was voor alle dieren (1 tot 2 kg per dag per dier). Eenmaal per dag werd rond 16:00 uur voer in beide voergangen gebracht. In de zomermaanden bestond het ruwvoer met name uit vers gras, in de winter uit gras- en maïssilage. Het voer werd regelmatig aangeschoven en voordat er opnieuw werd gevoerd werden voerresteren naar het jongvee in de naastgelegen stal geschoven.

Op dit bedrijf werd beperkte weidegang toegepast in de maanden augustus en september. In deze periode mochten de koeien vier tot vijf weken gedurende de dag (tussen 10:30 en 16:00 uur) buiten weiden. Alle melkgevende koeien werden tweemaal per dag ('s ochtends tussen 5:30 en 7:00 uur; 's avonds tussen 16:45 en 18:15 uur) gemolken in de melkput in de stal. De mest op de roostervloer werd vijf maal per dag met behulp van een robotschuif (zonder water) geschoven, waarbij de mest tussen de roosterspleten verdwijnt. De robotschuif wordt vooral ingezet om de roostervloer direct achter de boxen schoon te houden. In deze stal wordt daarom de roostervloer direct achter het voerhek niet geschoven. Ook de roostervloer voor de melkput wordt niet volledig geschoven. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.

**Tabel 1** Belangrijkste kenmerken van het onderzochte melkveestal

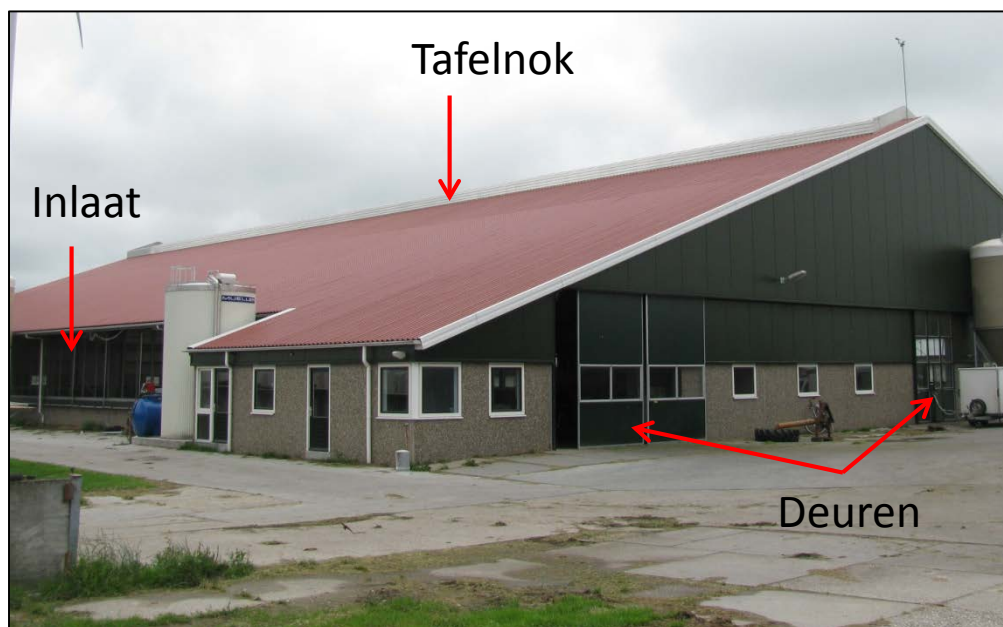
Kenmerk	Bedrijf
Aantal dierplaatsen (ligboxen) exclusief separatieruimte	214
inclusief separatieruimte	225
Leefruimte (voor dagelijks gebruik)	
Ligbox [m <sup>2</sup> per dier]	2,6
Loopoppervlakte [m <sup>2</sup> per dier]	4,0
Roostervloer	
Beschrijving	100% BWL 2010.30
Materiaal	Bolle rubber toplaag
Separatieruimtes <sup>1</sup>	
Ligboxen, inclusief roostervloer (aantal en oppervlak)	11 (4+7); 123 m <sup>2</sup>
Strohok (aantal en oppervlak)	1 strohok, 32 m <sup>2</sup>
Weidegang	5 weken (augustus en september)
Gemiddelde melkproductie [kg per dier per dag] <sup>2</sup>	27
Ureumgehalte melk (mg/100g, jaargemiddelde) <sup>2</sup>	23

<sup>1</sup> de oppervlaktes van de separatieruimtes werden niet meegenomen in de emissieberekeningen

<sup>2</sup> gemiddelde over alle metingen

### 2.1.2 Ventilatie

De stal werd natuurlijk geventileerd. In de zijwanden was vanaf 1 m vanaf de grond tot aan de dakgoot (4 m hoogte) grof vogelgaas bevestigd, waardoor de inlaat nagenoeg open was. Bij extreem weer (harde wind en/of zeer lage temperatuur) kan via een gordijndoek de inlaatopening worden beperkt. In het midden van de stal is op het dak over de gehele lengte een tafelnok geplaatst (Figuur 1). De grote deuren aan beide zijde van de voergangen zijn over het algemeen open, maar bij extreme weersomstandigheden worden ze gesloten.



**Figuur 1** Buitenkant van de stal.



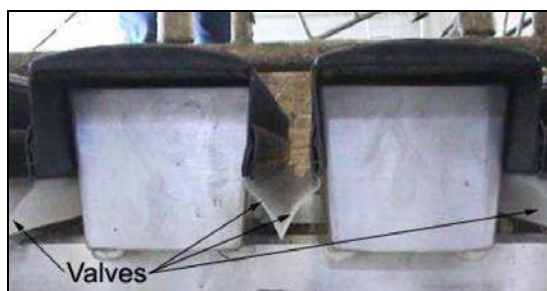
Een belangrijke voorwaarde voor het meten van emissies uit natuurlijk geventileerde stallen is dat het grootste deel van de uitgaande ventilatielucht via de nok wordt afgevoerd. Tijdens de metingen werd daardoor de inlaatopening verkleind om de kans op dwarsventilatie te verminderen (Figuur 2).



**Figuur 2** Links: inlaatopening zoals bij normale bedrijfsomstandigheden wordt gebruikt. Rechts: verkleining van de inlaatopening. In dit voorbeeld stond de wind pal op de inlaat, waardoor de inlaat voor een groot deel afgesloten was. Aan de andere zijde van de stal was de inlaatopening minder gesloten.

### 2.1.3 Emissiereducerend principe

In deze stal is het BWL 2010.30 systeem (Figuur 3) op de roostervloer aangebracht. Het beoogde ammoniakemissie reducerend principe van dit systeem is driedelig. Ten eerste zorgt de bollende uitvoering van de kunststof/rubber matten (met waterafstotende werking) voor een betere afvoer van de urine richting de kelder, waardoor weinig of geen urine achterblijft op de vloer. Ten tweede wordt verwacht dat de rubbertoplaag de zuurgraad neutraal houdt. Daardoor zal de pH van de urine die op het rubber achterblijft lager zijn dan op een betonvloer, met als gevolg een lagere ammoniakemissie uit de vloer. Ten slotte wordt door plaatsing van afdichtflappen in de roosterspleten gestreefd naar het vermijden van luchtuitwisseling tussen kelder en stal, waardoor de bijdrage van de kelderemissie aan de stalemissie wordt teruggedrongen.



**Figuur 3** BWL 2010.30 ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)).

Op basis van visuele waarnemingen bleek dat de afsluiting van de kelder met de rubber flappen niet goed functioneerde (de mest in de kelder was goed zichtbaar vanaf de roostervloer). In overleg met de betrokken partijen heeft de fabrikant in april 2011 (tussen meting 3 en meting 4) 10% van de rubber flappen van het BWL 2010.30 systeem vervangen.

