

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 296

Fijnstofemissie uit stallen: melkvee

Maart 2010 (herziene versie januari 2011)



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

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

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2010

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

In this study emissions of fine dust (PM10 and PM2.5) from houses for cattle were determined. In addition, emissions of ammonia, greenhouse gases and odour were determined.

Keywords

Fine dust, emission, cattle

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

J. Mosquera
J.M.G. Hol
A. Winkel
J.W.H. Huis in 't Veld
F.A. Gerrits
N.W.M. Ogink
A.J.A. Aarnink

Titel

Fijnstofemissie uit stallen: melkvee
Rapport 296 – herziene versie

Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissies bepaald van
fijnstof (PM10 en PM2,5) uit melkveestallen.
Additioneel zijn de emissies van ammoniak,
broeikasgassen en geur bepaald.

Trefwoorden

Fijnstof, emissie, melkvee

Rapport 296

Fijnstofemissie uit stallen: melkvee

Dust emission from animal houses: dairy cattle

J. Mosquera

J.M.G. Hol

A. Winkel

J.W.H. Huis in 't Veld

F.A. Gerrits

N.W.M. Ogink

A.J.A. Aarnink

Maart 2010 (herziene versie januari 2011)

Voorwoord

Voor het vergroten van de kennis over de fijnstofproblematiek (PM10 en PM2,5) in Nederland is het van belang dat betrouwbare en actuele informatie over de fijnstofuitstoot uit de verschillende bronnen beschikbaar is. Fijnstofemissie uit stallen is één van deze bronnen. Van deze bron was tot dusver slechts beperkte informatie beschikbaar, gebaseerd op stofmetingen uitgevoerd in de jaren negentig. Naast de omstandigheid dat deze informatie mogelijk is verouderd door aanpassing aan stalsystemen en bedrijfsvoering, zijn de meetcijfers niet gebaseerd op de huidige standaarden voor het meten van PM10 en PM2,5. Gegeven deze achtergrond bestaat er behoefte aan nauwkeurige en actuele cijfers over de fijnstofemissie uit de veehouderij. In deze behoefte kan nu worden voorzien met de resultaten uit het meetprogramma (2007-2009) dat door Wageningen UR Livestock Research is uitgevoerd in het kader van het 'Programma luchtwassers' van de Ministeries van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en van Infrastructuur en Milieu.

Bij de uitvoering van een systematisch opgezet meetprogramma voor stofemissie uit de veehouderij werd een onderzoeksterrein betreden waarin tot dusver nationaal en internationaal geen of zeer weinig ervaring was opgedaan. Dit stelde de betrokken onderzoekers voor tal van geheel nieuwe meettechnische en logistieke uitdagingen. Dankzij de inzet, ervaring en kennis van alle betrokken medewerkers kon de uitvoering tot een goed einde worden gebracht, waarvoor dank. Door de opdrachtgevers is het onderzoek met grote betrokkenheid en vertrouwen begeleid, waarvoor onze dank. Dank is ook verschuldigd aan de ondernemers van de betrokken veehouderijbedrijven die hun stallen beschikbaar hebben gesteld voor het uitvoeren van de metingen. Dankzij de medewerking van alle betrokken personen levert dit onderzoeksprogramma een belangrijke, internationaal unieke dataset op, waarmee een belangrijke bijdrage wordt geleverd aan het vergroten van de kennis over de fijnstofproblematiek in Nederland.

Dr. ir. A.J.A. Aarnink
Projectleider
Wageningen UR Livestock Research

Voorwoord bij herziene versie januari 2011

Na het uitbrengen van deze rapportage (maart 2010) bleek dat deze een berekeningsfout bevatte bij de emissie van ammoniak en methaan uit melkveestallen met permanent opstallen, en bij de emissie van geur voor zowel permanent stallen als met beweiding. In deze herziene versie is de berekeningsfout hersteld. Bij deze herziening is tevens van de gelegenheid gebruik gemaakt om de tekst op enkele plaatsen nader te verduidelijken.

Samenvatting

Om een beter beeld te krijgen van de huidige situatie ten aanzien van fijnstofemissies uit de veehouderij is een uitgebreid onderzoeksproject opgestart. In dit project zijn bij verschillende diercategorieën en voor verschillende staltypen de fijnstofemissies gemeten. Emissies van deeltjes kleiner dan $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM10) en van deeltjes kleiner dan $2,5\text{ }\mu\text{m}$ (PM2,5) zijn bepaald.

Het doel van het project was om op basis van de meetresultaten emissiefactoren voor fijnstof (PM10 en PM2,5) vast te stellen. Bij eerdere vaststelling van fijnstofemissies uit de veehouderij zijn conversiefactoren gehanteerd voor omrekening van totaalstof naar PM10. Een tweede doel van dit project was om op basis van metingen onderbouwde conversiefactoren voor omrekening van totaalstof naar PM10 en PM2,5 te verkrijgen. Aangezien er ook behoefte was aan emissiecijfers van methaan en lachgas, zijn deze tevens meegenomen in het meetprogramma. Daarnaast zijn de emissies van ammoniak en geur gemeten om een volledige meetset van emissies te krijgen. Dit past in de lijn van integrale oplossingen voor het emissieprobleem in de veehouderij. In dit rapport zijn de metingen gerapporteerd die in het kader van het hiervoor genoemde onderzoeksproject uitgevoerd zijn in melkveestallen.

Alle metingen zijn uitgevoerd conform een werkwijze die gelijkwaardig is aan eerder vastgestelde meetprotocollen. De metingen zijn gedaan aan vier melkveestallen op verschillende locaties. Per locatie zijn vijf metingen van 24 uur (voor geur twee uur) verricht, verspreid over het jaar.

Voor melkveestallen met weidegang zijn de volgende jaaremissies bepaald (berekende emissiefactor $\pm$ de standaarddeviatie tussen bedrijven; geen leegstand):

- PM10 emissie: $117,8 \pm 35,1$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $32,5 \pm 9,9$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: $12,8 \pm 2,8$ kg/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $165,5 \pm 80,1$ OU_E/dierplaats per seconde
- Methaanemissie: $126,9 \pm 36,0$ kg/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $225,1 \pm 252,7$ g/dierplaats per jaar

Voor melkveestallen met permanent opstallen zijn de volgende jaaremissies bepaald (berekende emissiefactor $\pm$ de standaarddeviatie tussen bedrijven; geen leegstand):

- PM10 emissie: $147,5 \pm 47,4$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $40,6 \pm 14,1$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: $14,4 \pm 2,9$ kg/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $165,5 \pm 80,1$ OU_E/dierplaats per s
- Methaanemissie: $141,7 \pm 39,8$ kg/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $225,1 \pm 252,7$ g/dierplaats per jaar

De volgende conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de stofemissie:

- de emissie van PM10 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde emissiefactor voor PM10 (306 g/dierplaats per jaar);
- de emissie van PM2,5 is iets lager dan de eerder gehanteerde waarde voor PM2,5 (54 g/dierplaats per jaar);
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM10 (0,17) is beduidend lager dan de conversiefactor (0,45) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven;
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM2,5 (0,07) is vergelijkbaar met de conversiefactor (0,08) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven.

Summary

For a better understanding of the present fine dust emissions from livestock production an extensive research project was started. Within this project fine dust emissions were determined for different livestock categories and for different housing types. Emissions of particles smaller than 10 µm (PM10) and of particles smaller than 2.5 µm (PM2.5) have been determined.

The objective of this project was to provide emission figures that can be used to establish emission factors for fine dust (PM10). A second aim of this project was to determine conversion factors for calculating PM10 and PM2.5 from total dust. These conversion factors are required to interpret earlier measurements on livestock farms based on total dust. Because of additional need for emission data for methane and nitrous oxide, these gases have been included in the program as well. Furthermore, the emissions of ammonia and odour have been measured to complete the emission data set. This fits in the line of integral solutions of the emission problem in livestock production. In this report measurements in cattle houses are reported that were carried out in the framework of the overall measurement program.

All measurements have been performed according to a procedure similar to described protocols. Measurements have been done in four cattle houses at different locations. For each location, five 24-h measurements (for odour two h) have been performed spread over the year.

For cattle houses with grazing the following yearly emissions have been determined (calculated emission factors $\pm$ standard deviation between farms; no empty period):

- PM10 emission: 117.8 ± 35.1 g/animal place per year
- PM2.5 emission: 32.5 ± 9.9 g/animal place per year
- Ammonia emission: 12.8 ± 2.8 kg/animal place per year
- Odour emission: 165.5 ± 80.1 OU_E/animal place per second
- Methane emission: 126.9 ± 36.0 kg/animal place per year
- Nitrous oxide emission: 225.1 ± 252.7 g/animal place per year

For cattle houses without grazing the following yearly emissions have been determined (calculated emission factors $\pm$ standard deviation of all measuring days; no empty period):

- PM10 emission: 147.5 ± 47.4 g/animal place per year
- PM2.5 emission: 40.6 ± 14.1 g/animal place per year
- Ammonia emission: 14.4 ± 2.9 kg/animal place per year
- Odour emission: 165.5 ± 80.1 OU_E/animal place per second
- Methane emission: 141.7 ± 39.8 kg/animal place per year
- Nitrous oxide emission: 225.1 ± 252.7 g/animal place per year

The following conclusions could be drawn with respect to dust emissions:

- the emission of PM10 is considerably lower than the previously used emission factor for PM10 (306 g/animal place per year);
- the emission of PM2.5 is considerably lower than the previously used emission value for PM2.5 (54 g/animal place per year);
- the conversion factor for total dust to PM10 (0.17) is considerably lower than the value (0.45) described by Chardon and Van der Hoek (2002);
- the conversion factor for total dust to PM2.5 (0.07) is similar to the value (0.08) described by Chardon and Van der Hoek (2002).

