

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



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
onderzoekopdrachten 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 using the "freedom of choice" concept.

Keywords

Ammonia, odour, fine dust, methane, nitrous oxide, emissions, dairy cattle, freedom of choice

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
het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma
Integraal Duurzame Stallen

Rapport 616

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 het "vrije keuze" systeem.

Trefwoorden

Ammoniak, geur, fijn stof, methaan, lachgas, emissies, melkvee, vrijekeuze



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 616

Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. 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

September 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. Zonderland-Verhoef te Koudum opdracht gegeven om de emissies te meten uit een ligboxenstal voor melkvee met het vrijekeuze systeem. 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. Zonderland-Verhoef te Koudum (ligboxenstal met het vrijekeuze systeem). Het beoogde emissiereducerende principe van dit systeem is gebaseerd op 1) het afsluiten van de mestkelder door gebruik te maken van sleufvloer zonder gaatjes in de lange looppaden in de lengterichting van de stal, 2) het versneld afvoeren van de emitterende bron (urine) naar de kelder, het verschuiven van het chemisch evenwicht door het verlagen van de pH van de urine op de roostervloer, en luchtuitwisseling tussen de stal en de kelder beperken door op de verbindingspaden loodrecht op de sleufvloer en de wachtruimte vóór de melkrobots rubber matten op de roostervloer en afdichtflappen in de roosterspleten te plaatsen, en 3) door het ventilatieniveau te beperken door gebruik te maken van Automatically Controlled Natural Ventilation (ACNV).

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: $12,1 \pm 3,5$ kg per dierplaats per jaar (zonder correctie voor staltemperatuur)
 $12,0 \pm 4,2$ kg per dierplaats per jaar (met correctie voor staltemperatuur)
- Geuremissie: $76,9 \pm 56,8$ OU_E per dierplaats per s
- PM10 emissie: $96,5 \pm 47,6$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $19,7 \pm 10,9$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $121,4 \pm 32,5$ kg per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $0,14 \pm 0,08$ 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 (zowel met als zonder correctie voor staltemperatuur) niet significant ($P > 0,10$) hoger dan de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen).

De gemeten ammoniakemissie, zonder correctie voor staltemperatuur, was lager en laat een aanwijzing voor verschil ($0,05 < P < 0,10$) zien significant ten opzichte van de emissie gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. Wanneer de emissie gecorrigeerd wordt door staltemperatuur was de gemeten ammoniakemissie niet significant ($P > 0,10$) lager dan de waarden in Mosquera e.a. (2010) na correctie voor staltemperatuur.

Voor het dagelijks gebruik was $4,7 \text{ m}^2$ 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 $4,7 \text{ m}^2$ per dier een gering effect ($< 3\%$) hebben op de ammoniakemissie, aangezien de bijdrage van de kelder op de totale ammoniakemissie (door gebruik te maken van sleufvloer zonder gaatjes (lange looppaden) en afdichtflappen in de

roosterspleten (verbindingspaden) om luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelder te reduceren) beperkt zal blijven.

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

De gemiddelde PM₁₀-emissie was significant ($P < 0,05$) lager dan de emissiefactor 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 PM_{2,5}-emissie was significant ($P < 0,01$) lager dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde methaanemissie was significant ($P < 0,01$) lager dan de emissiefactor gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (NIR2011: Maas e.a., 2011) en laat een aanwijzing voor verschil ($0,05 < P < 0,10$) zien ten opzichte van de waarden gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde lachgasemissie was lager en wijkt niet significant af ($P > 0,10$) van de emissies gerapporteerd in Maas e.a. (2011), en was significant ($P < 0,05$) lager dan de waarden gerapporteerd in 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 with the freedom of choice farm system of Mts. Zonderland-Verhoef (Koudum). The emission reduction principle of this system is based on 1) fully covering of the slurry pit of the long walkways in the length of the barn by using grooved solid floor, 2) the accelerated removal of the emitting source (urine) into the manure pit, shifting the chemical equilibrium by lowering the pH, and limiting air exchange between the barn and the slurry pit by fitting convex rubber mats on the slatted floor (connection paths perpendicular to the grooved floor) and placing rubber flaps between the roosters, and 3) reducing the ventilation rate by using Automatically Controlled Natural Ventilation (ACNV).

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: 12.1 ± 3.5 kg per animal place per year (without correction for temperature)
 12.0 ± 4.2 kg per animal place per year (with correction for temperature)
- Odour emission: 76.9 ± 56.8 OU_E per animal place per s
- PM10 emission: 96.5 ± 47.6 g per animal place per year
- PM2,5 emission: 19.7 ± 10.9 g per animal place per year
- Methane emission: 121.4 ± 32.5 kg per animal place per year
- Nitrous oxide emission: 0.14 ± 0.08 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 NH₃, 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 (both with or without correction for temperature inside the barn) not significantly ($P > 0.10$) higher than the emission factor in the Rav.

The measured ammonia emission, without correction for temperature inside the barn, was lower and showed a weakly significant difference ($0.05 < P < 0.10$) compared to the values reported in Mosquera et al. (2010). The measured ammonia emission, when corrected for temperature inside the barn, was not significantly ($P > 0.10$) lower than the emissions in Mosquera et al. (2010).

In this barn, the animals had 4.7 m^2 walking area per animal available. This is higher than the value (3.5 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 m^2 to 4.7 m^2 per animal on the ammonia emission will be negligible ($< 3\%$), due to the use of grooved floor (long walkways) and rubber flaps between the slats (connection paths perpendicular to the grooved floor) 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.

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

The average PM₁₀ emission was significantly lower ($P < 0.05$) 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 PM_{2.5} emission was significantly lower ($P < 0.01$) than the emissions reported in Mosquera et al. (2010).

The average methane emission was significantly lower ($P < 0.01$) than the emission factor reported in the Netherlands Inventory Report 2011 (Maas et al., 2011), and showed a weakly significant difference ($0.05 < P < 0.10$) compared to the values reported in Mosquera et al. (2010).

The average nitrous oxide emission was not significantly lower ($P > 0.10$) than the emissions reported in Maas et al. (2011), and showed a weakly significant difference ($0.05 < P < 0.10$) compared to the values reported in Mosquera et al. (2010).

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	3
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	6
2.2.5	Concentratie overige broeikasgassen	7
2.2.6	Ventilatiedebiet	7
2.2.7	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	8
2.2.8	Productiegegevens	8
2.3	Verwerking gegevens	8
2.3.1	Emissies	8
2.3.2	Statistische toetsing	9
3	Resultaten en discussie	11
3.1	Meetomstandigheden	11
3.2	Ventilatiedebiet	13
3.3	Ammoniak	13
3.4	Geur	16
3.5	Fijn stof (PM10 en PM2,5)	16
3.6	Overige broeikasgassen (CH ₄ en N ₂ O)	17
4	Conclusies	19
	Literatuur	21
	Bijlage A Foto's van de bedrijfssituatie	23
	Bijlage B Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten	25
	Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering	26
	Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)	30

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), 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 “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. Zonderland-Verhoef te Koudum. Het beoogde emissiereducerende principe van dit systeem is gebaseerd op:

1. Het aanbrengen van een sleufvloer (BWL 2010.14.v1; zonder gaatjes en met noppenprofiel op de balken) in de lange looppaden in de lengterichting van de stal (ongeveer 80% van het loopoppervlakte), in combinatie met frequent afvoeren van mest en urine met behulp van een mestschuif.
2. Het aanbrengen van bolle rubber matten (BWL 2010.30) op de verbindingspaden (roostervloer) loodrecht op de sleufvloer en de wachtruimte vóór de melkrobots, voor een betere afvoer van de urine naar de kelder en het verlagen van de pH van de urine op de roostervloer. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van afdichtflappen in de roosterspleten om luchtuitwisseling tussen de stal en de kelder te beperken.
3. Beperking van het ventilatieniveau door het ventilatiedebiet afhankelijk te maken van de weersomstandigheden (Automatically Controlled Natural Ventilation (ACNV)). In de praktijk betekent dit een lager ventilatieniveau.

