

Rapport 489

# Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen

Mei 2012



## 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, 2011

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

Emissions of dust, pathogens and gases have been measured in two goat houses. *Coxiella burnetii*, the bacteria responsible for Q-fever, could be detected in a number of dust samples.

## Keywords

Dust, bacteria, Q-fever, *Coxiella burnetii*, ammonia, odour, methane, nitrous oxide

## Referaat

ISSN 1570 - 8616

## Auteur(s)

A.J.A. Aarnink  
J. Mosquera  
M. Cambra López  
H.I.J. Roest  
J.M.G. Hol  
M.C. van der Hulst  
Y. Zhao  
J.W.H. Huis in 't Veld  
F.A. Gerrits  
N.W.M. Ogink

## Titel

Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen

Rapport 489

## Samenvatting

De emissies van stof, (ziekte)kiemen en gassen zijn gemeten in twee geitenstallen. *Coxiella burnetii*, de veroorzaker van Q-koorts kon in een aantal stofmonsters worden aangetoond.

## Trefwoorden

Stof, bacteriën, Q-koorts, *Coxiella burnetii*, ammoniak, geur, methaan, lachgas

Rapport 489

# Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen

A.J.A. Aarnink

J. Mosquera

M. Cambra López

H.I.J. Roest

J.M.G. Hol

M.C. van der Hulst

Y. Zhao

J.W.H. Huis in 't Veld

F.A. Gerrits

N.W.M. Ogink

Mei 2012



## Voorwoord

Over de uitstoot uit stallen van stofdeeltjesgebonden ziektekiemen via de ventilatielucht is nog weinig bekend. Het vergaren van kennis middels het verrichten van emissieonderzoek aan stallen in de praktijk is hierbij essentieel. Hiermee wordt bijgedragen aan een op feiten gebaseerde beoordeling van de risico's van kiemenuitstoot op mens en dier in de omgeving. Op basis van deze informatie en kennis van de bedrijfssystemen kan, waar nodig, gewerkt worden aan technische maatregelen ter vermindering van omgevingsrisico's. De behoefte aan kennis op dit gebied wordt met name gevoeld in relatie tot de huidige Q-koortsproblematiek en de rol die de melkgeitenhouderij hierin speelt. Dit rapport beschrijft onderzoek met als doel inzicht te verkrijgen in de uitstoot van stof en ziektekiemen uit representatieve geitenstallen. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie binnen het beleidsondersteunend onderzoeksprogramma naar de uitstoot van ziektekiemen uit stallen. Het onderzoek is tevens medegefinancierd door de Provincie Noord-Brabant. Onze dank gaat uit naar de betrokken melkgeitenhouders voor het beschikbaar stellen van hun stallen en hun verdere medewerking, en naar alle betrokken onderzoekmedewerkers voor hun inzet.

Nico Ogink

Programmaleider  
Wageningen UR Livestock Research



## Samenvatting

Nederland bevat regio's met zeer hoge veedichtheden. In de loop der jaren is de voortdurende schaalvergroting in toenemende mate op gespannen voet komen te staan met eisen ten aanzien van ruimtelijke ordening, milieu en landschappelijke inpassing. In een aantal gebieden is sprake van publieke onrust over de effecten van de vestiging van grote bedrijven op de gezondheid van omwonenden en op de leefkwaliteit. De publieke zorg betreft met name de risico's van een verhoogde omgevingsbelasting als gevolg van de uitstoot van fijnstof en mogelijk daaraan gebonden ziektekiemen (bio-aerosolen) die overgedragen kunnen worden van dier naar mens (zoönosen). Hierbij worden verbanden gelegd met de MRSA-problematiek en de toename van Q-koorts.

De directe aanleiding voor het onderzoek aan melkgeitenstallen, beschreven in dit rapport, vormde de Q-koorts problematiek. Deze problematiek lijkt samen te hangen met de ontwikkelingen die zich hebben voorgedaan in de melkgeitenhouderij. Deze sector is gedurende de laatste twee decennia belangrijk gegroeid, zowel wat betreft het aantal bedrijven als het aantal geiten per bedrijf. Q-koorts wordt veroorzaakt door de bacterie *Coxiella burnetii* (*C. burnetii*). De geringe afstand tussen bedrijven met aborterende melkgeiten en melkschapen, veroorzaakt door *C. burnetii*, en grote aantallen mensen die in de omgeving wonen, is waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak geweest van de omvang van de Q-koorts uitbraken in Nederland. *C. burnetii* is een bacterie die in twee varianten voorkomt, de grote en de kleine. De grote variant komt alleen in de cellen voor, terwijl de kleine variant ook buiten cellen voorkomt. Deze kleine variant is staafvormig met een lengte van 0,2 – 0,5 µm en kan langdurig overleven in het milieu onder sterk wisselende omstandigheden. De kleine variant van *C. burnetii* is erg infectieus en kan al een infectie veroorzaken bij mensen bij inademing van een dosis van 1 – 10 bacteriën. Bij de transmissie via de lucht kunnen de bacteriën al dan niet gebonden zijn aan stof. De deeltjesgrootte van het stof dat de *C. burnetii* bevat bepaald in sterke mate de mate van verspreiding van de *C. burnetii* in de omgeving.

Het doel van dit onderzoek was om de emissies van stof en ziektekiemen uit representatieve geitenstallen vast te stellen (fase I) en vervolgens naar oplossingen te zoeken om de emissie en de verspreiding van *C. burnetii* uit stallen voor melkgeiten en melkschapen te voorkomen (fase II). In deze eerste fase zijn de emissies, de bronnen en de eigenschappen van stof onderzocht en zijn de concentraties of aan-/afwezigheid van een aantal bacteriën in de lucht vastgesteld, waaronder die van *C. burnetii*. Aangezien de rapportage in mei 2011 afgerond moest zijn, zijn in dit onderzoek slechts metingen gedaan tijdens de najaar- en winterperiodes.

Het onderzoek is uitgevoerd in twee moderne representatieve stallen voor melkgeiten op twee verschillende locaties, één in Limburg (480 dierplaatsen), de ander in Noord Brabant (750 dierplaatsen). De bedrijven zijn geselecteerd op basis van vrijwillige aanmelding na een oproep via de belangenorganisatie. Totaal hebben zich hiervoor 6 bedrijven aangemeld. Hieruit zijn twee bedrijven geselecteerd op basis van geschiktheid voor het uitvoeren van de metingen. Gedurende de metingen waren beide bedrijven vrij van *C. burnetii* in de tankmelk. De analyses in de tankmelk werden iedere 14 dagen verricht. Op beide bedrijven waren er tijdens de metingen geen problemen met abortussen. De geiten zijn op een normaal tijdstip gedekt (sept – nov).

Per bedrijf werd vier maal gemeten waarbij de volgende metingen zowel in de stal (in de uitgaande lucht) als buiten de stal (in de ingaande lucht) (tenzij anders aangegeven) zijn uitgevoerd:

- 24-uurs gemiddelde stofconcentraties: totaalstof, PM10 stof (deeltjes < 10 µm) en PM2,5 stof (deeltjes < 2,5 µm) door verzameling van stof op filters;
- 1 minuut concentraties gedurende 24 uur van PM10 stof voor bepaling verloop stofconcentraties gedurende de dag met behulp van een monitor gebaseerd op lichtverstrooiing;
- 6 sec concentraties gedurende ca. 20 minuten van het aantal stofdeeltjes in 31 deeltjesgrootte klassen met behulp van een monitor gebaseerd op lichtverstrooiing;
- luchtbemonstering gedurende 20 minuten met twee verschillende samplers (impinger en Andersen) voor het bepalen van concentraties van de volgende bacteriën: totaal kiemgetal, *C. burnetii*, *Enterobacteriaceae*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus* en *Enterococcus*. Voor *C. burnetii* en *Salmonella* is alleen een aanwezigheid/afwezigheid bepaald;
- in alle 24-uurs stofmonsters, verzameld op filters, is tevens bepaald of *C. burnetii* al dan niet aanwezig was;
- ammoniakconcentratie: in de stal continue meting; buiten de stal 24-uurs meting;
- geurconcentratie door monsternamen van de uitgaande stallucht van 10:00 – 12:00 uur;

- 24-uurs gemiddelde concentratie van methaan en lachgas.

Om de stof- en gasvormige emissies te bepalen is tevens het ventilatiedebiet bepaald met behulp van de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode.

Voor het bepalen van de bijdrage van de verschillende stofbronnen aan het stof in de stal zijn per bedrijf eenmalig extra luchtmonsters genomen in en buiten de stal van stofdeeltjes < 2,5 µm en van deeltjes tussen 2,5 en 10 µm. Daarnaast zijn per bedrijf eenmalig monsters genomen van potentiële stofbronnen (krachtvoer, silage (ruwvoer), hooi / stro in ruif, stro in pot, verse mest (keutels), haar). Van deze bronmonsters is in het lab stof gegenereerd. Hoge resolutie 'Scanning Electron Microscopy' (SEM) werd toegepast voor het analyseren van stofdeeltjes op elementaire compositie. De gekarakteriseerde deeltjes in de luchtmonsters werden op basis van multiple regressie van de elementaire samenstelling van de deeltjes toegewezen aan de bronnen.

Op basis van de huidige metingen op twee verschillende melkgeitenbedrijven zijn de volgende jaaremmissies bepaald (gemiddelde emissie ± standaarddeviatie tussen bedrijven):

- totaalstof emissie: 68,8 ± 58,9 g/dierplaats per jaar;
- PM10 emissie: 22,4 ± 14,7 g/dierplaats per jaar;
- PM2,5 emissie: 1,02 ± 0,02 g/dierplaats per jaar;
- ammoniakemissie: 2,3 ± 0,5 kg/dierplaats per jaar;
- geuremissie: 4,8 ± 3,6 OUE/dierplaats per sec;
- methaanemissie: 9,4 ± 0,9 kg/dierplaats per jaar;
- lachgasemissie: 167,9 ± 60,0 g/dierplaats per jaar.

Hierbij moet worden opgemerkt dat hieruit geen emissiefactoren kunnen worden afgeleid, aangezien deze emissies niet zijn gebaseerd op metingen in alle seizoenen van het jaar. Daarnaast moet worden opgemerkt dat de emissies zijn gemeten bij een onderbezetting van de stal (vanwege de Q-koorts problematiek); de bezettingsgraad varieerde van 75 tot 82% op bedrijf 1 en van 70 tot 75% op bedrijf 2.

De voorgaande opmerkingen in acht nemende, kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van de stofemissies van geitenbedrijven:

- de emissie van PM10 is vergelijkbaar met de emissiecijfers gepubliceerd op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- de conversiefactor voor totaalstof- naar PM10-concentratie (0,32) is lager dan de conversiefactor (0,45) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven;<sup>1</sup>
- de conversiefactor voor totaalstof- naar PM2,5-concentratie (0,07) is vergelijkbaar met de conversiefactor (0,08) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven;<sup>1</sup>
- er werd geen eenduidig patroon gevonden in de PM10 concentratie gedurende de dag;
- stro en mest dragen voor een belangrijk deel bij aan het stof in de uitgaande lucht van geitenstallen. *Coxiella burnetii* zal waarschijnlijk vooral in dit stof aanwezig zijn;
- gezien de relatief geringe stofemissie op bedrijfsniveau en het relatief geringe aantal bedrijven dragen geiten slechts zeer gering bij aan de (regionale en nationale) (fijn)stofemissie.

De voorgaande opmerkingen in acht nemende, kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van de gasvormige emissies van geitenbedrijven:

- de gemeten ammoniakemissie in dit onderzoek is vergelijkbaar met de huidige emissiefactor voor ammoniak zoals gepubliceerd op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- de gemeten geuremissie in dit onderzoek is beduidend lager dan de huidige emissiefactor voor geur zoals gepubliceerd op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- de gemeten broeikasgassen in dit onderzoek laten een hogere methaanemissie zien en een lagere lachgasemissie dan de cijfers gepubliceerd in de Netherlands Inventory Report 2009;
- uitgedrukt per kg metabolisch gewicht is bij melkgeiten de ammoniakemissie vergelijkbaar en de broeikasgasemissie (uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten) beduidend lager ten opzichte van melkkoeien.

De voorgaande opmerkingen in acht nemende, kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van emissies van (ziekte)kiemen:

- *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae* en *Escherichia coli* konden niet worden aangetoond in de uitgaande lucht van de bemeten geitenstallen;

<sup>1</sup> Door Chardon en Van der Hoek (2002) zijn conversiefactoren gebruikt om op basis van gemeten emissies van totaalstof een inschatting te kunnen maken van de emissies van PM10 en PM2,5.



- met de Andersen bemonsteringsmethode werd een gemiddelde concentratie kiemen (totaal kiemgetal) gemeten van  $2,3 \cdot 10^5$  kiemen per  $\text{m}^3$  stallucht en een gemiddeld *Enterococcus* concentratie van  $2,5 \cdot 10^4$  kiemen per  $\text{m}^3$  stallucht. Met de impinger bemonsteringsmethode werden iets lagere aantallen kiemen gevonden;
- in dit onderzoek is *Coxiella burnetii*, de veroorzaker van Q-koorts, in een aantal luchtmonsters aangetoond. *Coxiella burnetii* werd vooral aangetoond in monsters van totaalstof en in mindere mate in PM10 en PM2,5 stofmonsters;
- er zijn op dit moment geen indicaties dat *Coxiella burnetii* meer voorkomt in bepaalde fracties van het stof (fijn of grof stof).



## Summary

The Netherlands has regions with very high animal densities. During recent decades the increasing farm size is more and more conflicting with requirements with respect to planning, environment and landscaping. In some areas there is public concern about the effects of large farms on human health and quality of living. The public concern is mainly related to the risks of raised environmental loads with dust and potentially the pathogens included in the dust (bio-aerosols) which could be transmitted from animals to human (zoonosis). In this case connections are made with the MRSA problems and the increase of Q-fever.

The direct motive of the study described in this report was the Q-fever problem. This problem seems to be related to the recent developments in dairy goat production. This sector has largely extended during the last two decades by number of farms, as well as by the number of goats per farm. Q-fever is caused by the bacteria *Coxiella burnetii* (*C. burnetii*). The small distance between farms with aborting milking goats and milking sheep, caused by *C. burnetii*, and a large number of people living in the vicinity, seems to be the main cause of the large Q-fever outbreak in the Netherlands. *C. burnetii* is a bacteria that exists in two variants, the big one and the small one. The big variant only exists within cells, while the small variant also exists outside the cells. This small variant is rod-shaped and has a length of 0.2 – 0.5 µm and can survive for a long time in the environment under various conditions. The small variant of *C. burnetii* is very infectious and could already cause an infection in humans when respiring 1 – 10 cfu (colony forming units). In airborne transmission the bacteria could be incorporated in dust. The particle size of the dust containing *C. burnetii* strongly determines the spread of *C. burnetii* in the environment.

The objective of this study was to determine the emissions of dust and pathogens from representative goat houses (phase I), followed by searching for solutions to prevent emission and spread of *C. burnetii* from houses for milking goats and sheep (phase II). In the first phase the emissions, the sources and the characteristics of dust have been studied and the concentrations or presence/absence of different bacteria have been determined, including *C. burnetii*. Because the report had to be ready in May 2011, measurements could only be done during the autumn – winter period.

The study was conducted in two modern representative houses for milking goats on two different locations, one in Limburg (480 animal places) and the other in Noord Brabant (750 animal places). The farms were selected after voluntary application after an announcement by the goat farming union. In total 6 farms made an application. From these farms two farms were selected based on suitability for performing the measurements. During the measurements both farms were free from *C. burnetii* in the tank milk. Tank milk was analysed every two weeks. On both farms there were no problems with abortions during the course of the study. The goats were served in the normal period (Sept – Nov).

On each farm, on four different days, the following measurements were done inside the goat house (in the exhaust air) and outside the goat house (in the incoming air), except when mentioned otherwise:

- 24 h mean dust concentrations: total dust, PM10 dust (particles < 10 µm) and PM2.5 dust (particles < 2.5 µm) by collecting dust on filters;
- 1 minute concentrations during 24 h from PM10 dust for determining the concentration pattern during the day with a monitor based on light scattering;
- air sampling during 20 min with two different samplers (impinge and Andersen) for determining the following bacteria concentrations: total bacterial count, *C. burnetii*, *Enterobacteriaceae*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus* and *Enterococcus*. The samples of *C. burnetii* and *Salmonella* were only analysed on presence or absence of the bacteria;
- in all 24 h dust samples, collected on filters, the presence or absence of *C. burnetii* was determined;
- ammonia concentrations were measured continuously inside the goat house and outside the goat house 24 h samples were taken;
- odour concentration was determined by taking a sample from the exhaust air inside the goat house from 10:00 – 12:00 h;
- 24 h sample for determining concentrations of methane and nitrous oxide;

To determine dust and gaseous emissions the ventilation rate was determined, as well, with the CO<sub>2</sub> mass balance method.

For determining the contribution of the different dust sources to airborne dust inside the goat house, on one measuring day, additional air samples were taken on each farm inside and outside the animal house from dust particles < 2.5 µm and from dust particles sized between 2.5 and 10 µm. Furthermore, during this measuring day, samples were taken from potential dust sources (compound feed, silage, hay / straw in rack, straw in deep litter, fresh faeces, hair). From these dust sources dust was generated in a laboratory set-up. High resolution 'Scanning Electron Microscopy' (SEM) was used to analyse particles for elemental composition. The characterized particles from the air samples were assigned to the different sources on basis of the elemental composition by using multiple linear regression.

Based on the measurements on these two goat farms the following yearly emissions were determined (mean emission ± standard deviation between farms):

- total dust emission: 68.8 ± 58.9 g/animal place per year;
- PM10 emission: 22.4 ± 14.7 g/animal place per year;
- PM2.5 emission: 1.02 ± 0.02 g/animal place per year;
- ammonia emission: 2.3 ± 0.5 kg/animal place per year;
- odour emission: 4.8 ± 3.6 OUE/animal place per sec;
- methane emission: 9.4 ± 0.9 kg/animal place per year;
- nitrous oxide emission: 167.9 ± 60.0 g/animal place per year.

It should be noted that above mentioned values cannot be used as emission factors, while these emissions were not based on measurements in every season of the year. Furthermore, it should be noted that emissions were measured at a relatively low degree of occupation of the goat houses (caused by the Q-fever outbreak); the degree of occupation varied from 75 to 82% on farm 1 and from 70 to 75% on farm 2.

Reminding former notes, we conclude the following with respect to dust emissions from goat farms:

- PM10 emission is comparable with emission data published on [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- the conversion factor from total dust concentration to PM10 concentration (0.32) is lower than the factor (0.45) reported by Chardon en Van der Hoek (2002);<sup>2</sup>
- the conversion factor from total dust concentration to PM2.5 concentration (0.07) is comparable with the factor (0.08) reported by Chardon en Van der Hoek (2002);
- no clear diurnal pattern in PM10 concentration was found;
- straw and faeces largely contribute to dust in exhaust air of goat houses. *Coxiella burnetii* will probably be mainly present in this dust;
- considering the relatively low dust emission at farm level and the relatively low number of farms, the contribution of goats to dust emissions is very low (at regional and national scale).

Reminding former notes, we conclude the following on gaseous emissions from goat farms:

- the measured ammonia emission in this study is comparable with the present emission factor for ammonia as reported on [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- the measured odour emission in this study is clearly lower than the present emission factor for odour as reported on [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- the measured greenhouse gas emissions in this study show a higher methane emission and a lower nitrous oxide emission than reported in the Netherlands Inventory Report 2009;
- calculated per kg metabolic weight, the ammonia emission is comparable and the greenhouse gas emission (expressed in CO<sub>2</sub> equivalents) is clearly lower when compared with dairy cattle.

Reminding former notes, we conclude the following with respect to (pathogenic) bacteria:

- *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae* and *Escherichia coli* could not be detected in the exhaust air of the goat houses in this study;
- with the Andersen sampling method a mean bacteria concentration (total bacterial count) of 2.3·10<sup>5</sup> bacteria per m<sup>3</sup> exhaust air and a mean *Enterococcus* concentration of 2.5·10<sup>4</sup> bacteria per m<sup>3</sup> exhaust air was measured. With the impinge sampling method somewhat lower bacterial counts were found;
- in this study the presence of *Coxiella burnetii* was shown in a number of samples. *Coxiella burnetii* was especially found in samples of total dust and to a lesser extent in the samples of PM10 and PM2.5;

---

<sup>2</sup> By Chardon and Van der Hoek (2002) conversion factors were used to estimate PM10 and PM2.5 emissions based on the measured emissions of total dust.

- we did not find indications that *Coxiella burnetii* is more present in certain fractions of dust (fine or course dust).



# 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	Beschrijving stallen en bedrijfsvoering .....	3
2.2	Meetapparatuur en meetstrategie .....	5
2.2.1	Stofconcentratie .....	5
2.2.2	Deeltjesgrootteverdeling .....	7
2.2.3	Ziektekiemen .....	8
2.2.4	Ammoniakconcentratie .....	9
2.2.5	Geurconcentratie .....	10
2.2.6	Concentratie overige broeikasgassen .....	10
2.2.7	Ventilatie-debiet .....	11
2.2.8	Metingen temperatuur en RV .....	11
2.3	Kwantificering bijdrage stofbronnen .....	11
2.4	Verwerking gegevens .....	13
2.4.1	Emissies .....	13
2.4.2	Deeltjesgrootteverdeling .....	13
2.4.3	Bronnen .....	14
<b>3</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>15</b>
3.1	Meetomstandigheden .....	15
3.2	Stofemissie .....	16
3.3	Deeltjesgrootteverdeling .....	19
3.4	Stofbronnen .....	21
3.5	Ziektekiemen .....	23
3.6	Overige emissies .....	25
<b>4</b>	<b>Discussie .....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>34</b>
	<b>Literatuur .....</b>	<b>35</b>
	<b>Bijlagen .....</b>	<b>38</b>

## 1 Inleiding

Nederland bevat een aantal regio's met voor Europese begrippen zeer hoge veedichtheden. Vanaf de jaren zestig van de vorige eeuw heeft er een sterke groei plaatsgevonden in de zogenoemde intensieve veehouderij, in met name het Zuiden en Oosten van Nederland. In de loop der jaren is de voortdurende schaalvergroting in toenemende mate op gespannen voet komen te staan met eisen ten aanzien van ruimtelijke ordening, milieu en landschappelijke inpassing. Momenteel zijn de regionale reconstructieplannen in uitvoering. In veel regio's is sprake van publieke onrust over de effecten van de vestiging van veebedrijven op de gezondheid van omwonenden en op de leefkwaliteit. De publieke zorg betreft met name de risico's van een verhoogde omgevingsbelasting als gevolg van de uitstoot van fijnstof en mogelijk daaraan gebonden ziektekiemen (bio-aerosolen) die overgedragen kunnen worden van dier naar mens (zoönosen). Hierbij worden verbanden gelegd met de MRSA-problematiek en de toename van Q-koorts.