## 2.2 Metingen

### 2.2.1 Meetstrategie

De metingen zijn in de periode november 2010 – september 2011 uitgevoerd. De emissiemetingen voor ammoniak (NH<sub>3</sub>), geur, fijn stof (PM10; PM2,5), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) 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 vier locaties. Een emissiemeting bestond uit het meten van de concentratie van NH<sub>3</sub>, geur, PM10, PM2,5, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O in de ingaande en de uitgaande stallucht (zie hoofdstuk 2.2.2 t/m 2.2.5) en het meten van het ventilatiedebiet. Zoals gebruikelijk bij natuurlijk geventileerde stallen werd de ventilatie berekend met behulp van de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode uit de gemeten koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) concentratie van de uit- en ingaande stallucht en de CO<sub>2</sub>-productie in de stal (zie hoofdstuk 2.2.6). Zoals eerder genoemd in hoofdstuk 2.1.2, was beperking van de inlaatopening noodzakelijk voor de uitvoering van de metingen bij dit melkveebedrijf. Daarnaast moet de meetlocatie aan een aantal landbouwkundige randvoorwaarden voldoen (Ogink e.a., 2011a). Voor dit bedrijf was in eerste instantie de onderbezetting in de stal te groot. Dit werd opgelost door bij iedere meting een groep jongvee in de stal te plaatsen.

### 2.2.2 Ammoniakconcentratie

Voor de bepaling van de NH<sub>3</sub>-concentratie in de stal (uitgaande lucht) zijn twee meetmethoden toegepast (Tabel 2). De open-pad laser (GasFinderFC, Boreal Laser Inc.) werd als uitgangspunt gebruikt voor de bepaling van NH<sub>3</sub>-concentratie in de stal. Data uit de fotoakoestische multigasmonitor (Innova 1312) werden alleen gebruikt wanneer door technische storingen geen bruikbare data uit de laser kon worden gekregen (zie Tabel 4). De achtergrondconcentratie werd met behulp van een nat-chemische methode over de 24-uurs meetperiode op één punt (halverwege de lengte van de stal aan de buitenkant) bepaald. In Bijlage C worden het meetprincipe en de praktische uitvoering van de toegepaste meetmethoden nader toegelicht.

**Tabel 2** Overzicht van de toegepaste meetmethoden voor NH<sub>3</sub>-concentratiemetingen

Meetpunt	Meetfrequentie	Meetmethode	Praktische uitvoering	Literatuur
Stal (uitgaande lucht)	Continue	Open-pad laser	Gemiddelde concentratie over de gehele lengte stal	Mosquera e.a., 2002
	Continue	Fotoakoestische multigasmonitor	Drie meetpunten binnen de stal verdeeld over de lengte van de stal d.m.v. een verzamelleiding naar de monitor gebracht	Klooster e.a., 1992; Mosquera e.a., 2002
Achtergrond	Verzamelmonster (24 uur)	Nat-chemisch	Één meetpunt buiten de stal	Wintjes, 1993

### 2.2.3 Geurconcentratie

Geurconcentraties werden alleen in de uitgaande stallucht bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Stallucht werd tussen 10:00 en 12:00 uur uit een meetpunt in de stal aangezogen en verzameld in een 40 liter Nalofaan monsterzak. Het monster werd 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 het meetprincipe en de 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:

- Eén monster van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van de uitgaande stallucht en één monster van PM10 van de ingaande stallucht (achtergrond);
- Eén monster van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) van de uitgaande stallucht en één monster van PM2,5 van de ingaande stallucht (achtergrond);

### 2.2.5 Concentratie overige broeikasgassen

Voor de bepaling van de CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-concentraties werd, zoals bij geur het geval was, de longmethode toegepast. Voor CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O werd in één meetpunt in de stal en in één meetpunt buiten de stal (beide halverwege de lengte van de stal) lucht gedurende 24 uur aangezogen en in 40 liter Nalofaan monsterzakken verzameld. Deze methode geeft een gemiddelde CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-concentratie over de 24-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt het meetprincipe en de praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

### 2.2.6 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (m<sup>3</sup>/uur) werd bepaald met behulp van de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. De CO<sub>2</sub>-massabalansmethode maakt gebruik van de gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties van de uit- en ingaande stallucht (respectievelijk [CO<sub>2</sub>]<sub>stal</sub> en [CO<sub>2</sub>]<sub>buiten</sub>; ppm) en de CO<sub>2</sub>-productie van de dieren (m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/dag per dier) in de stal. Aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008) wordt de CO<sub>2</sub>-productie van de dieren bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg), de gemiddelde drachtijd (dagen in dracht) en de melkproductie (kg melk/dag per dier). Voor het gemiddelde gewicht van de dieren en de dagen in dracht zijn de volgende (constante) waarden gebruikt:

- Melkgevende koeien: 625 kg, 160 dagen in dracht
- Droogstaande koeien: 625 kg, 160 dagen in dracht
- Jongvee: 500 kg, 140 dagen in dracht

Door de CO<sub>2</sub>-productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in de stal kan de totale CO<sub>2</sub>-productie worden berekend. Het ventilatie-debiet V (m<sup>3</sup>/dag) wordt dan bepaald op basis van:

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

Er is voor gekozen om het ventilatie-debiet per dag in plaats van per uur te bepalen. De reden hiervoor is dat de CO<sub>2</sub>-productie van de dieren gedurende de dag rond de daggemiddelde waarde fluctueert, afhankelijk van de activiteit van de dieren en het bedrijfsmanagement (bijvoorbeeld de tijdstip van melken). Aangezien de activiteit van de dieren niet werd gemeten, kan geen correctie voor de dierenactiviteit toegepast worden om het ventilatie-debiet per uur in te schatten, en wordt alleen de schatting van de daggemiddelde waarde gebruikt.

De CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal (uitgaande stallucht) werd (semi-) continue met een fotoakoestische multigasmonitor gemeten. De CO<sub>2</sub>-concentratie in de buitenlucht (ingaande lucht) werd (semi-) continue met behulp van een open-pad laser (GasFinderFC, Boreal Laser Inc.) gemeten. De keuze van de locatie van de laser (aan welke kant van de stal de laser geplaatst moest worden) was afhankelijk van de verwachte windrichting tijdens de metingen.

### 2.2.7 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

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

### 2.2.8 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal melkgevende koeien in de stal
- Aantal droge koeien in de stal
- Aantal jongvee in de stal
- Gemiddelde melkproductie per dier
- Samenstelling van de melk
- Voerrantsoen

## 2.3 Verwerking gegevens en statistische toetsing

### 2.3.1 Emissies

Per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) werden de emissies ( $E_i$ ) van  $\text{NH}_3$ , fijn stof (PM10, PM2,5),  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  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 ( $C_{\text{uit}_i}$ ) en in de ingaande lucht ( $C_{\text{in}_i}$ ) van  $\text{NH}_3$ , fijn stof (PM10, PM2,5),  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ :

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

Per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) werden de emissies ( $E_i$ ) van geur 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 ( $C_{\text{uit}_i}$ ) van geur:

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

De emissie ( $E$ ) van  $\text{NH}_3$ , geur, fijn stof (PM10, PM2,5),  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  op jaarbasis per dierplaats werd vervolgens bepaald door de gemiddelde emissies per dag te delen door het aantal dierplaatsen, vervolgens te vermenigvuldigen met 365 dagen en dan het gemiddelde van de waarden van alle meetdagen te bepalen. Voor geur werd de mediane emissie bepaald door het gemiddelde op log-schaal terug te transformeren naar normale schaal. Voor melkvee wordt geen leegstand verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).

$$E = \frac{\overline{E_i} \times 365}{\text{dierplaatsen}_i}$$

In deze rekenregels zijn voor  $\text{NH}_3$ , fijn stof (PM10, PM2,5),  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in de in- en uitgaande lucht:  $\text{g/m}^3$
- ventilatiedebiet per dag ( $\text{m}^3/\text{dag}$ )
- emissies per dag ( $\text{g}/\text{dag}$ )
- emissies op jaarbasis per dierplaats (kg per dierplaats per jaar voor  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ ; g per dierplaats per jaar voor 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)

### 2.3.2 Statistische toetsing

De metingen hebben betrekking op één stallocatie. De bedrijfsemissie wordt bepaald door het aanwezige (emissiearme) systeem en het bedrijfsspecifieke management (voermanagement, ventilatie, hygiëne), met als gevolg dat de gemiddelde bedrijfsemissies van andere stallocaties uitgerust met hetzelfde (emissiearme) systeem onderling van elkaar kunnen verschillen door hun eigen managementstijlen.