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 197 ligboxen, 8 separatieboxen en 1 strohok. De stal was ingedeeld met één voergang en aan beide zijde van de voergang 3 rijen ligboxen (3+3) (Bijlage B). Het loopgedeelte van de stal is op te delen in 4 lange gangen (aan beide zijde 2) en doorsteken om van de ene loopgang naar de andere te komen. De loopvloer in de lange gangen bestond uit een dichte sleuenvloer met noppenprofiel (BWL 2010.14.v1). Bij het voerhek ter hoogte van de achterpoten van de koe (op 1 m van het voerhek) was een dichte rubbermat van 0,6 m breed gelegd die op dezelfde hoogte lag als de bovenkant van de sleuenvloer. Tegen het voerhek was een smalle verhoogde betonnen rand gemaakt (0,1 m hoog en 0,4 m breed). Op de roostervloer in de doorsteken zijn bolle rubber matten en afdichtflappen in de roosterspleten aangebracht (BWL 2010.30). In de stal zijn 3 melkrobots geplaatst, 2 aan een kant, 1 aan de andere kant van de stal. Via de melkrobot is het mogelijk om dieren voor een behandeling in de separatieruimte of strohok te separeren. De strohok wordt beperkt gebruikt voor zieke dieren en verse koeien die nog biest geven. In deze stal was er altijd voer aan het voerhek beschikbaar, drinkwater was beschikbaar via waterbakken die in de doorsteken waren geplaatst. Voor het dagelijks gebruik is 4,7 m² per dier beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar. Dit is hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd (3,5 m² 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. Het krachtvoer in de vorm van een brok werd in basishoeveelheid in de melkrobot verstrekt, en aangevuld in de krachtvoerboxen die in de stal aanwezig waren (2 per kant). De hoeveelheid krachtvoer is afhankelijk van productieniveau en leeftijd. Het ruwvoer en een mengsel van bijproducten en mineralen werd aan het voerhek verstrekt. Afhankelijk van het seizoen werd eenmaal in de twee dagen (winter) of tweemaal (zomer) per dag voer in de voergang gebracht. In de wintermaanden bestond het ruwvoer met name uit grassilage met het mengsel van bijproducten, in het groeiseizoen (april tot november) werd de grassilage vervangen door vers gras. De grassilage was opgeslagen in een torensilos. Het mengsel van bijproducten bestond uit maïssilage, bierborstel en aardappelvezels. Bierborstel werd soms vervangen door een vergelijkbaar product (commerciële naam: penspro). Het mengsel werd aan het einde van de meetserie aangevuld met aardappelen. Dit mengsel werd eens in de ca 35 dagen gemaakt door het op een grote hoop te verzamelen. Geleidelijk werd deze hoop opgevoerd waarna er weer een nieuwe menghoop werd gemaakt. Tweemaal per dag werd voer van de menghoop op het grassilage dat voor het voerhek lag gereden. Het voer werd regelmatig aangeschoven en voordat er opnieuw grassilage werd gevoerd werden voerrechten naar het jongvee in de oude stal geschoven.

Op dit bedrijf werd beperkte weidegang toegepast tussen juni en eind oktober, behalve bij veel regen. In deze periode maakten de koeien gebruik van het zogenaamde vrije keuze systeem. De staldeuren werden 's morgens om 9:00 geopend en de dieren konden vrij bewegen tussen weide en stal. Om ongeveer 17:00 werden de staldeuren weer gesloten en bleven de dieren binnen. Tijdens de metingen werd echter geen weidegang toegepast. Het verschil in de zogenaamde vrije keuze weidegang en de traditionele weidegang is dat er naast weidegras ook een voerrantsoen in de stal beschikbaar was. Alle melkgevend koeien werden door de melkrobot gemolken. Gemiddeld werden de koeien 2,5 keer per dag door de melkrobot gemolken. De sleuenvloer met noppenprofiel werd iedere 1,5 uur geschoven met een getrokken vingerschuif die de urine in de sleuven en de mest en urine die op de vloer lag meenam naar de afstort aan de achterzijde van de stal. De doorsteken werden niet 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	197
Leefruimte (voor dagelijks gebruik)	
Ligbox [m ² per dier]	2,8 (bij dubbele rij boxen) 3,2 (bij enkele rij boxen)
Loopoppervlakte, exclusief separatieruimte [m ² per dier]	4,7
Beschrijving loopoppervlak (voor dagelijks gebruik)	76% sleufvloer (BWL 2010.14.v1) 6% dichte rubber mat 18% BWL 2010.30 systeem
Materiaal loopoppervlak (voor dagelijks gebruik)	
Sleufvloer (BWL 2010.14.v1)	Beton
Mat	Rubber
BWL 2010.30	Bolle rubber toplaag
Separatieruimtes ¹	
Ligboxen (aantal en oppervlak)	8 boxen, 14 m ² BWL 2010.30
Strohok (oppervlak)	1 hok, 104 m ² ingestrooid
Periode met vrije keuze (weide/uitloop) ²	Begin juni tot eind augustus 7,5 uur per dag vrije keuze
Gemiddelde melkproductie [kg per dier per dag] ³	27
Ureumgehalte melk (mg/100g, jaargemiddelde) ³	22

¹ de oppervlaktes van de separatieruimtes werden niet meegenomen in de emissieberekeningen

² tijdens de uitvoering van de metingen konden de dieren niet naar buiten (permanent opstallen)

³ 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. Op basis van de instelling van de maatlat duurzame veehouderij (MDV) werd de inlaatopening automatisch geregeld (ACNV). In het midden van de stal is op het dak over de gehele lengte een open nok geplaatst (Figuur 1). De dak van de stal is volledig geïsoleerd. Alle deuren van de stal zijn gesloten, alleen tijdens het voeren staan de grote deuren open. In de zomerperiode tussen juni en augustus werden gedurende de dag de staldeuren geopend. Daarmee werd de leefruimte van de dieren vergroot, naast de stal met alle voorzieningen konden de dieren ook buiten lopen, liggen en eten. Tijdens de metingen waren de deuren gesloten en bleven alle dieren in de stal (permanent opstallen). Door het ACNV worden de openingen over het algemeen niet zo ver geopend als gebruikelijk bij melkveestallen. Op basis van windsnelheid en temperatuur wordt de gewenste inlaatopening ingesteld. De inlaatopening wordt beperkt door 100% dicht zeil voor het vogelgaas omhoog te trekken. Tijdens de metingen werd uitsluitend gemeten met het gebruik van het ACNV-systeem voor de ventilatie.



Figuur 1 Buitenkant van de stal.