De directe aanleiding voor het onderzoek aan melkgeitenstallen beschreven in dit rapport vormde de Q-koorts problematiek. Over de afgelopen twee decennia heeft zich een ontwikkeling in de melkgeitenhouderij in Nederland voorgedaan waarin de bedrijfsgrootte en het aantal bedrijven aanzienlijk is toegenomen en waarin de huisvesting zich heeft ontwikkeld naar grootschalige natuurlijk geventileerde stallen met een open karakter. Vanuit verschillende zijden is gesuggereerd dat de huidige Q-koorts problematiek in de geitenhouderij mogelijk samenhangt met deze ontwikkeling door grootschalige verwaaiing van stofgebonden ziektekiemen uit deze open stallen. Uitgaande van de juistheid van deze hypothese, zou zich daarmee een bestrijdingsmethode aandienen gebaseerd op het tegengaan van stofuitstoot uit stallen via technische maatregelen of aangepaste stalinrichting. Voor de uitwerking van deze benaderingswijze is kennis vereist van verschillende facetten van stofuitstoot uit geitenstallen, waaronder de hoeveelheid stof die uitgestoten wordt in verschillende deeltjesgrootteklassen en de kwantitatieve bijdrage van de verschillende bronnen van stof in de stal en de aanwezigheid van levensvatbare ziektekiemen in het stof. Met deze kennis kan een bijdrage geleverd worden aan het toetsen van deze hypothese (fase I), en indien juist gebleken kunnen met deze kennis effectieve technische maatregelen worden ontwikkeld (fase II). Het onderzoek beschreven in dit rapport richt zich op de eerste fase.

Q-koorts wordt veroorzaakt door de bacterie *Coxiella burnetii*. De geringe afstand tussen bedrijven met aborterende melkgeiten en melkschapen, veroorzaakt door *C. burnetii*, en grote aantallen mensen die in de omgeving wonen, is waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak geweest van de Q-koorts uitbraken in Nederland (Roest et al., 2011b). Een maand na het lammerseizoen (van februari tot mei) wordt het hoogste aantal menselijke besmettingen gemeten (vooral in de omgeving van een geitenkoppel met klinische verschijnselen in de vorm van een abortusstorm) (RIVM, 2011). Uit een onderzoek van het RIVM is gebleken dat mensen die binnen een straal van 2 km van een melkgeiten bedrijf (> 400 geiten) met klinische verschijnselen woonden, een duidelijk hogere kans op besmetting hadden (31x hogere kans) dan mensen die in een straal van 5 tot 10 km van het bedrijf woonden (Schimmer et al., 2010). Bij een abortus veroorzaakt door *C. burnetii* worden grote hoeveelheden bacteriën uitgescheiden (tot 1 miljard bacteriën per gram placenta (Arricau-Bouvery et al., 2005)). *C. burnetii* wordt ook, maar in mindere mate, uitgescheiden via de melk en via de feces (Roest et al., 2011b). De transmissie van *C. burnetii* van dier naar mens lijkt vooral via de lucht te gaan. *C. burnetii* is een kleine gramnegatieve bacterie die in twee morfologische vormen voorkomt, de grote en de kleine variant (Oyston en Davies, 2011). De grote variant komt alleen in de cellen voor, terwijl de kleine variant ook buiten cellen voorkomt. De grote variant is de replicerende eenheid in de cellen. Tijdens de reproductiecyclus ontstaat tevens de kleine variant die uitgescheiden wordt door de cel of vrij komt als de cel kapot gaat. Deze kleine variant is staafvormig met een lengte van 0,2 – 0,5 µm en is bestand tegen verschillende chemische (desinfecterende) middelen en tegen verschillende fysische condities, zoals osmotische druk, ultrasone golven (McCaul en Williams, 1981), hoge temperaturen, uitdroging en UV-licht (Oyston en Davies, 2011). Deze eigenschappen maken dat deze kleine variant van *C. burnetii* langdurig kan overleven in het milieu (Oyston en Davies, 2011). De kleine variant van *C. burnetii* is erg infectieus en kan al een infectie veroorzaken bij mensen bij inademing van een dosis van 1 – 10 bacteriën (Tigertt et al., 1961). Bij de transmissie via de lucht kunnen de bacteriën al dan niet gebonden zijn aan stof. De deeltjesgrootte bepaald mede de mate van verspreiding van de deeltjes naar de omgeving. Daarom is het van belang inzicht te krijgen in de emissie van (stof)deeltjes en in de deeltjesgrootteverdeling van het stof uit stallen voor melkgeiten en melkschapen en aan welke fractie de ziektekiemen zich hechten. Aangezien het aantal melkschapenbedrijven relatief gering is in Nederland, concentreren we ons in dit onderzoek op melkgeitenbedrijven.



De eigenschappen van de uitstoot van (stof)deeltjes uit geitenstallen zijn niet bekend. Om te voorzien in deze kennisbehoefte zijn metingen uitgevoerd op twee praktijkbedrijven met melkgeiten. Op deze bedrijven zijn metingen gedaan om het volgende in beeld te brengen:

- De emissie van verschillende stoffracties (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>totaal</sub>)<sup>3</sup> uitgedrukt in g per dier per tijdseenheid.
- De dynamiek van de stofemissie gedurende de dag en tussen dagen, en de samenhang met regulier bedrijfsmanagement.
- De verdeling van de deeltjes (aantal en massa) over de verschillende diameterklassen
- De bijdrage van diverse bronnen aan het stof in de stal.
- De aanwezigheid van kiemen in de lucht (totaal en in verschillende stof diameterklassen).

Bij de uitvoering van dit onderzoek is aangesloten bij de methoden en werkwijzen die eerder zijn ontwikkeld in het kader van het onderzoek naar de fijnstof uitstoot uit de belangrijkste huisvestingssystemen van de belangrijkste diercategorieën in Nederland. Tevens is gebruikt gemaakt van de expertise die binnen Livestock Research is ontwikkeld rond monsternamen-efficiëntie van verschillende bio-samplers (Zhao et al., 2011a; Zhao et al., 2011b) en van expertise die samen met de Technische Universiteit van Valencia is ontwikkeld op het gebied van kwantificering van de bijdrage van verschillende bronnen aan stof in de stal (Cambra-López et al., 2011c).

Het doel van dit onderzoek was om de emissies van stof en ziektekiemen uit representatieve geitenstallen vast te stellen (fase I) en vervolgens naar oplossingen te zoeken om de emissie en de verspreiding van ziektekiemen zoals *C. burnetii* en andere belastende stoffen uit stallen voor melkgeiten en melkschapen te voorkomen (fase II). In deze eerste fase zijn de emissies, de bronnen en de eigenschappen van stof onderzocht en zijn de concentraties of aan-/afwezigheid van een aantal bacteriën in de lucht vastgesteld, waaronder die van *C. burnetii*. Aangezien de rapportage in mei 2011 afgerond moest zijn, zijn in dit onderzoek slechts metingen gedaan tijdens de najaar- en winterperiodes. Voor een volledig representatief beeld zijn eveneens metingen in de voorjaarsperiode en zomer nodig.

---

<sup>3</sup> PM staat voor Particulate Matter ofwel stofdeeltjes. Het getal achter PM geeft aan wat de bovengrens is van de (aerodynamische) diameter van de stofdeeltjes (in  $\mu\text{m}$ ). De aerodynamische diameter van een deeltje is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van  $1 \text{ kg/dm}^3$  dat dezelfde valsnelheid heeft als het betreffende deeltje. PM<sub>10</sub> wil zeggen stofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan  $10 \mu\text{m}$ .

## 2 Materiaal en methode

Het onderzoek is uitgevoerd in twee moderne stallen voor melkgeiten op twee verschillende locaties, één in Limburg, de ander in Noord Brabant. De bedrijven zijn geselecteerd op basis van vrijwillige aanmelding na een oproep via de belangenorganisatie. Totaal hebben zich hiervoor 6 bedrijven aangemeld. Hieruit zijn twee bedrijven geselecteerd op basis van geschiktheid voor het uitvoeren van de metingen. Het belangrijkste criterium voor geschiktheid was dat er een duidelijk in- en uitgaand luchtstroompatroon in de stal aanwezig was waardoor de stofemissie voldoende betrouwbaar kon worden bemeaten. Daarnaast vielen enkele bedrijven af vanwege afwijkende bedrijfsvoeringen.

In de hierna volgende paragrafen wordt een beschrijving gegeven van de stallen en de bedrijfsvoering (2.1), van de meetapparatuur en de meetstrategie (2.2), van de methode voor kwantificering van de bijdrage van de verschillende stofbronnen aan het stof in de stal (2.3) en van de wijze van verwerking van de gegevens (2.4).

### 2.1 Beschrijving stallen en bedrijfsvoering

Beide stallen waaraan de metingen zijn gedaan waren ongeveer hetzelfde ingericht. De ruimte bestond uit een leefruimte voor de melkgeiten (pot), een voergang en een melkstal met wachtruimte. De stallen werden natuurlijk geventileerd. In bijlage A (bedrijf 1) en bijlage B (bedrijf 2) staan de indeling van de stallen en enkele foto's. Er zijn 4 aparte potten beschikbaar waar dieren zich vrij kunnen bewegen. De melkgeiten verbleven gedurende bijna de gehele dag in een vaste ruimte, de pot, alleen tijdens het melken werden de dieren per groep (per pot) in de wachtruimte gebracht. De pot bestond uit een ophoping van stro en mest die eenmaal per dag (bedrijf 1) of om de dag (bedrijf 2) met schoon stro werd ingestrooid. De melkput en wachtruimte (alleen aanwezig op bedrijf 1) werden na het melken met water schoongemaakt. Per pot was aan één zijde een voergang, waar een mengsel van ruwvoer en krachtvoer lag. Op beide bedrijven kon de hoeveelheid ventilatielucht worden aangepast door bij de zijwanden een doek (bedrijf 1) of zeil (bedrijf 2) voor de inlaatopeningen te plaatsen. Door middel van een takelsysteem kon de grootte van de inlaatopening eenvoudig worden aangepast. Daarnaast werd de luchtinlaat gevarieerd door de grote deuren op de kopse kant van de stal (deuren van de voergang) meer of minder open te zetten. De opzet van beide bedrijven is zeer gebruikelijk, vrijwel alle geitenhouders werken met ingestrooide potten die eens in de 3 à 4 maanden worden leeggehaald en alle melkgeitenstallen zijn natuurlijk geventileerd. Bij niet biologische bedrijven wordt in het algemeen geen weidegang toegepast. Een gemiddeld melkgeitenbedrijf in Nederland heeft een omvang van ongeveer 800 dieren (pers. med. H.J. Schuiling, april 2011).

De bedrijfsvoering van beide bedrijven was aangepast door de regelgeving rondom Q-koorts. De oudere dieren mochten niet worden gedekt en werden gemolken totdat de productie te laag werd, waarna ze werden afgevoerd. Op beide bedrijven zijn dieren aangekocht die wel gedekt mochten worden. Bedrijf 1 had dieren ouder dan 1 jaar aangekocht (100 stuks), bedrijf 2 had dekrijpe lammeren aangekocht (160 stuks). Alle dekrijpe dieren op beide bedrijven waren gevaccineerd tegen Q-koorts. Gedurende de metingen zijn deze dieren gedekt en bij de laatste metingen waren de eerste lammeren geboren. Bij een 'normale' bedrijfsvoering zouden tijdens de meetperiode meer bokken in de stal aanwezig zijn en het aandeel jonge dieren zou kleiner zijn geweest (bedrijf 2). Bij beide bedrijven was sprake van een onderbezetting in de stal door de ruiming van dieren. In paragraaf 3.1 worden de meetomstandigheden weergegeven met de aantallen melkgeiten, opfokgeiten en bokken in de stal tijdens de verschillende metingen.

Gedurende de metingen waren beide bedrijven vrij van *C. burnetii* in de tankmelk. Bedrijf 1 was voor het laatst positief getest in de tankmelk op 10-12-2009 en bedrijf 2 op 26-02-2010. De analyses in de tankmelk werden om de 14 dagen verricht. Op beide bedrijven waren er tijdens de metingen geen problemen met abortussen. De geiten zijn op een normaal tijdstip gedekt (sept – nov).

De belangrijkste kenmerken van beide geitenstallen in dit onderzoek worden weergegeven in tabel 1.

**Tabel 1** Belangrijkste kenmerken van de twee melkgeitenstallen

Kenmerk	Bedrijf 1	Bedrijf 2
Aantal dierplaatsen	480	750
Loopoppervlakte per dierplaats [m <sup>2</sup> /dier] <sup>1)</sup>	1,2	1,3
Oppervlakte wachtruimte per dierplaats [m <sup>2</sup> /dier]	0,08	-
Ventilatieoppervlak zijwanden per dierplaats [m <sup>2</sup> /dier]	0,12	0,17 <sup>2)</sup>
Inhoud stal per dierplaats [m <sup>3</sup> /dier]	10,2	12,5

<sup>1)</sup> alleen oppervlakte pot

<sup>2)</sup> de openingen hebben een zeer beperkte doorlaatbaarheid (zeil)

Op beide bedrijven werd nagenoeg dezelfde methode van voeren toegepast. Per pot waren dieren geplaatst met een zelfde productieniveau. Het voermengsel werd eenmaal per dag met een voermengwagen in de stal gebracht en later op de dag nog eenmaal aangeveegd. Voordat nieuw voer in de stal werd gebracht werd al het oude voer verwijderd. Op bedrijf 1 werd per pot stro in een ruif aangeboden en werd in de voergang hooi over een lengte van ca. 2 m aangeboden. Voor bedrijf 2 werd naast het gemengde voer in de voergang per pot een pak stro aangeboden. Deze werd aan het einde van de voergang geplaatst. Op beide bedrijven werd in de melkput krachtvoer als lokmiddel verstrekt. Het toegepaste gemengde rantsoen is in de melkgeitenhouderij zeer gebruikelijk. De dieren werden tweemaal per dag gemolken. Op beide bedrijven werden de dieren altijd gemolken en niet drooggezet voorafgaande aan het lammeren. Het lammeren vindt in de stal in de koppel plaats. Bij bedrijf 1 werd dagelijks na het melken in de ochtend stro in de potten bijgestrooid en werd daarna gestart met het voeren. Op bedrijf 2 werd dagelijks na het melken gevoerd en om de dag werd in de middag stro in de potten bijgestrooid. In tabel 2 worden de melktijden, de gemiddelde voergegevens en de gemiddelde melkproductiegegevens gedurende de 4 metingen per bedrijf weergegeven.

**Tabel 2** Gegevens over de dagelijkse bedrijfsvoering. De voergegevens en het ingestrooide stro zijn in g product per geit per dag weergegeven. De melkproductie is in kg per geit per dag weergegeven. Bij bedrijf 2 wordt tussen haakjes het rantsoen van de opfoklammeren gegeven.

Kenmerk	Bedrijf 1	Bedrijf 2
<i>Ruwvoer aan het voerhek (dagelijks verwijderd)</i>		
Mais (ingekuild)	3.000	2.500 (1.000)
Luzerne (gedroogd)	100	-
Geplette tarwe	100	-
<i>Ruwvoer voorraadvoeding</i>		
Stro als voer	32	100 (100)
Stro in de pot	50	50
Hooi (baal bij het voerhek)	16	-
Kuilgras (baal bij het voerhek)	67	-
<i>Krachtvoer</i>		
Aan het voerhek	1.300	800 (800)
In de melkput	200	600
<i>Stro voor instrooien (incl. opname door dieren)</i>	500	500
<i>Melken</i>		
Melktijden (morgen – avond)	7:00 en 18:00 uur	7:00 en 18:00 uur
Melkgift	2,83	2,85
Vet %	4,01	4,18
Eiwit %	3,44	3,32

Nagenoeg alle mest en urine die de melkgeiten produceerden werd opgevangen in de pot. Een pot bestaat uit een dichte betonnen vloer die 0,70 m lager ligt dan de voergang, ook de zijwanden van de pot zijn van beton. Deze ruimte wordt in de loop van de tijd gevuld met ingestrooid stro (lang stro) en de geproduceerde mest en urine. Afhankelijk van de bezetting wordt de pot in ca. 3 maanden gevuld tot aan de rand van de voergang. Dan wordt de gehele inhoud van de pot uit de stal verwijderd en buiten afgedekt opgeslagen voor tenminste 90 dagen (in verband met de regelgeving rondom Q-

koorts). Tijdens het verwijderen van de mest worden de geiten tijdelijk naar een andere ruimte (een andere deel van een pot of de wachtruimte) verplaatst. Op beide bedrijven is geen vaste strategie om per keer één pot leeg te maken of meerdere potten op een dag. Dit is afhankelijk van de specifieke situatie op dat moment. Het toeval wilde dat op beide bedrijven vlak voorafgaande aan de metingen de potten waren leeggehaald en dat deze vlak na de meetperiode weer leeg zouden worden gemaakt.

## 2.2 Meetapparatuur en meetstrategie

In bijlage C wordt in verschillende tekeningen per bedrijf de meetpunten en meettrajecten voor de uitgevoerde metingen weergegeven.

### 2.2.1 Stofconcentratie

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens de meetdagen:

- Twee monsters van totaalstof van de uitgaande stallucht en één monster van totaalstof van de ingaande lucht.
- Twee monsters van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van de uitgaande stallucht en één monster van PM10 van de ingaande stallucht;
- Twee monsters van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5) van de uitgaande stallucht en één monster van PM2,5 van de ingaande stallucht;
- Twee meetpunten voor minuutmonsters van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10) van de uitgaande stallucht;
- Eén meetpunt voor het bepalen van de deeltjesgrootteverdeling in 31 klassen variërend van 0,25 tot > 32 µm van de uitgaande stallucht.

Totaalstof werd bepaald volgens de methode zoals beschreven door Groot Koerkamp et al. (1996). Deze methode werd toegepast in het EU-project Aerial Pollutants waaruit de eerste cijfers voor stofemissie uit de veehouderij zijn bepaald. Bij deze methode werd totaalstof (zoals gedefinieerd in de Europese Standaard EN 481) bemonsterd volgens de gravimetrische meetmethode: met IOM monsterkoppen (SKC Inc., Pennsylvania, VS) bij een debiet van 2,0 l/min. De glasvezelfilters (Ø 25 mm) werden voor en na bemonstering gewogen om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Figuur 1 laat de IOM monsterkop zien voor totaalstof.



**Figuur 1** Links: De DustTrak model 8520 voor optische en continue metingen van het verloop in PM10 concentratie. Rechts: Monsterapparatuur voor totaalstof, met links op de foto de IOM monsterkop met aanzuigleiding naar de pomp en rechts op de foto de filterhouder met bescherming voor transport.



**Figuur 2** Monsterapparatuur voor PM10 en PM2,5. Boven: de 'constant flow' monsternamepomp. Linksonder (van links naar rechts): inlaat, PM10 cycloon, PM2,5 cycloon en filterhouder. Rechtsonder: de constructie van de inlaat

Figuur 2 laat de monstername-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de standaard referentie monsternamekoppen voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en deze standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafscheider is vervangen door een cycloon voorafscheider. Dit vanwege het gevaar van overbelading van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM2,5 (Zhao et al., 2009).

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonstername gewogen onder standaard condities: temperatuur  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  en  $50\% \pm 5\%$  relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). De hoeveelheid verzameld stof werd bepaald door het verschil in gewicht te bepalen van het filter voor en na de monstername. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend,  $6\text{ m}^3/\text{uur}$ , Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van  $1,0\text{ m}^3/\text{uur}$  en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten).

Voor een uitvoerige beschrijving van het stofmeetprotocol, de achtergronden en de stofmeetapparatuur wordt verwezen naar Hofschreuder et al. (2008). In voornoemd rapport staan tevens correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternamekoppen naar impactor monsternamekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

PM10:  $< 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $Y = 1,0877 X$   
 $> 222,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $Y = 0,8304 X + 57,492$   
 PM2,5: geen correctie

Op de meetdagen werd tevens elke minuut de PM10 concentratie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) gemeten in de uitgaande stallucht met behulp van de DustTrak (Figuur 1, DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, USA). Minuutgemiddelde PM10 concentraties werden gelogd. Deze metingen werden verricht om het verloop van de stofconcentratie gedurende de dag te bepalen.

## 2.2.2 Deeltjesgrootteverdeling

Figuur 3 laat de monstername-apparatuur zien voor de deeltjesgrootteverdeling. Dit werd gemeten met een stofspectrometer waarvan het werkingsprincipe is gebaseerd op lichtverstrooiing. De stofspectrometer (Grimm instrument model number 1.109, Grimm Aerosol Technik GmbH & Co., Ainring, Germany) bepaalde het aantal deeltjes in 31 grootteklassen met de volgende ondergrenzen (in  $\mu\text{m}$ ): 0,25, 0,28, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, 0,50, 0,58, 0,65, 0,70, 0,80, 1,0, 1,3, 1,6, 2,0, 2,5, 3, 3,5, 4, 5, 6,5, 7,5, 8,5, 10, 12,5, 15, 17,5, 20, 25, 30 en 32. De bovengrens van de grootste deeltjesklasse was 32  $\mu\text{m}$ . Er werd bemonsterd met een debiet van 1,2 l/min en aantallen deeltjes in de verschillende klassen werden met een interval van 1 min opgeslagen in de interne datalogger.



**Figuur 3** Monsternameapparatuur voor deeltjesgrootteverdeling, de stofspectrometer van Grimm

De lucht werd zowel in de stal als buiten de stal (na elkaar) bemonsterd. In de stal werden de monsters genomen in de nok van de stal bij de luchtuitlaat. Buiten de stal werden de monsters aan de loefzijde (de zijde waar de wind vandaan komt) bij de luchtinlaat genomen. De lucht werd in en buiten de stal gedurende ca. 20 minuten bemonsterd, waarin elke 6 sec de aantallen deeltjes in de verschillende klassen werd bepaald. De monsters werden allemaal gedurende de dag in de periode tussen 10:00 – 13:30 uur genomen. De monstername buiten startte direct na afloop van de monstername binnen.

### 2.2.3 Ziektekiemen

Op dezelfde locaties als voor bepaling van de deeltjesgrootteverdeling is de in- en uitgaande stallucht bemonsterd voor bepaling van het aantal (ziekte)kiemen. De uitgaande stallucht is in duplo en de ingaande stallucht in enkelvoud bemonsterd. De lucht is gedurende 20 minuten bemonsterd met behulp van impingers (AGI-30, 7540, Ace glass Inc., Vineland, VS) (zie figuur 4). De lucht werd hierbij door een vloeistof van gebufferde pepton water (BPW, bioTRADING, Benelux B.V., Mijdrecht, Nederland) met 0,005% silicone antischuimmiddel geborreld met een luchtstroom van 12,5 l/min. Daarnaast is de uitgaande stallucht tevens in enkelvoud bemonsterd met een Andersen 6 stage sampler (TE-10-800, Pacwill Environmental Ltd., Beamsville, Ontario, Canada) (zie figuur 4). De Andersen verdeelt de (stof)deeltjes met kiemen in verschillende deeltjesgrootteklassen met behulp van de impactiemethode. Door de luchtsnelheid, via afnemende diameters van de perforaties, toe te laten nemen van de 1<sup>e</sup> tot de 6<sup>e</sup> stage worden steeds kleinere deeltjes geïmpacteerd op de agarplaten (Plate Count agar). De luchtstroom door de Andersen is 28,3 l/min. De deeltjes worden op basis van hun aerodynamische diameter op de volgende manier gescheiden in de verschillende stages: >7,1 µm in stage 1, 4,7 tot 7,1 µm in stage 2, 3,3 tot 4,7 µm in stage 3, 2,1 tot 3,3 µm in stage 4, 1,1 tot 2,1 µm in stage 5 en 0,65 tot 1,1 µm in stage 6.