Vergelijking van de vastgestelde meetreeks met andere emissieniveaus kan plaatsvinden door gebruik te maken van statistische toetsen. Hierbij kan de vraag beantwoord worden of het gemeten emissiegemiddelde afwijkt van vastgestelde constante waarden. Alle vergelijkingen in dit rapport zijn gebaseerd op de systematiek van de t-toets, waarin getoetst wordt of de bedrijfsgemiddelde ( $B_g$ ) afwijkt van een constante emissiewaarde ( $C_e$ ). De volgende vergelijkingen zijn uitgevoerd:

- Vergelijking van het bedrijfsgemiddelde met de huidige emissiefactoren voor overige huisvesting met permanent opstallen zoals opgenomen in de Rav ( $NH_3$ ), het overzicht "fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij" (PM10), en gerapporteerd in de NIR ( $CH_4$ ,  $N_2O$ ).
- Vergelijking van het bedrijfsgemiddelde met het steekproefgemiddelde van conventionele stalsysteem vastgesteld door Mosquera e.a. (2010) in een recent onderzoek aan vier melkveestallen

Eerst wordt de t-waarde (t) bepaald op basis van de bedrijfsgemiddelde, de constante emissiewaarde, de standaardfout van de bedrijfsemissie (s), en het aantal metingen (n) die gebruikt zijn om de bedrijfsemissie te bepalen.

$$t = \frac{B_g - C_e}{s/\sqrt{n}}$$

Met:

- $B_g$ : bedrijfsgemiddelde
- $C_e$ : constante emissiewaarde
- s: standaardfout van de bedrijfsemissie
- n: aantal metingen

Deze t-waarde wordt daarna vergeleken met de kritieke t-waarde ( $t_{n-1}^k$ ) bepaald uit een eenzijdig Student-verdeling met n-1 vrijheidsgraden en 95% betrouwbaarheidsinterval. De verschillen zijn significant (bedrijfsgemiddelde wijkt af van de constante emissiewaarde) wanneer  $t > t_{n-1}^k$ .

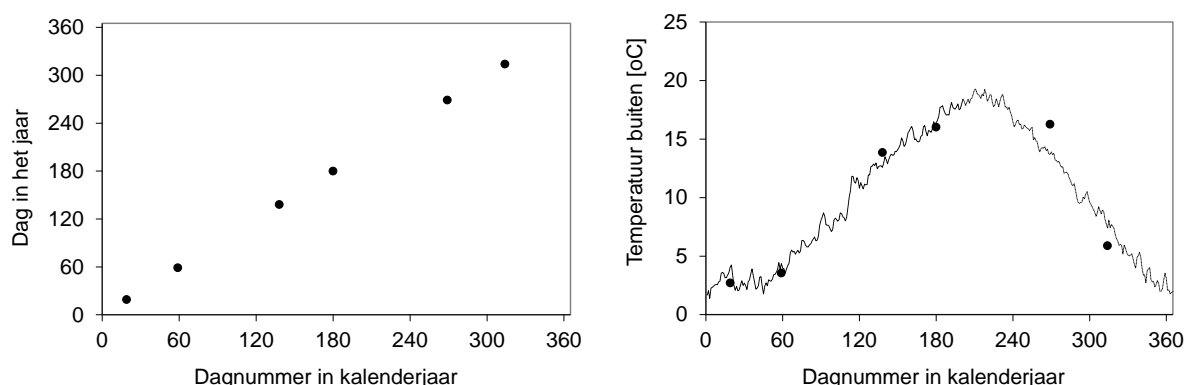


### 3 Resultaten en discussie

#### 3.1 Meetomstandigheden

In Tabel 3 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht. De metingen zijn over een periode van 295 dagen over het gehele jaar verdeeld (Figuur 4a). Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 163 dagen. De onderbezetting in de stal (aantal aanwezige dieren ten opzichte van aantal ligboxen) varieerde tussen 10% en 13%, met een gemiddelde van 11%. De onderbezetting was iets hoger dan het toegestane maximum van 10% (Ogink e.a., 2011a). Gedurende de metingen zijn geen ligboxen afgedekt. Het aantal droogstaande dieren was voor alle meetdagen lager dan 25% (gemiddeld: 12%) en het aantal drachtig jongvee lager dan 30% (gemiddeld: 10%) van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend). De (daggemiddelde) CO<sub>2</sub>-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 3000 ppm. Het ureumgehalte in melk tijdens de metingen lag tussen 13 en 27 mg/100g (gemiddeld: 22) en was vergelijkbaar met de waarden (24 [14-35]) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010). Tijdens meting 4 was het ureumgehalte iets lager dan het voorgeschreven minimum volgens Ogink e.a. (2011a). De gemiddelde melkgift was tijdens de metingen altijd hoger dan 20 kg melk/dag per koe (gemiddeld: 26 kg melk/dag per koe) en was iets lager dan de waarden (29 [22-34]) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010). Het rantsoen bestond gedurende alle metingen voor meer dan 50% uit ruwvoer. Tijdens de metingen werd geen (drijf)mest uit de mestput verwijderd.

In figuur 4b worden de gemeten buitentemperaturen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation Stavoren. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (9,7 °C) was vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C).



**Figuur 4** Verdeling van de metingen over het jaar (a), en de buitentemperatuur (b) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation Stavoren ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl); als stippellijn weergegeven).

**Tabel 3** Data waarop de metingen zijn uitgevoerd, het aantal dieren, de bijbehorende bezettingsgraad, melktank- en voergegevens, en de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens tijdens de metingen: temperatuur buiten (T-buiten) en in de stal (T-stal), en relatieve luchtvochtigheid buiten (RV-buiten) en in de stal (RV-stal). De windrichting en –snelheid op 10 m hoogte zijn afkomstig van het weerstation in Stavoren ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)).

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	10/11/2010	19/01/2011	28/02/2011	18/05/2011	29/06/2011	26/09/2011
Dag in het jaar	314	19	59	138	180	269
T-buiten [°C]	5,9	2,7	3,6	13,9	16,0	16,3
RV-buiten [%]	78,0	89,2	100,0	100,0	99,3	92,5
T-binnen [°C]	8,5	6,1	7,1	15,3	16,8	19,2
RV-binnen [%]	78,4	83,5	76,7	81,0	81,1	90,7
Windrichting	258	299	57	254	314	207
Windsnelheid [m/s]	6,6	4,5	6,8	5,1	6,9	2,4
CO <sub>2</sub> stalconcentratie [ppm]	630	696	891	575	439	920
Melkkoeien	180	178	174	169	167	169
waarvan melkgevende koeien	140	162	161	159	154	137
waarvan droge koeien	40	16	13	10	13	32
Drachtig jongvee	10	13	15	24	22	18
Weide (aantal uren)	0	0	0	0	0	0
Afgedekte ligboxen	0	0	0	0	0	0
% afgedekte ligboxen	0	0	0	0	0	0
Bezettingsgraad	89	89	88	90	88	87
Aandeel drachtig jongvee t.o.v. melkkoeien	6	7	9	14	13	11
Aandeel droge koeien t.o.v. melkkoeien	22	9	7	6	8	19
Melkproductie [kg per koe per dag]	27	30	29	25	21	24
Melk [% eiwit]	3,9	3,8	3,8	3,6	3,5	3,9
Melk [% vet]	4,7	4,7	4,8	4,5	4,7	4,6
Ureumgehalte [mg/100g]	27	23	23	13	21	25
Voergift (kg ds/dag per dier)	20,3 <sup>1</sup>	23,7 <sup>1</sup>	22,4 <sup>1</sup>	onbeperkt	onbeperkt	21,8 <sup>1</sup>
Aandeel ruwvoer (op ds basis)	64	71	67	80 <sup>2</sup>	80 <sup>2</sup>	79 <sup>2</sup>
Verhouding kuilvoer : mais	70:30	70:30	85:15	--	--	40:60
Aandeel vers gras (op ds basis)	0	0	0	100	100	75