2.1.3 Emissiereducerend principe

Het beoogde emissiereducerende principe van dit systeem is gebaseerd op:

1. Het aanbrengen van een sleufvloer (BWL 2010.14.v1; zonder gaatjes en met noppenprofiel op de balken; Figuur 2) in de lange looppaden in de lengterichting van de stal (ongeveer 80% van het loopoppervlakte), in combinatie met frequent afvoeren van mest en urine met behulp van een mestschuif.
2. Het aanbrengen van bolle rubber matten op de verbindingspaden (roostervloer) loodrecht op de sleufvloer en de wachtruimte vóór de melkrobots (BWL 2010.30; Figuur 2). 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.
3. Beperking van het ventilatieniveau door het ventilatiedebiet afhankelijk te maken van de weersomstandigheden (Automatically Controlled Natural Ventilation (ACNV), zoals in de Maatlat Duurzame Veehouderij is beschreven). Door gebruik te maken van het ACNV-systeem voor de ventilatieopeningen worden deze over het algemeen niet zo ver geopend als gebruikelijk bij melkveestallen. Hierdoor zal het ventilatiedebiet (en daarmee de luchtsnelheid) worden verlaagd. Dit zou tot een verlaging van de emissies kunnen leiden.



Figuur 2 Links: Sleufvloer (BWL 2010.14.v1); Rechts: BWL 2010.30 systeem.

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

De metingen zijn in de periode mei 2011 – februari 2012 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 vier locaties. Een emissiemeting 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 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_2 -massabalansmethode uit de gemeten koolstofdioxide (CO_2) concentratie van de uit- en ingaande stallucht en de CO_2 -productie in de stal (zie hoofdstuk 2.2.6). 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 en droge koeien in de stal te plaatsen en door een aantal ligboxen af te dekken.

2.2.2 Ammoniakconcentratie

Voor de bepaling van de NH_3 -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_3 -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_3 -concentratiemetingen

Meetpunt	Meetfrequentie	Meetmethode	Praktische uitvoering	Literatuur
Stal (uitgaande lucht)	Continue	Open-pad laser	Gemiddelde concentratie over de gehele lengte van de stal	Mosquera e.a., 2002
	Continue	Fotoakoestische multigasmonitor	Drie meetpunten 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	Verzamelsonster (24 uur)	Nat-chemisch	Één meetpunt (duplo) 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 CH₄- en N₂O-concentraties werd, zoals bij geur het geval was, de longmethode toegepast. Voor CH₄ en N₂O werd in twee meetpunten in de stal (op 1/3 en 2/3 van de lengte van de stal) en in één meetpunt buiten de stal (halverwege de lengte van de stal) lucht gedurende 24 uur aangezogen en in 40 liter Nalofaan monsterzakken verzameld. Deze methode geeft een gemiddelde CH₄- en N₂O-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 (m³/uur) werd bepaald met behulp van de CO₂-massabalansmethode. De CO₂-massabalansmethode maakt gebruik van de gemeten CO₂-concentraties van de uit- en ingaande stallucht (respectievelijk [CO₂]_{stal} en [CO₂]_{buiten}; ppm) en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/dag per dier) in de stal. Aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008) wordt de CO₂-productie van de dieren bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg), 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 CO₂-productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in de stal kan de totale CO₂-productie worden berekend. Het ventilatie-debiet V (m³/dag) wordt dan bepaald op basis van:

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

Er is voor gekozen om het ventilatie-debiet per dag in plaats van per uur te bepalen. De reden hiervoor is dat de CO₂-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 CO₂-concentratie in de stal (uitgaande stallucht) werd (semi-) continue met een fotoakoestische multigasmonitor gemeten. De CO₂-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 datalogstelsysteem (Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.

2.2.8 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal melkgevend 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

2.3.1 Emissies

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 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}) 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 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}) van geur:

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

De emissie (E) van NH_3 , geur, fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O 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 NH_3 , fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O de volgende eenheden gebruikt:

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

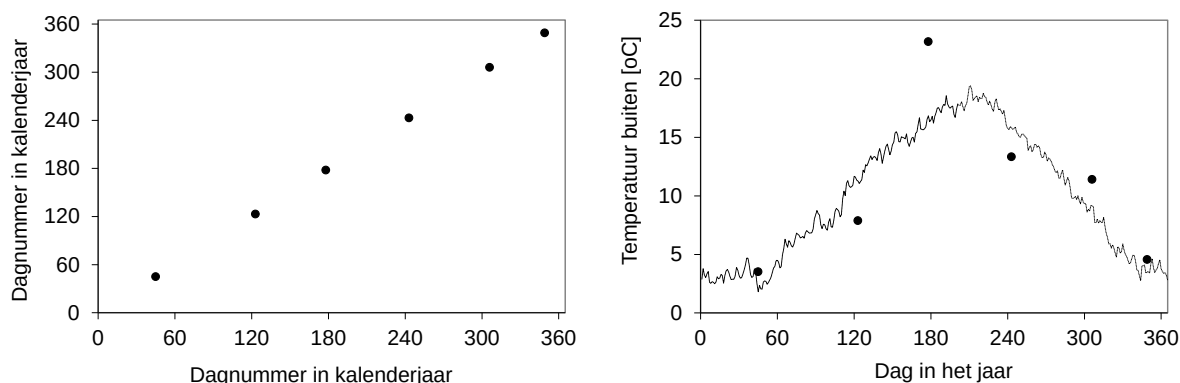
Deze t-waarde wordt daarna vergeleken met de kritieke t-waarde (t_{n-1}^k) bepaald uit een eenzijdig Student-verdeling met n-1 vrijheidsgraden en 95% betrouwbaarheidsinterval. De verschillen zijn significant (bedrijfsgemiddelde wijkt af van de constante emissiewaarde) wanneer $t > t_{n-1}^k$.

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 304 dagen over het gehele jaar verdeeld (Figuur 3a). Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 207 dagen. De onderbezetting in de stal (aantal aanwezige dieren ten opzichte van aantal ligboxen) varieerde tussen 10% en 12%, met een gemiddelde van 11%, iets hoger dan voorgesteld in Ogink e.a. (2011a). Gedurende alle metingen zijn 16 (8%) ligboxen (inclusief bijbehorende loopvloer) afgedekt. Het aantal droogstaande dieren was voor alle meetdagen lager dan 25% (gemiddeld: 9%) en het aantal drachtig jongvee lager dan 30% (gemiddeld: 23%) van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend). De (daggemiddelde) CO₂-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 3000 ppm. Het ureumgehalte in melk tijdens de metingen lag tussen 17 en 25 mg/100g (gemiddeld: 22) en was vergelijkbaar met de waarden (24 [14-35]) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010). De gemiddelde melkgift was tijdens de metingen altijd hoger dan 20 kg melk/dag per koe (gemiddeld: 27 kg melk/dag per koe) en was vergelijkbaar met 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 3b 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 (10,6 °C) is vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C).



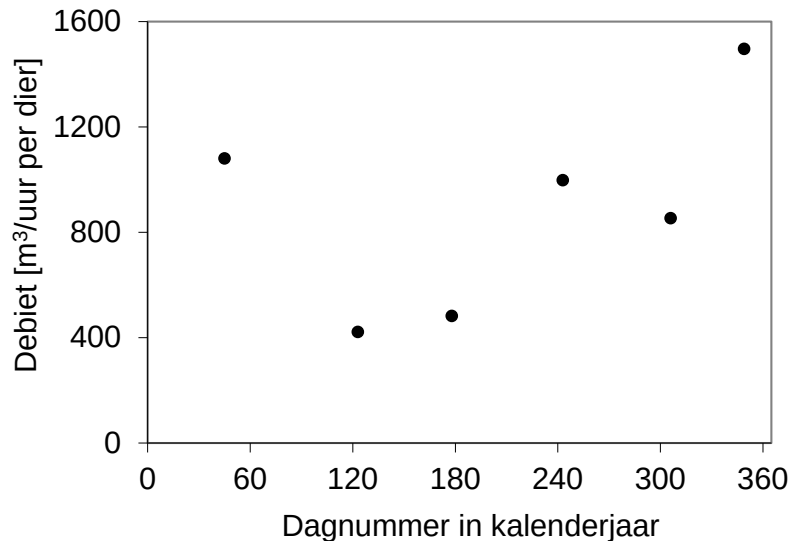
Figuur 3 Verdeling van de metingen over het jaar (a), en de buitentemperatuur (b) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation Stavoren (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven).