**Figuur 4** Links: Impinger monsternamen-apparaat; Rechts: Andersen monsternamen-apparaat.

De vloeistofmonsters en agarplaten werden tijdens transport en in het lab bij 4°C bewaard. Binnen 24 uur werd de bacteriekweek ingezet. Het volume van de impinger vloeistof werd gemeten met behulp van een 10 ml pipet met maatverdeling. Uit de impinger vloeistof (gemiddeld ca. 14 ml) werd een representatief monster genomen van 1,0 ml. De agarplaten van de Andersen werden 3 maal gewassen met 2 ml gebufferde pepton water (BPW). Hierbij werd 2 ml vloeistof op de agarplaat gebracht, waarna de plaat met een steriele spatel werd afgespateld en de vloeistof met een steriele pipet werd afgezogen. Dit werd tweemaal herhaald. Uit de totaal verzamelde vloeistof werd een representatief monster genomen van 1,0 ml. Van de monsters werd een decimale verdunningsreeks gemaakt in een fysiologische zoutoplossing. De verdunningen werden vervolgens uitgeplaat op het te gebruiken medium.

De volgende bacteriën werden geanalyseerd:

- Totaal kiemgetal;
- *C. burnetii*;
- *Enterobacteriaceae*;
- *Escherichia coli*;
- *Salmonella*;
- *Staphylococcus*;
- *Enterococcus*.

#### *Totaal Kiemgetal*

Voor het Totaal Kiemgetal werd 1 ml van iedere verdunning in een steriele lege petrischaal gebracht; vervolgens werd er ±20 ml Plate Count Agar (PCA) (temperatuur ± 40°C) aan toegevoegd en gemengd. Na stollen werden de platen 72 uur bij 30°C geïncubeerd en vervolgens werden de aanwezige kolonies geteld.

*Coxiella burnetii*

Van de oorspronkelijke monsters van impingers (ca. 14 ml) en Andersen (ca. 6 ml) is 0,2 ml gebruikt voor het aantonen van *C. burnetii*. *C. burnetii* is geanalyseerd met de opwerkmethode (DNeasy Blood and Tissue Kit; QIAGEN) en de PCR methode beschreven in Roest et al. (2011a). Met deze methode wordt aangetoond of *C. burnetii* al dan niet aanwezig is in het monster. Met de PCR methode wordt in feite aangetoond of een uniek stukje DNA van *C. burnetii* aanwezig is in het monster. Hiermee wordt niet aangetoond of *C. burnetii* levensvatbaar (infectieus) is.

*Enterobacteriaceae*

Voor het bepalen van de *Enterobacteriaceae* werd 1 ml van iedere verdunning in een steriele lege petrischaal gebracht; vervolgens werd er 15 ml Violet Red Bile Glucose agar (VRBG) ( $\pm 40^{\circ}\text{C}$ ) aan toegevoegd en gemengd. Wanneer de platen gestold waren, werd een tweede VRBG agar laag gegoten om een microaëroob milieu te creëren. Na stollen werden de platen 24 uur geïncubeerd bij  $37^{\circ}\text{C}$  en vervolgens geteld.

*Escherichia coli*

Van iedere verdunning werd 0,1 ml op een MacConkey agarplaat (MC) gebracht en met een steriele spatel verdeeld over het medium. De platen werden 24 uur bij  $37^{\circ}\text{C}$  geïncubeerd en vervolgens geteld.

*Staphylococci*

Van iedere verdunning werd 0,1 ml op een Baird Parker agarplaat (BP) gebracht en met een steriele spatel verdeeld over het medium. De platen werden 24 uur bij  $37^{\circ}\text{C}$  geïncubeerd en vervolgens geteld.

*Enterococci*

Van iedere verdunning werd 0,1 ml op een Slanetz & Bartley agarplaat (SB) gebracht en met een steriele spatel verdeeld over het medium. De platen werden 48 uur bij  $35^{\circ}\text{C}$  geïncubeerd en vervolgens geteld.

*Salmonella*

1 ml monster werd toegevoegd aan 9 ml BPW en gedurende 24 uur bij  $37^{\circ}\text{C}$  geïncubeerd. Na 24 uur werd 0,1 ml van de cultuur verdeeld over drie druppels op Modified Semi-solid Rappaport Vassiliadis (MSRV) agar gebracht. De MSRV agar werd 24 uur  $41,5^{\circ}\text{C}$  geïncubeerd en van verdachte platen werd een reinkweek ingezet op Brilliant Green Agar (BGA) om een bevestiging te krijgen van de aanwezigheid van *Salmonella*. Dit werd eventueel gevolgd door agglutinatie voor typering.

Voor alle kweken op agarplaten gold dat de tellingen werden uitgevoerd op die platen met een aantal kolonies tussen de 15 en 150, tenzij het aantal geringer was dan 15 op de plaat met de kleinste verdunning.

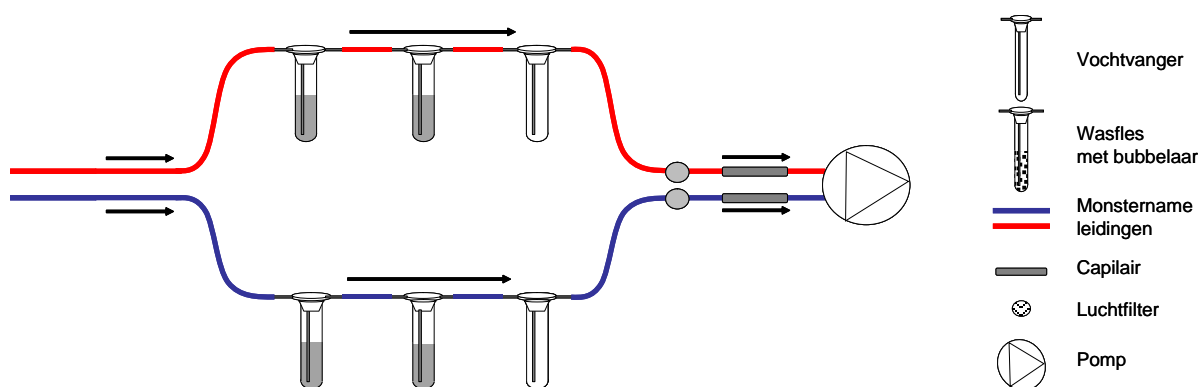
*C. burnetii* werd tevens geanalyseerd in de verschillende 24-uurs stofmonsters (totaalstof, PM10 en PM2,5 stof) die werden genomen op de verschillende meetdagen op beide bedrijven. Hiervoor werd ongeveer een oppervlak van  $0,6\text{ cm}^2$  uit het stoffilter gesneden met steriel instrumentarium en dit stukje filter ondergaat verschillende wasstappen. Het eindvolume van de uiteindelijke wasvloeistof is 0,2 ml. Deze vloeistof wordt vervolgens geanalyseerd zoals hierboven beschreven. Het totaal met stof bedekte oppervlak van het filter was  $3,1\text{ cm}^2$  voor totaalstof en  $12,6\text{ cm}^2$  voor PM10 en PM2,5 stof.

## 2.2.4 Ammoniakconcentratie

Voor continue bepaling van de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de uitgaande stallucht werd een open-pad laser (GasFinderFC, Boreal Laser Inc.) toegepast. Bij deze methode wordt een gemiddelde  $\text{NH}_3$ -concentratie over (vrijwel) de gehele lengte van de stal bepaald. De  $\text{NH}_3$ -concentratie in de uitgaande stallucht werd tevens bepaald door uit drie meetpunten verdeeld over de hele lengte van de stal (verzamelleiding) iedere 5 minuten lucht te bemonsteren en met behulp van een fotoakoestische monitor (Innova 1312; Klooster et al., 1992; Mosquera et al., 2002) te meten. Wanneer (door storingen) de data uit de laser niet bruikbaar was (meting 1 op bedrijf 1, meting 4 op bedrijf 2), werden de cijfers van de monitor gebruikt.



Als er geen andere stallen in de buurt staan, zoals op deze bedrijven, is de ervaring dat de ammoniakconcentratie in de ingaande lucht (achtergrond) laag is en nauwelijks varieert. Daarom werd de ammoniakconcentratie van de ingaande lucht niet continu gemeten, maar werd er een 24-uurs monster verzameld volgens de nat-chemische methode voor  $\text{NH}_3$  (Wintjes, 1993). Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameleiding 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 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 figuur 5 voor een schematische weergave van de meetopstelling voor ammoniak. De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van  $\text{NH}_3$  dat moet worden gebonden; voor deze stallen was deze 0,05 M. Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie 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). 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.



**Figuur 5** Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen

### 2.2.5 Geurconcentratie

Geurconcentraties werden alleen bepaald in de uitgaande stallucht (1 meetpunt). Er stonden geen stallen in de directe omgeving van de te bemeten stallen in dit onderzoek. De ervaring leert dat de achtergrondconcentratie van geur dan verwaarloosbaar is. Geurmonsters werden genomen tussen 10:00 en 12:00 uur. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd driemaal gespoeld met geurvrije lucht en in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen (0,4 l/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2  $\mu\text{m}$ , Savillex<sup>®</sup> Corp., Minnetonka, VS) stallucht aangezogen in de zak. Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. 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.

### 2.2.6 Concentratie overige broeikasgassen

De bepaling van de  $\text{CH}_4$ - en  $\text{N}_2\text{O}$ -concentraties in de ingaande buitenlucht (achtergrond; één meetpunt) en in de uitgaande stallucht (twee meetpunten) werd op dezelfde wijze gedaan als voor een geurmonster (zie de longmethode zoals hierboven beschreven). De monsterzakken werden 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).

### 2.2.7 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet ( $\text{m}^3/\text{uur}$ ) werd bepaald met behulp van de  $\text{CO}_2$ -massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde  $\text{CO}_2$ -concentratie van de in- en uitgaande stallucht (respectievelijk  $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$  en  $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$ ) gedurende 24 uur gemeten en de  $\text{CO}_2$ -productie van de dieren ( $\text{m}^3/\text{uur}$  per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Volgens deze rekenregels voor de  $\text{CO}_2$ -productie voor melkgeiten bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg) en de melkproductie (kg melk/dier). Door de  $\text{CO}_2$ -productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren ( $n$ ) in de stal kan de totale  $\text{CO}_2$ -productie worden berekend. Het ventilatie-debiet  $V$  ( $\text{m}^3/\text{uur}$ ) wordt dan bepaald op basis van:

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

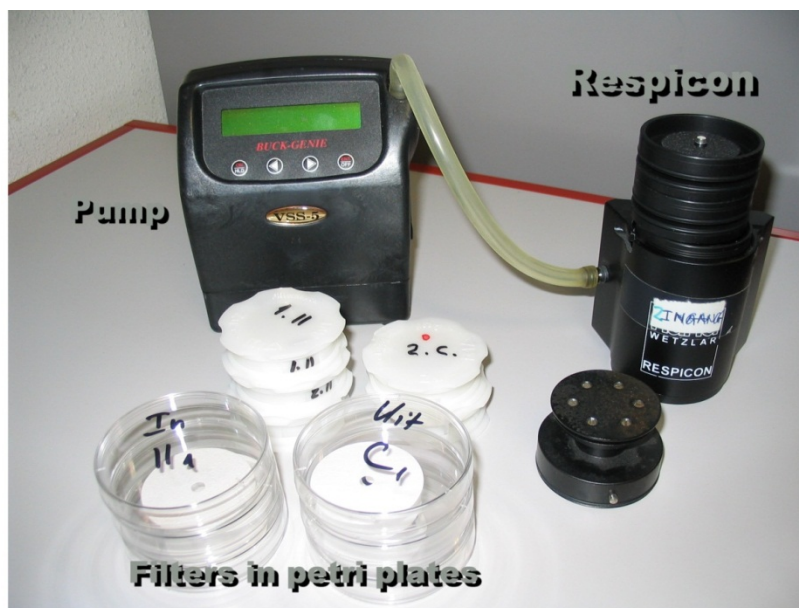
De  $\text{CO}_2$  concentratie in de uitgaande stallucht werd bepaald door uit drie meetpunten verdeeld over de hele lengte van de stal (verzamelleiding) iedere 5 minuten lucht te bemonsteren en met behulp van een fotoakoestische monitor (Innova 1312; Klooster *et al.*, 1992; Mosquera *et al.*, 2002) te meten. De  $\text{CO}_2$  concentratie in de ingaande stallucht (achtergrond) werd op dezelfde wijze bepaald door uit drie meetpunten buiten de stal (verzamelleiding) iedere 5 minuten lucht te bemonsteren en met een fotoakoestische monitor te meten.

### 2.2.8 Metingen temperatuur en RV

Temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande (1 meetpunt) en uitgaande stallucht (2 meetpunten in de uitgaande luchtstroom) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 1,0$   $^{\circ}\text{C}$  en  $\pm 2\%$ , en de data werden opgeslagen in een datalogstelsel (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS).

## 2.3 Kwantificering bijdrage stofbronnen

Duplo stofmonsters werden genomen van de lucht in de stal en enkelvoudige monsters van de lucht buiten de stal, op dezelfde locaties als voor de deeltjesgrootteverdeling. Monsters werden genomen met virtuele cascade impactoren (RespiCon, Wetzlar, Germany; zie figuur 6). Met deze impactoren kan stof in de deeltjesgrootte range  $< 2,5$   $\mu\text{m}$  en tussen  $2,5$  en  $10$   $\mu\text{m}$  simultaan worden verzameld. Het stof werd opgevangen op polycarbonaat filters ( $37$  mm  $\varnothing$ ,  $5$   $\mu\text{m}$  pore size). De lucht werd bemonsterd met een debiet van  $3,1$  l/min met behulp van een draagbare pomp (Genie VSS5, Buck Inc, U.S.). De monsternametijd was  $120$  minuten voor de uitgaande stallucht en  $60$  minuten voor de buitenlucht. Op deze manier werd  $5 - 20$   $\mu\text{g}$  aan deeltjes per  $\text{cm}^2$  filteroppervlak verzameld. Hiermee werden voldoende deeltjes verzameld zonder dat er sprake was van veel overlap van deeltjes. Alle monsters werden 's morgens tussen  $10:00$  en  $13:30$  uur genomen.



**Figuur 6** RespiCon monsternamen-apparatuur voor verzameling stofmonsters voor bepaling van de bijdrage van de verschillende stofbronnen aan stof in de lucht

Op beide geitenbedrijven werden monsters genomen van de volgende potentiële bronnen van stof:

- Krachtvoer;
- Silage (ruwvoer);
- Hooi / stro in ruif;
- Stro in pot;
- Verse mest (keutels);
- Haar.

De monsters van de bronnen werden op een representatieve manier verzameld door een verzamelmonster te maken van verschillende kleine monsters die verspreid in de ruimte van de stal of van de stofbron werden genomen. Het haar werd bemonsterd door de geiten op de plekken van bemonstering eerst schoon te borstelen en vervolgens stukjes haar af te knippen. Per bron werd een monster per bedrijf genomen van 200 – 500 g, behalve van het haar waarvan 10 – 20 g werd verzameld. De monsters werden bewaard in schone, afsluitbare polyethyleen zakken. Elk monster werd gedroogd gedurende 12 uur bij 70°C en vervolgens geplet in een balmolen gedurende 1,5 minuten bij 250 rpm. Haarmonsters werden additioneel schoongemaakt door deze te spoelen met gedestilleerd water. Hierna werd het monster gedroogd in de oven. De bronmonsters werden vervolgens één voor één in een stofgenerator gedaan. De stofgenerator bestond uit een luchtdicht vat met een mix-systeem dat het stofbronmonster in beweging kon brengen, zodanig dat het stof werd opgenomen in de lucht. Dit stof werd op dezelfde manier verzameld, met een virtuele cascade impactor, als in en buiten de stal. Ook hier werd een stofbelasting van het filter van 5 – 20 µg per cm<sup>2</sup> filteroppervlak nagestreefd. Ongeveer 0,1 tot 0,5 g monster van mest, 2,0 g silage, 1,5 tot 2,0 g stro, 3 g haar en 40 g krachtvoer werden gebruikt in de stofgenerator. De rotatiesnelheid was 200 rpm. De bemonstering van de lucht in de stofgenerator varieerde van 1 min (mest), 3 tot 7 min (stro en silage), 90 min (haar) tot 10 uur (krachtvoer).

Hoge resolutie 'Scanning Electron Microscopy' (SEM) (JEOL, JSM-5410) werd toegepast voor het analyseren van elk deeltje op elementaire compositie. Elementen met atoomnummers  $\geq 6$  (vanaf koolstof) konden worden gedetecteerd. Van elk filter werden tenminste 3 locaties gescand. Van elk luchtmonster werden 50 tot 75 deeltjes geanalyseerd; van elk bronmonster werden 25 tot 50 deeltjes geanalyseerd. Elk deeltje werd gekarakteriseerd op basis van elementaire chemische eigenschappen.

De gekarakteriseerde deeltjes werden op basis van multiple regressie van de elementaire samenstelling van de deeltjes toegewezen aan de bronnen. Voor een uitgebreide beschrijving van deze methode wordt verwezen naar artikelen van Cambra-López et al. (Cambra-López et al., 2011a; Cambra-López et al., 2011b; Cambra-López et al., 2011c).

## 2.4 Verwerking gegevens

### 2.4.1 Emissies

Voor beide bedrijven ( $j=1, 2$ ) werden per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 4$ ) de emissies van stof (totaalstof, PM10, PM2,5), methaan en lachgas  $E_{ij}$  bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde;  $V_{ij}$ ) en de gemiddelde concentratie (verzamelmonster) in de uitgaande lucht ( $C_{uit_{ij}}$ ) en in de ingaande lucht ( $C_{in_{ij}}$ ) van stof (totaalstof, PM10, PM2,5), methaan en lachgas:

$$E_{ij} = V_{ij} \times (C_{uit_{ij}} - C_{in_{ij}})$$

Voor beide bedrijven ( $j=1, 2$ ) werden per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 4$ ) de emissies van geur  $E_{ij}$  bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de meetperiode voor geur (2-uursgemiddelde;  $V_{ij}$ ) en de gemiddelde geurconcentratie (verzamelmonster) in de uitgaande lucht ( $C_{uit_{ij}}$ ):

$$E_{ij} = V_{ij} \times C_{uit_{ij}}$$

Voor beide bedrijven ( $j=1, 2$ ) werden per meetdag ( $i=1, 2, \dots, 4$ ) de emissies van ammoniak  $E_{ij}$  bepaald door eerst per uur ( $k=1, 2, \dots, 24$ ) de emissies  $E_{ijk}$  te bepalen op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet per uur ( $V_{ijk}$ ) en de gemiddelde ammoniakconcentraties van de uitgaande lucht ( $C_{uit_{ijk}}$ ) en de ingaande lucht per uur. De ammoniakemissie per meetdag werd vervolgens bepaald als het gemiddelde van deze uur cijfers.

$$E_{ij} = \sum_{k=1}^{24} (V_{ijk} \times (C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}))$$

De emissie ( $E$ ) van stof (totaalstof, PM10, PM2,5), ammoniak, methaan en lachgas op jaarbasis per dierplaats (zonder leegstandscorrectie) 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 (van beide bedrijven) te bepalen. Voor geur werd de mediane emissie bepaald door het gemiddelde op log-schaal terug te transformeren naar normale schaal.

$$E = \frac{E_{ij} \times 365}{dierplaatsen_{ij}}$$

In deze rekenregels zijn voor stof (totaalstof, PM10, PM2,5), ammoniak, methaan en lachgas de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in de in- en uitgaande lucht:  $g/m^3$
- ventilatiedebiet per uur ( $m^3/uur$ ; alleen voor ammoniak) of per dag ( $m^3/dag$ )
- emissies per uur ( $g/uur$ ; alleen voor ammoniak) of per dag ( $g/dag$ )
- emissies op jaarbasis per dierplaats ( $g/dierplaats$  per jaar)

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 ( $V_{ij}$ ;  $m^3/dag$ ) 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 ( $OU_E/s$  per dierplaats)

### 2.4.2 Deeltjesgrootteverdeling

De aantallen deeltjes per deeltjesgrootteklasse werden tevens omgerekend naar massa van de deeltjes. Hierbij werd verondersteld dat de deeltjes bolvormig zijn en een soortelijk gewicht hebben van  $1,0 \text{ g/mm}^3$ .

Voor het maken van lijngrafieken werden de deeltjesklassen gestandaardiseerd naar klassenbreedten van 1 µm. Vervolgens werden de fracties in de verschillende klassen uitgezet in een lijngrafiek (Zhang, 2004). Voor de massa van de deeltjes in de verschillende klassen werd dezelfde standaardisatie toegepast.

### 2.4.3 Bronnen

De bijdrage van de verschillende bronnen aan het stof in de lucht is gekwantificeerd met behulp van multiple lineaire regressie. De chemische elementaire samenstelling van de deeltjes afkomstig van individuele bronnen werd gekoppeld aan de chemische elementaire samenstelling van de deeltjes in de stallucht. De chemische samenstelling van de deeltjes werd verkregen met behulp van de SEM-EDX. De volgende elementen werden bepaald: stikstof (N), natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silicium (Si), fosfor (P), zwavel (S), chloor (Cl), kalium (K), calcium (Ca), ijzer (Fe), nikkel (Ni), koper (Cu), zink (Zn), zilver (Ag), lood (Pb), tin (Sn), chroom (Cr), kobalt (Co), barium (Ba), broom (Br), titanium (Ti), vanadium (V), antimonium (Sb) en goud (Au). Dit zijn de meest voorkomende elementen. De gemiddelde concentraties van de verschillende elementen in de fijne deeltjes (< 2,5 µm) en in de grove deeltje (tussen 2,5 en 10 µm) per stal waren de onafhankelijke variabelen, terwijl de gemiddelde concentraties van de elementen in de bronnen de onafhankelijke variabelen waren in het multiple regressiemodel. Het model wordt beschreven met de volgende vergelijking :

$$Y_{im} = \sum_{k=1}^n (f_{ikm} \times F_{ikm})$$

Waar:

$Y_{im}$  = relatieve concentratie van element i in het verzamelde luchtmonster (< 2,5 µm of tussen 2,5 en 10 µm) op bedrijf m (gemiddelde van de duplo-monsters);

$f_{ikm}$  = relatieve bijdrage van element i van bron k aan de deeltjes in de stallucht op bedrijf m. De som van de fracties is gelijk gesteld aan 1;

$F_{ikm}$  = gemiddelde relatieve concentratie van element i in bron k op bedrijf m.

Uit de literatuur is voor de verschillende bronnen bekend wat het soortelijk gewicht is van de deeltjes en in welke mate de deeltjes afwijken van de bolvorm. Voor de berekeningen zijn de volgende soortelijke gewichten gebruikt (McCrone, 1992): 2,6 mg/mm<sup>3</sup> (krachtvoer), 1,3 mg/mm<sup>3</sup> (haar), 2,1 mg/mm<sup>3</sup> (buitenlucht) en 1,5 mg/mm<sup>3</sup> (rest van de bronnen). De volgende correctiefactoren voor het volume van de deeltjes zijn gebruikt (Zhang, 2004): 1,08 (haar, krachtvoer en buiten), 1,36 (mest), 1,06 (silage en stro).

De massa van de deeltjes afkomstig van de verschillende bronnen kan als volgt worden berekend (Ott et al., 2008):

$$m = \rho_p \times v_p = \rho_p \times \left[ \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \right] = \frac{\rho_p \times \pi \times \left( \frac{D_p}{S_v} \right)^3}{6}$$

waar:

m = massa van deeltje

$\rho_p$  = soortelijke massa van deeltje;

$v_p$  = volume van deeltje;

r = straal van een equivalent bolvormig deeltje;

$D_p$  = diameter deeltje, zoals waargenomen,  $D_p = 2 \times \sqrt{\frac{\text{Oppervlakte}}{\pi}}$

$S_v$  = correctiefactor voor volume van het deeltje; dit is de correctiefactor om de diameter van het betreffende deeltje om te rekenen naar een deeltje met eenzelfde volume in bolvorm.

De analyses werden gedaan met het statistisch programma Genstat (Genstat Committee, 2008).