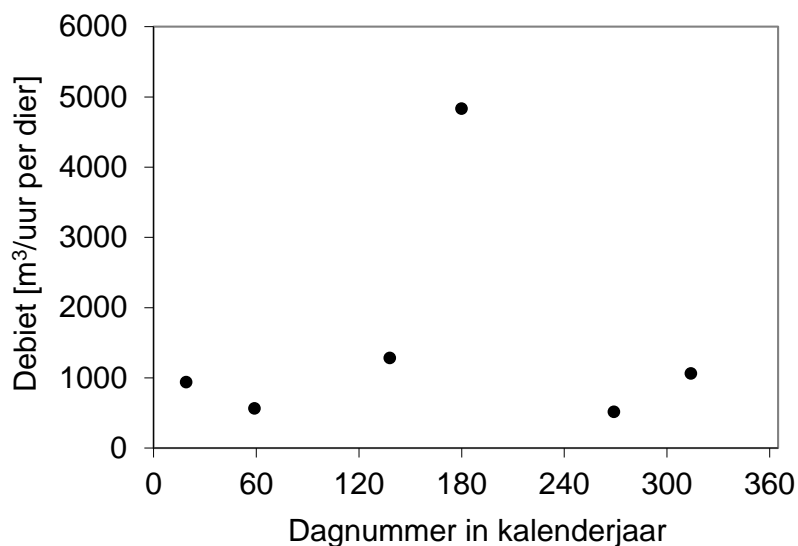
<sup>1</sup> berekeningen zijn uitgevoerd op basis van geschat gewicht van de kuilvoerblokken

<sup>2</sup> de voeropname van vers gras is ingeschat op 17 kg ds per koe per dag bij meting 4 en 5 en 13 kg ds per koe per dag voor meting 6



### 3.2 Ventilatie-debiet

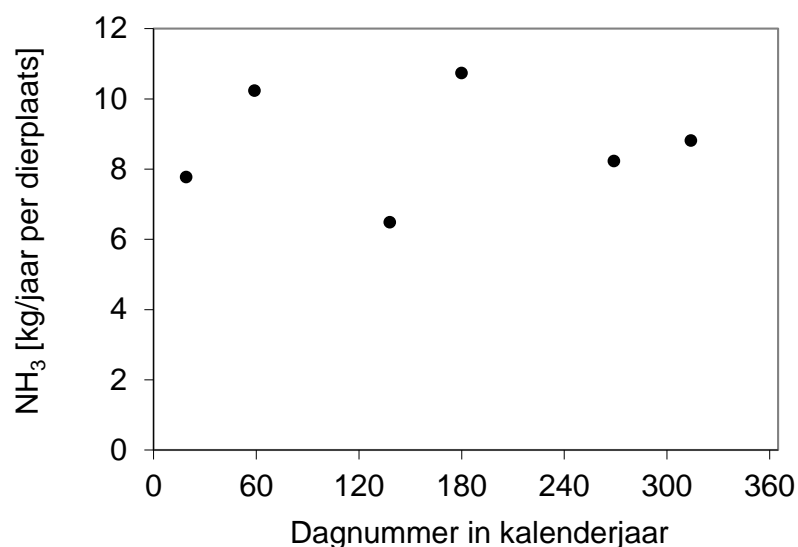
Gemiddelde over alle metingen (Tabel 4 en Figuur 5) was het ventilatie-debiet  $1532 \pm 1643 \text{ m}^3/\text{uur}$  per dier. Dit is vergelijkbaar met het gemiddelde ventilatie-debiet ( $1591 \text{ m}^3/\text{uur}$  per dier; debiet varieerde tussen 400 en  $3050 \text{ m}^3/\text{uur}$  per dier) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. Het hoge ventilatie-debiet gemeten in de zomer (Figuur 5) is deels te verklaren door een combinatie van hoge windsnelheid- en temperatuurwaarden op de betreffende dag, met als gevolg beperkte mogelijkheden om de inlaatopeningen te sluiten.



**Figuur 5** Gemiddelde ventilatie-debiet [ $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier] op alle verschillende meetdagen

### 3.3 Ammoniak

In Figuur 6 worden de ammoniakemissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $8,5 \pm 1,6 \text{ kg}$  per dierplaats per jaar. Voor melkvee wordt geen leegstand verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



**Figuur 6** Gemiddelde  $\text{NH}_3$ -emissie op alle verschillende meetdagen

**Tabel 4** Ventilatie-debiet, concentratie en emissie van PM10, PM2,5, NH<sub>3</sub>, geur, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O op de verschillende meetdagen.

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	10/11/2010	19/01/2011	28/02/2011	18/05/2011	29/06/2011	26/09/2011
Debiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	1060	939	564	1282	4832	516
Debiet [m <sup>3</sup> /uur]	201448	179404	106540	247435	913227	96487
NH <sub>3</sub> stal [ppm]	1,63	1,51 <sup>(1)</sup>	3,43	1,11	0,47	2,98
NH <sub>3</sub> achtergrond [ppm]	0,15	0,04	0,18	0,22	0,08	0,10
NH <sub>3</sub> emissie [kg per dierplaats per jaar]	8,6	7,6	10,0	6,4	10,5	8,1
Geur [OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ]	362	149	167	95	229	177
Geur emissie [OU <sub>E</sub> per dierplaats per s]	94,7	34,7	23,1	30,5	271,5	22,2
PM10 stal [mg/m <sup>3</sup> ]	0,018	0,025	0,035	0,019	0,014	0,023
PM10 achtergrond [mg/m <sup>3</sup> ]	0,007	0,014	0,014	0,012	0,011	0,003
PM10 emissie [g per dierplaats per jaar]	86,3	81,2	94,3	74,5	111,8	79,1
PM2,5 stal [mg/m <sup>3</sup> ]	0,006	0,006	0,011	0,006	0,007	0,007
PM2,5 achtergrond [mg/m <sup>3</sup> ]	0,002	0,002	0,004	0,002	0,005	0,004
PM2,5 emissie [g per dierplaats per jaar]	30,0	29,0	28,8	35,7	57,8	8,5
CH <sub>4</sub> stal [ppm]	18,91	28,74	39,55	15,19	5,72	30,37
CH <sub>4</sub> achtergrond [ppm]	2,56	2,28	2,89	2,36	2,03	2,42
CH <sub>4</sub> emissie [kg CH <sub>4</sub> per dierplaats per jaar]	89,8	129,5	106,6	86,6	91,9	73,6
N <sub>2</sub> O stal [ppm]	0,32	0,40	0,37	0,43	0,33	0,42
N <sub>2</sub> O achtergrond [ppm]	0,30	0,40	0,34	0,41	0,30	0,35
N <sub>2</sub> O emissie [kg N <sub>2</sub> O per dierplaats per jaar]	0,39	0,04	0,17	0,48	2,31	0,49
CO <sub>2</sub> stal [ppm]	630	696	891	575	439	920
CO <sub>2</sub> achtergrond [ppm]	404	415	424	383	392	472

<sup>(1)</sup> Door storing, data uit fotoakoestische monitor gebruikt i.p.v. uit de laser

Eerder onderzoek (Monteny e.a., 2001) heeft aangetoond dat de buitentemperatuur een groot effect kan hebben op de ammoniakemissie uit melkveestallen. In metingen in een conventionele onderzoekstal voor melkvee werd een 2,7% hogere emissie per graad Celsius boven 15 °C gevonden. Monteny e.a. (2001) zijn uitgegaan van een verschil van 4 °C tussen de staltemperatuur en de buiten temperatuur om de gemiddelde staltemperatuur tijdens de stal- en weideperioden te bepalen. Door emissies te corrigeren naar deze gemiddelde staltemperaturen werd een jaarrondemissie voor traditionele melkveestallen in Nederland ingeschat. Om metingen uit verschillende onderzoeken te kunnen vergelijken is de volgende temperatuurcorrectie toegepast:

- In de winter naar een staltemperatuur van 9,2 °C:

$$Emissie = Emissie_{gemeten} * (1 + 0,027 * (9,2 - T_{stal_{gemeten}}))$$

- In de zomer naar een staltemperatuur van 19 °C:

$$Emissie = Emissie_{gemeten} * (1 + 0,027 * (19,0 - T_{stal_{gemeten}}))$$

In tabel 5 worden de gemeten ammoniakemissies met en zonder deze correctie voor staltemperatuur weergegeven. De gemeten bedrijfsemissie (zie 2.3.2) in het onderhavige onderzoek (zonder correctie voor staltemperatuur) was 2,5 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar oftewel 22% lager en wijkt significant af (P<0,01) van de waarde in de Rav voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen). Wanneer de correctie voor staltemperatuur werd toegepast was de in dit onderzoek gemeten ammoniakemissie 2,0 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar oftewel 18% lager en wijkt significant af (P<0,05) van de waarde in de Rav.