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). n.b.: door storingen, data niet beschikbaar

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	3-5-2011	27-6-2011	31-8-2011	2-11-2011	15-12-2011	14-2-2012
Dag in het jaar	123	178	243	306	349	45
T-buiten [°C]	7,9	23,2	13,3	11,4	4,6	3,5
RV-buiten [%]	72,9	72,5	73,1	81,2	93,6	98,6
T-binnen [°C]	n.b.	28,4	18,0	15,2	n.b.	6,3
RV-binnen [%]	n.b.	73,4	68,4	86,2	n.b.	92,2
Windrichting	214	187	75	186	137	48
Windsnelheid [m/s]	3,3	2,1	2,8	3,1	7,9	7,6
CO ₂ stalconcentratie [ppm]	913	1017	661	750	598	560
Melkkoeien	123	132	122	136	137	137
waarvan melkgevende koeien	108	120	108	123	129	125
waarvan droge koeien	15	12	14	13	8	12
Drachtig jongvee	37	30	38	24	23	23
Weide (aantal uren)	0	0	0	0	0	0
Afgedekte ligboxen	16	16	16	16	16	16
% afgedekte ligboxen	8	8	8	8	8	8
Bezettingsgraad	88	90	88	88	88	88
Aandeel drachtig jongvee t.o.v. melkkoeien	30	23	31	18	17	17
Aandeel droge koeien t.o.v. melkkoeien	12	9	11	10	6	9
Melkproductie [kg per koe per dag]	27	27	26	28	30	27
Melk [% eiwit]	3,7	3,6	3,5	3,6	3,6	3,7
Melk [% vet]	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4	4,9
Ureumgehalte [mg/100g]	17	21	25	22	25	19
Voergift (kg ds/dag per dier)	21	23	21	22	22	23
Aandeel ruwvoer (op ds basis)	66	68	71	56	56	56
Aandeel bijproducten (op ds basis)	15	13	8	14	13	22
Verhouding kuilgras : maïs	55:45	0:100	0:100	90:10	90:10	85:15
Aandeel vers gras (op ds basis)	83	100	100	0	0	0

3.2 Ventilatie-debiet

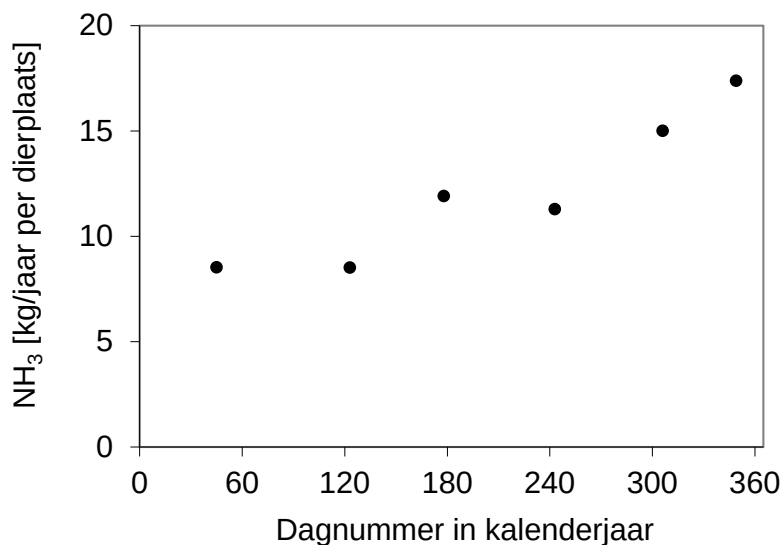
Gemiddelde over alle metingen (Tabel 4 en Figuur 4) was het ventilatie-debiet $888 \pm 401 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier. Dit is lager dan het gemiddelde ventilatie-debiet ($1591 \text{ m}^3/\text{uur/dier}$; debiet varieerde tussen 400 en $3050 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.



Figuur 4 Gemiddelde ventilatie-debiet [m^3/uur per dier] op alle verschillende meetdagen

3.3 Ammoniak

In Figuur 5 worden de ammoniakemissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde ammoniakemissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $12,1 \pm 3,5 \text{ kg}$ per dierplaats per jaar. Voor melkvee wordt geen leegstand verrekend (Groenestein en Aarnink, 2008).



Figuur 5 Gemiddelde NH_3 -emissie op alle verschillende meetdagen

Tabel 4 Ventilatie-debiet, concentratie en emissie van PM10, PM2,5, NH₃, geur, CH₄ en N₂O op de verschillende meetdagen.

Meting	1	2	3	4	5	6
Datum	3-5-2011	27-6-2011	31-8-2011	2-11-2011	15-12-2011	14-2-2012
Debiet [m ³ /uur per dier]	421	482	997	854	1496	1080
Debiet [m ³ /uur]	74944	80660	141202	144544	210288	166603
NH ₃ stal [ppm]	3,35	4,46	2,43 ⁽¹⁾	3,23	2,59	1,54
NH ₃ achtergrond [ppm]	0,04	0,16	0,10	0,20	0,18	0,05
NH ₃ emissie [kg per dierplaats per jaar]	8,5	11,9	11,3	15,0	17,4	8,5
Geur [OU _E /m ³]	177	1413	629	377	329	188
Geur emissie [OU _E per dierplaats per s]	20,4	174,9	136,3	83,6	106,2	48,1
PM10 stal [mg/m ³]	0,056	0,032	0,017	0,032	0,014	0,032
PM10 achtergrond [mg/m ³]	0,006	0,021	0,006	0,016	0,006	0,022
PM10 emissie [g per dierplaats per jaar]	183,2	46,2	70,9	112,9	85,2	80,5
PM2,5 stal [mg/m ³]	0,005	0,018	0,005	0,011	0,004	0,007
PM2,5 achtergrond [mg/m ³]	0,003	0,009	0,001	0,010	0,002	0,004
PM2,5 emissie [g per dierplaats per jaar]	6,1	35,1	25,1	10,2	16,2	25,6
CH ₄ stal [ppm]	48,08	74,10	32,45	24,67	16,54	22,22
CH ₄ achtergrond [ppm]	2,49	5,23	2,33	2,33	3,60	1,80
CH ₄ emissie [kg CH ₄ per dierplaats per jaar]	110,3	179,2	137,2	104,2	87,8	109,8
N ₂ O stal [ppm]	0,38	0,31	0,38	0,36	0,34	0,39
N ₂ O achtergrond [ppm]	0,37	0,31	0,36	0,35	0,34	0,38
N ₂ O emissie [kg N ₂ O per dierplaats per jaar]	0,08	0,04	0,27	0,12	0,14	0,19
CO ₂ stal [ppm]	913	1017	661	750	598	560
CO ₂ achtergrond [ppm]	361	515	429	459	425	419

⁽¹⁾ 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 1,1 kg NH₃ per dierplaats per jaar oftewel 10% hoger en wijkt niet significant af (P>0,10) 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 1,0 kg NH₃ per dierplaats per jaar oftewel 9% hoger en wijkt niet significant af (P>0,10) van de emissiewaarde in de Rav.