### 3 Resultaten

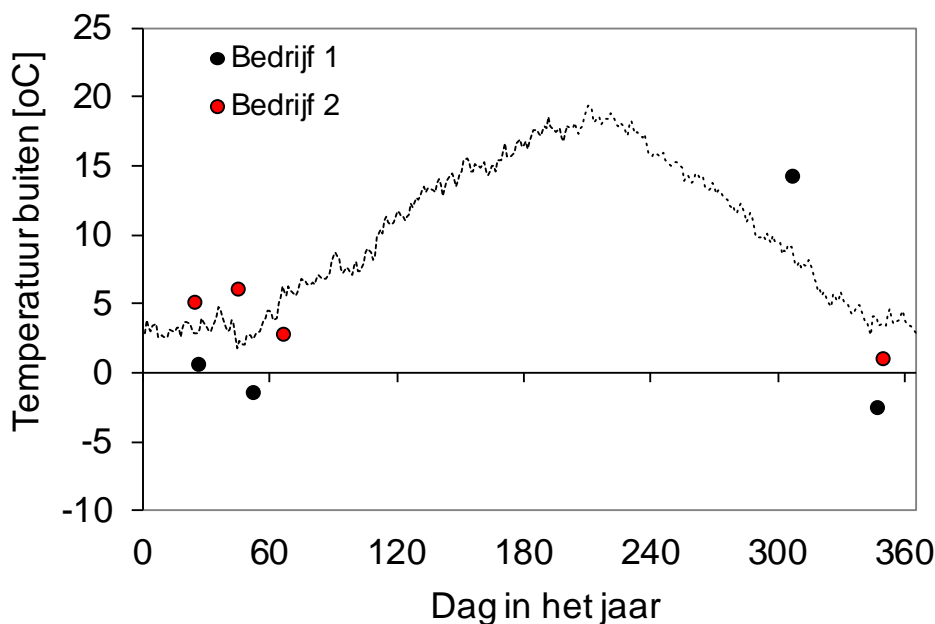
#### 3.1 Meetomstandigheden

In Tabel 3 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen op de twee melkgeitenbedrijven (melkgeitenstallen) zijn verricht. In Bijlage D worden de klimaatgegevens (uurgemiddelden) tijdens de metingen voor beide bedrijven grafisch weergegeven.

**Tabel 3** Data waarop metingen zijn uitgevoerd, het aantal dieren, de bijbehorende bezettingsgraad, 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 de regio Eindhoven (www.knmi.nl).

Bedrijf		Meting			
		1	2	3	4
1	Datum	03-11-2010	12-12-2010	26-01-2011	21-02-2011
	Dagnr.	307	347	26	52
	Melkgeiten	391	379	359	360
	Opfokgeiten	0	0	0	0
	Bokken	3	3	3	0
	Bezettingsgraad [%]	82	80	75	75
	T-buiten [°C]	14,2	-2,4	0,7	-1,4
	RV-buiten [%]	87	88	99	72
	T-stal [°C]	16,0	5,7	9,0	6,1
	RV-stal [%]	80	80	72	60
	Windrichting	230 (ZW)	344 (NNW)	45 (NO)	88 (O)
	Windsnelheid op 10m hoogte [m/s]	6,4	4,7	2,5	3,9
	2	Datum	15-12-2010	24-01-2011	14-02-2011
Dagnr.		349	24	45	66
Melkgeiten		400	380	365	360
Opfokgeiten		159	158	158	158
Bokken		3	3	3	3
Bezettingsgraad [%]		75	72	70	71
T-buiten [°C]		1,1	5,2	6,1	0,9
RV-buiten [%]		97	100	96	44
T-stal [°C]		6,5	10,0	10,3	7,6
RV-stal [%]		85	79	83	45
Windrichting		316 (NW)	307 (NW)	155 (ZZO)	103 (O)
Windsnelheid op 10m hoogte [m/s]		2,8	3,0	2,5	3,6

De metingen zijn in een periode van 4 maanden uitgevoerd. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (3,3 °C) is lager dan het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C), en over de gemeten meetperiode (4,1 °C). Zie figuur 7 voor de verdeling van de metingen over het jaar waarbij de gemeten buitentemperaturen worden vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1984-2009 voor de regio Eindhoven. Op beide bedrijven was sprake van onderbezetting in de stal. De bezettingsgraad tijdens de metingen varieerde op bedrijf 1 van 75 tot 82% en op bedrijf 2 van 70 tot 75%.



**Figuur 7** Verdeling van de metingen over het jaar (a), en de buitentemperatuur (b) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1984-2009 voor de regio Eindhoven ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl); als stippellijn weergegeven).

### 3.2 Stofemissie

In tabel 4 worden de concentraties, ventilatiedebiet en emissies van totaalstof, PM10 en PM2,5 weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven.

De gemiddelde totaalstofemissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was hoger op bedrijf 1 (108,4 g/jaar per dierplaats) dan op bedrijf 2 (29,3 g/dierplaats per jaar). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde totaalstofemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $68,8 \pm 55,9$  g/dierplaats per jaar.

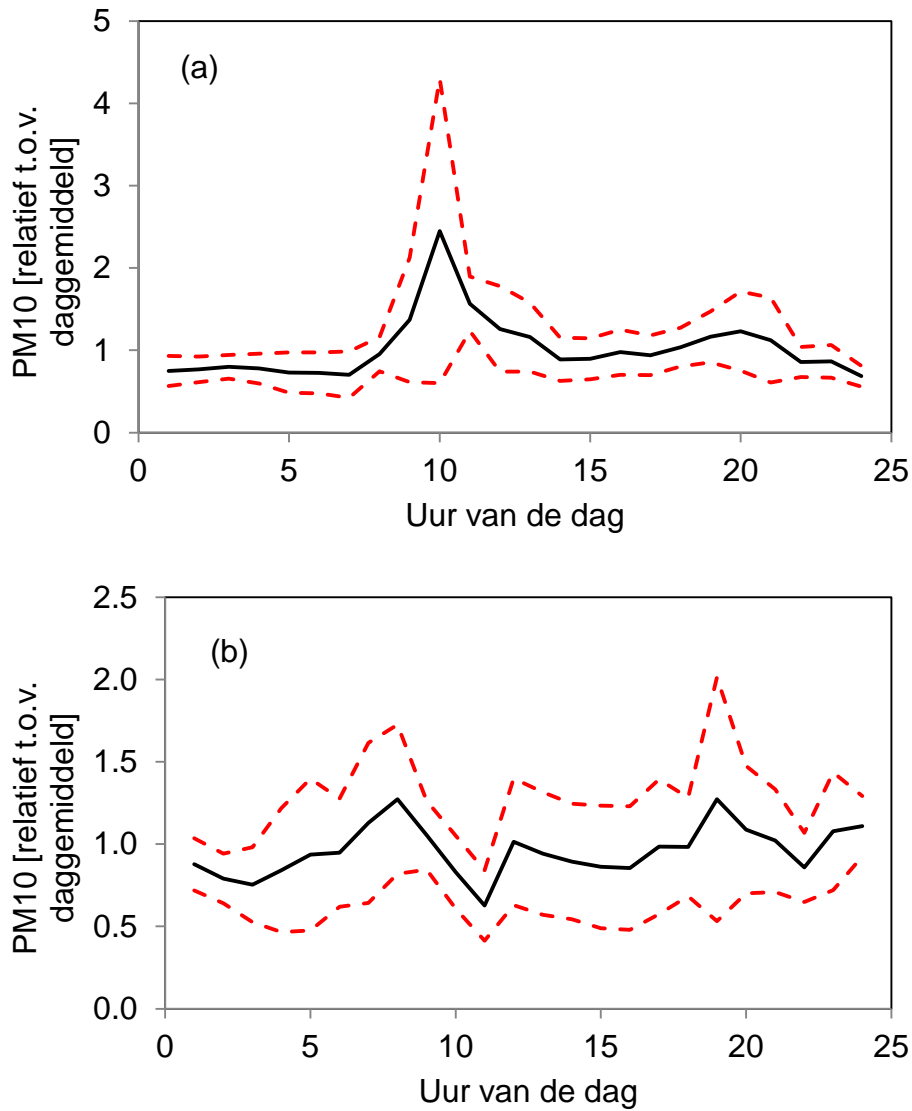
De gemiddelde PM10-emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was hoger op bedrijf 1 (32,9 g/dierplaats per jaar) dan op bedrijf 2 (12,0 g/dierplaats per jaar). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde PM10-emissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $22,4 \pm 14,7$  g/dierplaats per jaar. Op emissieniveau is de conversiefactor tussen totaalstof- en PM10-emissies 0,33.

De gemiddelde PM2,5-emissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was vergelijkbaar voor beide bedrijven (1,0 g/dierplaats per jaar). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde PM2,5-emissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $1,02 \pm 0,02$  g/dierplaats per jaar. Op emissieniveau is de conversiefactor tussen totaalstof- en PM2,5-emissies 0,01

In dit onderzoek werd een conversiefactor tussen totaalstof en PM10 berekend van 0,32 (0,31 voor bedrijf 1 en 0,34 voor bedrijf 2), en een conversiefactor tussen totaalstof en PM2,5 van 0,07 (0,05 voor bedrijf 1 en 0,09 voor bedrijf 2).

In figuur 8 wordt het gemiddeld concentratiepatroon van PM10 over de loop van een meetdag (24 uur) op de twee bedrijven weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat er een piek is op bedrijf 1 rond 10:00 uur. Dit is het moment waarop de potten werden ingestrooid. Deze piek werd echter vooral veroorzaakt door een sterke verhoging tijdens meting 4, terwijl tijdens de andere metingen slechts een geringe of geen piek zichtbaar was. Waarom de piek op meetdag 4 beduidend hoger was dan op de andere meetdagen is niet geheel duidelijk. Misschien dat dit te maken heeft met de kwaliteit van het gebruikte strooisel. Voor bedrijf 2 werd geen duidelijk patroon gedurende de dag gevonden. Alleen is

er een stijging waar te nemen gedurende de morgen, waarschijnlijk door verhoogde activiteit van de dieren rond het melken en het voeren.



**Figuur 8** PM10-concentratiepatroon gemeten met Dusttraks voor a) bedrijf 1 en b) bedrijf 2.



**Tabel 4** Concentratie, ventilatiedebiet en emissie van totaalstof, PM10 en PM2,5 op de verschillende meetdagen voor de twee bemeten bedrijven met melkgeiten. n.g.: niet gemeten

Bedrijf		Meting				
		1	2	3	4	
1	Datum	03/11/2010	13/12/2010	26/01/2011	21/02/2011	
	Debiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	192,2	42,5	40,8	49,2	
	Debiet [m <sup>3</sup> /uur]	75746	16237	14770	17716	
	Totaalstof stal [mg/m <sup>3</sup> ]	0,16	0,23	0,48	0,53	
	Totaalstof buiten [mg/m <sup>3</sup> ]	0,07	n.g.	0,05	0,08	
	Totaalstof emissie [g/dierplaats per jaar]	125,4	47,7	114,6	145,7	
	PM10 stal [mg/m <sup>3</sup> ]	0,036	0,094	0,125	0,177	
	PM10 buiten [mg/m <sup>3</sup> ]	0,005	0,027	0,027	0,046	
	PM10 emissie [g/dierplaats per jaar]	42,7	20,0	26,5	42,2	
	PM2,5 stal [mg/m <sup>3</sup> ]	0,004	0,018	0,021	0,038	
	PM2,5 buiten [mg/m <sup>3</sup> ]	0,002	0,017	0,019	0,034	
	PM2,5 emissie [g/dierplaats per jaar]	1,9	0,5	0,7	1,0	
	2	Datum	15/12/2010	24/01/2011	14/02/2011	07/03/2011
		Debiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	73,1	81,7	81,9	88,2
		Debiet [m <sup>3</sup> /uur]	41109	44192	43081	45927
		Totaalstof stal [mg/m <sup>3</sup> ]	0,13	0,13	0,15	0,11
Totaalstof buiten [mg/m <sup>3</sup> ]		n.g.	0,06	0,08	n.g.	
Totaalstof emissie [g/dierplaats per jaar]		26,3	34,1	35,2	21,5	
PM10 stal [mg/m <sup>3</sup> ]		0,040	0,036	0,036	0,056	
PM10 buiten [mg/m <sup>3</sup> ]		0,015	0,018	0,021	0,021	
PM10 emissie [g/dierplaats per jaar]		12,2	9,3	7,4	19,2	
PM2,5 stal [mg/m <sup>3</sup> ]		0,010	0,007	0,017	0,014	
PM2,5 buiten [mg/m <sup>3</sup> ]		0,007	0,006	0,016	0,012	
PM2,5 emissie [g/dierplaats per jaar]		1,4	0,4	0,8	1,4	

### 3.3 Deeltjesgrootteverdeling

In tabel 5 worden de aantallen deeltjes over de verschillende deeltjesgrootteklassen weergegeven. Hieruit blijkt dat het aantal kleine deeltjes veruit in de meerderheid zijn. Verder blijkt uit deze tabel dat het aantal kleine deeltjes ( $< 1 \mu\text{m}$ ) in de stal en buiten vergelijkbaar zijn, terwijl bij de grotere deeltjes ( $> 2,5 \mu\text{m}$ ) er een duidelijk verschil te constateren is tussen de stallucht en de buitenlucht. Voor de deeltjes tussen  $1,0 - 2,5 \mu\text{m}$  is er een duidelijk verschil in aantallen en massa deeltjes tussen stal- en buitenlucht voor bedrijf 1, terwijl deze vergelijkbaar zijn voor bedrijf 2. Worden de aantallen naar massa omgerekend dan blijken de kleine deeltjes ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) hier nauwelijks aan bij te dragen (tabel 6).

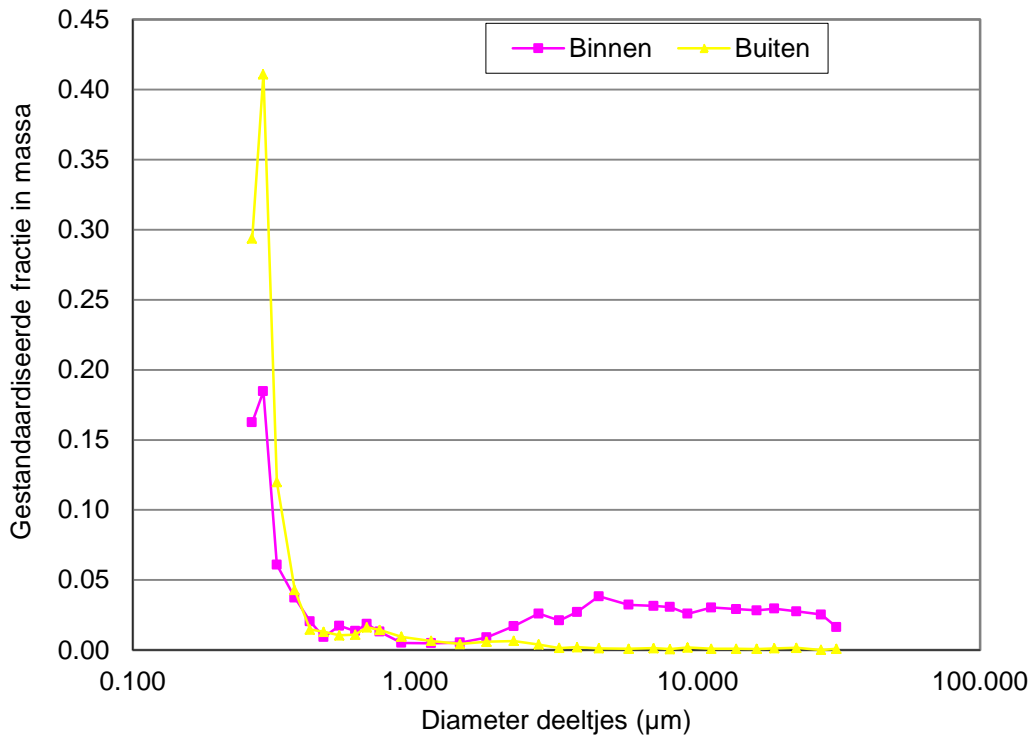
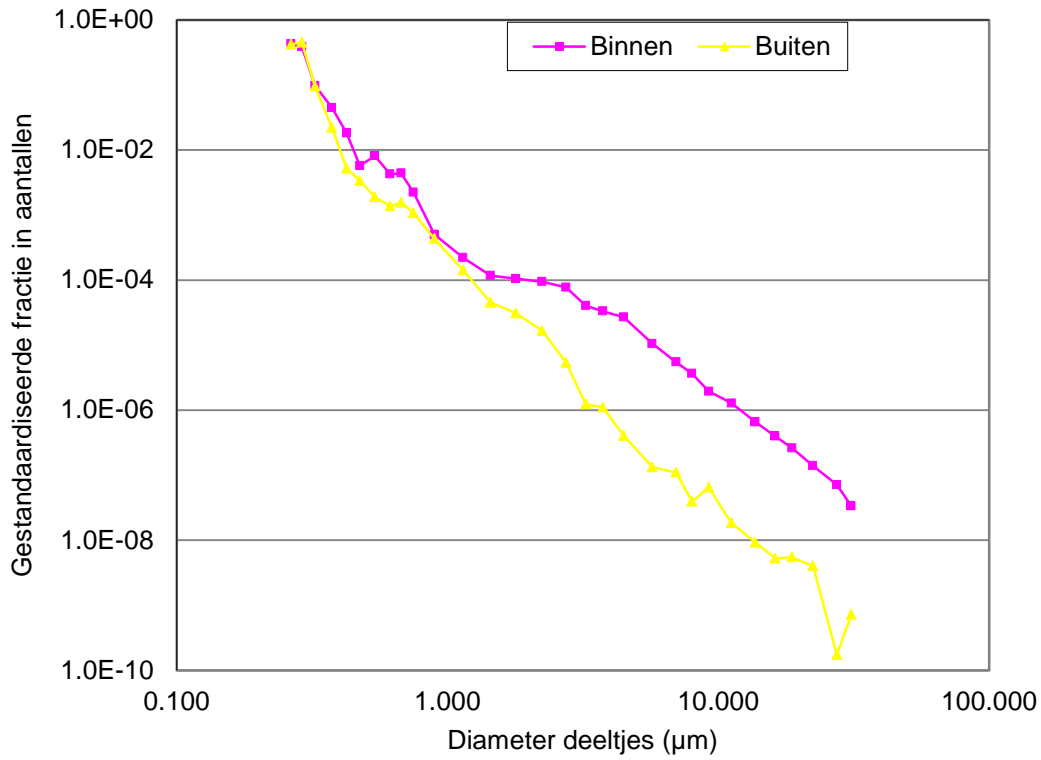
**Tabel 5** Gemiddeld aantal deeltjes (per  $\text{cm}^3$  lucht) in de verschillende deeltjesgrootteklassen voor de beide geitenbedrijven (stal en buiten). De standaard fouten van de gemiddelden (SE) staan tussen haakjes.

Bedrijf	Locatie	Deeltjesgrootteklassen			
		0,25-1,0 $\mu\text{m}$	1,0-2,5 $\mu\text{m}$	2,5-10,0 $\mu\text{m}$	10,0-32 $\mu\text{m}$
1	Stal	199 (96)	1,21 (0,45)	1,14 (0,45)	0,049 (0,020)
1	Buiten	157 (46)	0,06 (0,02)	0,01 (0,00)	0,000 (0,000)
2	Stal	142 (98)	0,33 (0,13)	0,22 (0,09)	0,019 (0,006)
2	Buiten	401 (311)	0,88 (0,50)	0,11 (0,10)	0,002 (0,002)

**Tabel 6** Gemiddelde massaverdeling van de deeltjes ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in de verschillende deeltjesgrootteklassen voor de beide geitenbedrijven (stal en buiten). De standaard fouten van de gemiddelden (SE) staan tussen haakjes.

Bedrijf	Locatie	Deeltjesgrootteklassen			
		0,25-1,0 $\mu\text{m}$	1,0-2,5 $\mu\text{m}$	2,5-10,0 $\mu\text{m}$	10,0-32 $\mu\text{m}$
1	Stal	0,003 (0,002)	0,003 (0,001)	0,062 (0,025)	0,091 (0,034)
1	Buiten	0,002 (0,001)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,001 (0,001)
2	Stal	0,002 (0,001)	0,001 (0,000)	0,012 (0,004)	0,050 (0,015)
2	Buiten	0,006 (0,004)	0,002 (0,002)	0,003 (0,002)	0,004 (0,004)

In figuur 9 worden gemiddeld over beide bedrijven de gestandaardiseerde fracties van het aantal deeltjes en de massa van de deeltjes in de stal en buiten weergegeven.



**Figuur 9** Gestandaardiseerde fracties van het aantal deeltjes (figuur boven) en de massa van de deeltjes (figuur onder) in de verschillende grootteklassen in de geitenstal en buiten. De X-assen van beide figuren zijn op log-schaal. De Y-as is alleen bij de aantallen op log-schaal.

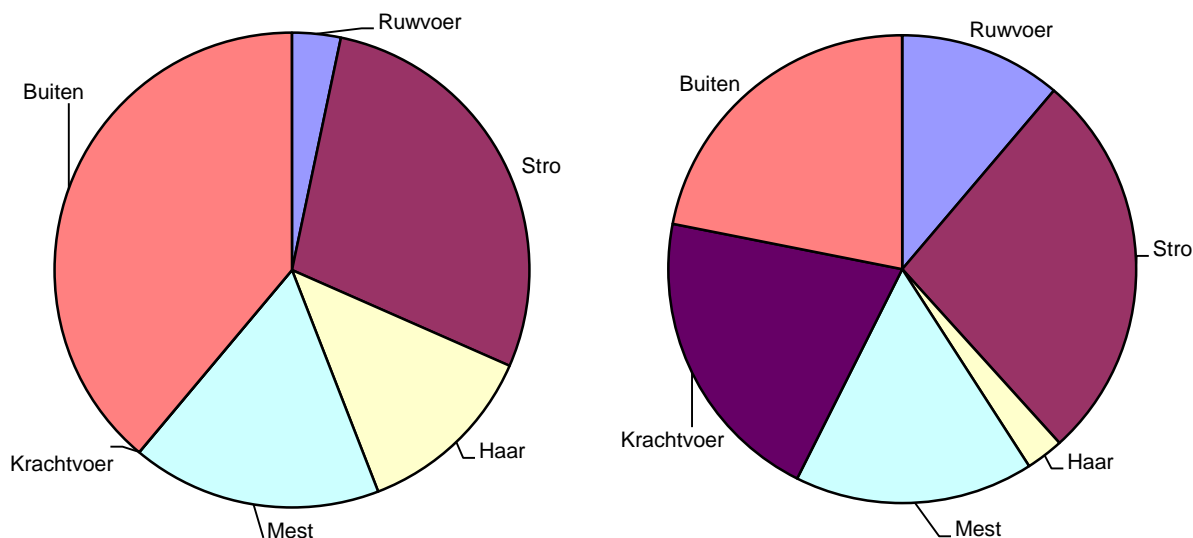
De figuren laten duidelijke verschillen zien tussen de aantallen en de massa deeltjes voor de verschillende deeltjesgroottes. De kleine deeltjes zijn veruit in de meerderheid, echter op massabasis leveren binnen de stal de grotere deeltjes de grootste bijdrage. Buiten de stal wordt echter naast het aantal ook op massabasis de belangrijkste bijdrage geleverd door de kleine deeltjes.