De gemeten bedrijfsemissie was 5,9 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar oftewel 41% lager en wijkt significant af (P<0,001) van de emissie gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. De in dit onderzoek voor staltemperatuur gecorrigeerde bedrijfsemissie was 4,4 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar oftewel 33% lager en wijkt significant af (P<0,001) van de emissie in Mosquera e.a. (2010) na correctie voor staltemperatuur.

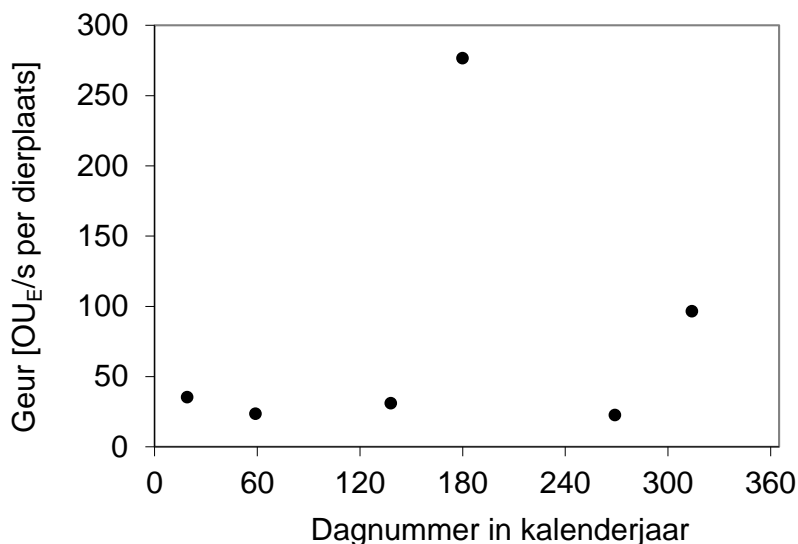
**Tabel 5** Vergelijking ammoniakemissiemetingen huidig onderzoek met literatuurgegevens

	Emissie (kg NH <sub>3</sub> per dierplaats per jaar)	Aantal locaties
Rav (overige huisvestingssystemen, permanent opstallen)	11,0	n.v.t.
Mosquera e.a. (2010)		
Zonder correctie voor staltemperatuur	14,4	4
Met correctie voor staltemperatuur	13,4	4
Dit onderzoek		
Zonder correctie voor staltemperatuur	8,5	1
Met correctie voor staltemperatuur	9,0	1

Berekeningen met het Snelstal model (Monteny e.a., 1998) laten zien dat de (loop)oppervlakte de ammoniakemissie sterk kan beïnvloeden. Naast de vloeroppervlakte per dier is het aandeel kelderoppervlakte ten opzichte van de totale vloeroppervlakte van belang. Volgens dit model neemt de kelderemissie rechtevenredig toe met de toename van de oppervlakte per dier. De vloeremissie neemt veel minder toe. Dit wordt verklaard door een grotere verspreiding van de urineplassen bij een grotere oppervlakte waardoor een groter deel van het emissiepotentieel wordt uitgeput. De dieren hebben op dit bedrijf 4,0 m<sup>2</sup> per dier loopvloer ter beschikking. Dit is iets hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd (3,5 m<sup>2</sup> per dier) en de waarden (3,1 [2,6 : 3,6]) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. Door gebruik te maken van afdichtflappen in de roosterspleten om luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelder te beperken, zou de bijdrage van de kelder op de totale ammoniakemissie beperkt moeten blijven. Volgens het Snelstal model zal een toename van de (loop)oppervlakte van 3,5 m<sup>2</sup> tot 4,0 m<sup>2</sup> per dier een gering effect (<2%) hebben op de ammoniakemissie. De afdichtflappen waren echter in deze stal niet optimaal aangebracht (visuele waarnemingen lieten zien dat de mest in de kelder goed zichtbaar was vanaf de roostervloer), dit zou kunnen hebben geleid tot een hogere ammoniakemissie vanuit de kelder.

### 3.4 Geur

In Figuur 7 wordt de geuremissie op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens werd een geuremissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $49,1 \pm 97,9$   $OU_E$  per dierplaats per s. De gemiddelde bedrijfsemis­sie was significant ( $P < 0,05$ ) lager dan de emissie ( $165,5 \pm 80,1$   $OU_E$  per dierplaats per s) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

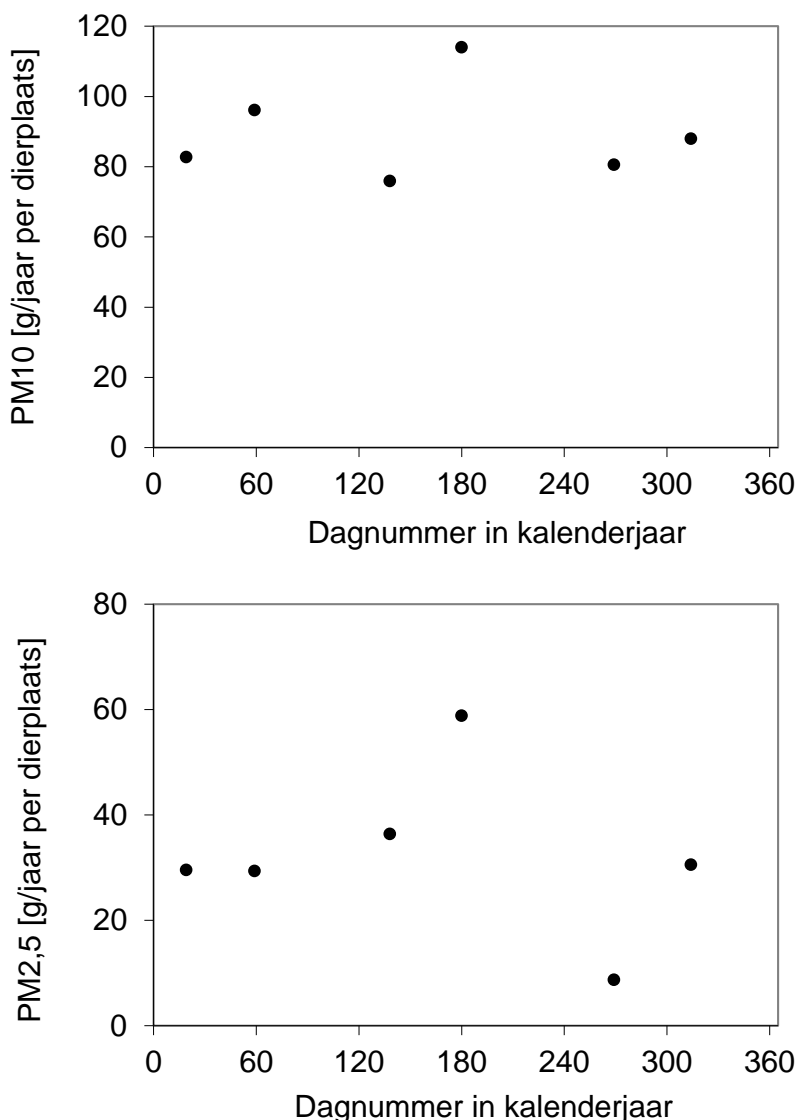


**Figuur 7** Gemiddelde geuremissie op alle verschillende meetdagen

### 3.5 Fijn stof (PM10 en PM2,5)

In Figuur 8 worden de PM10- en PM2,5-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. De gemiddelde PM10-emissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) over alle metingen was  $87,9 \pm 13,6$  g per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemis­sie was significant ( $P < 0,001$ ) lager dan de emissiefactor opgenomen in het overzicht “fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij” (148 g per dierplaats per jaar) voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen) en de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting ( $147,5 \pm 47,4$  g per dierplaats per jaar).