De gemeten bedrijfsemissie was 2,3 kg NH₃ per dierplaats per jaar oftewel 16% lager en laat een aanwijzing voor een verschil (0,05<P<0,10) zien ten opzichte van de waarde in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. De in dit onderzoek voor staltemperatuur gecorrigeerde bedrijfsemissie was 1,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar oftewel 11% lager en wijkt niet significant af (P>0,10) van de emissie in Mosquera e.a. (2010) na correctie voor staltemperatuur.

Tabel 5 Vergelijking ammoniakemissiemetingen huidig onderzoek met literatuurgegevens

	Emissie (kg NH ₃ 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	12,1	1
Met correctie voor staltemperatuur	12,0	1

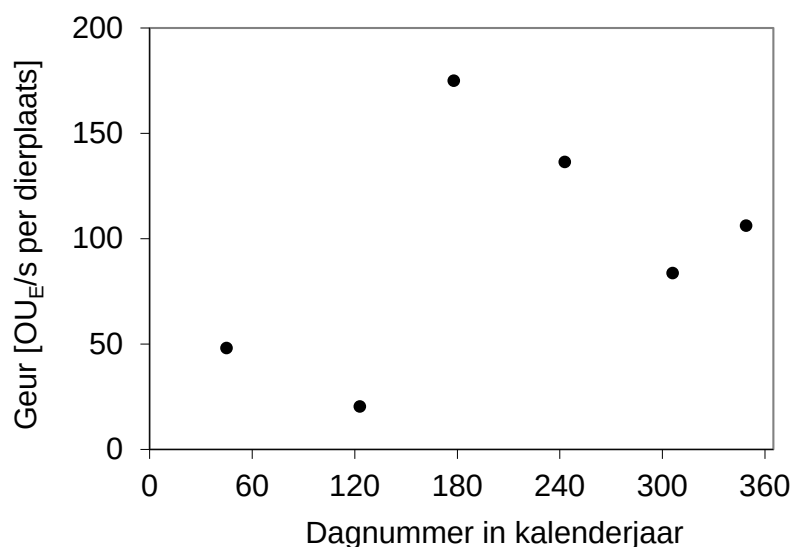
Hierbij moet opgemerkt worden dat een aantal keuzes die voor deze stal zijn gemaakt in het kader van de Maatlat Duurzame Veehouderij de ammoniakemissie wellicht negatief (hogere emissies) zouden kunnen beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn een groter loopoppervlakte per dier, de mestschuif die de hele lengte van de stal moet overbruggen zonder tussenstort, en het gebruik van een geprofileerde sleufvloer i.p.v. een gladde sleufvloer. Aan de andere kant, dakisolatie en het gebruik maken van het ACNV (Automatically Controlled Natural Ventilation) zijn voorbeelden van maatregelen die de ammoniakemissie uit deze stal positief (lagere emissies) zouden kunnen beïnvloeden.

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 4,7 m² per dier loopvloer ter beschikking. Dit is iets hoger dan de waarde waarop de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen is gebaseerd (3,5 m² 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 een sleufvloer zonder gaatjes in de lange looppaden in de lengterichting van de stal, en afdichtflappen in de roosterspleten op de verbindingspaden (roostervloer) loodrecht op de sleufvloer en de wachtruimte vóór de melkrobots om luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelder te beperken, zal de bijdrage van de kelder op de totale ammoniakemissie beperkt blijven. Volgens het Snelstal model zal een toename van de (loop)oppervlakte van 3,5 m² tot 4,7 m² per dier een gering effect (<3%) hebben op de ammoniakemissie.

3.4 Geur

In Figuur 6 wordt de geuremissie op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens werd een geuremissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $76,9 \pm 56,8$ OU_E per dierplaats per s. De gemiddelde bedrijfsemissie was significant ($P < 0,05$) lager dan de emissies ($165,5 \pm 80,1$ OU_E per dierplaats per s) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting.

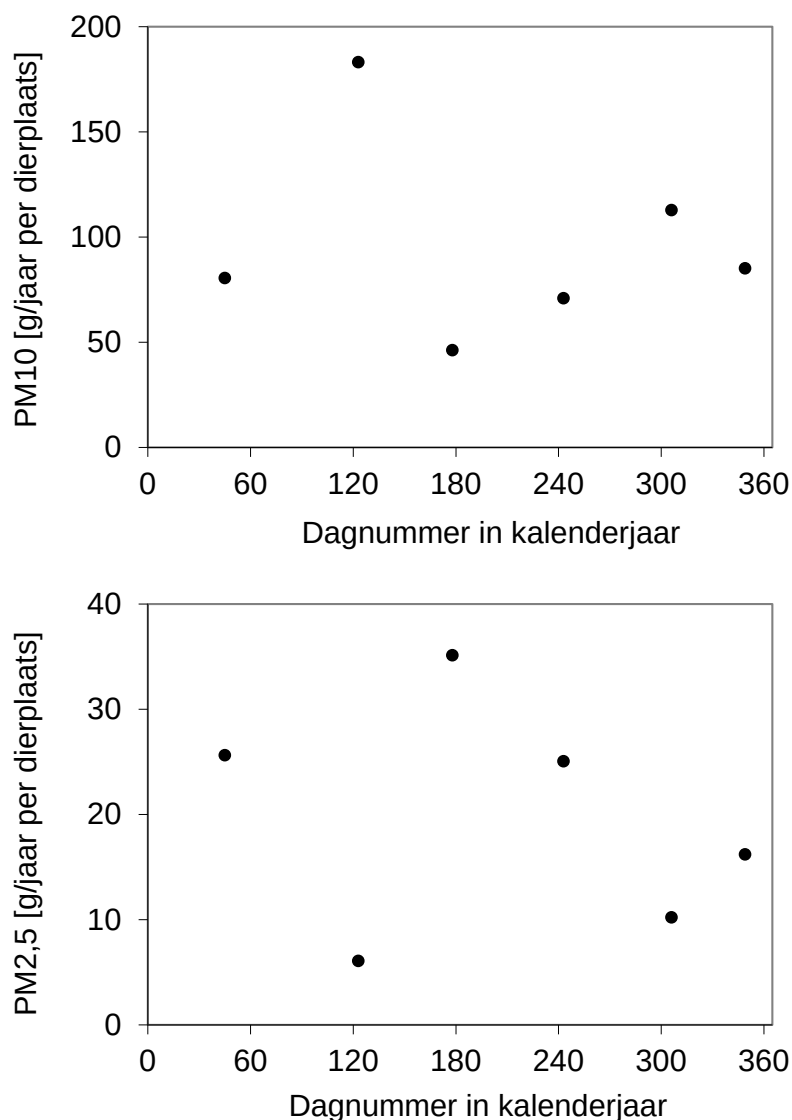


Figuur 6 Gemiddelde geuremissie op alle verschillende meetdagen

3.5 Fijn stof (PM10 en PM2,5)

In Figuur 7 worden de PM10- en PM2,5-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. De gemiddelde PM10-emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) over alle metingen was $96,5 \pm 47,6$ g per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemissie was significant ($P < 0,05$) 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 $19,7 \pm 10,9$ g per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemissie was significant ($P < 0,01$) lager dan de emissies ($40,6 \pm 14,1$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