### 3.4 Stofbronnen

In tabel 7 wordt de gemiddelde bijdrage van de verschillende bronnen aan het aantal deeltjes in de stallucht weergegeven. Hieruit blijkt dat de deeltjes in de buitenlucht voor een belangrijk deel (38,9%) bijdragen aan de PM2,5 deeltjes in de stal. Verder dragen vooral stro, mest en haar bij aan PM2,5 in de stal. Het stof in de range van 2,5 – 10 µm lijkt de bijdrage van de buitenlucht wat geringer en neemt met name de bijdrage van krachtvoer toe. In figuur 10 wordt de bijdrage van de verschillende bronnen overzichtelijk weergegeven.

**Tabel 7** Gemiddelde bijdrage (in %) van de verschillende stofbronnen aan het aantal stofdeeltjes in de lucht < 2,5 µm (PM2,5) en tussen 2,5 en 10 µm (PM2,5-10), met standaardfout van het gemiddelde (SE).

Bronnen	PM2,5		PM2,5-10	
	Gemiddelde bijdrage	SE	Gemiddelde bijdrage	SE
Ruwvoer	3,3	3,3	11,2	6,9
Stro	28,3	2,6	27,1	11,2
Haar	12,5	12,5	2,6	2,6
Mest	17,0	1,5	16,5	0,4
Krachtvoer	0,0	0,0	20,7	6,1
Buiten	38,9	10,4	21,9	21,9

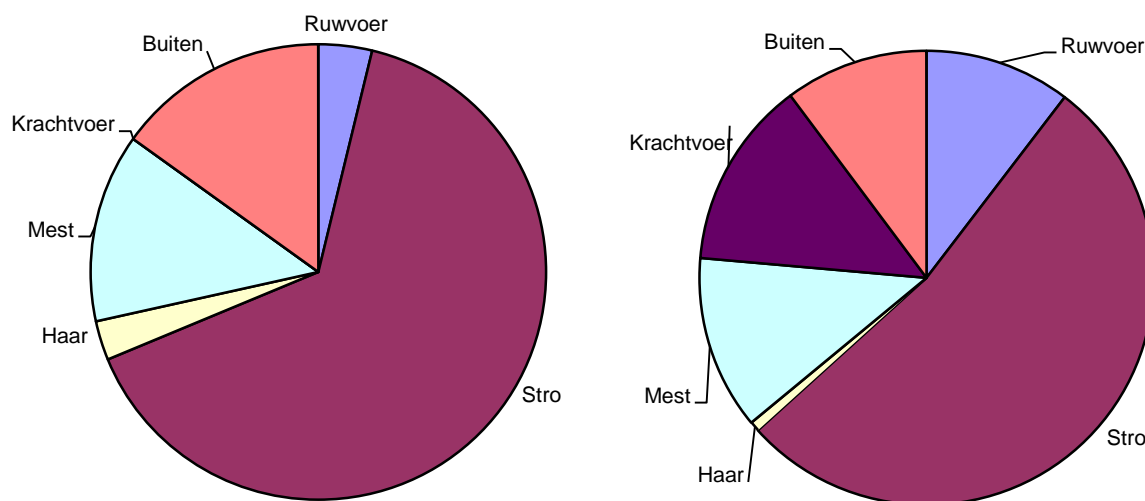


**Figuur 10** Gemiddeld geschatte bijdrage van de verschillende bronnen aan het aantal stofdeeltjes in de lucht: linkerfiguur voor deeltjes < 2,5 µm (PM2,5); rechterfiguur voor deeltjes tussen 2,5 en 10 µm (PM2,5-10).

In tabel 8 wordt de gemiddelde bijdrage van de verschillende bronnen aan de massa deeltjes in de stallucht weergegeven. Hieruit blijkt dat stro voor het belangrijkste deel (65,0%) bijdraagt aan de PM2,5 deeltjes in de stal. Verder dragen vooral de buitenlucht en mest bij aan PM2,5 in de stal. Ook aan stof in de range van 2,5 – 10 µm wordt de belangrijkste bijdrage geleverd door het stro. Verder zijn er vergelijkbare bijdrages van krachtvoer, mest, ruwvoer en buitenlucht. In figuur 11 wordt de bijdrage van de verschillende bronnen overzichtelijk weergegeven.

**Tabel 8** Gemiddelde bijdrage (in %) van de verschillende stofbronnen aan de massa stofdeeltjes in de lucht < 2,5 µm (PM2,5) en tussen 2,5 en 10 µm (PM2,5-10), met standaardfout van het gemiddelde (SE).

Bronnen	PM2,5		PM2,5-10	
	Gemiddelde bijdrage	SE	Gemiddelde bijdrage	SE
Ruwvoer	3,8	3,8	10,4	4,4
Stro	65,0	6,1	52,9	9,1
Haar	2,8	2,8	0,7	0,7
Mest	13,4	1,1	12,4	3,0
Krachtvoer	0,0	0,0	13,4	0,4
Buiten	15,1	4,0	10,2	10,2



**Figuur 11** Gemiddeld geschatte bijdrage van de verschillende bronnen aan de massa stofdeeltjes in de lucht: linkerfiguur voor deeltjes < 2,5 µm (PM2,5); rechterfiguur voor deeltjes tussen 2,5 en 10 µm (PM2,5-10).

### 3.5 Ziektekiemen

In tabel 9 worden de concentraties van de verschillende bacteriën in en buiten de stal weergegeven bij bemonstering met impingers. Voor *C. burnetii* is geen kwantitatieve analyse uitgevoerd en is alleen aangegeven of deze bacterie in het monster kon worden aangetoond (positief). Hetzelfde geldt voor *Salmonella*. *C. burnetii* kon in 1 van de 8 monsters die in de stal genomen zijn worden aangetoond. Alle andere monsters waren negatief. Het totaal kiemgetal was in de stal ongeveer 50 keer hoger dan buiten de stal, voor zowel bedrijf 1 als bedrijf 2. In de monsters binnen de stal werden een aantal *Enterococcus* aangetroffen. De concentraties *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae* en *Escherichia coli* waren allemaal nul en er kon in de monsters geen *Salmonella* worden aangetoond.

**Tabel 9** Aantallen bacteriën in de uitgaande (stal) en ingaande (buiten) lucht (in aantal per m<sup>3</sup> lucht) bij bemonstering met een impinger bio-sampler. Voor *Coxiella burnetii* en *Salmonella* is aangegeven hoeveel monsters positief waren. De hoeveelheid bemonsterde lucht per monster was 0,25 m<sup>3</sup>.<sup>1)</sup>

	Aantal monsters <sup>2)</sup>		Bedrijf 1		Bedrijf 2	
	stal	buiten	stal	Buiten	stal	Buiten
<i>Coxiella burnetii</i> , pos.	8	4	1	0	0	0
Totaal kiemgetal	8	4	3,0·10 <sup>5</sup>	5,8·10 <sup>3</sup>	7,7·10 <sup>4</sup>	1,4·10 <sup>3</sup>
<i>Staphylococcus</i>	4	2	0	0	0	0
<i>Enterococcus</i>	4	2	2,1·10 <sup>4</sup>	0	1,3·10 <sup>2</sup>	0
<i>Enterobacteriaceae</i>	8	4	0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i>	4	2	0	0	0	0
<i>Salmonella</i> , pos.	8	4	0	0	0	0

<sup>1)</sup> Een nul in deze tabel betekent dat de kiem niet aangetoond kon worden. De detectielimiet van een monsternamen met impingers was ca. 5,6·10<sup>1</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht, behalve voor *C. burnetii* waar de detectielimiet 2,8·10<sup>3</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht was en behalve voor *Escherichia coli*, *Staphylococcus* en *Enterococcus* waar de detectielimiet 5,6·10<sup>2</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht was. Bij het berekenen van een gemiddelde is een nul gebruikt wanneer de kiem niet aangetoond kon worden in een monster.

<sup>2)</sup> Aantal monsters per locatie: in de stal werden monsters in duplo genomen, buiten in enkelvoud.

In tabel 10 worden de resultaten weergegeven van de bacterie-analyses van de bemonstering met de Andersen in de verschillende deeltjesgrootteklassen. De resultaten zijn vergelijkbaar met de impinger metingen: geen positieve monsters van *C. burnetii* en *Salmonella* en geen aantoonbare concentraties *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae* en *Escherichia coli*. Het totaal kiemgetal gemeten met de Andersen is iets hoger dan gemeten met de impingers; hetzelfde geldt voor het aantal *Enterococcus*. Het grootste aantal kiemen zit in de stoffractie met de grootste diameter. Met het kleiner worden van de deeltjes neemt het aantal kiemen in de betreffende fracties af.

In tabel 11 worden de analyses gegeven van *C. burnetii* in de stofmonsters voor de fracties totaalstof, PM10 en PM2,5. Hieruit blijkt dat op bedrijf 1 zes van de acht totaalstofmonsters in de stal positief waren en vier van de acht op bedrijf 2. Voor PM10 waren op beide bedrijven twee van de acht stalmonsters positief en voor PM2,5 was op bedrijf 1 één van de acht monsters positief en op bedrijf 2 twee van de acht. Uit de tabel blijkt ook dat enkele monsters die buiten de stal zijn genomen positief waren voor *C. burnetii*. Merk op dat de hoeveelheid bemonsterde lucht bij de stofmonsters beduidend groter is dan bij de monsternamen met impingers en Andersen, waardoor de kans op het aantreffen van *C. burnetii* in de stofmonsters ook groter is.

**Tabel 10** Aantallen bacteriën in de uitgaande stallucht (in aantal per m<sup>3</sup> lucht) in de verschillende deeltjesgrootteklassen bij bemonstering met een Andersen bio-sampler. Voor *Coxiella burnetii* en *Salmonella* is aangegeven hoeveel monsters positief waren. De hoeveelheid bemonsterde lucht per monster was 0,57 m<sup>3</sup>.<sup>1)</sup>

	N	Deeltjesgrootte range (µm)					
		0,65 - 1,1	1,1 - 2,1	2,1 - 3,3	3,3 - 4,7	4,7 - 7,1	>7,1
<b>Bedrijf 1</b>							
<i>C. burnetii</i> <sup>2)</sup> , pos.	4	0	0	0	0	0	0
Totaal kiemgetal	4	6,8·10 <sup>2</sup>	4,9·10 <sup>3</sup>	1,4·10 <sup>4</sup>	4,0·10 <sup>4</sup>	6,5·10 <sup>4</sup>	2,2·10 <sup>5</sup>
<i>Staphylococcus</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Enterococcus</i>	2	0	0	0	1,2·10 <sup>3</sup>	6,9·10 <sup>3</sup>	4,2·10 <sup>4</sup>
<i>Enterobacteriaceae</i>	4	0	0	0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i> , pos.	4	0	0	0	0	0	0
<b>Bedrijf 2</b>							
<i>C. burnetii</i> <sup>2)</sup> , pos.	4	0	0	0	0	0	0
Totaal kiemgetal	4	4,8·10 <sup>2</sup>	9,0·10 <sup>1</sup>	9,1·10 <sup>2</sup>	9,5·10 <sup>2</sup>	9,0·10 <sup>3</sup>	1,0·10 <sup>5</sup>
<i>Staphylococcus</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Enterococcus</i>	2	0	0	0	0	0	6,9·10 <sup>2</sup>
<i>Enterobacteriaceae</i>	4	0	0	0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i> , pos.	4	0	0	0	0	0	0

<sup>1)</sup> Een nul in deze tabel betekent dat de kiem niet aangetoond kon worden. De detectielimiet van een monsternaam met de Andersen was 1,1·10<sup>1</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht, behalve voor *C. burnetii* waar de detectielimiet 5,3·10<sup>2</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht was en behalve voor *Escherichia coli*, *Staphylococcus* en *Enterococcus* waar de detectielimiet 1,1·10<sup>2</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht was. Bij het berekenen van een gemiddelde is een nul gebruikt wanneer de kiem niet aangetoond kon worden in een monster.

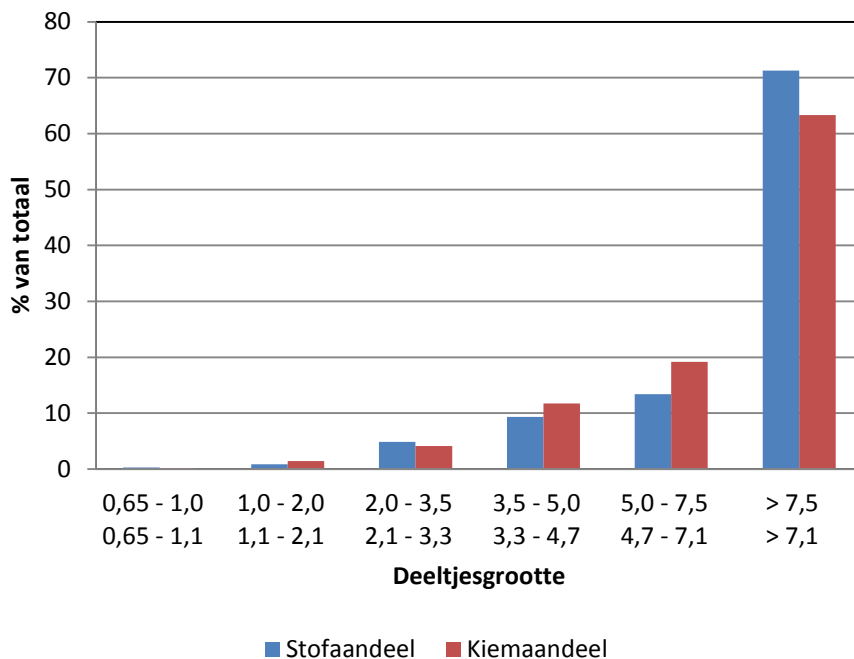
<sup>2)</sup> *Coxiella burnetii*

**Tabel 11** Aantal positieve stofmonsters voor *Coxiella burnetii* van de uitgaande (stal) en ingaande (buiten) stallucht voor totaal-, PM10 en PM2,5 stof.<sup>1)</sup>

Bedrijf	Stofdeeltjes	m <sup>3</sup> lucht <sup>1)</sup>	Detectielimiet (kiemen/m <sup>3</sup> lucht)	<i>Coxiella burnetii</i> , positief	
				Stal (N=8)	Buiten (N=4)
1	Totaalstof	2,88	17,0	6	1
1	PM10	24	7,2	2	1
1	PM2,5	24	7,2	1	1
2	Totaalstof	2,88	17,0	4	0
2	PM10	24	7,2	2	1
2	PM2,5	24	7,2	2	1

<sup>1)</sup> Hoeveelheid bemonsterde lucht per monster.

In figuur 12 is de verdeling uitgezet van het aandeel stof (in massa) en het aandeel kiemen (in aantallen) in de verschillende deeltjesgrootteklassen. Hieruit blijkt dat het aantal kiemen redelijk evenredig met het aandeel stof is verdeeld over de verschillende deeltjesgrootteklassen.



**Figuur 12** Verdeling van stofdeeltjes (% van totale massa) en kiemen (% van totale aantal) over de verschillende deeltjesgrootteklassen. De deeltjesgrootteklassen zijn voor stof (bovenste rij) niet helemaal gelijk aan die van de kiemen (onderste rij).

### 3.6 Overige emissies

In tabel 12 worden de concentraties, ventilatiedebiet en emissies van ammoniak, geur, methaan en lachgas weergegeven op de verschillende meetdagen en voor de twee bedrijven. In Bijlage E worden de ammoniakconcentraties en -emissies en het ventilatiedebiet (uurgemiddelden) tijdens de metingen voor beide bedrijven grafisch weergegeven.

De gemiddelde ammoniakemissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was lager op bedrijf 1 (1,9 kg/dierplaats per jaar) dan op bedrijf 2 (2,6 kg/dierplaats per jaar). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde ammoniakemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $2,3 \pm 0,5$  kg/dierplaats per jaar.

De gemiddelde geuremissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was hoger op bedrijf 1 (8,0  $OU_E$ /dierplaats per s) dan op bedrijf 2 (2,9  $OU_E$ /dierplaats per s). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde geuremissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $4,8 \pm 3,6$   $OU_E$ /dierplaats per s.

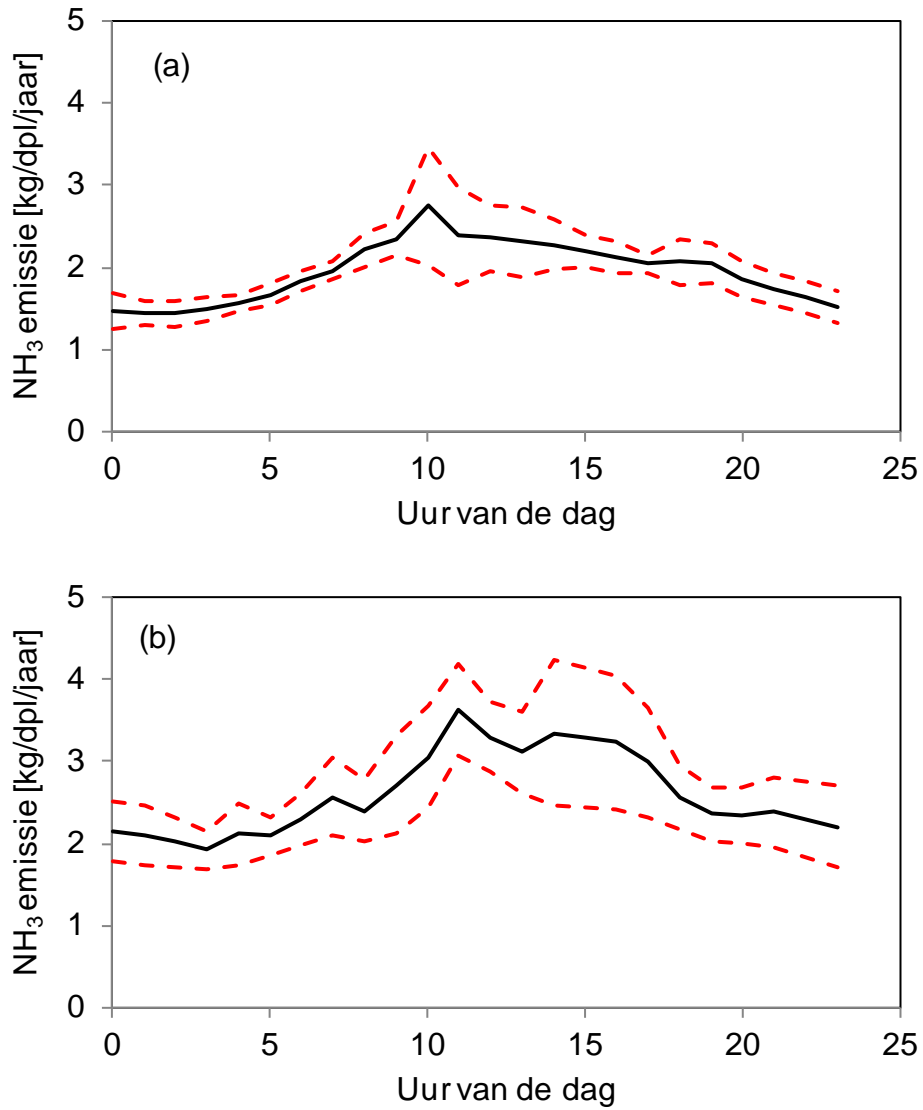
De gemiddelde methaanemissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was hoger op bedrijf 1 (10,1 kg/dierplaats per jaar) dan op bedrijf 2 (8,8 kg/dierplaats per jaar). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde methaanemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $9,4 \pm 0,9$  kg/dierplaats per jaar. De gemiddelde lachgasemissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) was hoger op bedrijf 1 (210,4 g/dierplaats per jaar) dan op bedrijf 2 (125,5 g/dierplaats per jaar). Op basis van alle meetgegevens werd een gemiddelde lachgasemissie ( $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend van  $167,9 \pm 60,0$  g/dierplaats per jaar.



**Tabel 12** Concentratie, ventilatiedebiet en emissie van ammoniak, geur, methaan en lachgas op de verschillende meetdagen voor de twee bemeten bedrijven met melkgeiten.

Bedrijf		Meting				
		1	2	3	4	
1	Datum	03/11/2010	13/12/2010	26/01/2011	21/02/2011	
	Debiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	192,2	42,5	40,8	49,2	
	Debiet [m <sup>3</sup> /uur]	75746	16237	14770	17716	
	NH <sub>3</sub> stal [ppm]	2,19	9,43	9,26	9,16	
	NH <sub>3</sub> buiten [ppm]	0,06	0,05	0,06	0,09	
	NH <sub>3</sub> emissie [kg/dierplaats per jaar]	2,1	1,8	1,8	2,1	
	Geur [OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ]	280	520	531	546	
	Geur emissie [OU <sub>E</sub> /s per dierplaats]	16,2	6,0	5,7	7,2	
	CH <sub>4</sub> stal [ppm]	14,09	47,54	61,73	45,71	
	CH <sub>4</sub> buiten [ppm]	1,85	1,84	2,32	2,81	
	CH <sub>4</sub> emissie [kg/dierplaats per jaar]	11,3	9,0	10,7	9,3	
	N <sub>2</sub> O stal [ppm]	0,52	0,39	0,51	0,65	
	N <sub>2</sub> O buiten [ppm]	0,27	0,36	0,43	0,43	
	N <sub>2</sub> O emissie [g/dierplaats per jaar]	650	19	42	130	
	2	Datum	15/12/2010	24/01/2011	14/02/2011	07/03/2011
		Debiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	73,1	81,7	81,9	88,2
		Debiet [m <sup>3</sup> /uur]	41109	44192	43081	45927
		NH <sub>3</sub> stal [ppm]	7,67	7,70	8,35	8,27
		NH <sub>3</sub> buiten [ppm]	0,20	0,07	0,22	0,13
NH <sub>3</sub> emissie [kg/dierplaats per jaar]		2,4	2,5	2,8	2,7	
Geur [OU <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ]		218	104	96	95	
Geur emissie [OU <sub>E</sub> /s per dierplaats]		6,2	2,0	2,3	2,4	
CH <sub>4</sub> stal [ppm]		31,90	28,66	27,31	27,75	
CH <sub>4</sub> buiten [ppm]		2,47	2,83	3,42	2,60	
CH <sub>4</sub> emissie [kg/dierplaats per jaar]		9,4	8,9	8,0	9,0	
N <sub>2</sub> O stal [ppm]		0,39	0,38	0,43	0,49	
N <sub>2</sub> O buiten [ppm]		0,29	0,32	0,26	0,28	
N <sub>2</sub> O emissie [g/dierplaats per jaar]		86	60	149	207	

In Figuur 13 wordt het gemiddeld emissiepatroon van ammoniak over de loop van een meetdag (24 uur) op de twee verschillende bedrijven weergegeven. Uit figuur 13 blijkt dat de ammoniakemissie overdag hoger was dan 's nachts. Op beide bedrijven is een emissiepiek rond 10.00 uur te zien, op beide bedrijven werd rond deze tijd gevoerd. De combinatie van een hoger ventilatiedebiet door openen van de grote deuren en verhoging van de dieractiviteit veroorzaakt waarschijnlijk de emissiepiek in het dagpatroon. Het dagemissiepatroon op bedrijf 2 laat een tweede emissiepiek zien rond 15.00 uur. Voor deze emissiepiek kan geen duidelijke verklaring worden gegeven.