De gemiddelde PM2,5-emissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) op basis van alle meetgegevens was  $31,6 \pm 15,8$  g per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemis­sie wijkt niet af ( $P > 0,10$ ) van de emissies ( $40,6 \pm 14,1$  g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

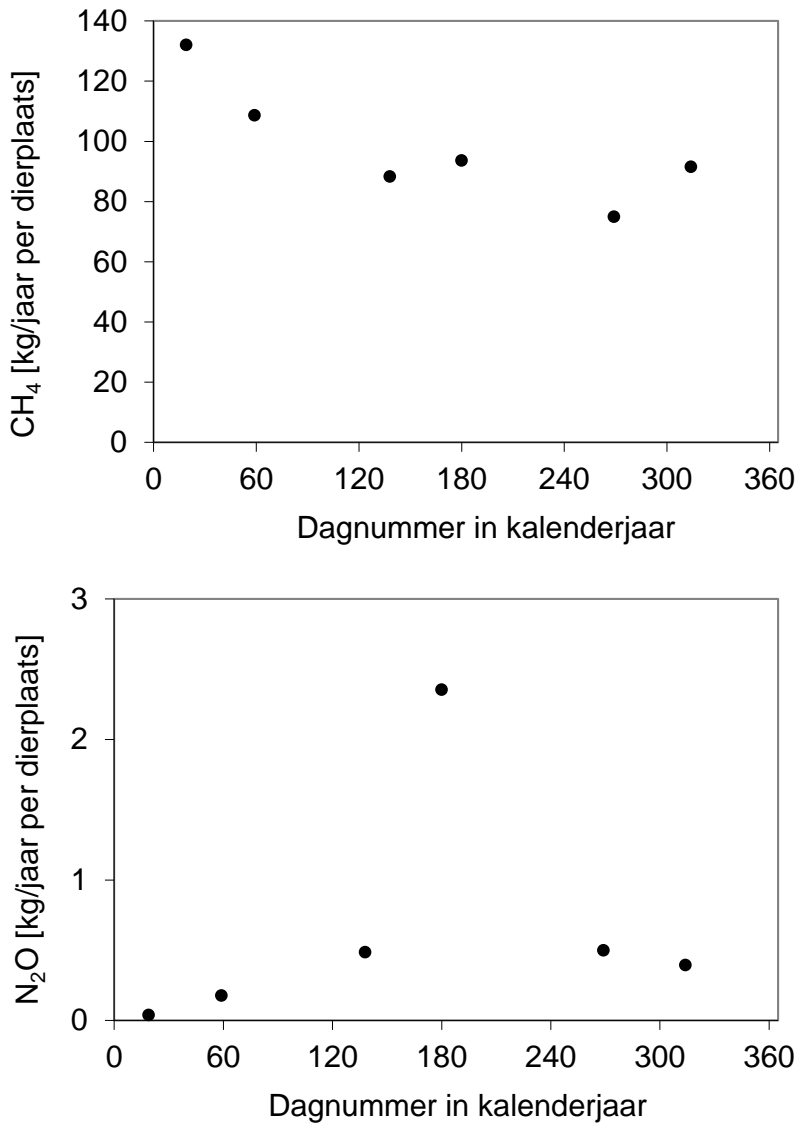


**Figuur 8** Gemiddelde PM10- en PM2,5-emissies op alle verschillende meetdagen

### 3.6 Overige broeikasgassen (CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O)

In Figuur 9 worden de CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen) berekend van  $96,4 \pm 19,4$  kg per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemissie was significant ( $P < 0,001$ ) lager dan de emissies gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (Maas e.a., 2011; 170,8 kg per dierplaats per jaar). De emissie was significant ( $P < 0,01$ ) lager dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting ( $141,7 \pm 39,8$  kg per dierplaats per jaar).

De gemiddelde lachgasemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen; niet gecorrigeerd voor leegstand) was  $0,65 \pm 0,83$  kg per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemissie wijkt niet af ( $P > 0,10$ ) van de emissies (0,16 kg per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Maas e.a. (2011) en in Mosquera e.a. (2010) voor traditionele melkveestallen ( $0,23 \pm 0,26$  kg per dierplaats per jaar).



**Figuur 9** Gemiddelde CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissies op alle verschillende meetdagen

## 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 ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten te bepalen.

Op basis van de metingen (op één locatie) zijn de volgende jaaremissies bepaald (permanent opstallen; gemiddelde emissie  $\pm$  standaarddeviatie tussen metingen):

- Ammoniakemissie:  $8,5 \pm 1,6$  kg per dierplaats per jaar (zonder correctie voor staltemperatuur)  
 $9,0 \pm 1,6$  kg per dierplaats per jaar (met correctie voor staltemperatuur)
- Geuremissie:  $49,1 \pm 97,9$  OU<sub>E</sub> per dierplaats per s
- PM10 emissie:  $87,9 \pm 13,6$  g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie:  $31,6 \pm 15,8$  g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie:  $96,4 \pm 19,4$  kg per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie:  $0,65 \pm 0,83$  kg per dierplaats per jaar

De gemiddelde bedrijfsemissies zijn vergeleken met de huidige emissiefactoren voor overige huisvesting met permanent opstallen zoals opgenomen in de Rav (ammoniak), het overzicht “fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij” (PM10), en gerapporteerd in de NIR (methaan, lachgas), en met de gemeten emissies in vier conventionele melkveestallen in het recente onderzoek van Mosquera et al. (2010), waarin met het hetzelfde meetprotocol is gemeten. Er is statistisch getoetst (t-toetsen) of niveaus aantoonbaar verschillen.

De gemiddelde ammoniakemissie in het onderhavige onderzoek was significant lager ( $P < 0,01$  zonder correctie voor staltemperatuur;  $P < 0,05$  met correctie voor staltemperatuur) dan de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen).

De gemeten ammoniakemissie was significant lager ( $P < 0,001$ , zowel met als zonder correctie voor staltemperatuur) dan de emissie gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

Voor het dagelijks gebruik was  $4,0 \text{ m}^2$  per dier loopvloer beschikbaar. Dit is iets hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd ( $3,5 \text{ m}^2$  per dier) en de waarden ( $3,1 [2,6 : 3,6]$ ) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. Volgens het Snelstal model (Monteny e.a., 1998) zal voor dit systeem een toename van de (loop)oppervlakte van  $3,5 \text{ m}^2$  tot  $4,0 \text{ m}^2$  per dier een gering effect ( $< 2\%$ ) hebben op de ammoniakemissie, aangezien de bijdrage van de kelder op de totale ammoniakemissie (door gebruik te maken van afdichtflappen in de roosterspleten om luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelder te beperken) beperkt zou moeten blijven. De afdichtflappen waren in deze stal niet optimaal aangebracht (visuele waarnemingen lieten zien dat de mest in de kelder goed zichtbaar was vanaf de roostervloer), dit zou kunnen hebben geleid tot een hogere ammoniakemissie vanuit de kelder.

De gemiddelde geuremissie was significant ( $P < 0,05$ ) lager dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde PM10-emissie was significant lager ( $P < 0,001$ ) dan de emissiefactor opgenomen in het overzicht “fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij” voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen) en dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde PM2,5-emissie was lager en wijkt niet af ( $P > 0,10$ ) van de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde methaanemissie was significant ( $P < 0,001$ ) lager dan de emissiefactor gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (NIR2011: Maas e.a., 2011). De emissie was significant lager ( $P < 0,01$ ) dan de waarden in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde lachgasemissie was hoger en wijkt niet significant af ( $P > 0,10$ ) van de emissies gerapporteerd in Maas e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2010).