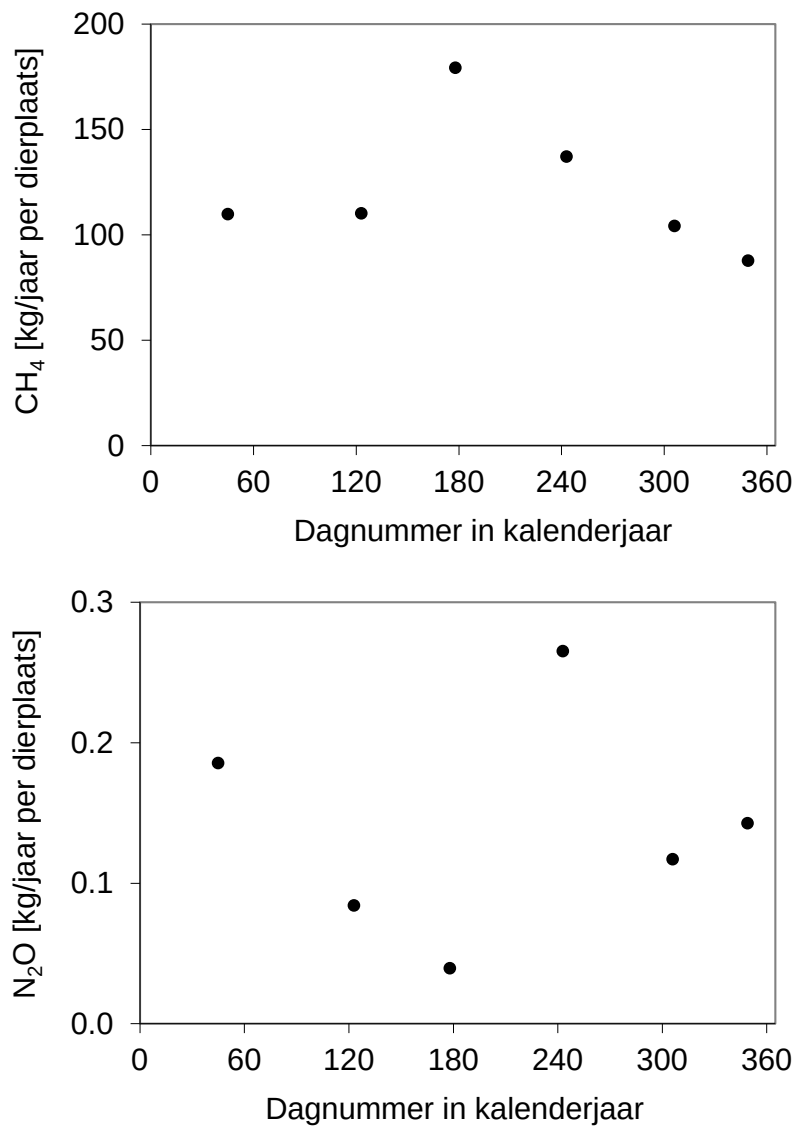


Figuur 7 Gemiddelde PM10- en PM2,5-emissies op alle verschillende meetdagen

3.6 Overige broeikasgassen (CH₄ en N₂O)

In Figuur 8 worden de CH₄- en N₂O-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens werd een gemiddelde methaanemissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $121,4 \pm 32,5$ kg per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemissie was significant ($P < 0,01$) lager dan de emissies gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (Maas e.a., 2011; $170,8$ kg per dierplaats per jaar) en laat een aanwijzing voor verschil ($0,05 < P < 0,10$) zien ten opzichte van de waarden 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) was $0,14 \pm 0,08$ kg per dierplaats per jaar. De gemiddelde bedrijfsemissie wijkt niet significant af ($P > 0,10$) van de emissies ($0,16$ kg per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Maas e.a. (2011), en was significant ($P < 0,05$) lager dan de waarden in Mosquera e.a. (2010) voor traditionele melkveestallen ($0,23 \pm 0,26$ kg per dierplaats per jaar).



Figuur 8 Gemiddelde CH₄- en N₂O-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 het “vrije keuze” systeem te bepalen.

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

- Ammoniakemissie: $12,1 \pm 3,5$ kg per dierplaats per jaar (zonder correctie voor staltemperatuur)
 $12,0 \pm 4,2$ kg per dierplaats per jaar (met correctie voor staltemperatuur)
- Geuremissie: $76,9 \pm 56,8$ OU_E per dierplaats per s
- PM10 emissie: $96,5 \pm 47,6$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $19,7 \pm 10,9$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $121,4 \pm 32,5$ kg per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $0,14 \pm 0,08$ 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 (zowel met als zonder correctie voor staltemperatuur) niet significant ($P > 0,10$) hoger dan de Rav-emissiefactor voor overige huisvestingssystemen (permanent opstallen).

De gemeten ammoniakemissie, zonder correctie voor staltemperatuur, was lager en laat een aanwijzing voor verschil ($0,05 < P < 0,10$) zien significant ten opzichte van de emissie gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier melkveestallen met traditionele inrichting. Wanneer de emissie gecorrigeerd wordt door staltemperatuur was de gemeten ammoniakemissie niet significant ($P > 0,10$) lager dan de waarden in Mosquera e.a. (2010) na correctie voor staltemperatuur.

Voor het dagelijks gebruik was $4,7 \text{ m}^2$ 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 $4,7 \text{ m}^2$ per dier een gering effect ($< 3\%$) hebben op de ammoniakemissie, aangezien de bijdrage van de kelder op de totale ammoniakemissie (door gebruik te maken van sleufvloer zonder gaatjes (lange looppaden) en afdichtflappen in de roosterspleten (verbindingspaden) om luchtuitwisseling tussen de stal en de mestkelder te reduceren) beperkt zal blijven.

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

De gemiddelde PM10-emissie was significant ($P < 0,05$) lager dan de emissiefactor 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 significant ($P < 0,01$) lager dan de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde methaanemissie was significant ($P < 0,01$) lager dan de emissiefactor gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (NIR2011: Maas e.a., 2011) en laat een aanwijzing voor verschil ($0,05 < P < 0,10$) zien ten opzichte van de waarden gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).

De gemiddelde lachgasemissie was lager en wijkt niet significant af ($P > 0,10$) van de emissies gerapporteerd in Maas e.a. (2011), en was significant ($P < 0,05$) lager dan de waarden gerapporteerd in 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 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



Binnenzijde stal (sleufvloer)



Binnenzijde stal (verbinding oude stal met nieuwe stal). Links: situatie vóór de metingen. Rechts: situatie tijdens de metingen