**Figuur 13** Gemiddeld emissiepatroon van ammoniak over de loop van een meetdag voor (a) bedrijf 1 en (b) bedrijf 2.

## 4 Discussie

Dit onderzoek is uitgevoerd in een koude periode van het jaar, van november tot maart. De gemiddelde buitentemperaturen ( $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) tijdens de meetdagen waren dan ook beduidend lager dan het langjarig gemiddelde in Nederland ( $10,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), en ook lager dan het langjarige gemiddelde over de gemeten meetperiode ( $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Dit betekent dat de resultaten van dit onderzoek niet geheel representatief zijn voor de situatie over een heel jaar. Bij hogere buitentemperaturen neemt het ventilatiedebiet toe en stijgt de staltemperatuur. Een hoger ventilatiedebiet geeft in het algemeen een hogere fijnstofemissie (Gustafsson, 1997, 1999) en daarmee waarschijnlijk ook een hogere emissie van het aantal (ziekte)kiemen. Een hogere staltemperatuur zal een snellere droging geven van potentiële stofbronnen zoals ruwvoer en mest. Dit kan een verhoging geven van de stofproductie uit deze bronnen. Uit onderzoek in melkveestallen, die qua ventilatiesysteem vergelijkbaar zijn met geitenstallen, werden in de zomermaanden hogere emissies gevonden van totaalstof en PM10-stof dan in de wintermaanden (Mosquera et al., 2010). In voornoemd onderzoek werd tevens een hogere ammoniakemissie gevonden tijdens de zomermaanden, terwijl de emissies van geur, methaan en broeikasgassen geen duidelijk patroon gedurende het jaar lieten zien.

Vanwege ruimingen van geiten als gevolg van de Q-koorts problematiek waren beide stallen in het onderzoek onderbezet. De bezettingsgraad tijdens de metingen varieerde op bedrijf 1 van 75 tot 82% en op bedrijf 2 van 70 tot 75%. Alle emissiecijfers in dit onderzoek zijn gebaseerd op het aantal dierplaatsen in de stal, dus niet op het aantal werkelijk in de stal aanwezige dieren. Dit is de standaard procedure voor het rapporteren van emissiecijfers. De vraag is wat voor effect de bezettingsgraad heeft op de verschillende emissies. Dit is uitgewerkt in een rapport van Groenestein en Aarnink (2008). In dit rapport wordt aangegeven dat de emissies van ammoniak, methaan, geur en fijnstof zullen dalen bij een lagere bezettingsgraad. In welke mate deze emissies worden verlaagd wordt echter niet vermeld in voornoemd rapport. De mate van emissieverlaging bij onderbezetting is verschillend voor elk van de emitterende componenten; daarnaast is het tevens diersoort afhankelijk. De verwachting is dat voor geitenstallen de emissies van stof en methaan vrijwel recht evenredig zullen afnemen met de bezettingsgraad. Het meeste stof wordt geproduceerd uit mest, strooisel en voer. De hoeveelheden van deze bronnen zijn direct gerelateerd aan het aantal dieren. Daarnaast wordt het stof vooral door dieractiviteit in de lucht wordt gebracht en dit is ook direct gerelateerd aan het aantal dieren. Methaan wordt vooral door de geiten zelf geproduceerd (endogeen) en daarmee ook direct gerelateerd aan het aantal dieren. De ammoniakemissie is vooral gerelateerd aan het emitterend oppervlak. Het emitterend oppervlak wordt bepaald door het oppervlak van de pot en door het aantal urinelozingen. Het eerste is niet afhankelijk van het aantal dieren, het tweede wel. De ammoniakemissie zal daarom niet evenredig afnemen met het aantal dieren. De geuremissie wordt voor een deel bepaald door het emitterend oppervlak, en voor een deel door het volume van geur emitterende bronnen (vooral de mest). De geuremissie zal daarom niet evenredig afnemen met het aantal dieren. In het geval van geitenstallen speelt het aantal bokken mogelijk ook een rol, dit komt later in de discussie aan de orde.

In Tabel 13 worden de in dit onderzoek gemeten emissiecijfers weergegeven voor de twee bemeten bedrijven met melkgeiten. Voor melkgeiten is er vrijwel geen leegstand en daarom hoeven de emissies, berekend op jaarbasis, niet gecorrigeerd te worden voor leegstand (Groenestein en Aarnink, 2008). Ter vergelijking zijn de gehanteerde reguliere emissiefactoren voor ammoniak (Rav; Regeling ammoniak en veehouderij), geur (Rgv; Regeling geur en veehouderij) en PM10 (emissielijst op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)) weergegeven. Bij de vergelijking moet in acht worden genomen dat de huidige metingen gedurende een koude periode van het jaar (najaar en winter) zijn uitgevoerd.

**Tabel 13** Gemiddelde emissies van totaalstof, PM10, PM2,5, ammoniak, geur, methaan en lachgas van de twee bemeten bedrijven met melkgeiten, uitgedrukt per dierplaats, en gehanteerde reguliere emissiefactoren ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl))

Emissie	Waarde huidige metingen	Gehanteerde emissiefactoren
Totaalstof (g/dierplaats per jaar)	68,8 ± 55,9	-
PM10 (g/dierplaats per jaar)	22,4 ± 14,7	19,0
PM2,5 (g/dierplaats per jaar)	1,02 ± 0,02	-
Ammoniak (kg/dierplaats per jaar)	2,3 ± 0,5	1,9
Geur (OU <sub>E</sub> /dierplaats per s)	4,8 ± 3,6	18,8
Methaan (kg/dierplaats per jaar)	9,4 ± 0,9	-
Lachgas (g/dierplaats per jaar)	167,9 ± 60,0	-

Uit Tabel 13 kan opgemaakt worden dat de huidige metingen vergelijkbare PM10-emissiecijfers laten zien ten opzichte van de gehanteerde waarden. Dit is opvallend, aangezien de emissiefactor voor melkgeiten rechtstreeks is afgeleid van de emissiefactor voor vleesstieren. Bij melkgeiten wordt veel stro toegepast in de potstal, terwijl in de onderzochte stallen voor vleesstieren geen stro(oisel) werd gebruikt (Groot Koerkamp et al., 1996). Het is aannemelijk dat tijdens de zomerperiode de stofemissies wel hoger zullen liggen dan de huidige emissiefactor. In dit onderzoek werd een conversiefactor tussen totaalstof- en PM10-concentraties berekend van 0,32. Dit is lager dan de waarde (0,45) die is beschreven door Chardon en Van der Hoek (2002), maar hoger dan die gemeten in rundveestallen (0,17) (Mosquera et al., 2010). Chardon en Van der Hoek (2002) hanteren een conversiefactor tussen totaalstof- en PM2,5-concentratie van 0,08. Dit is vergelijkbaar met de waarde die gevonden werd in dit onderzoek, namelijk 0,07 en gelijk aan de waarde gevonden voor melkvee (Mosquera et al., 2010). Op emissieniveau is de conversiefactor tussen totaalstof- en PM10-emissies 0,33, en tussen totaalstof- en PM2,5-emissies 0,01.

Opvallend is het grote verschil in emissies van totaalstof en PM10-stof tussen beide bedrijven. Uit de resultaten van de bijdrage van de verschillende stofbronnen blijkt dat op bedrijf 1 60% van het aantal deeltjes tussen 2,5 en 10 µm afkomstig was van ruwvoer en stro, terwijl dit maar 20% was op bedrijf 2. Op bedrijf 2 kwamen in deze deeltjesgrootterange relatief veel deeltjes van buiten. Op bedrijf 1 werd naast snijmaïs tevens gedroogde luzerne en geplette tarwe gevoerd. Deze producten hebben waarschijnlijk een relatief hoge stofproductie gegeven. Daarnaast werd op bedrijf 1 de pot dagelijks ingestrooid en op bedrijf 2 om de dag. Het instrooien veroorzaakt extra stofontwikkeling, maar daarnaast beïnvloedt dit tevens het vochtgehalte van de stromest in de pot, waardoor verschillen in stofproductie kunnen ontstaan. Verder zou de stofproductie beïnvloed kunnen zijn door verschillen in strokwaliteit.

De gemiddelde ammoniakemissie op basis van de huidige najaars- en wintermetingen is vergelijkbaar met de huidige emissiefactor voor ammoniak zoals opgenomen in de Rav. Op bedrijf 1 was de ammoniakemissie lager dan op bedrijf 2 (1,9 versus 2,6 kg/dierplaats per jaar). Oorzaken van deze verschillen moeten waarschijnlijk vooral gezocht in verschillen in het instrooien van de pot (dagelijks versus om de dag) en verschillen in voeding (ruwvoer / krachtvoer), voersamenstelling en klimatisering. Voor geur ligt het gemiddelde van de huidige metingen beduidend lager dan de huidige emissiefactor in de Rgv. Dit is des te opvallender, aangezien in eerder onderzoek geen verschil in geuremissie tussen de zomer en de winter werd aangetoond (Huis in 't Veld et al., 2002). In voorgaand onderzoek was er echter ook een duidelijk verschil in bezettingsgraad tussen de zomer- en wintermetingen. Dit kan mogelijke verschillen hebben gemaskeerd. De lage geuremissie in het huidige onderzoek zou veroorzaakt kunnen zijn door het relatief geringe aantal bokken in de stal. Tijdens de metingen waren er op bedrijf 1 drie bokken in de stal op gemiddeld 372 geiten, behalve tijdens de laatste meetdag waarop geen enkele bok aanwezig was. Op bedrijf 2 waren steeds 3 bokken aanwezig op gemiddeld 375 melkgeiten en 158 opfokgeiten. Bij een normale bedrijfsvoering, niet beïnvloed door de Q-koorts problematiek, zouden dit ca. 8 tot 12 bokken moeten zijn (1 bok op 30 – 60 geiten).

De najaars- en wintermetingen in dit onderzoek laten een gemiddelde methaanemissie (9,4 ± 0,9 kg/dierplaats per jaar) zien die hoger is dan de waarden (5,9 kg/dier per jaar) gepubliceerd in de Netherlands Inventory Report 2009 (NIR2009; Maas et al., 2009). De gemiddelde lachgasemissie (167,9 ± 60,0 g/dierplaats per jaar) is beduidend lager dan de waarden (469 g/dierplaats per jaar) gerapporteerd in Maas et al. (2009).

Aangezien geiten in een aantal aspecten vergelijkbaar zijn met melkkoeien, beiden zijn herkauwers en produceren melk, is een vergelijking gemaakt in emissies tussen beide diercategorieën. Een belangrijk verschil tussen beide diercategorieën is de huisvesting. Melkgeiten worden op stro in een potstal gehouden, terwijl melkkoeien in het algemeen op een roostervloer lopen met daaronder een mestkelder. Om deze diercategorieën op een vergelijkbare schaal te brengen zijn de emissies omgerekend naar metabolisch gewicht. Dit is het gewicht van een dier tot de macht  $3/4$  ( $\text{kg}^{3/4}$ ). Hierbij is uitgegaan van een gemiddeld gewicht van een melkgeit van 75 kg en een gemiddeld gewicht van een melkkoe van 600 kg. In tabel 14 zijn de resultaten van deze vergelijking weergegeven. Opvallend in deze tabel zijn de relatief lage emissies bij melkgeiten van totaalstof, PM<sub>2,5</sub> en methaan en de relatief hoge emissie van lachgas. Bij melkgeiten ligt de PM<sub>10</sub> emissie relatief iets lager dan bij melkkoeien, terwijl de ammoniakemissie zeer vergelijkbaar is. De relatief lage stofemissies bij melkgeiten is moeilijk te verklaren, zeker gezien het feit dat de bijdrage van de verschillende stofbronnen zeer vergelijkbaar zijn bij beide diercategorieën. De relatief lage methaanemissie bij melkgeiten houdt waarschijnlijk verband met een verschil in metabolisme tussen melkgeiten en melkkoeien. De relatief hoge lachgasemissie uit geitenstallen is te verklaren door het verschil in mestopslag, in de pot bij melkgeiten en in de mestkelder bij melkkoeien. Onder anaerobe omstandigheden van mest in een mestkelder ontstaat vrijwel geen lachgas, terwijl dit in stro(oisel)mest wel wordt gevormd (Groenestein en Van Faassen, 1996). Wanneer de broeikasgassen methaan en lachgas worden omgerekend naar CO<sub>2</sub> equivalenten stoot een melkgeit op basis van metabolisch gewicht 2,8 maal minder broeikasgassen uit dan een melkkoe.

**Tabel 14** Vergelijking van de emissies uit stallen voor melkgeiten en melkkoeien<sup>1)</sup> per kg metabolisch gewicht ( $\text{kg}^{3/4}$ )<sup>2)</sup>

Emissie ( $\text{g}/\text{kg}^{3/4}$ )	Melkgeit	Melkkoe	Verhouding geit/koe
Totaalstof	2,7	32,2	0,08
PM <sub>10</sub>	0,88	1,22	0,72
PM <sub>2,5</sub>	0,040	0,335	0,12
Ammoniak	90,2	90,7	0,99
Methaan	365	1169	0,31
Lachgas	6,57	1,86	3,53

<sup>1)</sup> Gegevens uit Mosquera et al., 2010; voor ammoniak is de gehanteerde reguliere emissiefactor genomen uit de Rav ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl))

<sup>2)</sup> Metabolisch gewicht melkgeit :  $25,5 \text{ kg}^{3/4}$ ; metabolisch gewicht melkkoe:  $121,2 \text{ kg}^{3/4}$

Het verloop van de PM<sub>10</sub>-concentratie over de dag laat geen eenduidig beeld zien. Op beide bedrijven is een verhoging te zien gedurende de morgen, waarbij op bedrijf 1 een duidelijke piek zichtbaar is rond 10:00 uur (figuur 8). Deze piek zou verklaard kunnen worden door het instrooien van de potten, echter deze piek was slechts op één van de 4 meetdagen goed zichtbaar. De kwaliteit van het strooisel zou weleens een belangrijke factor kunnen zijn bij het al dan niet vinden van een piek in de PM<sub>10</sub> concentratie rond het instrooien van de potten. Dat stofconcentraties niet duidelijk lager zijn gedurende de nacht ten opzichte van de dag laat zien dat de dieren ook 's nachts actief zijn. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld vleeskuikens en leghennen, waar veel grotere verschillen tussen dag en nacht worden waargenomen (Aarnink et al., 2008; De Buissonjé et al., 2009).

De deeltjesgrootteverdeling bij melkgeiten lijkt zeer sterk op die van melkvee (Aarnink et al., 2011). Zoals ook in voornoemd onderzoek is geconcludeerd, blijkt ook uit dit onderzoek dat de kleine deeltjes ( $< 1,0 \mu\text{m}$ ) vooral van buiten komen en dat de grotere deeltjes ( $> 2,5 \mu\text{m}$ ) vooral in de stal worden geproduceerd. De deeltjes tussen deze grenzen in ( $1,0 - 2,5 \mu\text{m}$ ) lijken op bedrijf 2 vooral van buiten te komen en op bedrijf 1 vooral in de stal te worden geproduceerd. Het groter aantal deeltjes gemeten in de buitenlucht op bedrijf 2 zou veroorzaakt kunnen zijn door kleine vochtige aerosolen (kleine druppeltjes). Op 3 van de 4 meetdagen op bedrijf 2 was het erg vochtig weer (tabel 3).

De herkomst van het stof in de geitenstallen lijkt ook sterk op die van melkvee (Aarnink et al., 2011). Bij melkvee was relatief veel stof afkomstig van stro en zaagsel. Bij geiten wordt geen zaagsel gebruikt, maar zie je een belangrijke bijdrage van het stro in het aantal stofdeeltjes en een nog belangrijker aandeel in de massa stofdeeltjes, voor zowel PM<sub>2,5</sub> als PM<sub>2,5-10</sub>. Aangezien *C. burnetii* vooral vrijkomt bij abortussen en geboortes en (in mindere mate) via de mest, zal deze bacterie waarschijnlijk vooral in het strostof en in het meststof voorkomen. Deze stofbronnen leveren de grootste bijdrage aan het stof in de lucht, met een vastgestelde bijdrage van 78% aan PM<sub>2,5</sub> stof en 65% aan PM<sub>2,5-10</sub> stof.

Uit de bepaling van de verschillende kiemen blijkt dat de concentraties *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae* en *Escherichia coli* allemaal nul waren, terwijl er in de monsters geen *Salmonella* kon worden aangetoond. Nul betekent dat deze bacteriën niet aangetoond konden worden in het verzamelde monster en dat de concentratie in de lucht beneden de detectielimiet was van de bemonsteringsmethode. Het is vooral opvallend dat we geen *Enterobacteriaceae* aantreffen in de monsters. Deze orde van bacteriën bevatten de belangrijkste gram-negatieve bacteriën zoals *Escherichia coli* en *Salmonella*. Het is daarom niet verwonderlijk dat deze laatste twee ook niet werden aangetroffen in de monsters. In onderzoek van Seedorf et al. (1998) in verschillende pluimvee-, varkens- en melkveestallen in Noord-Europa werden *Enterobacteriaceae* concentraties gevonden variërend van 3 – 4 log<sub>10</sub>. Aangezien endotoxinen ontstaan uit de celwand van dode gram-negatieve bacteriën is de verwachting dat de concentraties endotoxinen in de stallucht relatief laag zijn geweest.

De Andersen liet gemiddeld een iets hoger totaal kiemgetal zien dan de impinger (respectievelijk 2,3·10<sup>5</sup> en 1,9·10<sup>5</sup> kiemen/m<sup>3</sup> lucht). De *Enterococcus* concentratie was bij monsternamen met de Andersen ca. 2,5 maal hoger dan bij monsternamen met de impinger (respectievelijk 2,5·10<sup>4</sup> en 1,0·10<sup>4</sup> kiemen/m<sup>3</sup> lucht). Tijdens de monsternamen waren er enkele keren problemen met bevroering/stolling van de vloeistof in de impingers. Dit probleem trad al op bij temperaturen ruim boven de 0°C. Dit kan een oorzaak zijn van de iets lager gemeten concentraties met de impingermethode. Het probleem van bevroering/stolling is opgelost door de impingers tijdens de monsternamen licht te verwarmen. Het totaal kiemgetal gevonden in dit onderzoek is ca. 1,0 log<sub>10</sub> hoger dan werd gevonden in verschillende melkveestallen in verschillende Noord-Europese landen, waaronder Nederland (Seedorf et al., 1998).

Uit de verdeling van de massa stofdeeltjes over de verschillende deeltjesgrootte klassen en de verdeling van het aantal (totaal) kiemen over de verschillende deeltjesgrootteklassen zou voorzichtig geconcludeerd kunnen worden dat het totale aantal kiemen zich redelijk evenredig met de massa stof verdeelt over de verschillende klassen (figuur 12).

*Coxiella burnetii* werd slechts in één van alle luchtmonsters genomen met de impinger (2x8 monsters in de stal en 2x4 monsters buiten de stal) aangetoond en in geen enkel monster genomen met de Andersen (2x4 monsters in de stal). De totaalstof monsters genomen in de stal waren op bedrijf 1 in 6 van de 8 monsters positief waren en op bedrijf 2 in 4 van de 8 monsters. Dit verschil is waarschijnlijk vooral veroorzaakt door een verschil in detectielimiet. De detectielimiet was voor de impinger 2,8·10<sup>3</sup> en voor de Andersen 5,3·10<sup>2</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht. Dit is een factor 154, voor de impinger, en een factor 29, voor de Andersen, hoger dan voor totaalstof, met een detectielimiet van 1,8·10<sup>1</sup>. Dit verschil in detectielimiet werd aan de ene kant veroorzaakt door het geringere luchtvolume dat werd bemonsterd met de impinger en de Andersen, respectievelijk 0,25 en 0,57 m<sup>3</sup> lucht, ten opzichte van 2,88 m<sup>3</sup> lucht voor totaalstof en aan de andere kant doordat slechts een gering deel van het oorspronkelijke monster werd gebruikt voor de analyse, namelijk 0,2 ml van de ca. 14 ml bij de impinger en 0,2 ml van de ca. 6 ml bij de Andersen. Van het filter van het totaalstof monster werd ca. 1/5 deel (0,6 cm<sup>2</sup>) gebruikt voor de analyse.

Wanneer *C. burnetii* zich evenredig zou verspreiden binnen de verschillende deeltjesgrootteklassen van het stof, gebaseerd op de massaverdeling van het stof over de verschillende klassen, dan kan voor PM10 en PM2,5 stofmonsters een schatting worden gemaakt van de verwachtingswaarde van de concentraties, gebaseerd op het gemeten aantal positieve monsters bij totaalstof. Het volume bemonsterde lucht voor PM10 en PM2,5 is 24 m<sup>3</sup> en het aandeel PM10 en PM2,5 stof in totaalstof is respectievelijk 32% en 7% (zie par. 3.2). Het stofoppervlak van PM10 en PM2,5 filters hebben een diameter van 40 mm, terwijl het filter voor totaalstof een stofdiameter heeft van 20 mm. Van beide typen filters is ca. 0,6 cm<sup>2</sup> gebruikt voor analyse van *C. burnetii*. Op basis van deze informatie kunnen we berekenen dat de concentratie kiemen in de uiteindelijk te analyseren vloeistof (0,2 ml) voor PM10 stof 0,75 maal die voor totaalstof is en voor PM2,5 stof 0,17 maal die voor totaalstof. Het hangt van de variatie in kiemconcentratie en de frequentieverdeling van de kiemconcentratie af hoeveel positieve monsters dit voor PM10 en PM2,5 naar verwachting zou moeten opleveren. Het werkelijk aantal positieve monsters voor PM10 was een factor 0,4 van die van totaalstof en voor PM2,5 was deze factor 0,3 van die van totaalstof. Wanneer deze gevonden aantallen worden vergeleken met de berekende verwachte concentraties, geeft dit geen indicatie dat *C. burnetii* meer in één van de stoffracties voorkomt.

Vanwege de analysemethode van *C. burnetii*, waarbij deze bacterie wordt aangetoond middels herkenning van een stukje DNA met behulp van PCR (*Polymerase Chain Reaction*) technieken, is het niet mogelijk om aan te geven of de bacteriën in de monsters al dan niet levensvatbaar (infectieus) zijn. Zoals in de Inleiding reeds is aangegeven is *C. burnetii* zeer resistent tegen externe invloeden. Daarom is het zeer aannemelijk dat de aangetoonde *C. burnetii* bacteriën in dit onderzoek levensvatbaar zijn (pers. med. H.I.J. Roest, april 2011).

Bij een positief monster is de concentratie in de lucht minimaal gelijk aan de detectielimiet en andersom geldt dat bij een negatief monster de concentratie maximaal gelijk is aan de detectielimiet. Voor totaalstof was de detectielimiet voor *C. burnetii* 18 kiemen/m<sup>3</sup> lucht. De exacte concentraties kiemen in de uitgaande stallucht kunnen niet worden aangegeven, maar lagen waarschijnlijk niet veel hoger dan de detectielimiet voor totaalstofmonsters (18 kiemen/m<sup>3</sup> lucht), aangezien een aantal van deze monsters negatief was. Om een beetje gevoel te krijgen voor deze concentraties proberen we een inschatting te maken van het aantal kiemen die in de lucht kunnen voorkomen bij een klinische *C. burnetii* infectie. Hiervoor hanteren we de volgende uitgangspunten: een geitenstal met 500 melkgeiten; een ventilatiehoeveelheid van 100 m<sup>3</sup>/uur per geit; 0,1 gram placenta(vloeistof) met 10<sup>8</sup> *C. burnetii* kiemen verstoofd in de lucht gedurende één dag in de gehele stal; dit komt overeen met ca. 1 promille (‰) van de dagelijkse totaalstof emissie uit de stal. Op basis van deze uitgangspunten bedraagt de concentratie *C. burnetii* in de uitgaande stallucht 83,3 kiemen/m<sup>3</sup> lucht. Deze berekening toont aan dat slechts een geringe hoeveelheid placenta(vloeistof) hoeft te verstoffen om een vrij groot aantal *C. burnetii* in de uitgaande stallucht te verkrijgen. Dit zou kunnen betekenen dat er tijdens abortusuitbraken ten gevolge van *C. burnetii*, zoals die van 2005 tot 2009 hebben plaatsgevonden, relatief grote hoeveelheden bacteriën zijn geëmitteerd. Deze hoeveelheden variëren echter sterk in de tijd en de concentraties in de lucht zullen vooral afhangen van het aantal dieren dat aborteert en daarmee van de hoeveelheid kiemen die worden uitgescheiden door de dieren en van de omgevingsfactoren die het verstoffen van de placentavloeistof en de opname van deze stofdeeltjes in de lucht beïnvloeden zoals ventilatiehoeveelheid, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Op basis van bovenstaande berekeningen is het voorstelbaar dat onder bepaalde 'optimale' omstandigheden grote hoeveelheden *C. burnetii* zijn geëmitteerd die gezorgd hebben voor het infecteren van voor de ziekte gevoelige personen.