## Literatuur

- CEN standard 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.
- Klooster, C.E. van 't, B.P. Heitlager en J.P.B.F. van Gastel. 1992. Measurement systems for emissions of ammonia and other gasses at the Research Institute for Pig Husbandry. Rosmalen: Research Institute for Pig Husbandry, Report P3.92.
- 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.
- Monteny, G.J., D.D. Schulte, A. Elzing en E.J.J. Lamaker. 1998. A conceptual mechanistic model for the ammonia emission from cubicle dairy cow houses. Transactions of the ASAE 41(1), 193-201.
- Monteny, G.J., J.W.H. Huis in 't Veld, G. Van Duinkerken, G. André en F. Van der Schans. 2001. Naar een jaarrond emissie van ammoniak uit melkveestallen. Rapport 2001-09, IMAG, PV en CLM, Wageningen, The Netherlands.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. Van 't Klooster, N.W.M. Ogink, D. Swierstra en N. Verdoes, 2002. Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij. Report 2002-12. IMAG, Wageningen, the Netherlands.
- Mosquera, J., J. M. G. Hol, A. Winkel, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2010. Fijnstofemissie uit stallen: melkvee. Rapport 296, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, 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 referentiegelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M., 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.
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH<sub>3</sub>-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



Binnenzijde stal (roostervloer met systeem BWL 2010.30, ligboxen, tafelnok)



BWL 2010.30 roostervloer met mestschuif



Melkput 2x14 rapid exit.



Uitloop rapid exit, deze ruimte is alleen in gebruik tijdens het melken

**Bijlage B** Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten



- Nat-chemisch (NH<sub>3</sub>)      ★ Longmethode (geur)      ■ Laser (stal: NH<sub>3</sub>; buiten: CO<sub>2</sub>)
- ◆ Innova monitor (CO<sub>2</sub>)      ★ Longmethode (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)      ■ Spiegel voor laser
- Cyclonen (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)      ☒ Voerbox

## Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering

### Open-pad laser (NH<sub>3</sub> en CO<sub>2</sub>)

In deze methode wordt laserlicht vanuit de laser langs de emitterende oppervlakte (in dit geval de hele lengte van de stal) naar een reflector geleid, die het licht reflecteert en terug naar de laser stuurt. De golflengte van het laserlicht is specifiek voor een bepaalde gas (in dit geval NH<sub>3</sub> voor de open-pad NH<sub>3</sub>-laser, of CO<sub>2</sub> voor de open-pad CO<sub>2</sub>-laser). Dit betekent dat het laserlicht alleen door die specifieke moleculen wordt geabsorbeerd. Door de intensiteit van het uitgaande laserlicht en het reflecterende licht te meten is de NH<sub>3</sub>- en CO<sub>2</sub>-concentratie langs de hele pad te berekenen.

De open-pad laser werd gebruikt om de CO<sub>2</sub>-concentratie buiten de stal (achtergrond) te meten. Bij aankomst voor een meting werd aan de hand van de windrichting bepaald aan welke zijde van de stal de meting plaats zou vinden. De zijde waarbij de wind de stal inblaast werd gebruikt voor de metingen. De laser en de spiegel worden tegenover elkaar geplaatst waarbij de gehele lengte van de inlaatopening wordt meegenomen. De meethoogte is circa 1,70 m. Ieder twee minuten wordt de gemiddelde concentratie in die 2 minuten met behulp van een laptop gelogd.

In de stal werd een open-pad laser gebruikt voor het bepaling van de NH<sub>3</sub>-concentratie in de uitgaande stallucht. Ieder twee minuten wordt de gemiddelde concentratie in die 2 minuten met behulp van een laptop gelogd. Bij deze stal werd de laser boven op een opslagzolder geplaatst die boven één van de separatiehokken was gesitueerd. Omdat de laser niet in de lengte van de nok kon worden geplaatst is hier voor een diagonaal meting gekozen. Dit betekent dat de laser schuin naar de overzijde van de stal is gericht naar de spiegel die daar is opgehangen (zie foto hieronder).



Opstelling laser in de stal



Opstelling laser buiten (de plastic zak over de laser is ter bescherming tegen vocht)

### Foto-akoestische multigasmonitor (NH<sub>3</sub> en CO<sub>2</sub>)

Deze meetmethode is gebaseerd op het effect van infrarood licht op gassen. Als een gas wordt blootgesteld aan infrarood licht met een golflengte die dat gas absorbeert zal een deel van het licht worden geabsorbeerd. Als gevolg hiervan krijgt een aantal moleculen een hoger energieniveau wat leidt tot een stijging van temperatuur en druk. Valt het infrarood licht weg dan zullen de moleculen weer terugvallen naar hun oorspronkelijke energieniveau, temperatuur en druk zullen weer dalen. Wanneer een gas pulserend wordt belicht ontstaat een steeds wisselend druk die resulteert in een geluidsgolf die met behulp van microfoons kan worden gedetecteerd. De concentratie van het gas in een monster wordt dan door de sterkte van het signaal bepaald.

De praktische uitvoering van de meting met een foto-akoestische monitor is voor zowel de metingen in de stal als buiten (achtergrond) vergelijkbaar. De stal- of achtergrondlucht wordt op drie verschillende punten (respectievelijk in de stal of buiten de stal, verdeeld over de hele lengte van de stal) met behulp van een verzamelleiding bemonsterd en iedere vijf minuten naar de monitor geleid. De luchtmonster is dan in de multigasmonitor (Innova 1312; zie foto hieronder) geanalyseerd om de NH<sub>3</sub>- en CO<sub>2</sub>-concentraties te bepalen.



Innova 1312 voor het meten van de stal- en achtergrondconcentraties van  $\text{NH}_3$  en  $\text{CO}_2$ .

### Natchemisch met wasflessen en impingers ( $\text{NH}_3$ )

Deze methode werd gebruikt om de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de ingaande lucht (achtergrondconcentratie) te bepalen. Bij de nat-chemische methode (Wintjes, 1993) wordt de lucht via een monsternamleiding met een constante luchtstroom ( $\sim 1,0$  l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van  $\sim 1,0$  l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de  $\text{NH}_3$  wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (zie foto hieronder). Na de bemonsteringstijd wordt de gebonden  $\text{NH}_3$  spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het  $\text{NH}_4^+$  gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.



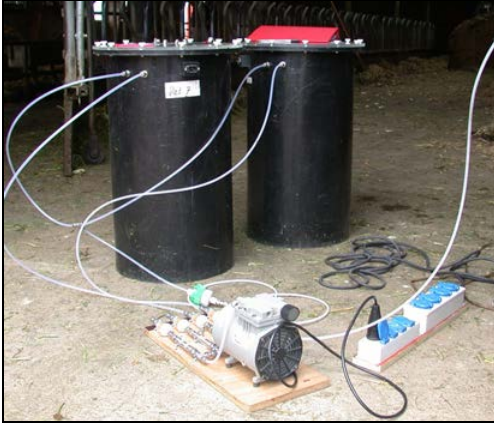
Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp

### Longmethode (geur en broeikasgassen)

Bij de toepassing van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) werd eerst een 40 liter 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  $\mu\text{m}$ , Savillex<sup>®</sup> 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 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), Haysep Q ( $\text{N}_2\text{O}$ ); detector:  $\text{CH}_4$ : FID,  $\text{N}_2\text{O}$ : ECD,  $\text{CO}_2$ : HWD).



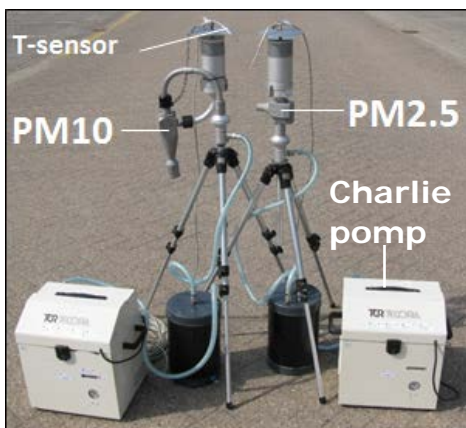
Meetopstelling voor het meten van de geurconcentratie in de uitgaande stallucht, en van de concentraties van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht.