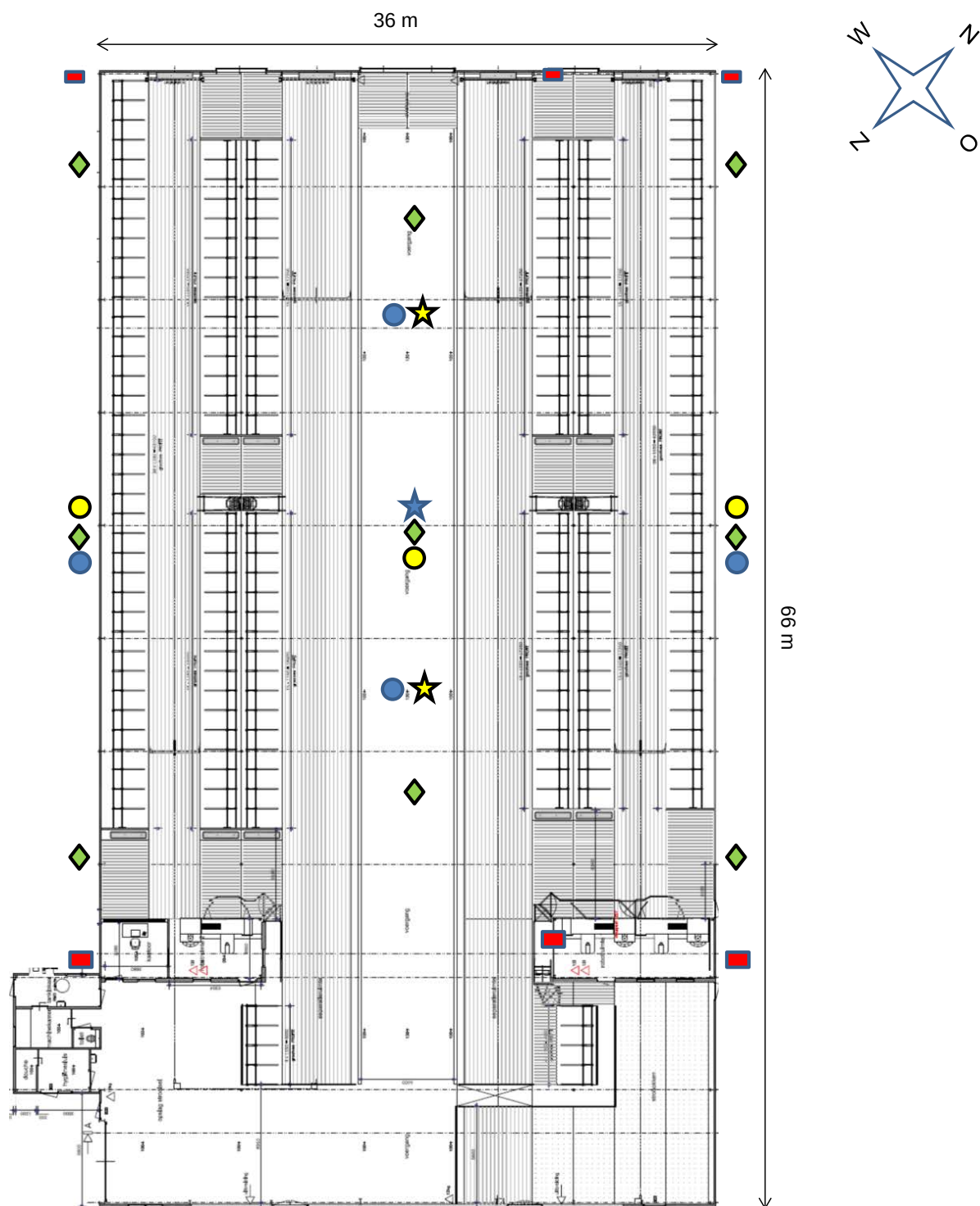


Inlaatopeningen. Links: binnenzijde; Rechts: buitenzijde



Links: Afdekking ligboxen tijdens metingen; Rechts: Klimaatcomputer

Bijlage B Plattegrond van de stal en overzicht van de meetpunten



- | | | |
|--|--|--|
| ● Nat-chemisch (NH ₃) | ★ Longmethode (geur) | ■ Laser (stal: NH ₃ ; buiten: CO ₂) |
| ◆ Innova monitor (CO ₂) | ★ Longmethode (CH ₄ , N ₂ O) | ■ Spiegel voor laser |
| ● Cyclonen (PM ₁₀ , PM _{2,5}) | | |

Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering

Open-pad laser (NH₃ en CO₂)

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 NH₃ voor de open-pad NH₃-laser, of CO₂ voor de open-pad CO₂-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 NH₃- en CO₂-concentratie langs de hele pad te berekenen.

De open-pad laser werd gebruikt om de CO₂-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.



Opstelling laser in de stal



Opstelling laser buiten

In de stal werd een open-pad laser gebruikt voor het bepaling van de NH₃-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.

Foto-akoestische multigasmonitor (NH₃ en CO₂)

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 werd 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 NH₃- en CO₂-concentraties te bepalen.



Innova 1312 voor het meten van de stal- en achtergrondconcentraties van NH_3 en CO_2 .

Natchemisch met wasflessen en impingers (NH_3)

Deze methode werd gebruikt om de 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 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 concentratie gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.



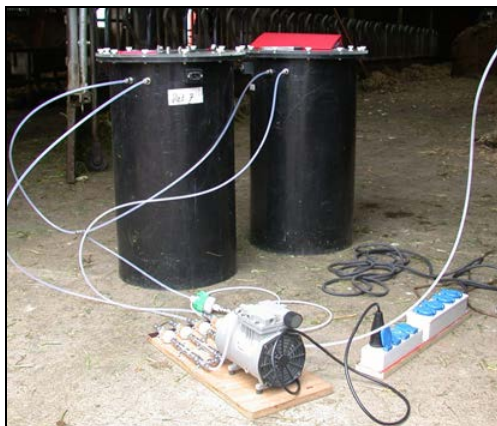
Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp

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 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 (CH_4 , CO_2), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : HWD).



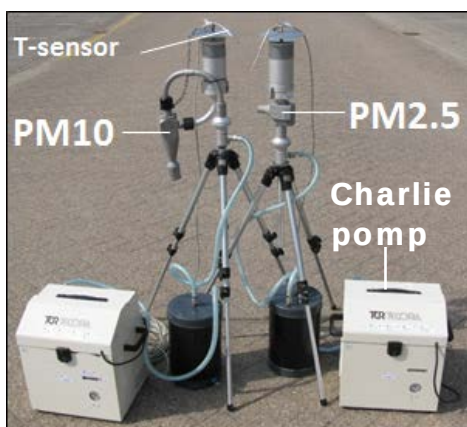
Meetopstelling voor het meten van de geurconcentratie in de uitgaande stallucht, en van de concentraties van CH₄, N₂O en CO₂ in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht.

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 PM₁₀ en PM_{2,5} is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM₁₀ en 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 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:

PM₁₀: < 222,6 µg/m³: $Y = 1,0877 X$
 > 222,6 µg/m³: $Y = 0,8304 X + 57,492$
 PM_{2,5}: geen correctie

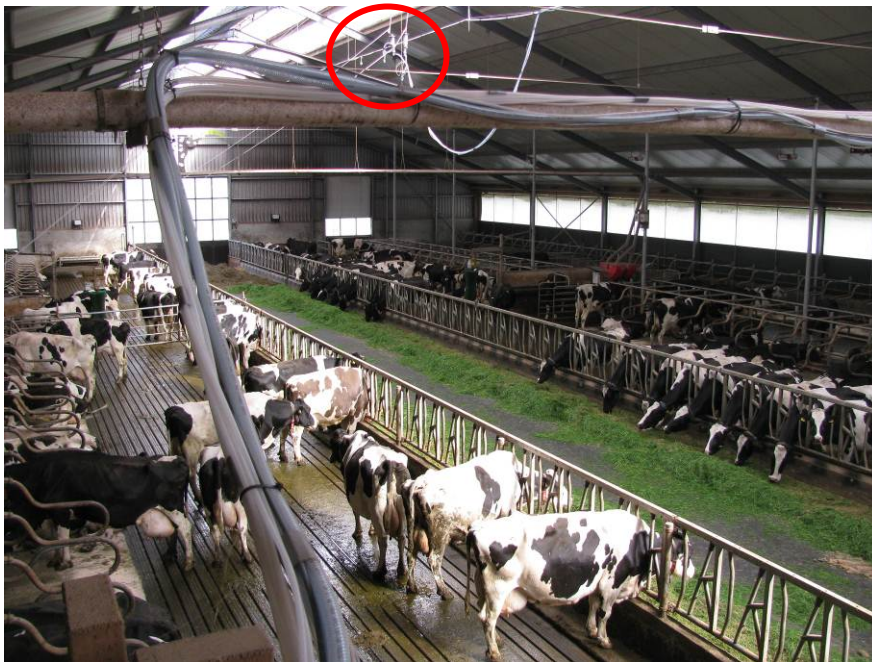
Voor de bepaling van de concentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht werd lucht door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle; zie foto hieronder). De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 m³/uur en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode.