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Hoofddijn opzet meetprogramma.....	2
2.2	Beschrijving melkveestallen	3
2.3	Metingen	4
2.3.1	Stofmetingen.....	5
2.3.2	Ammoniakmetingen	6
2.3.3	Geurmetingen	7
2.3.4	Broeikasgasmetingen	7
2.3.5	Ventilatiedebiet	8
2.3.6	Metingen temperatuur en RV.....	8
2.4	Verwerking gegevens.....	8
3	Resultaten.....	10
3.1	Meetomstandigheden.....	10
3.2	Ventilatiedebiet.....	11
3.3	PM10 emissie.....	11
3.4	PM2,5 emissie.....	12
3.5	Totaalstofemissie	13
3.6	Ammoniakemissie	13
3.7	Geuremissie	14
3.8	Methaanemissie	15
3.9	Lachgasemissie	15
4	Discussie	17
5	Conclusies	19
	Literatuur	20
	Bijlagen.....	21
Bijlage 1	Traditionele stalinrichting, bedrijf 1	21
Bijlage 2	Traditionele stalinrichting, bedrijf 2	23
Bijlage 3	Traditionele stalinrichting, bedrijf 3	25
Bijlage 4	Traditionele stalinrichting, bedrijf 4	27

1 Inleiding

Per 1 januari 2005 heeft de Europese Unie grenswaarden opgesteld voor alle EU-lidstaten voor maximale concentraties fijnstof: jaargemiddeld maximaal 40 microgram per m³ lucht en daggemiddeld maximaal 50 microgram per m³ lucht, met maximaal 35 overschrijdingen van het toegestane daggemiddelde. Fijnstof is stof dat voor het merendeel bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer. Dit stof wordt aangeduid als PM₁₀ (PM; Particulate Matter). In 2008 is een nieuwe richtlijn van kracht geworden waarin de jaargemiddelde maximale norm voor deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer (zeer fijnstof, PM_{2,5}) is vastgesteld op 25 microgram per m³ lucht.

Naast verkeer en industrie leveren veehouderijbedrijven een bijdrage aan de uitstoot van fijnstof in Nederland. Voor de terugdringing van de fijnstofuitstoot is het van belang de actuele uitstoot van fijnstof uit stallen vast te stellen. De tot dusver bekende emissies van fijnstof (PM₁₀) uit stallen zijn gebaseerd op metingen die gedaan zijn in de periode van september 1993 tot november 1995 binnen het EU-project Aerial Pollutants (Groot Koerkamp e.a., 1996). Door Chardon en van der Hoek (2002) zijn deze later voor verschillende diercategorieën omgerekend naar emissies van PM₁₀. Sinds de metingen in de jaren negentig zijn er veel ontwikkelingen geweest in de veehouderij, met name naar milieu- en welzijnsvriendelijke huisvestingssystemen die zowel een toename als afname in de uitstoot van fijnstof tot gevolg kunnen hebben gehad. Welzijnsvriendelijke systemen lijken een belangrijke toename te geven van de fijnstofemissie. Bij de omschakeling van het batterijsysteem naar strooiselsystemen in de pluimveehouderij wordt bijvoorbeeld een forse toename van de stofemissie verwacht. Sommige milieuvriendelijke huisvestingssystemen in combinatie met aangepaste ventilatiesystemen, bijvoorbeeld in de varkenshouderij, zullen waarschijnlijk een stofreducerend effect hebben. Door ontwikkelingen in de huisvesting sinds 1993-1995 (o.a. bolle vloeren en metalen roosters in de varkenshouderij) en de voeding van dieren (o.a. meer brijvoersystemen in de varkenshouderij, vervanging tapioca door granen in varkens- en pluimveevoer) kunnen stofemissies van stalsystemen zijn veranderd. Voor een onderbouwing van de impact van deze ontwikkelingen gedurende de laatste jaren op de stofemissie zijn daarom additionele metingen gewenst.

Daarnaast is in additioneel onderzoek een validatie van de tot dusver beschikbare dataset gewenst. De huidige PM₁₀ cijfers zijn omrekeningen van gemeten totaalstof (overeenkomend met PM₅₀) en PM₅ waarden, waardoor deze minder nauwkeurig zijn. Bovendien was het onderzoek waarin de meetcijfers zijn verzameld niet gericht op het meten van stofemissies, maar op stofconcentraties. Concentraties zijn op verschillende plekken in de stal gemeten, deze zijn niet per definitie representatief voor de stofconcentraties in de uitgaande stallucht.

Omdat de EU ook grenswaarden voor PM_{2,5} heeft vastgesteld is het van belang om in additioneel onderzoek PM_{2,5} op te nemen. Om de huidige dataset waarop de berekende emissiefactoren zijn gebaseerd ook in de toekomst te kunnen gebruiken, is het gewenst naast PM₁₀ en PM_{2,5} tevens totaalstof te meten volgens de methode die gebruikt is in het onderzoek van Groot Koerkamp e.a. (1996).

Om een beter beeld te verkrijgen van de huidige situatie ten aanzien van fijnstofemissies uit de veehouderij is in 2008 een uitgebreid onderzoeksproject opgestart. In dit project zijn bij verschillende diercategorieën en voor verschillende stalsystemen de fijnstofemissies bepaald. Het doel van dit project was om op basis van deze cijfers emissiefactoren voor fijnstof vast te stellen. Vanwege de nieuwe richtlijn voor PM_{2,5} is binnen dit project naast PM₁₀ gelijktijdig ook PM_{2,5} gemeten. Bij eerdere vaststelling van fijnstofemissies uit de veehouderij zijn conversiefactoren gehanteerd voor de omrekening van totaalstof naar PM₁₀. Een tweede doel van dit project was om met metingen onderbouwde conversiefactoren voor omrekening van totaalstof naar PM₁₀ en PM_{2,5} te verkrijgen.

Aangezien er ook behoefte is aan emissiecijfers van methaan en lachgas, zijn deze tevens meegenomen in het meetprogramma. Daarnaast worden de emissies van ammoniak en geur gemeten ter validatie van de huidige meetgegevens en om een volledige meetset van emissies te krijgen. Dit past in de lijn van integrale oplossingen voor het emissieprobleem in de veehouderij.

In dit rapport worden de metingen gerapporteerd die in het kader van het hiervoor genoemde onderzoeksprogramma uitgevoerd zijn in vier melkveestallen met traditionele stalinrichting.

2 Materiaal en methode

2.1 Hoofdlijn opzet meetprogramma

De metingen aan melkveestallen zijn onderdeel van een over meerdere diercategorieën uitgevoerd meetprogramma. De opzet van dit programma zal in deze paragraaf worden toegelicht. Voor de keuze van de te bemeten stallen en diercategorieën is allereerst een prioritering aangebracht op basis van de volgende criteria:

- diercategorieën die de grootste bijdrage leveren aan de fijnstofemissie in Nederland;
- stalsystemen binnen diercategorieën die de grootste bijdrage leveren aan de fijnstofemissie in Nederland (o.a. strooiselsystemen in de pluimveehouderij);
- systemen die op dit moment al worden toegepast en die waarschijnlijk een significante reductie geven van de stofemissie in Nederland t.o.v. het referentiejaar 1990 (bijvoorbeeld luchtwassystemen, brijvoer bij varkens, optimaal hok bij vleesvarkens/biggen);
- systemen die op dit moment al worden toegepast en die waarschijnlijk een significante toename geven van de stofemissie in Nederland t.o.v. het referentiejaar 1990 (bijvoorbeeld strooisel- en mestdroogsystemen bij pluimvee; welzijnsvriendelijke stro(oisel)systemen in de varkenshouderij);
- nieuwe ammoniakemissiearme systemen die waarschijnlijk binnen enkele jaren breed worden toegepast;
- systemen die reeds bemeten zijn, maar met een ander protocol (stallen opgenomen in eerder onderzoek EU-project Aerial Pollutants).

Om gegeven de beschikbare financiële middelen zoveel mogelijk informatie te verkrijgen is bovendien per stalcategorie een afweging gemaakt voor het bemeten van vier of twee bedrijfslocaties. In afstemming met de opdrachtgevers heeft dit geleid tot de volgende lijst met te bemeten stallen en de aantallen (Tabel 1).