Uit de detectielimieten van de impinger (2,8·10<sup>3</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht) en Andersen (5,3·10<sup>2</sup> kiemen per m<sup>3</sup> lucht) blijkt dat het met deze monsternamen- en analyseprocedure moeilijk is om *C. burnetii* in de lucht aan te tonen. De detectielimieten voor *C. burnetii* van de impinger en de Andersen zouden respectievelijk met een factor 70 en 30 omlaag gebracht kunnen worden als alle monstervloeistof zou worden gebruikt voor de analyse. De detectielimiet voor *C. burnetii* in de stofmonsters zouden voor totaalstof met een factor 5 en voor PM10 en PM2,5 stof met een factor 21 omlaag gebracht kunnen worden wanneer al het stof op het filter gebruikt zou worden voor de analyse. De detectielimiet bij alle bemonsteringsmethoden zou verder terug gebracht kunnen worden door de lucht gedurende een langere tijd te bemonsteren. Bij de impingers is de verlenging van de bemonsteringstijd gelimiteerd, aangezien er dan teveel vloeistof verdampt.

Dankzij de genomen maatregelen in de melkgeitenhouderij hebben geen grote abortusuitbraken meer plaatsgevonden. Deze maatregelen hebben echter, zoals blijkt uit de metingen, nog niet kunnen voorkomen dat de emissie van *C. burnetii* helemaal tot nul is gereduceerd. Deze emissie zou veroorzaakt kunnen worden door geringe uitscheiding van de nog aanwezige besmette dieren. Het is bekend dat vaccinatie niet optimaal werkt bij reeds besmette dieren, waardoor nog uitscheiding plaats kan vinden. Tevens is het mogelijk dat de emissie veroorzaakt wordt door nog in de stal aanwezige *C. burnetii* bacteriën die voor de maatregelen in 2009/2010 zijn uitgescheiden. Aanvullend onderzoek zou moeten uitwijzen waardoor de uitgaande stallucht nog steeds *C. burnetii* kan bevatten. De vraag hierbij is bijvoorbeeld of deze kiemen uit de mest of uit het stro afkomstig zijn.

Wanneer we de stofemissies in perspectief plaatsen dan blijken geitenbedrijven relatief weinig stof uit te stoten (zie tabel 15). Wanneer we voor bedrijven met melkgeiten, melkvee, vleesvarkens, vleeskuikens en leghennen in scharrelhuisvesting uitgaan van een aantal dieren dat door één volledige arbeidskracht (VAK) kan worden verzorgd, dan emitteren geitenbedrijven het minste stof. Mede gezien het relatief geringe aantal geitenbedrijven in Nederland kan uit deze getallen worden geconcludeerd dat geitenbedrijven slechts zeer gering bijdragen aan de (fijn)stofemissie op regionale en nationale schaal. Hierbij moet worden benadrukt dat de geitencijfers zijn gebaseerd op metingen gedurende een koude periode van het jaar (najaar en winter).

**Tabel 15** Vergelijking van de stofemissies van verschillende typen veebedrijven met een grootte van één volledige arbeidskracht (VAK)

Diercategorie	Bedrijfs grootte	Stofemissie (kg/jaar per bedrijf)		
		Totaal stof	PM10	PM2.5
geiten	500	34	11	0,5
melkvee	75	293	11	3,0
vleesvarkens	4.000	1.700	551	27,6
vleeskuikens	90.000	4.023	1.953	144,0
leghennen, scharrel	30.000	6.720	2.508	120,0



## 5 Conclusies

Op basis van de huidige metingen op twee verschillende melkgeitenbedrijven, in de periode november 2010 tot maart 2011, zijn de volgende jaaremmissies bepaald (gemiddelde emissie  $\pm$  standaarddeviatie tussen bedrijven):

- Totaalstof emissie:  $68,8 \pm 55,9$  g/dierplaats per jaar
- PM10 emissie:  $22,4 \pm 14,7$  g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie:  $1,02 \pm 0,02$  g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie:  $2,3 \pm 0,5$  kg/dierplaats per jaar
- Geuremissie:  $4,8 \pm 3,6$  OU<sub>E</sub>/dierplaats per s
- Methaanemissie:  $9,4 \pm 0,9$  kg/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie:  $167,9 \pm 60,0$  g/dierplaats per jaar

Hierbij moet worden opgemerkt dat hieruit geen emissiefactoren kunnen worden afgeleid, aangezien deze emissies niet zijn gebaseerd op metingen in alle seizoenen van het jaar. Daarnaast moet worden opgemerkt dat de emissies zijn gemeten bij een onderbezetting van de stal (vanwege de Q-koorts problematiek); de bezettingsgraad varieerde van 75 tot 82% op bedrijf 1 en van 70 tot 75% op bedrijf 2.

De voorgaande opmerkingen in acht nemende, kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van de stofemissies:

- de emissie van PM10 is vergelijkbaar met de emissiecijfers gepubliceerd op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- de conversiefactor voor totaalstof- naar PM10-concentratie (0,32) is lager dan de conversiefactor (0,45) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven. De conversiefactor tussen totaalstof- en PM10-emissie is 0,33;
- de conversiefactor voor totaalstof- naar PM2,5-concentratie (0,07) is vergelijkbaar met de conversiefactor (0,08) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven. De conversiefactor tussen totaalstof- en PM2,5-emissie is 0,01;
- er werd geen eenduidig patroon gevonden in de PM10 concentratie gedurende de dag;
- stro en mest dragen voor een belangrijk deel bij aan het stof in de uitgaande lucht van geitenstallen. *Coxiella burnetii* zal waarschijnlijk vooral in dit stof aanwezig zijn;
- gezien de relatief geringe stofemissie op bedrijfsniveau en het relatief geringe aantal bedrijven dragen geiten slechts zeer gering bij aan de (regionale en nationale) (fijn)stofemissie.

De voorgaande opmerkingen in acht nemende, kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van de gasvormige emissies:

- de gemeten ammoniakemissie in dit onderzoek is vergelijkbaar met de huidige emissiefactor voor ammoniak zoals gepubliceerd op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- de gemeten geuremissie in dit onderzoek is beduidend lager dan de huidige emissiefactor voor geur zoals gepubliceerd op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl);
- de gemeten broeikasgassen in dit onderzoek laten een hogere methaanemissie zien en een lagere lachgasemissie dan de cijfers gepubliceerd in de Netherlands Inventory Report 2009.
- uitgedrukt per kg metabolisch gewicht is bij melkgeiten de ammoniakemissie vergelijkbaar en de broeikasgasemissie (uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten) beduidend lager ten opzichte van melkkoeien.

De voorgaande opmerkingen in acht nemende, kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van emissies van (ziekte)kiemen:

- *Staphylococcus*, *Enterobacteriaceae* en *Escherichia coli* konden niet worden aangetoond in de uitgaande lucht van de bemeten geitenstallen;
- met de Andersen werd een gemiddelde concentratie kiemen (totaal kiemgetal) gemeten van  $2,3 \cdot 10^5$  kiemen per m<sup>3</sup> stallucht en een gemiddeld *Enterococcus* concentratie van  $2,5 \cdot 10^4$  kiemen per m<sup>3</sup> stallucht. Met de impingers werden iets lagere aantallen kiemen gevonden;
- in dit onderzoek is *Coxiella burnetii*, de veroorzaker van Q-koorts, in een aantal luchtmonsters aangetoond. *Coxiella burnetii* werd vooral aangetoond in monsters van totaalstof en in mindere mate in PM10 en PM2,5 stofmonsters;
- Er zijn op dit moment geen indicaties dat *Coxiella burnetii* meer voorkomt in bepaalde fracties van het stof (fijn of grof stof).

## Literatuur

- Aarnink, A. J. A., Y. Zhao, A. Dekker, en N. W. M. Ogink. 2011. Emissies van ziektekiemen uit stalgebouwen: processen, factoren en opties voor reductie. Wageningen UR Livestock Research, Concept rapport.
- Aarnink, A. J. A., M. Cambra-López, et al. (2011). Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research. Rapport 452: 22.
- Aarnink, A. J. A., J. Van Harn, T. G. Van Hattum, Y. Zhao, J. W. Snoek, I. Vermeij, en J. Mosquera. 2008. Reductie stofemissie bij vleeskuikens door aanbrengen oliefilm. Animal Sciences Group, Rapport 54. Lelystad
- Arricau-Bouvery, N., A. Souriau, C. Bodier, P. Dufour, E. Rousset, en A. Rodolakis. 2005. Effect of vaccination with phase I and phase II *Coxiella burnetii* vaccines in pregnant goats. *Vaccine* 23(35):4392-4402.
- Cambra-López, M., T. Hermosilla, A. J. A. Aarnink, en N. W. M. Ogink. 2011a. Selection of particle morpho-chemical characteristics to use in source apportionment of particulate matter from livestock houses. *Submitted to Journal of Aerosol Science*.
- Cambra-López, M., T. Hermosilla, H. T. Lai, A. J. A. Aarnink, en N. W. M. Ogink. 2011b. Particulate matter emitted from livestock houses: On-farm source identification and quantification. *Accepted for publication in Transactions of the ASABE*.
- Cambra-López, M., A. G. Torres, A. J. A. Aarnink, en N. W. M. Ogink. 2011c. Source analysis of fine and coarse particulate matter from livestock houses. *Atmospheric Environment* 45:694-707.
- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Chardon, W.J. en K.W. van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. p 35. Alterra / RIVM, Wageningen.
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- De Buissonjé, F., N. G. J. Hannink, G. Vunderink, F. Pouls, J. Mosquera Losada, en A. J. A. Aarnink. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; effect van een oliefilm op het strooisel in volièrehuisvesting voor leghennen. Animal Sciences Group, Rapport 195. Lelystad.
- 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.
- Groenestein, C. M., en H. G. Van Faassen. 1996. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *J. agric. Engng Res.* 65: 269-274.
- Groot Koerkamp, P.W.G., G.H. Uenk, en H. Drost. 1996. De uitstoot van respirabelstof door de Nederlandse veehouderij. Rapport 96-10, Instituut voor Milieu- en Agritechniek.
- Gustafsson, G. 1997. Investigations on factors affecting air pollutants in animal houses. *Ann. Agric. Environ. Med.* 4:203-215.
- Gustafsson, G. 1999. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. *J. Agric. Engng Res.* 74:379-390.
- 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.
- Huis in 't Veld, J. W. H., E. Evers, et al. (2002). Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII. Natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. Wageningen, IMAG. Rapport 2002-18: 19 pp.
- 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*.
- Maas, C.W.M. van der, P.W.H.G., Coenen, P.J. Zijlema, L.J. Brandes, K. Baas, G. van den Berghe, G.J. van den Born, B. Guis, G. Geilenkirchen, R. te Molder, D.S. Nijdam, J.G.J. Olivier, C.J. Peek, M.W. van Schijndel en S.M. van der Sluis. 2009. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2007. National Inventory Report 2009, MNP, Bilthoven, The Netherlands.
- McCaul, T. F., en J. C. Williams. 1981. Developmental cycle of *Coxiella burnetii* - Structure and morphogenesis of vegetative and sporogenic differentiations. *Journal of Bacteriology* 147(3):1063-1076.

- 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, et al. (2010, herziene versie januari 2011). Fijnstofemissie uit stallen: melkvee. Lelystad, Livestock Research. Rapport 296: 28 pp.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegeïkwaardigheid 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. en 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.
- Oyston, P. C. F., en C. Davies. 2011. Q fever: the neglected biothreat agent. *Journal of Medical Microbiology* 60(1):9-21.
- 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.
- RIVM. 2011. Q-koorts. Bilthoven: RIVM; [http://www.rivm.nl/cib/infectieziekten-A-Z/infectieziekten/Q\\_koorts/index.jsp](http://www.rivm.nl/cib/infectieziekten-A-Z/infectieziekten/Q_koorts/index.jsp).
- Roest, H. I. J., R. C. Ruuls, J. Tilburg, M. H. Nabuurs-Franssen, C. H. W. Klaassen, P. Vellema, R. van den Brom, D. Dercksen, W. Wouda, M. A. H. Spierenburg, A. N. van der Spek, R. Buijs, A. G. de Boer, P. T. J. Willemsen, en F. G. van Zijderveld. 2011a. Molecular Epidemiology of *Coxiella burnetii* from Ruminants in Q Fever Outbreak, the Netherlands. *Emerging Infectious Diseases* 17(4):668-675.
- Roest, H. I. J., J. Tilburg, W. Van der Hoek, P. Vellema, F. G. Van Zijderveld, C. H. W. Klaassen, en D. Raoult. 2011. The Q fever epidemic in The Netherlands : history, onset, response and reflection. *Epidemiology and Infection* 139(1):1-12.
- Schimmer, B., R. Ter Schegget, M. Wegdam, L. Zuchner, A. de Bruin, P. M. Schneeberger, T. Veenstra, P. Vellema, en W. van der Hoek. 2010. The use of a geographic information system to identify a dairy goat farm as the most likely source of an urban Q-fever outbreak. *Bmc Infectious Diseases* 10.
- Seedorf, J., J. Hartung, M. Schroder, K. H. Linkert, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, en C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1):97-109.
- Tigertt, W. D., A. S. Benenson, en W. S. Gochenour. 1961. AIRBORNE Q FEVER. *Bacteriological Reviews* 25(3):285-&.
- www.infomil.nl. <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak-en/regeling-ammoniak/stalbeschrijvingen/map-staltypen/hoofdcategorie-1/>. Benaderd op 10 juni 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 Ouwkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.
- Zhang, Y. H. 2004. *Indoor air quality engineering* CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Doornenbal, T. T. T. Huynh , P. W. G. Groot Koerkamp, M. C. M. De Jong, en W. J. M. Landman. 2011a. Investigation on the Efficiencies of Bioaerosol Samplers for Collecting Aerosolized Bacteria Using a Fluorescent Tracer. I: Effects of Non-sampling Processes on Bacterial culturability. *Aerosol Science and Technology* 54:423-431.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Doornenbal, T. T. T. Huynh , P. W. G. Groot Koerkamp, W. J. M. Landman, en M. C. M. De Jong. 2011b. Investigation on the Efficiencies of Bioaerosol Samplers for Collecting Aerosolized Bacteria Using a Fluorescent Tracer. II: Sampling Efficiency, and Half-life Time. *Aerosol Science and Technology* 45:432-442.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, en P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. *Aerosol Science* 40: 868 -- 878

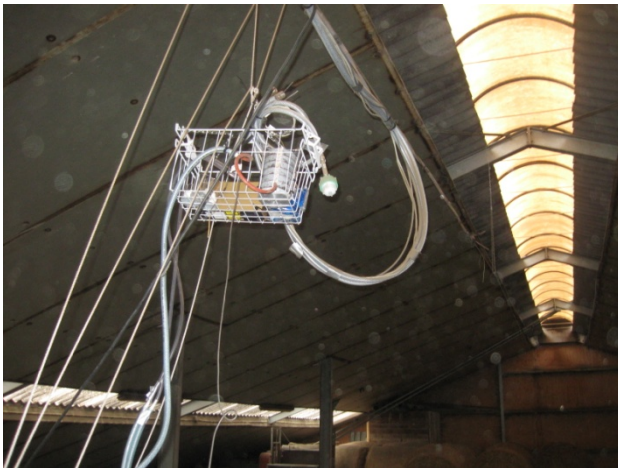


## Bijlagen

### Bijlage A Bedrijf 1



Op deze foto die vanaf de voorraadzolder voor stro midden in de stal is genomen is 1 van de 4 potten zichtbaar, een pak stro dat in de voerruif ligt en de inlaatopening aan één van de zijden van de stal. De foto is genomen tijdens het voeren. Er ligt nog geen voer op de voergang.



Op deze foto die ook vanaf de voorraadzolder voor stro is genomen is de nok van de stal zichtbaar waar de meeste stallucht als uitgaande lucht door naar buiten gaat. Daarnaast is de meting aan de ziektekiemen en stofverdeling tijdens de uitvoering zichtbaar. In het mandje worden de verschillende monsternameapparaten via katrollen in de uitgaande luchtstroom gehangen.



Op deze foto is de openpadlaser zichtbaar (zwart apparaat op de voorgrond). Recht tegenover de laser hangt een aluminiumplaat die het uitgezonden laserlicht weerkaatst. Met de laser in de stal werd de  $\text{NH}_3$ -concentratie gemeten. In het verlengde van de stal ongeveer ter hoogte van de voorraadzolder voor stro zijn de cyclonen voor de fijnstofmetingen zichtbaar. Aan beide zijde van deze zolder was een meetpunt voor fijnstof maar ook voor totaalstof, broeikasgassen, geur en  $\text{NH}_3$ .



Monstername van fijnstof mbv cyclonen en de dusttrack van de buitenlucht (= ingaande lucht van de stal). Deze monstername werd in de buurt van de ventilatieopening aan de zijwand van de stal uitgevoerd. Op hetzelfde punt werd ook totaalstof, broeikasgassen, geur en  $\text{NH}_3$  bemonsterd.



Op deze foto is de bemonstering van de ziektekiemen in de buitenlucht zichtbaar. In het mandje wordt op dezelfde wijze als in de stal de meetapparatuur geplaatst en de metingen uitgevoerd.

## Bijlage B Bedrijf 2



Deze geitenstal heeft een dubbele nok. Voor de metingen zijn de monsternamepunten verdeeld over beide nokken. Wanneer bij de ene nok aan de voorzijde van de stal werd gemeten (voor = bij de melkput), dan werd bij de andere nok aan de achterzijde van de stal gemeten (en andersom). De metingen mbv de openpadlaser werd alleen bij één van de nokken uitgevoerd omdat de zolder waarop de laser geplaatst werd alleen beschikbaar was bij één van de nokken (op de foto de nok aan de rechterkant).



Op deze foto zijn de cyclonen zichtbaar die in één van de nokken van de stal zijn gehangen. Via een katrol werden de cyclonen naar boven getakeld. Op hetzelfde punt werd ook totaalstof, broeikasgassen, geur en  $\text{NH}_3$  gemeten. Op de zolder net boven het opgeslagen stro is de openpadlaser zichtbaar.



Deze foto is genomen vanaf de zolder boven de melkput. Op de voorgrond staat de openpadlaser opgesteld. Deze meet de  $\text{NH}_3$ -concentratie. Op de foto zijn ook beide inlaatopeningen aan de zijkanten van de stal zichtbaar.

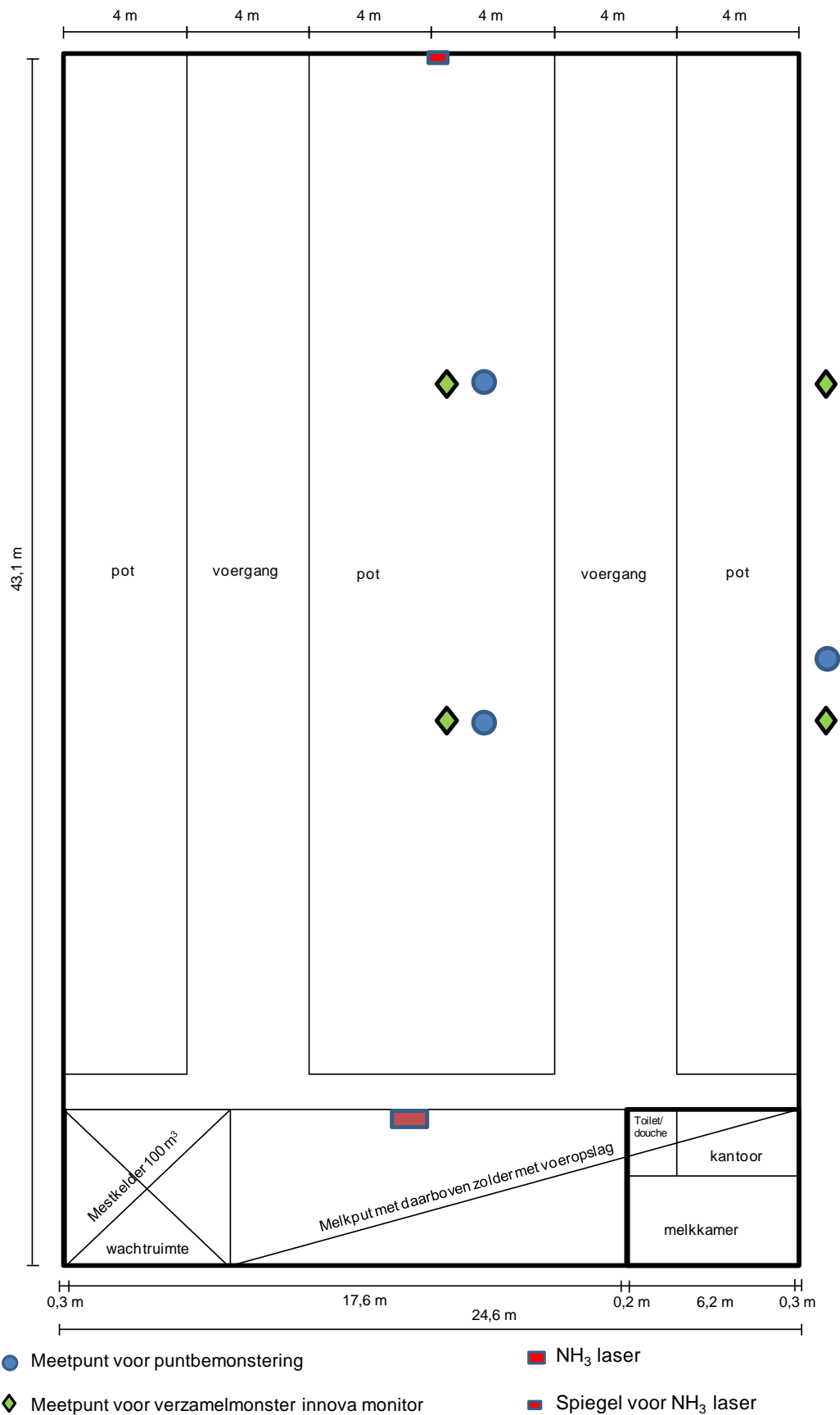


Een van de zijkanten van de stal met over de gehele lengte de inlaatopening waarbij op dit bedrijf altijd een zeil beperkte doorlaat voor de opening hing.