PM₁₀ en 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 PM₁₀ of PM_{2,5} cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). De filters werden voor en na de stofmonsternamte 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 monsternamte.



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



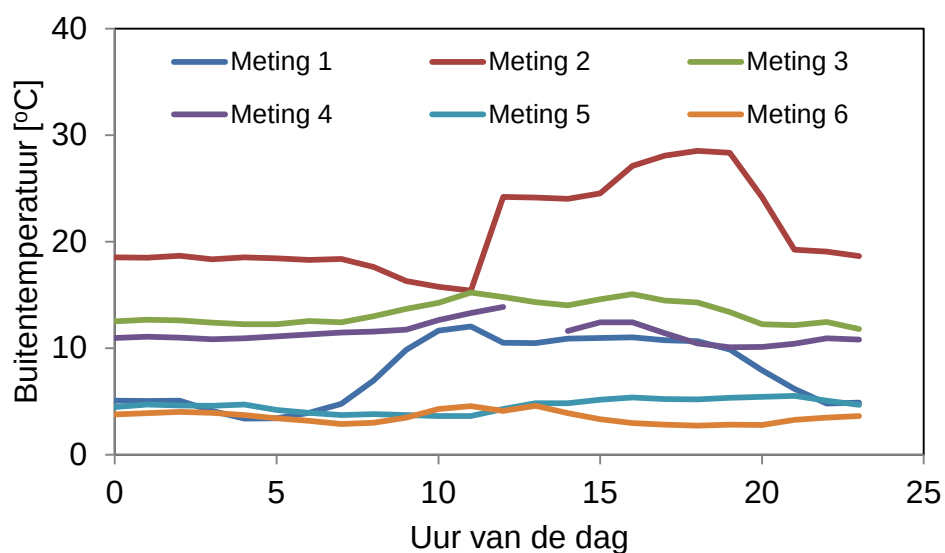
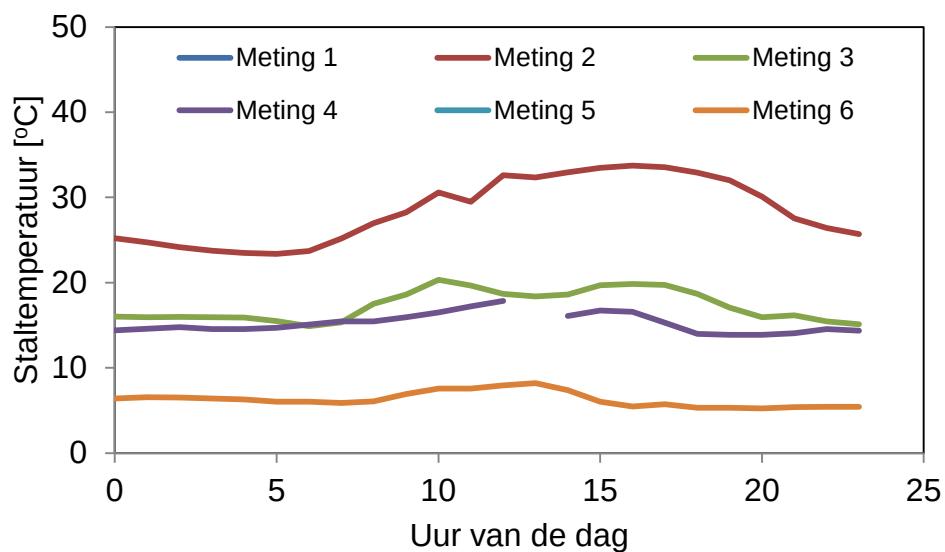
Twee cyclonen (PM10 en PM2,5) voor de bepaling van fijn stof in de luchtstroming van de uitgaande lucht.

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

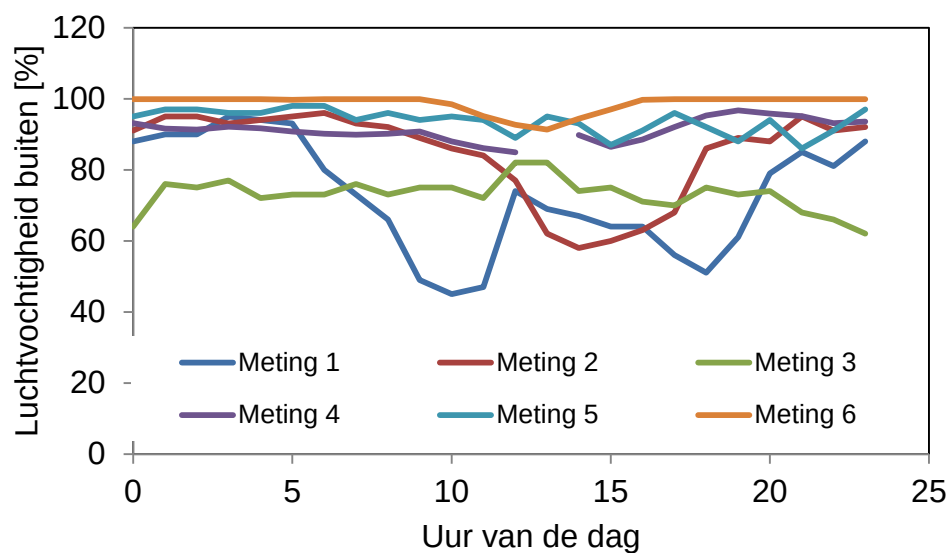
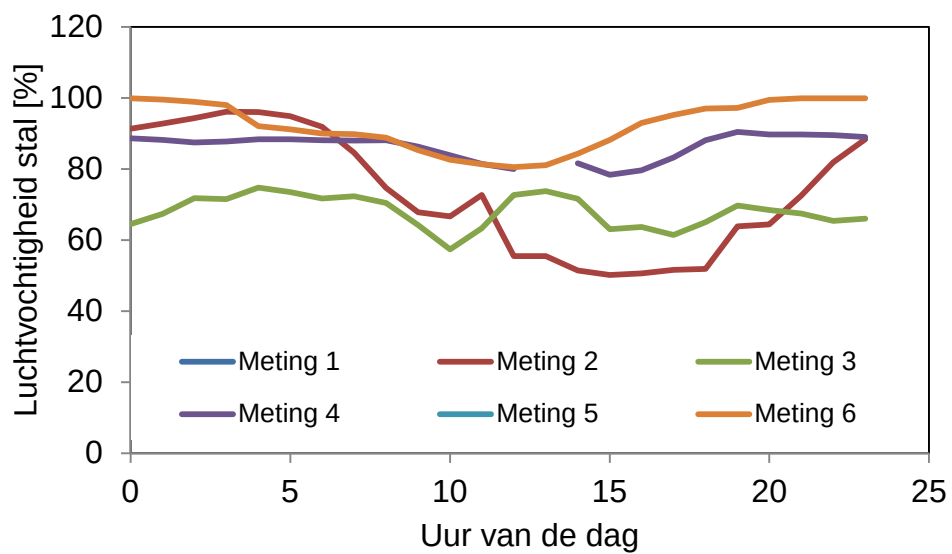
Voor de meting van temperatuur en relatieve wordt gebruik gemaakt van Rotronic T en RV sensoren (ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie foto hieronder), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$. Per meetpunt wordt een rotronic opgehangen. De data wordt eenmaal per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