Tabel 1 Stalsystemen die zijn opgenomen in het meetprogramma met nummer Regeling ammoniak en veehouderij (Rav-nummer), stalomschrijving en aantal stallen per bemeten systeem

Rav-nummer	Omschrijving stalsysteem	Aantal te bemeten stallen
A 1.100	Melkkoeien in ligboxenstal; overige huisvestingssystemen	4*)
D 1.1.4.1	Biggen, gedeeltelijk roostervloerstal met verkleind mestoppervlak, droogvoer	2*)
D 1.1.13	Biggen, volledig roostervloerstal (water en mestkanaal), droogvoer	2
D 1.3.1	Guste en dragende zeugen in individuele huisvesting met smalle ondiepe kanalen	2*)
D 1.3.101	Guste en dragende zeugen in groepshuisvesting zonder stro met voerligboxen	2
D 3.2.7.2.1	Vleesvarkens, gedeeltelijk roostervloerstal met bolle vloer (water en mestkanaal; optimaal hok), droogvoer	2
D 3.2.7.2.1	Vleesvarkens, gedeeltelijk roostervloerstal met bolle vloer (water en mestkanaal; optimaal hok), brijvoer	2
D 3.2.8.1	Vleesvarkens, biologisch luchtwassysteem 70% emissiereductie voor ammoniak; kan in combinatie met één van de voorgaande systemen worden onderzocht	2
D 3.2.9.1	Vleesvarkens, chemisch luchtwassysteem 70% emissiereductie voor ammoniak; kan in combinatie met één van de voorgaande systemen worden onderzocht	2
D 3.100	Vleesvarkens, overige huisvestingssystemen	4*)
E 2.11.3	Legkippen, volièrestal zonder uitloop (voor stallen met uitloop wordt dezelfde systematiek gehanteerd als voor ammoniak)	4
E 2.100	Legkippen, overig huisvestingssysteem niet batterijhuisvesting	4*)
E 4.100	(Groot)ouderdieren van vleeskuikens, overige huisvestingssystemen	2
E 5.100	Vleeskuikens, overig huisvestingssysteem	4*)
E 6.1	Legkippen, nadroging van de mest in een droogtunnel; kan in combinatie met één van de voorgaande systemen worden onderzocht	2
F 4.100	Vleeskalkoenen, overige huisvestingssystemen	2
H 1.2	Nertsen; dagontmesting met afvoer naar een gesloten opslag	4

*) Bij deze categorieën zijn naast PM10 en PM2,5 eveneens totaalstofmetingen uitgevoerd

In het onderzoeksprogramma zijn PM10 en PM2,5 metingen uitgevoerd gelijkwaardig aan het protocol zoals beschreven in het rapport van Hofschreuder e.a. (2008). Dit meetprotocol schrijft per locatie, verspreid over het jaar, zes meetdagen van 24 uur voor. Daarmee houdt het meetprotocol rekening met periodieke variaties in fijnstofemissie, bijvoorbeeld variaties binnen een dag als gevolg van verschillen in dieractiviteit en variaties tussen dagen als gevolg van verschillen tussen seizoenen en variaties als gevolg van groei van dieren. Afhankelijk van het optreden van ronde-effecten dienen bij een aantal diercategorieën metingen verdeeld over de ronde uitgevoerd te worden. Het aantal locaties per stalsysteem dient volgens het voornoemde protocol vier te zijn. Om, gegeven de beschikbare middelen, een zo nauwkeurig mogelijke inschatting te maken van de emissiedeken in Nederland is in dit project hiervan voor een aantal stalsystemen afgeweken. Voor deze systemen is het aantal locaties teruggebracht van vier naar twee (Tabel 1).

Bij een aantal stalsystemen zijn tevens metingen uitgevoerd voor het bepalen van de emissie van totaalstof. Deze stalsystemen zijn eerder eveneens onderzocht in het EU-project Aerial Pollutants. De toen gevolgde meetmethode zoals beschreven in Takai e.a. (1998) en Groot Koerkamp e.a. (1996), wordt ook in dit programma toegepast. In Tabel 1 staat aangegeven voor welke categorieën dit geldt. Op deze wijze wordt het mogelijk de verhouding tussen totaalstof en PM10/PM2,5 op een directe wijze vast te stellen. Daardoor kunnen eerder gemeten emissies van totaalstof op basis van gemeten conversiefactoren worden omgerekend naar PM10 en PM2,5 emissies.

Naast fijnstof en totaalstof zijn ook metingen gedaan aan ammoniak, geur, methaan en lachgas volgens meetprotocollen beschreven door respectievelijk Ogink e.a. (2008), Ogink (2008), Groenestein e.a. (2007) en Mosquera en Groenestein (2008). Deze rapportages bevatten toelichting op en onderbouwing van de wijze waarop de meetprotocollen zijn ontworpen, evenals de beschrijving van het protocol. De protocollen zullen in de nabije toekomst nog als zelfstandige documenten worden gepubliceerd. De specifieke uitvoering van de toegepaste werkwijze bij melkveestallen wordt in de volgende paragrafen verder toegelicht.

2.2 Beschrijving melkveestallen

Onder traditioneel ingerichte melkveestallen wordt de ligboxenstal verstaan waarin de dieren vrij kunnen bewegen binnen een grote ruimte. De stal wordt natuurlijk geventileerd. Het klimaat in de stal wordt geregeld door inlaatopeningen meer of minder te openen.

De belangrijkste kenmerken en foto-impressies van alle bemeten melkveestallen in dit onderzoek worden weergegeven in tabel 2 en in bijlagen 1 t/m 4.

Tabel 2 Belangrijkste kenmerken van de vier melkveestallen

Kenmerk	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4
Aantal dierplaatsen (ligboxen)	50	86	50	170
Loopoppervlakte per dierplaats [m ² /dier]	3,65	3,47	2,56	2,76
Materiaal roostervloer	Beton	Beton	Beton	Beton
Weidegang	ja	ja	Ja*	Nee
Verhouding ingekuuld gras: mais	67:33	80:20	50:50	44:56
Gemiddelde melkproductie [l/dag/dier]	30	29	30	32
Ureumgehalte melk	20	18	22	26

* door de bouw van een nieuwe stal is de weidegang voor een deel gestopt

2.3 Metingen

In Tabel 3 worden de data van de metingen aangegeven en het aantal uren weidegang op de meetdagen voor de vier melkveestallen. Wanneer op een meetdag dieren werden geweid dan werd de meting om 17:00 gestart waarbij alle dieren in de stal waren en om 11:00 gestopt vlak voordat de dieren naar buiten gingen. Wanneer de koeien de hele dag op stal werden gehouden werd gedurende 24 uur gemeten. In paragraaf 2.4 wordt toegelicht hoe de emissies tijdens de uren van weidegang zijn berekend.

Tabel 3 Data waarop metingen zijn uitgevoerd met het aantal uren weidegang en de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens: temperatuur (°C) buiten (T-buiten) en in de stal (T-stal), en relatieve luchtvochtigheid (%) buiten (RV-buiten) en in de stal (RV-stal). (*) Inclusief droogstaande koeien

Bedrijf		Meting				
		1	2	3	4	5
1	Datum	02/03/2009	13/05/2009	22/06/2009	29/07/2009	14/09/2009
	Dagnr.	61	133	173	210	257
	Weide	0	0	5	5	5
	Melkkoeien ^(*)	60	50	52	56	53
	Jongvee	0	0	0	0	0
	T-buiten	6.4	14.7	16.7	19.5	15.1
	RV-buiten	98.6	48.6	79.1	72.1	83.3
	T-stal	8.0	15.3	17.5	20.4	15.5
	RV-stal	87.2	50.7	80.2	85.5	84.1
2	Datum	25/02/2009	27/04/2009	08/06/2009	15/07/2009	31/08/2009
	Dagnr.	56	117	159	196	243
	Weide	0	5	5	5	5
	Melkkoeien ^(*)	71	68	68	70	67
	Jongvee	15	13	12	0	0
	T-buiten	0.9	11.5	15.7	19.2	20.1
	RV-buiten	78.8	76.0	73.1	68.9	64.1
	T-stal	7.3	14.1	18.1	21.3	21.4
	RV-stal	80.6	71.3	74.0	76.4	65.3
3	Datum	09/03/2009	18/05/2009	06/07/2009	05/08/2009	07/09/2009
	Dagnr.	68	138	187	217	250
	Weide	0	0	0	0	5
	Melkkoeien ^(*)	54	54	56	57	57
	Jongvee	1	1	1	2	3
	T-buiten	7.1	15.7	20.2	24.6	19.7
	RV-buiten	76.7	66.7	67.3	55.2	68.5
	T-stal	9.5	17.3	21.2	26.9	21.0
	RV-stal	79.3	71.5	64.5	59.6	73.8
4	Datum	16/03/2009	02/06/2009	29/06/2009	27/07/2009	09/09/2009
	Dagnr.	75	153	180	208	252
	Weide	0	0	0	0	0
	Melkkoeien ^(*)	149	144	137	131	139
	Jongvee	30	30	16	21	9
	T-buiten	9.4	18.8	25.3	19.9	17.8
	RV-buiten	79.5	60.0	74.8	85.0	80.3
	T-stal	13.1	18.5	24.8	17.8	20.7
	RV-stal	75.1	61.6	72.8	76.5	95.2

2.3.1 Stofmetingen

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens de meetdagen:

- duplo monsters van deeltjes kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (PM₁₀) van de uitgaande stallucht en enkelvoudige monsters van PM₁₀ van de ingaande stallucht;
- duplo monsters van deeltjes kleiner dan $2,5\ \mu\text{m}$ (PM_{2,5}) van de uitgaande stallucht en enkelvoudige monsters van PM_{2,5} van de ingaande stallucht;
- minuutmonsters van deeltjes kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (PM₁₀) van de uitgaande stallucht;



Figuur 1 Monsterapparatuur voor PM₁₀ en PM_{2,5}. Linksboven: de 'constant flow' monsternamerpomp. Rechtsboven: De DustTrak model 8520 voor optische en continue metingen van het verloop in PM₁₀ concentratie. Linksonder (van links naar rechts): inlaat, PM₁₀ cycloon, PM_{2,5} cycloon en filterhouder. Rechtsonder (van links naar rechts): de constructie van de inlaat

Figuur 1 laat de monsternam-apparatuur zien voor PM₁₀ en PM_{2,5}. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM₁₀ en PM_{2,5} concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en 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 PM_{2,5} (Zhao e.a., 2009).