## Bijlage C Plattegrond van de stallen en overzicht van de meetpunten

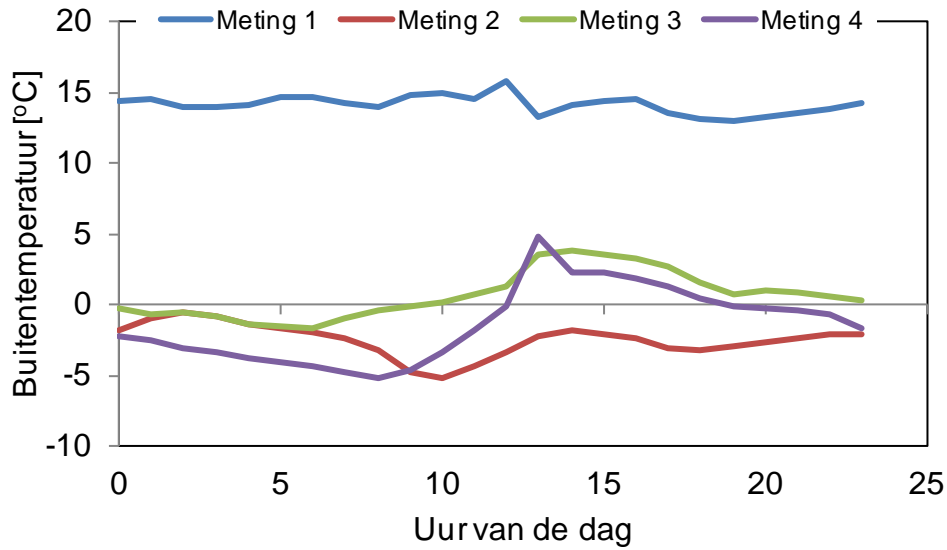
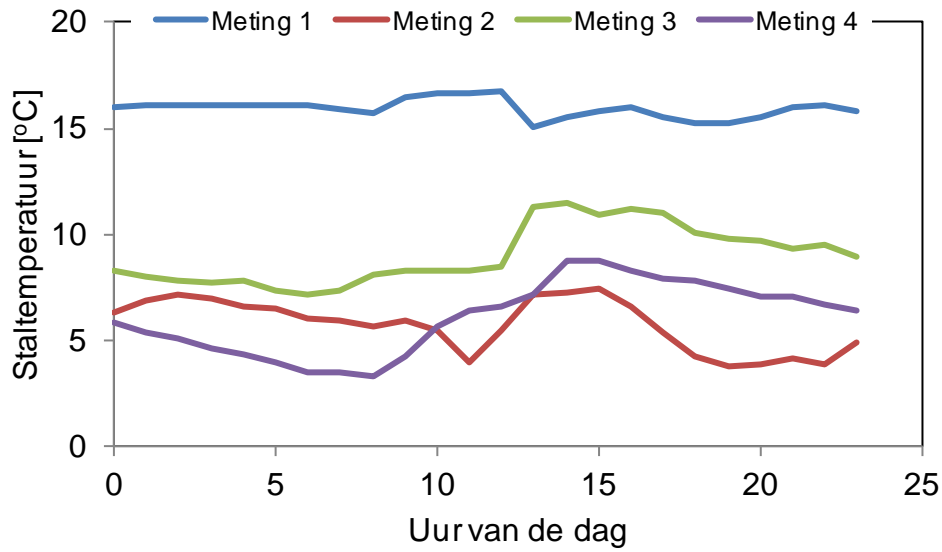
### Bedrijf 1.



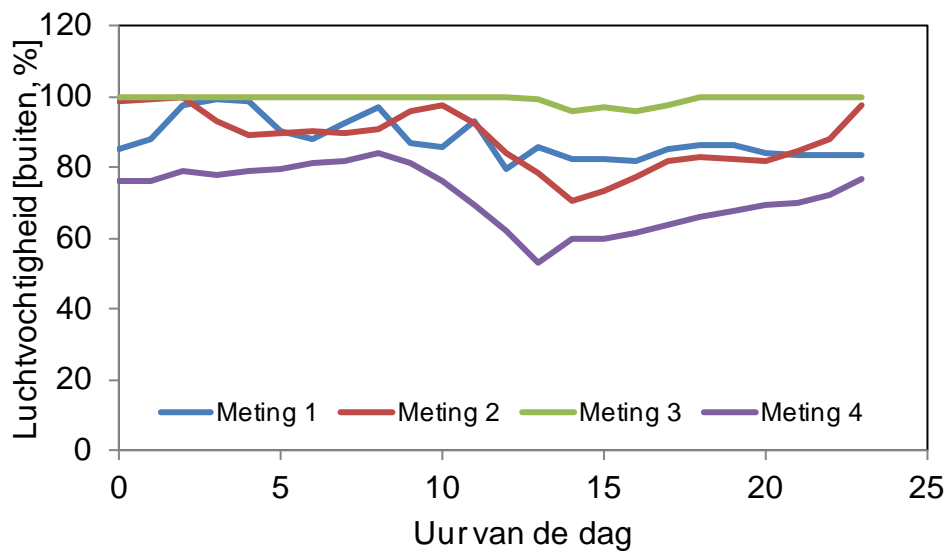
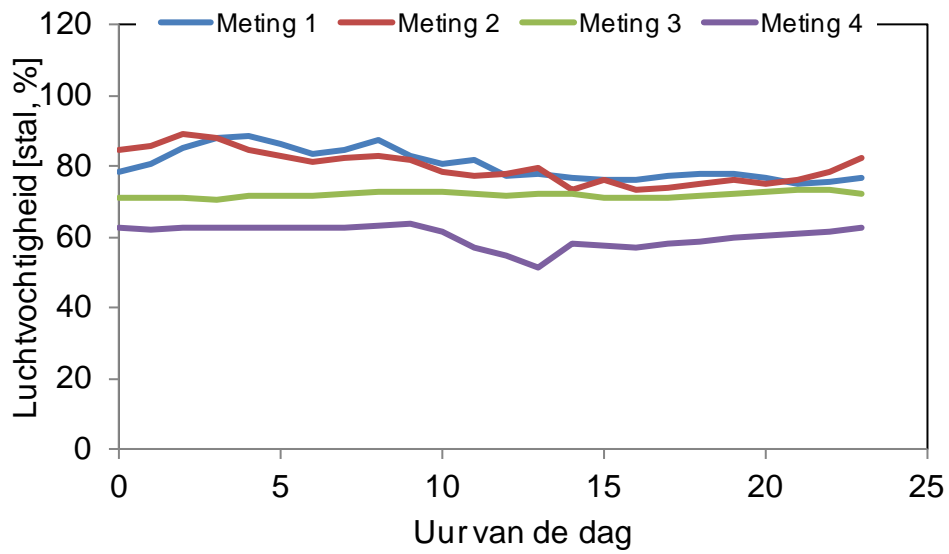
Bedrijf 2.



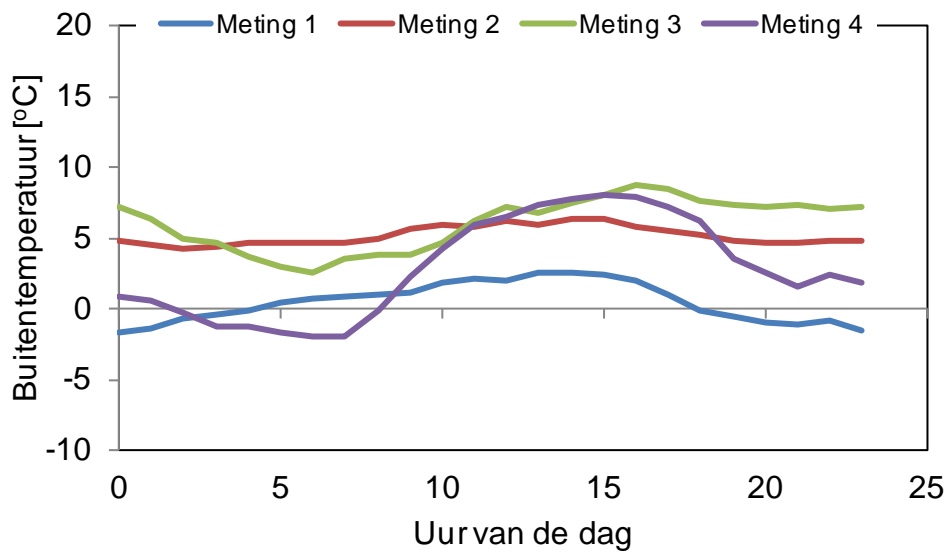
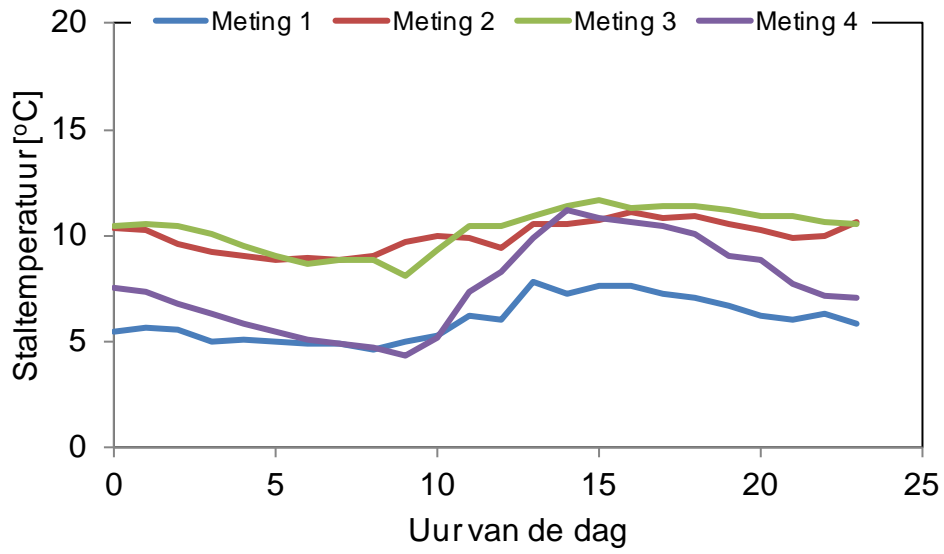
**Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)**



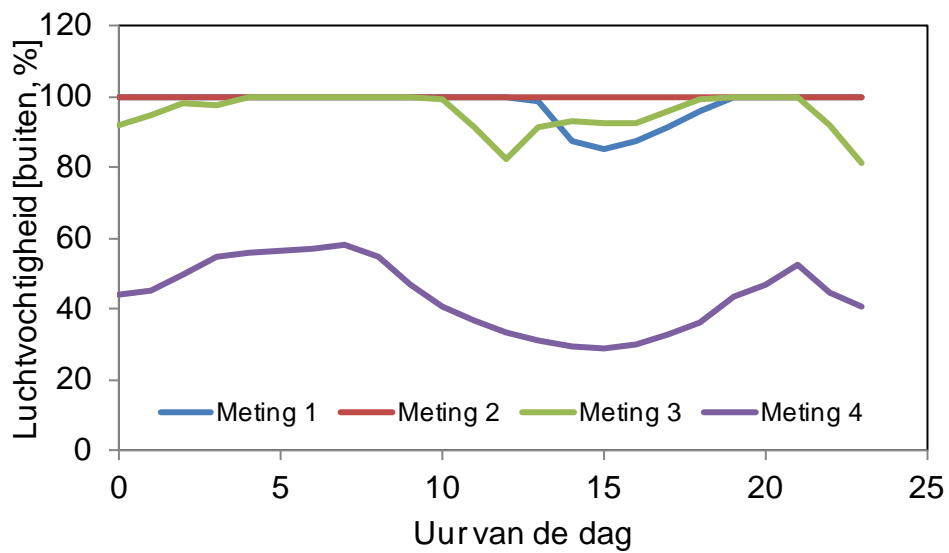
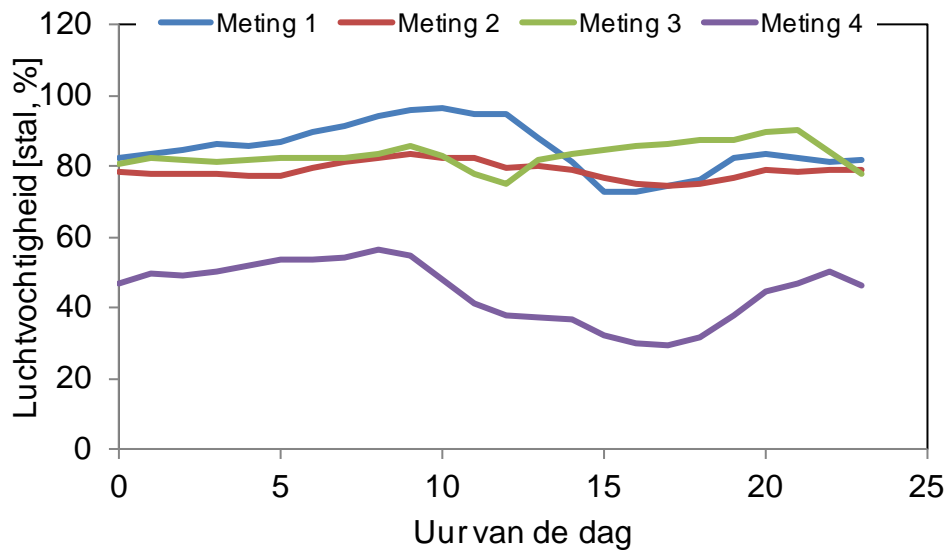
Uurgemiddelden stal- en buitentemperatuur op bedrijf 1



Uurgemiddelden stal- en buitenluchtvochtigheid op bedrijf 1

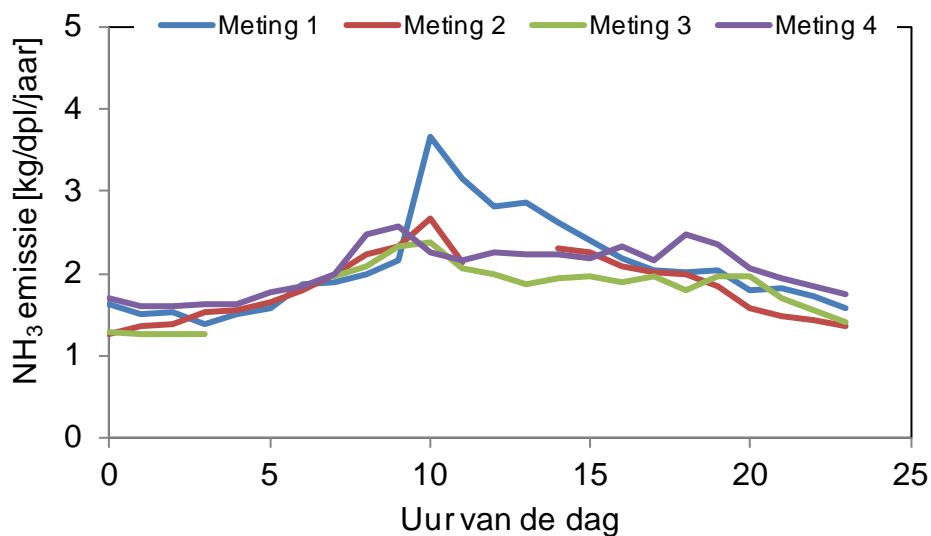
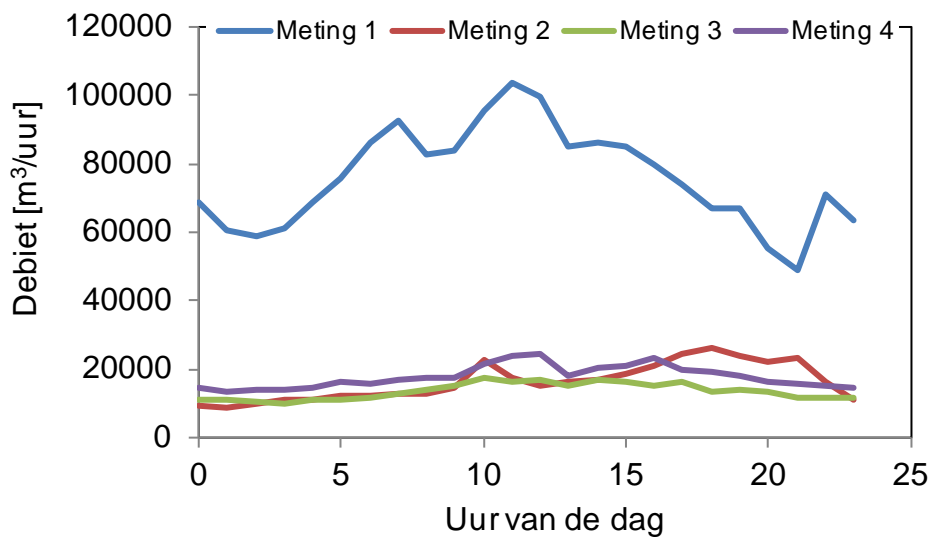
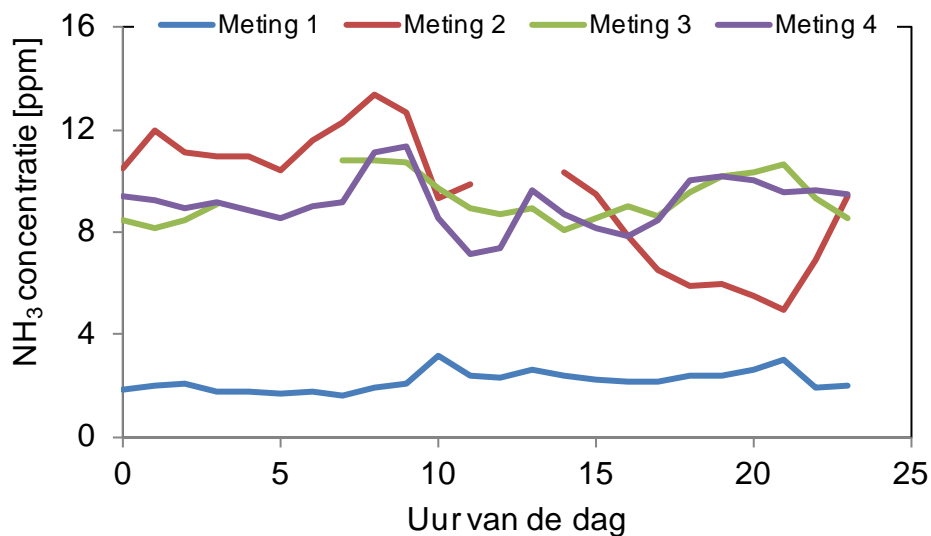


Uurgemiddelden stal- en buitentemperatuur op bedrijf 2

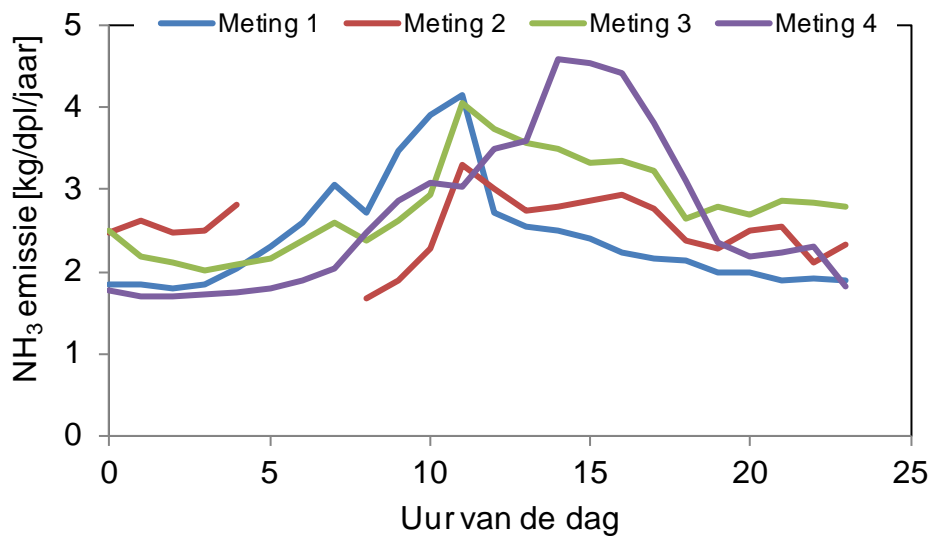
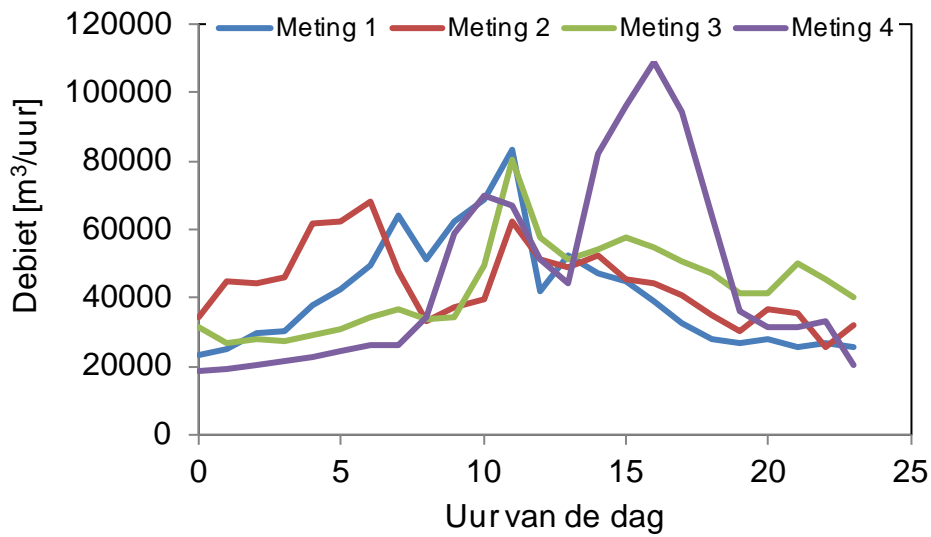
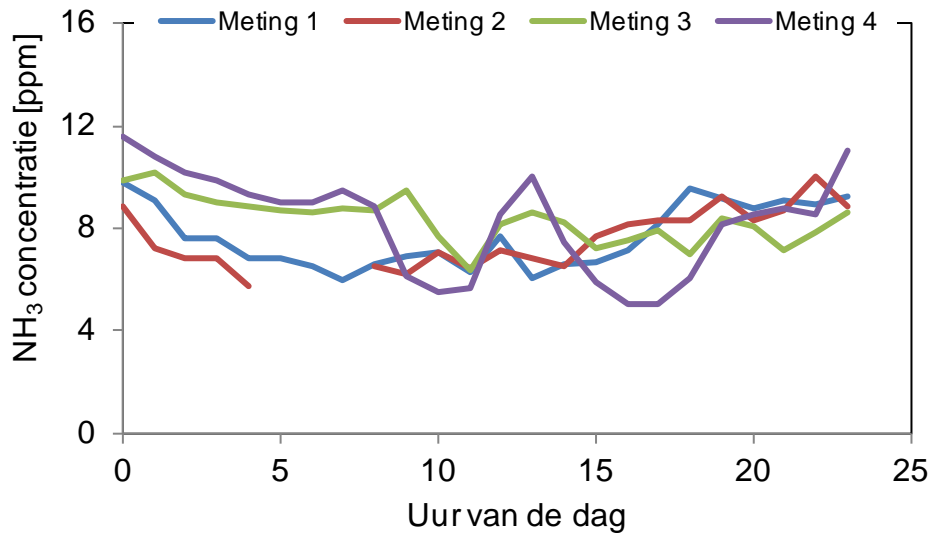


Uurgemiddelden stal- en buitenluchtvochtigheid op bedrijf 2

**Bijlage E Ammoniakconcentratie, -emissie en ventilatie-debiet**



Uurgemiddelden (dagpatroon) van de NH<sub>3</sub>-concentratie, ventilatie-debiet en NH<sub>3</sub>-emissie bij bedrijf 1



Uurgemiddelden (dagpatroon) van de NH<sub>3</sub>-concentratie, ventilatiedebiet en NH<sub>3</sub>-emissie bij bedrijf 2