### 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<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> 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 voorafseparator is vervangen door een cycloon voorafseparator. Dit vanwege het gevaar van overbelading van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM<sub>2,5</sub> (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<sub>10</sub>: < 222,6 µg/m<sup>3</sup>:  $Y = 1,0877 X$   
 > 222,6 µg/m<sup>3</sup>:  $Y = 0,8304 X + 57,492$   
 PM<sub>2,5</sub>: geen correctie

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



PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> 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<sub>10</sub> of PM<sub>2,5</sub> cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). De filters werden voor en na de stofmonsternamete 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 monsternamete.





Twee cyclonen (PM10 en PM2,5) voor de bepaling van fijn stof in de ingaande lucht



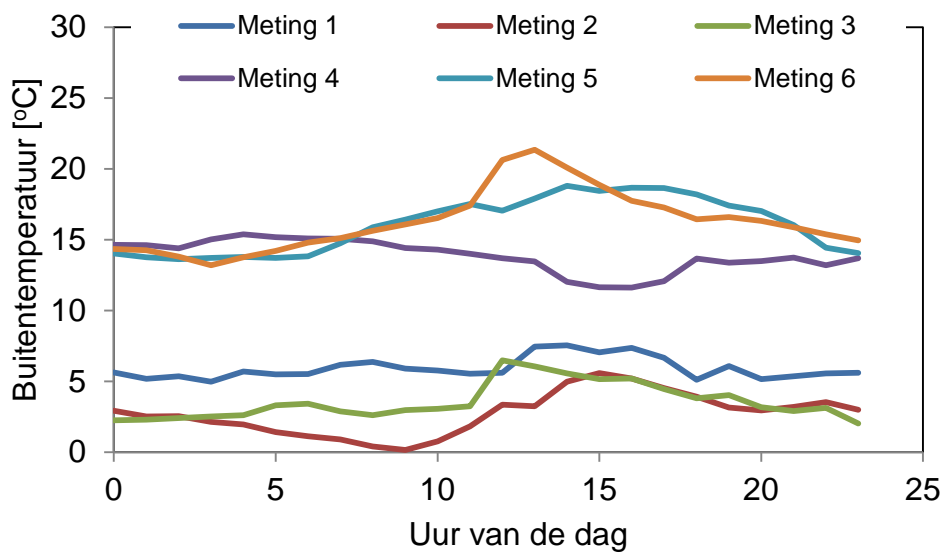
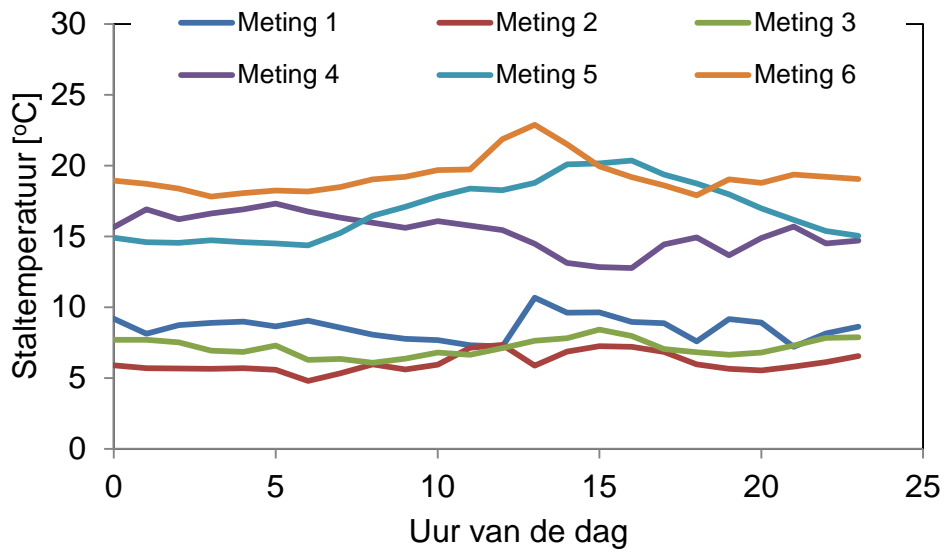
Twee cyclonen (PM10 en PM2,5) voor de bepaling van fijn stof in de luchtstroming van de uitgaande lucht.

### Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

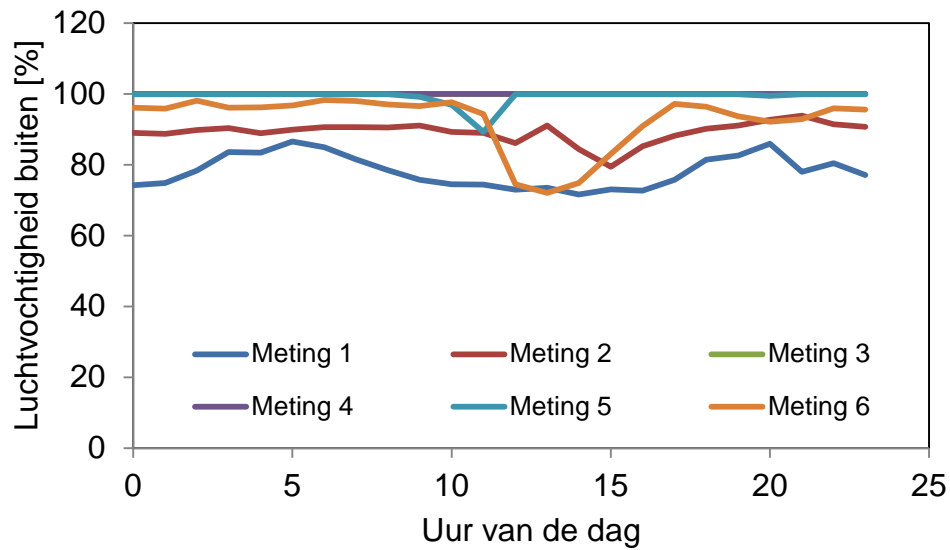
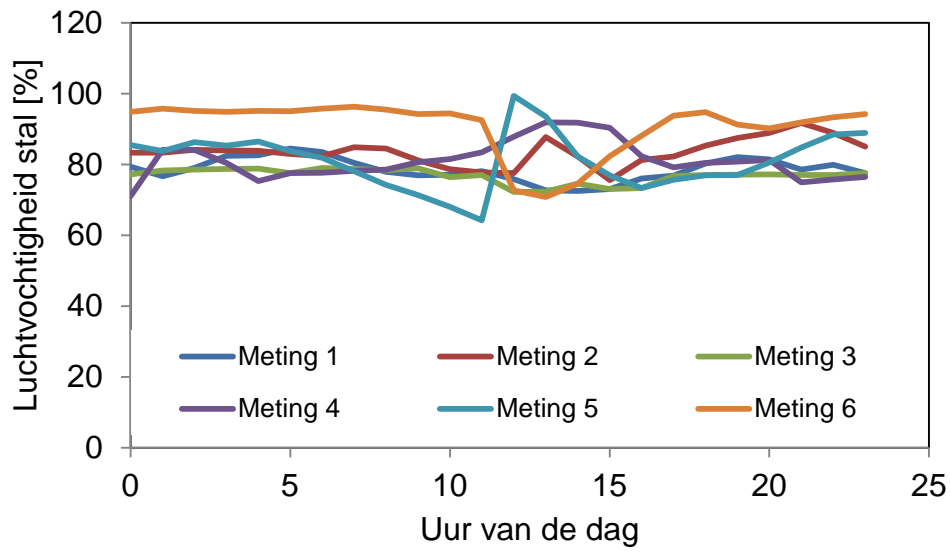
Voor de meting van temperatuur en relatieve wordt gebruik gemaakt van Rotronic T en RV sensoren (ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie foto hieronder), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 1,0$  °C en  $\pm 2\%$ . Per meetpunt wordt een rotronic opgehangen. De data wordt eenmaal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



**Bijlage D** Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)



Uurgemiddelden stal- en buitentemperatuur



Uurgemiddelden stal- en buitenluchtvochtigheid



Wageningen UR Livestock Research

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

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)