PM₁₀ en PM_{2,5} werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM₁₀ of PM_{2,5} 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 stofmonsternam gewogen onder standaard condities: temperatuur $20\ ^\circ\text{C} \pm 1\ ^\circ\text{C}$ en $50\% \pm 5\%$ relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in NEN-EN 14907 (2005). Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt

om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamelpompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternametekop (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 m³/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 e.a. (2008). In voornoemd rapport staan tevens correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternametekoppen naar impactor monsternametekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

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

PM2,5: geen correctie

Op de meetdagen werd tevens elke seconde de PM10 concentratie (mg/m³) 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.

Totaalstof werd bepaald volgens de methode zoals beschreven door Groot Koerkamp e.a. (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 monsternametekoppen (SKC Inc., Pennsylvania, VS) bij een debiet van 2,0 l/min. De filters werden voor en na bemonstering gewogen om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Figuur 2 laat de IOM monsternametekop zien voor totaalstof.



Figuur 2 Monsternametekop voor totaalstof. Links op de foto de monsternametekop met aanzuigleiding naar de pomp; rechts op de foto de filterhouder met bescherming voor transport.

2.3.2 Ammoniakmetingen

De ammoniakconcentratie werd volgens de natchemische meetmethode voor NH₃ (Wintjes, 1993) gemeten. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameteleiding met een constante luchtstroom (~1,0 l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van ~1,0 l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de NH₃ wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. De metingen werden per meetplek in duplo uitgevoerd (Figuur 3). De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van NH₃ dat moet worden gebonden; voor deze stallen was deze 0,05 M. Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden NH₃ spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int.

2.3.5 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (m^3/uur) werd bepaald met behulp van de CO_2 -massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO_2 -concentratie van de in- en uitgaande stallucht (respectievelijk $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$ en $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$; ppm) gedurende 24 uur (voor dagen zonder weidegang) of 19 uur (voor dagen met weidegang) gemeten en de CO_2 -productie van de dieren (m^3/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008). Door de CO_2 -productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in de stal kan de totale CO_2 -productie worden berekend. Het ventilatie-debiet V (m^3/uur) wordt dan bepaald op basis van:

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

2.3.6 Metingen temperatuur en RV

Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande en uitgaande stallucht 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).

2.4 Verwerking gegevens

Voor alle bedrijven ($j=1, 2, 3, 4$) werden per meetdag ($i=1, 2, \dots, 5$) de emissies per uur van stof, ammoniak, geur, methaan en lachgas E_{ij} bepaald op basis van het gemiddeld ventilatie-debiet per uur (V_{ij}) en de gemiddelde concentraties van de uitgaande lucht ($C_{\text{uit},ij}$) en de ingaande lucht ($C_{\text{in},ij}$) van stof, ammoniak, geur, methaan en lachgas:

$$E_{ij} = V_{ij} \times (C_{\text{uit},ij} - C_{\text{in},ij})$$

Voor totaalstof is geen correctie gemaakt voor de concentratie in de inkomende lucht. Totaalstof concentraties in de buitenlucht zijn in het algemeen verwaarloosbaar ten opzichte van de concentraties in de stal. In de buitenlucht is de totaalstof concentratie ca. 10/7 maal de PM10 concentratie.

Uit de uuremissies zijn vervolgens de dagemissies en jaaremmissies berekend al dan niet gecorrigeerd voor weidegang. Voor de correctie voor weidegang zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Het aantal uren weidegang per dag is gelijkgesteld aan het gemiddeld aantal uren weidegang in Nederland bij 's nachts opstallen van de koeien, dit is 8 uur (statline.cbs.nl). Wanneer de koeien ook 's nachts buiten lopen, waarbij de koeien alleen nog tijdens en rond het melken in de stal zijn, is geen correctie met deze methode mogelijk.
- De duur van de stal- en weideperioden worden gelijkgesteld aan de gehanteerde verdeling door Monteney et al. (2001), namelijk 190 staldagen en 175 weidedagen.

Alle data van de vier bedrijven zijn gebruikt voor bepalen van emissiefactoren voor weidegang en permanent opstallen van de koeien. Aangezien de data niet homogeen verdeeld waren over het jaar is de volgende procedure gehanteerd voor bepaling van de emissiefactoren:

- Data verzameld tot en met mei werden verondersteld tijdens een stalperiode te zijn gemeten. Dit waren 2 meetdagen per bedrijf. Het gemiddelde van deze data werd een wegingsfactor van 190 (dagen stalperiode) toegekend.
- Data verzameld na mei werden verondersteld tijdens de 'weideperiode' te zijn gemeten. Dit waren 3 meetdagen per bedrijf. Het gemiddelde van deze data werd een wegingsfactor van 175 (dagen 'weideperiode') toegekend. Bij weidegang worden de data verzameld tijdens de 'weideperiode' gecorrigeerd voor 8 uren weidegang. Bij permanent opstallen gebeurt dat niet.

Correctie data fijnstofemissie voor weidegang

Fijnstofemissie is sterk afhankelijk van de activiteit van de dieren. Als er geen dieren in de stal zijn komt er vrijwel geen stof in de lucht. Voor het berekenen van een jaaremissie voor fijnstof werd de volgende procedure gebruikt om voor weidegang te corrigeren:

- Berekening dagemissie tijdens weidegang: gemiddeld gemeten emissie/uur * (24 - aantal weide uren).
- Berekening jaaremissie: aantal dagen stalperiode * gemiddeld gemeten emissie stalperiode + aantal dagen weideperiode * gemiddeld gemeten emissie weideperiode.

Correctie data ammoniakemissie voor weidegang

De ammoniakemissiedata zijn voor weidegang gecorrigeerd uitgaande van de voorgestelde correctie beschreven in Monteny et al. (2001); de huidige emissiefactor in de Rav-lijst voor melkvee is op dezelfde wijze gecorrigeerd:

- Berekening dagemissie tijdens weidegang: $24 * \text{gemiddeld gemeten emissie/uur} * (100\% - (2,4\% \times \text{aantal weide uren}))$.
- Berekening jaaremissie: aantal dagen stalperiode * gemiddeld gemeten emissie stalperiode + aantal dagen weideperiode * gemiddeld gemeten emissie weideperiode.

Correctie data geuremissie voor weidegang

Voor berekening van de geuremissie werd niet gecorrigeerd voor weidegang, omdat het effect van weidegang op de geuremissie niet bekend is. De gemiddeld gemeten geuremissie (in OU_E/s) gedurende de 2 meeturen (van 10:00 – 12:00) wordt daarom ook als daggemiddelde gebruikt. De jaaremissie wordt berekend door het gemiddelde over de dagen te nemen.

Correctie data methaanemissie voor weidegang

In de Nationale Emissieberekening (Ministerie VROM) wordt er van uitgegaan dat 75% van de methaan in melkveestallen tijdens een stalperiode afkomstig is van de dieren en 25% van de mest.

Voor het berekenen van een jaaremissie voor methaan werd de volgende procedure gebruikt om voor weidegang te corrigeren:

- Berekening dagemissie tijdens weidegang: $\text{gemiddeld gemeten emissie/uur} * (0,25 * 24 + 0,75 * (24 - \text{aantal weide uren}))$.
- Berekening jaaremissie: aantal dagen stalperiode * gemiddeld gemeten emissie stalperiode + aantal dagen weideperiode * gemiddeld gemeten emissie weideperiode.

Correctie data lachgasemissie voor weidegang

Voor berekening van de lachgasemissie werd niet gecorrigeerd voor weidegang, omdat het effect van weidegang op de lachgasemissie niet bekend is.

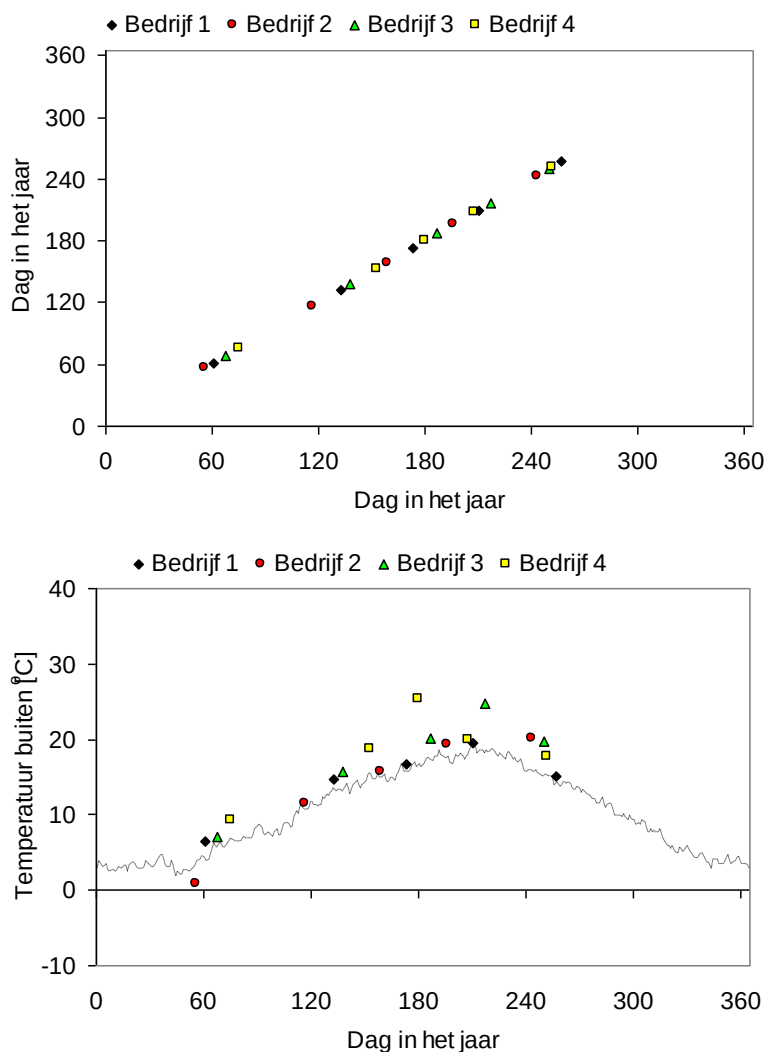
Voor het berekenen van een jaaremissie voor lachgas werd de volgende procedure gebruikt:

- Berekening dagemissie tijdens weidegang: $\text{gemiddeld gemeten emissie/uur} * 24$
- Berekening jaaremissie: $365 * \text{gemiddelde dagemissie}$.

3 Resultaten

3.1 Meetomstandigheden

De gebruikte meetprotocollen schrijven voor dat, op alle bemeten bedrijven, zes maal gemeten moet worden. De metingen moeten verdeeld over een jaar verricht worden. Daarnaast moeten de zes metingen gebalanceerd over de productieronde worden gedaan, waarbij de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de productieronde dient te vallen. Minimaal 80% van deze metingen (vijf metingen per locatie) moet betrouwbare resultaten opleveren. Figuur 4 laat zien wat de werkelijke verdeling van de metingen in het onderhavige onderzoek was.

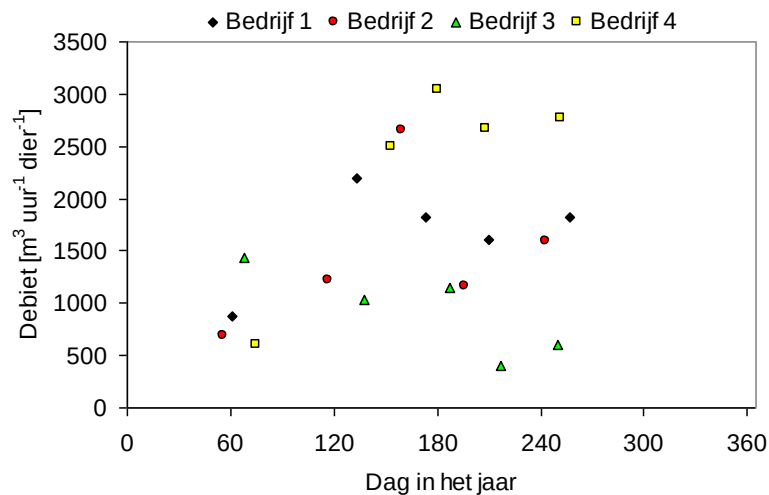


Figuur 4 Verdeling van de metingen over het jaar (a), en de buitentemperatuur (b) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1984-2009 voor de regio Eindhoven (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven).

De metingen zijn in een periode van ruim een half jaar uitgevoerd, met een gemiddeld dagnummer in het jaar van 167. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (15,9 °C) is hoger dan het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C), en over de gemeten meetperiode (13,1 °C).

3.2 Ventilatie-debiet

In Figuur 5 wordt het ventilatie-debiet op de verschillende meetdagen voor alle bemeten melkveestallen weergegeven.

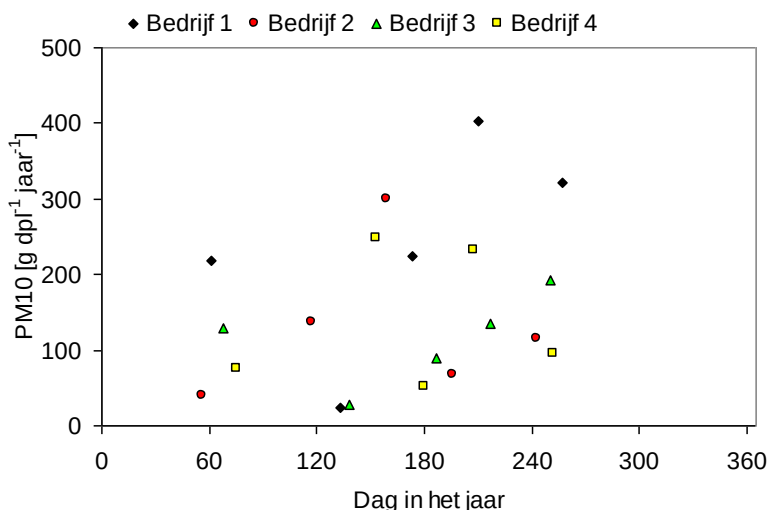


Figuur 5 Gemiddeld ventilatie-debiet op de verschillende meetdagen voor de vier melkvee stallen.

Uit deze figuur blijkt dat de variatie in het ventilatie-debiet groot is en wisselt per meting en locatie. Dit is gerelateerd aan verschillen in windsnelheid en windrichting voor de meetdagen. In het algemeen werden hogere ventilatie-debieten tijdens de warme maanden, en lagere debieten tijdens de koude maanden gemeten. Het gemiddelde debiet was 1591 m³/uur per dier.

3.3 PM10 emissie

In Figuur 6 wordt de PM10 emissie op de verschillende meetdagen voor alle bemeten melkveestallen weergegeven.

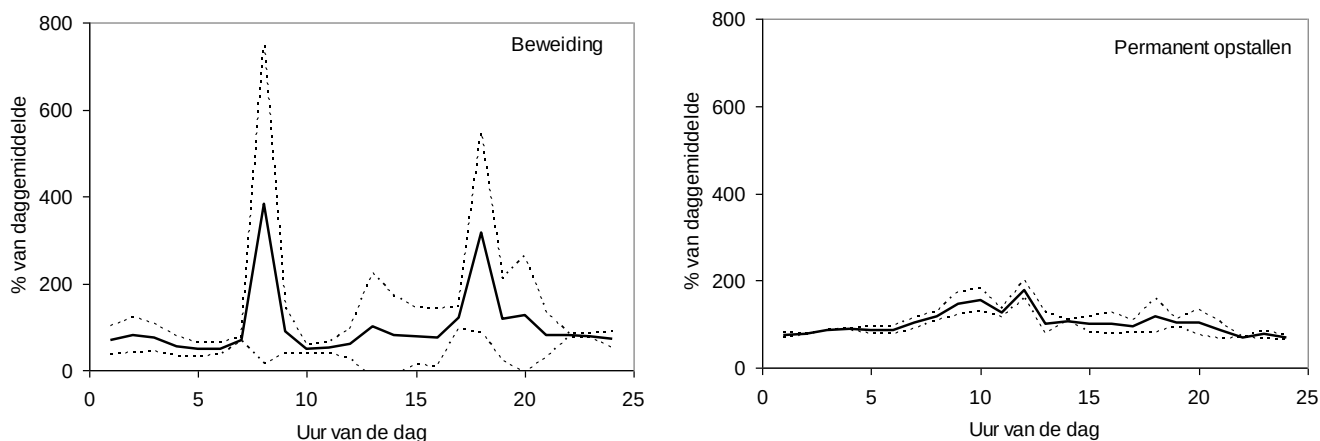


Figuur 6 Gemiddelde PM10 emissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkvee stallen, berekend op basis van permanent opstallen.

Uit deze figuur blijkt dat de PM10 emissies wat hoger waren in de zomermaanden. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. Op basis van de resultaten weergegeven in Figuur 6 en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 werd een jaaremissie berekend voor PM10 per

dierplaats (niet gecorrigeerd voor leegstand) van $117,8 \pm 35,1$ g/jaar voor bedrijven met weidegang, en van $147,5 \pm 47,4$ g/jaar voor permanent opstallen.

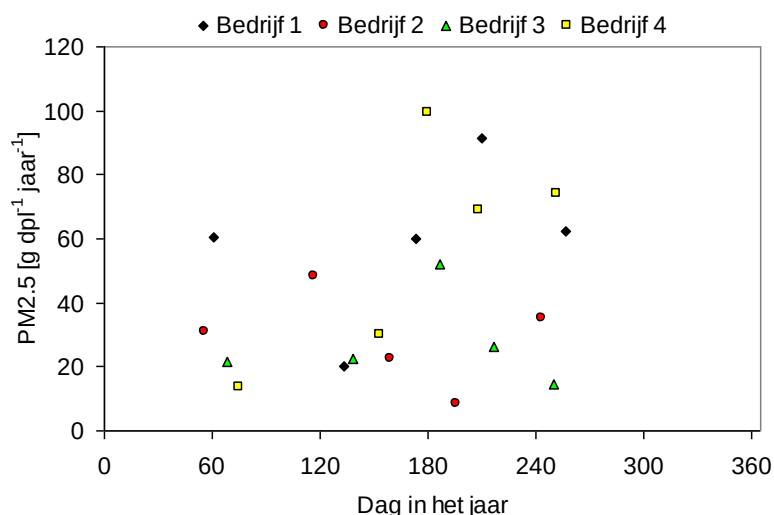
In Figuur 7 wordt, op basis van de metingen met de DustTrak, het concentratiepatroon voor PM10 weergegeven. Om het concentratiepatroon te bepalen werd eerst per bedrijf het gemiddelde uit alle metingen berekend. Daarna werd per uur het percentageverschil ten opzichte van dit gemiddelde berekend. Voor de bedrijven met weidegang (bedrijven 1 en 2) is gedurende een aantal dagen continu gemeten, om het patroon tijdens weidegang te bepalen. Figuur 7 laat zien dat bij weidegang de concentraties hoog zijn gedurende de tijd dat de koeien in de stal zijn en laag als ze buiten zijn en gedurende de nacht. Bij permanent opstallen is de variatie veel minder groot, alleen zijn de concentraties 's nachts wel lager dan overdag.



Figuur 7 Gemiddeld concentratiepatroon voor PM10 op basis van de DustTrak metingen voor de vier melkveestallen. Stippellijnen: $\pm$ standaard deviatie.

3.4 PM2,5 emissie

In Figuur 8 wordt de PM2,5 emissie op de verschillende meetdagen voor alle bemeeten melkveestallen weergegeven.



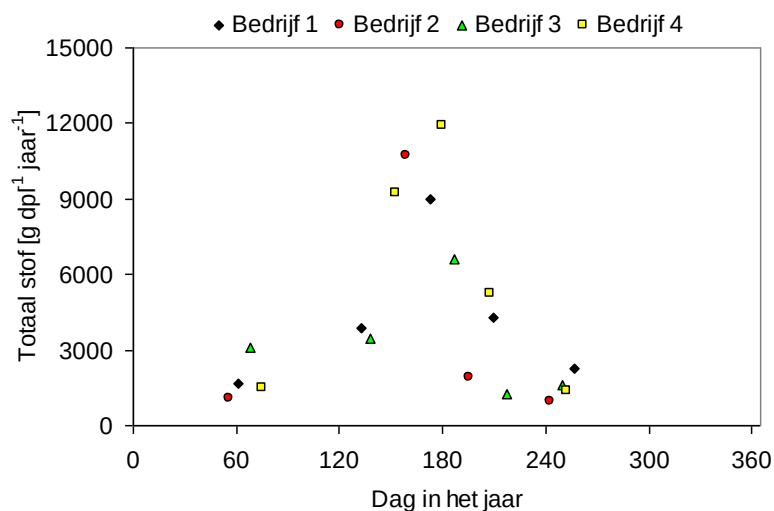
Figuur 8 Gemiddelde PM2,5 emissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkveestallen, berekend op basis van permanent opstallen.

Uit deze figuur blijkt dat de PM2,5 emissie geen duidelijke trend volgt over het jaar. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. Op basis van deze gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 werd een jaaremissie berekend voor PM2,5 per dierplaats (niet

gecorrigeerd voor leegstand) van $32,5 \pm 9,9$ g/jaar voor bedrijven met weidegang, en van $40,6 \pm 14,1$ g/jaar voor permanent opstallen.

3.5 Totaalstofemissie

In Figuur 9 wordt de totaalstofemissie op de verschillende meetdagen voor de vier melkveebedrijven weergegeven.

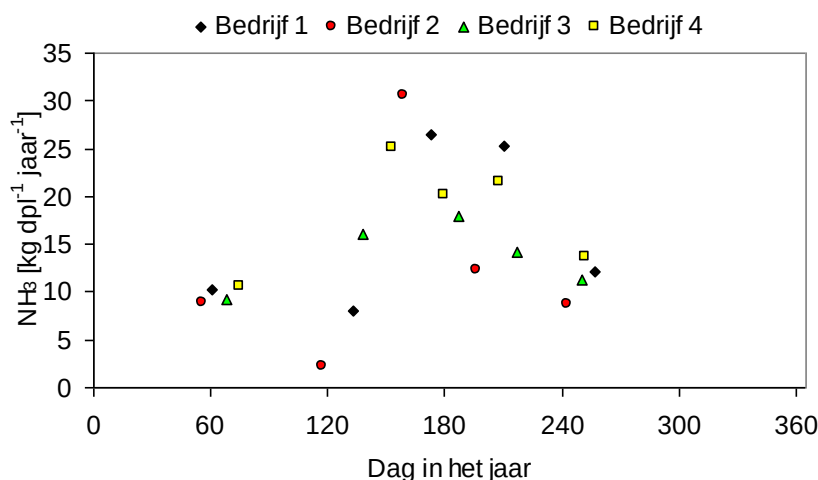


Figuur 9 Gemiddelde totaalstofemissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkveestallen, berekend op basis van permanent opstallen.

Uit deze figuur blijkt dat de totaalstofemissie hoger was tijdens de zomermaanden. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. Op basis van deze gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 werd een jaaremissie (niet gecorrigeerd voor leegstand) berekend voor totaalstof per dierplaats van $3,1 \pm 1,2$ kg/jaar voor bedrijven met weidegang, en van $3,9 \pm 1,3$ kg/jaar voor permanent opstallen.

3.6 Ammoniakemissie

In Figuur 10 wordt de ammoniakemissie op de verschillende meetdagen voor alle bemeten melkveestallen weergegeven.

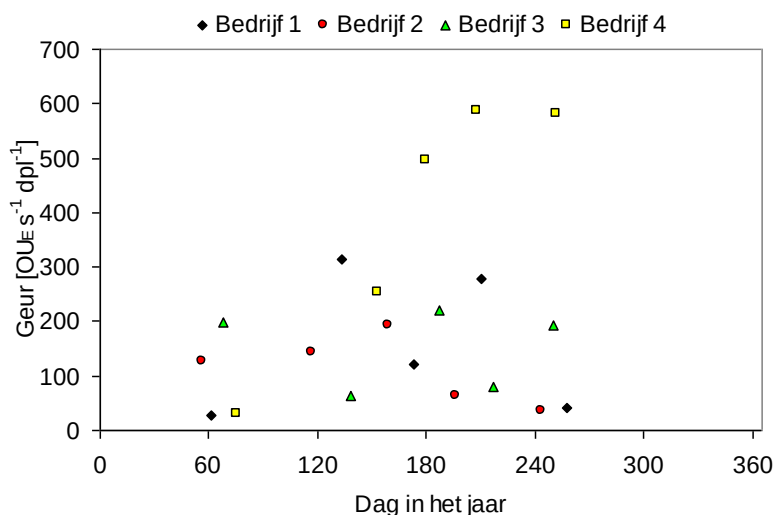


Figuur 10 Gemiddelde ammoniakemissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkveestallen, berekend op basis van permanent opstallen.

Uit deze figuur blijkt dat de ammoniakemissie het patroon van het ventilatiedebiet volgt, met hogere emissies tijdens de warme maanden en lagere emissies tijdens de koude maanden. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. Op basis van deze gegevens werd en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 een jaaremisse berekend voor ammoniak per dierplaats (niet gecorrigeerd voor leegstand) van $12,8 \pm 2,8$ kg/jaar voor bedrijven met weidegang, en van $14,4 \pm 2,9$ kg/jaar voor permanent opstallen.

3.7 Geuremissie

In Figuur 11 wordt de geuremissie op de verschillende meetdagen voor alle bemeten melkvee stallen weergegeven.

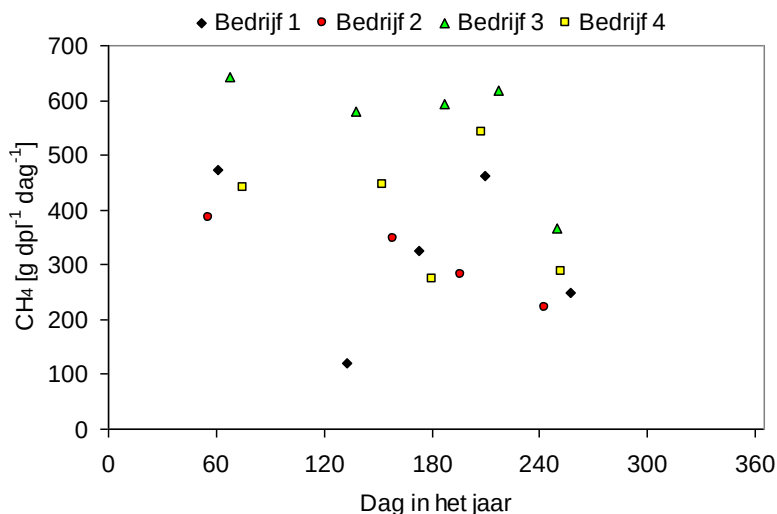


Figuur 11 Gemiddelde geuremissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkveestallen.

Uit deze figuur blijkt dat de geuremissies geen duidelijke trend volgt. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. Er is geen duidelijke verklaring voor de hogere emissies uit bedrijf 4. Op basis van deze gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 werd een (mediane) geuremissie op jaarbasis berekend per dierplaats (niet gecorrigeerd voor leegstand) van $165,5 \pm 80,1$ OU_E/s voor zowel bedrijven met weidegang als voor bedrijven met permanent opstallen.

3.8 Methaanemissie

In Figuur 12 wordt de methaanemissie op de verschillende meetdagen voor alle bemeten melkvee stallen weergegeven.

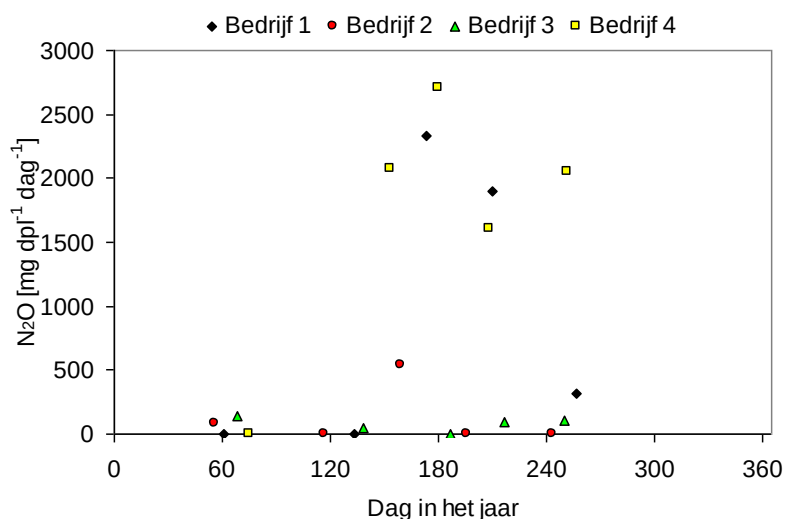


Figuur 12 Gemiddelde methaanemissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkveestallen, berekend op basis van permanent opstallen.

Uit deze figuur blijkt dat de methaanemissie geen duidelijke trend volgt. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. Op basis van deze gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 werd een gemiddelde emissie (pensfermentatie en emissie uit de mestkelder) berekend voor methaan per dierplaats (niet gecorrigeerd voor leegstand) van $126,9 \pm 36,0$ kg/jaar voor bedrijven met weidegang, en van $141,7 \pm 39,8$ kg/jaar voor permanent opstallen.

3.9 Lachgasemissie

In Figuur 11 wordt de lachgasemissie op de verschillende meetdagen voor alle bemeten melkveestallen weergegeven.



Figuur 13 Gemiddelde lachgasemissies op de verschillende meetdagen voor de vier melkveestallen.

Uit deze figuur blijkt dat de lachgasemissie geen duidelijke trend volgt. De spreiding binnen en tussen bedrijven is groot. De concentraties waren over het algemeen laag, aan de onderkant van het meetbereik van de meetmethode, en soms niet te onderscheiden van achtergrondwaarden. De nauwkeurigheid van deze cijfers is daardoor beperkt. Op basis van deze gegevens en de berekeningsmethodiek beschreven in hoofdstuk 2.4 werd een gemiddelde emissie berekend voor lachgas per dierplaats (niet gecorrigeerd voor leegstand) van $225,1 \pm 252,7$ g/jaar voor zowel bedrijven met weidegang als voor bedrijven met permanent opstallen.

4 Discussie

Volgens de meetprotocollen hoeft bij de berekening van de emissiefactoren voor melkvee niet gecorrigeerd te worden voor leegstand. In Tabel 4 worden de in dit onderzoek gemeten emissiecijfers weergegeven voor bedrijven met weidegang (Tabel 4a) en voor permanent opstallen (Tabel 4b). Ter vergelijking zijn voor stof de emissiefactoren opgenomen die zijn gebaseerd op de eerdere totaalstofmetingen van Groot Koerkamp e.a., (1996) en die zijn omgewerkt naar PM10 en PM2,5 door Chardon en van der Hoek (2002). In Tabel 4 staan deze opgenomen in de kolom gehanteerde emissiefactoren. Deze waarden worden sinds 2008 gehanteerd in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (Rbl 2007). Voor ammoniak en geur kunnen de metingen vergeleken worden met de corresponderende waarden in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) en de Regeling geur en veehouderij (Rgv).

Tabel 4a Emissies van PM10, PM2,5, ammoniak, geur, methaan en lachgas voor melkveebedrijven met weidegang, uitgedrukt per dierplaats; onderscheiden naar meetwaarden met en zonder leegstandcorrectie voor zover vereist volgens meetprotocol; eerdere Rbl 2007-, Rav- en Rgv-waarden (zie tekst)

Emissie	Waarde huidige metingen ⁽¹⁾	Gehanteerde emissiefactoren
PM10 (g/dierplaats per jaar)	117,8 ± 35,1	306 ⁽²⁾
PM2,5 (g/dierplaats per jaar)	32,5 ± 9,9	54 ⁽³⁾
Ammoniak (kg/dierplaats per jaar)	12,8 ± 2,8	9,5
Geur (OU _E /dierplaats per s)	165,5 ± 80,1	-
Methaan (kg/dierplaats per jaar)	126,9 ± 36,0	-
Lachgas (g/dierplaats per jaar)	225,1 ± 252,7	-

¹⁾ Geen correctie voor leegstand

²⁾ Berekend als (0,45 * emissie totaalstof) door Chardon en Van der Hoek (2002)

³⁾ Berekend als (0,08 * emissie totaalstof) door Chardon en Van der Hoek (2002)

Tabel 4b Emissies van PM10, PM2,5, ammoniak, geur, methaan en lachgas melkveebedrijven met permanent opstallen, uitgedrukt per dierplaats; onderscheiden naar meetwaarden met en zonder leegstandcorrectie voor zover vereist volgens meetprotocol; eerdere Rbl 2007-, Rav- en Rgv-waarden (zie tekst)

Emissie	Waarde huidige metingen ⁽¹⁾	Gehanteerde emissiefactoren
PM10 (g/dierplaats per jaar)	147,5 ± 47,4	306 ⁽²⁾
PM2,5 (g/dierplaats per jaar)	40,6 ± 14,1	54 ⁽³⁾
Ammoniak (kg/dierplaats per jaar)	14,4 ± 2,9	11,0
Geur (OU _E /dierplaats per s)	165,5 ± 80,1	-
Methaan (kg/dierplaats per jaar)	141,7 ± 39,8	-
Lachgas (g/dierplaats per jaar)	225,1 ± 252,7	-

¹⁾ Geen correctie voor leegstand

²⁾ Berekend als (0,45 * emissie totaalstof) door Chardon en Van der Hoek (2002)

³⁾ Berekend als (0,08 * emissie totaalstof) door Chardon en Van der Hoek (2002)

Uit Tabel 4 kan opgemaakt worden dat de huidige metingen beduidend lagere stofemissiecijfers laten zien voor de PM10 en PM2,5 fracties dan de eerder gehanteerde waarden. De totaalstof emissiecijfers zijn beduidend hoger dan de eerder gehanteerde waarden. In dit onderzoek werd een conversiefactor tussen totaalstof en PM10 berekend van 0,17. Dit is beduidend lager dan de waarde (0,45) die is beschreven door Chardon en Van der Hoek (2002). Deze auteurs hanteren een conversiefactor tussen totaalstof en PM2,5 van 0,08. Dit is vergelijkbaar met de waarde die gevonden werd in dit onderzoek, namelijk 0,07.

De berekende ammoniakemissie op basis van de huidige metingen (12,8 ± 2,8 kg/dierplaats per jaar voor bedrijven met weidegang, 14,4 ± 2,9 kg/dierplaats per jaar voor permanent opstallen) is beduidend hoger dan de huidige emissiefactor voor ammoniak (9,5 kg/dierplaats per jaar voor overige huisvestingssystemen met beweiding; 11,0 kg/dierplaats per jaar voor overige huisvestingssystemen en permanent opstallen) in de Rav. De metingen zijn in een half jaar uitgevoerd, met een gemiddeld

dagnummer in het jaar van 167. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (15,9 °C) is hoger dan het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C), en over de gemeten meetperiode (13,1 °C). Dit zou een reden kunnen zijn voor de hogere ammoniakemissies gevonden in dit onderzoek.

Het is moeilijk om bedrijven die in het onderzoek hebben meegedaan met elkaar te vergelijken ten aanzien van emissies. Dit is vooral lastig omdat vijf metingen van één bedrijf onvoldoende zijn om het bedrijf voldoende nauwkeurig te karakteriseren ten aanzien van emissies. Het meetprotocol is dusdanig opgezet dat alle metingen van alle bedrijven (minimaal 20) nodig zijn om een voldoende nauwkeurige emissiefactor vast te stellen voor een stalsysteem. Vijf metingen op één bedrijf is onvoldoende om voor dat bedrijf zelf een emissiefactor vast te stellen. Deze vijf metingen kunnen voor één bedrijf net gunstig uitvallen, of juist ongunstig uitvallen. Het heeft daarom niet veel zin om te proberen te verklaren waarom één bedrijf een hogere of juist een lagere emissie heeft dan een ander bedrijf. Dit afgezien van het feit dat er zoveel factoren verschillend zijn dat het zeer moeilijk is om een duidelijke oorzaak aan te wijzen.

5 Conclusies

Op basis van dit onderzoek in vier melkveestallen met traditionele stalinrichting zijn de volgende jaaremissies bepaald (berekende emissiefactor $\pm$ de standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) voor bedrijven met weidegang:

- PM10 emissie: $117,8 \pm 35,1$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $32,5 \pm 9,9$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: $12,8 \pm 2,8$ kg/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $165,5 \pm 80,1$ OU_E/dierplaats per seconde
- Methaanemissie: $126,9 \pm 36,0$ kg/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $225,1 \pm 252,7$ g/dierplaats per jaar

Op basis van dit onderzoek in vier melkveestallen met traditionele stalinrichting zijn de volgende jaaremissies bepaald (berekende emissiefactor $\pm$ de standaarddeviatie tussen bedrijven; niet gecorrigeerd voor leegstand) voor permanent opstallen:

- PM10 emissie: $147,5 \pm 47,4$ g/dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $40,6 \pm 14,1$ g/dierplaats per jaar
- Ammoniakemissie: $14,4 \pm 2,9$ kg/dierplaats per jaar
- Geuremissie: $165,5 \pm 80,1$ OU_E/dierplaats per s
- Methaanemissie: $141,7 \pm 39,8$ kg/dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $225,1 \pm 252,7$ g/dierplaats per jaar

De volgende conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de stofemissie:

- de emissie van PM10 is beduidend lager dan de eerder gehanteerde emissiefactor voor PM10 (306 g/dierplaats per jaar);
- de emissie van PM2,5 is iets lager dan de eerder gehanteerde waarde voor PM2,5 (54 g/dierplaats per jaar);
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM10 (0,17) is beduidend lager dan de conversiefactor (0,45) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven;
- de conversiefactor voor totaalstof naar PM2,5 (0,07) is vergelijkbaar met de conversiefactor (0,08) die door Chardon en Van der Hoek (2002) is beschreven.

Literatuur

- 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. Rapport 154, Animal Sciences Group, Lelystad.
- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Chardon, W. J., and 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).
- Groot Koerkamp, P. W. G., G. H. Uenk, and H. Drost. 1996. De uitstoot van respirabelstof door de Nederlandse veehouderij. Rapport 96-10, Instituut voor Milieu- en Agritechniek.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera, N.W.M. Ogink en J.M.G. Hol. 2007 Meetprotocol voor het bepalen van een emissiefactor voor methaan uit stalsystemen. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A. J. A. Aarnink, and 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.
- Mosquera, J. en C.M. Groenestein. 2008. Bouwstenen voor een meetprotocol voor het bepalen van een emissiefactor voor lachgas uit stalsystemen. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegetrouwheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M. 2008. Protocol voor het meten van de geuremissie uit stalsystemen in de veehouderij. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Ogink, N. W. M., J. M. G. Hol, J. Mosquera, and H. M. Vermeer. 2008. Bouwstenen voor een nieuw meetprotocol ammoniak emissiemetingen voor huisvestingssystemen in de veehouderij. Intern rapport, Animal Sciences Group, Wageningen.
- Ogink, N.W.M., G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M. J. W. Heetkamp, and 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.
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schroeder, K. H. Linkert, C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in northern europe. J. agric. Engng Res. 70: 59-77.
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.
- Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. Journal of Aerosol Science, submitted.

Bijlagen

Bijlage 1 Traditionele stalinrichting, bedrijf 1

Algemeen		Melkkoeien				
Rav-code mei 2009 (www.infomil.nl)		A1.100.1 NH ₃ : 9,5 NH ₃ /dierplaats/jaar ; Geur: afstandentabel; Fijnstof PM10: 306 g/dier/jaar				
Stalbeschrijving		Overige huisvestingssystemen; met beweiden				
Stalsituatie						
Omschrijving stal		1 + 1 rijig				
Aantal ligboxen per diergroep		50 ligboxen voor de melkkoeien				
Beschrijving en afmeting loopoppervlak		182,5 m ² betonroostervloer				
extra hok(ken), oppervlak en vloer		Geen				
Loop oppervlakte per melkkoe [m ²]		3,65				
Mestkelder						
Beschrijving		Gehele stal onderkelderd				
Diepte [m]		2,0				
Mestverwijdering en frequentie		Handmatig, twee keer per dag				
Afvoer mest uit de stal		Tussen februari en september regelmatig afvoer direct op het land				
Klimaatregeling						
Ventilatie		Natuurlijk geventileerd				
Ventilatieopeningen		Nok met een kap 6,25 m ² ; 1 zijwand deels open, deels met windbreekgaas 34 m ² ; 1 zijwand deels dicht, deels met kleppen 2 m ² Schuifdeur aan de voorkant van de stal 20 m ² .				
Inhoud van de stal		1475 m ³ (26,6 m lengte, 16,5 m breedte, 2,45 m goothoogte, 6,1 m nokhoogte)				
Interne luchtbeweging		Geen ventilatoren				
Bedrijfsvoering						
Voersysteem		Voerbak; krachtvoerbox in de stal en krachtvoer tijdens melken				
Type voer						Aandeel op basis ds [%]
voermengwagen voeren		VEM	RE	DVE	Weide	Stal
			[g/kg ds]	[g/kg ds]	periode	periode
vers gras		960**)	202**)	103**)	+))	0
ingekuuld gras		872	200	86	67	67
maïs		972	83	41	33	33
Verschillende soorten krachtvoer		970	1163	105	*)	*)
Gemiddelde melkproductie [l/dier/dag]		30,3				
% eiwit en vet in de melk		3,6 en 4,3				
Gemiddeld ureumgehalte melk		20				
Drinkwatersysteem en drinktijden		Waterbakken in de stal; onbeperkt				
Lichtregime		Daglicht				

*) weidegang van 5 uur; *) gemiddelde krachtvoergift 7,4 kg / dier / dag **) geschatte waarde



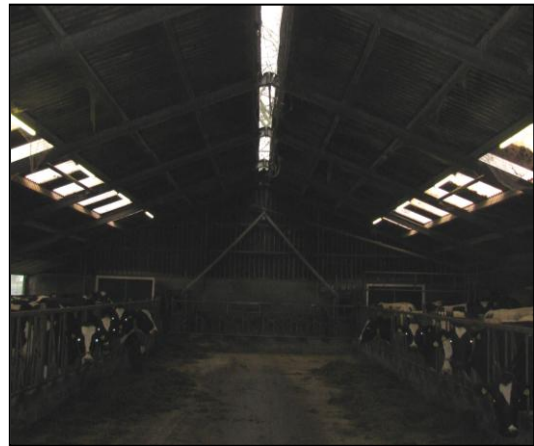
Luchtinlaat buitenzijde



Luchtuitlaat



Binnenzijde stal



Binnenzijde stal

Bijlage 2 Traditionele stalinrichting, bedrijf 2

Algemeen		Melkkoeien				
Rav-code mei 2009 (www.infomil.nl)		A1.100.1 NH ₃ : 9,5 NH ₃ /dierplaats/jaar ; Geur: afstandentabel; Fijnstof PM10: 306 g/dier/jaar				
Stalbeschrijving		Overige huisvestingssystemen; met beweiden				
Stalsituatie						
Omschrijving stal		2 + 1 rijig				
Aantal ligboxen per diergroep		86 ligboxen 59 melkkoeien 14 droge koeien 13 drachtig jongvee				
Beschrijving en afmeting loopoppervlak extra hok(ken), oppervlak en vloer		310 m ² betonroostervloer (66% voor melkvee, 34% voor overig rundvee) 1 strohok, 17 m ²				
Loop oppervlakte per melkkoe [m ²]		3,47				
Mestkelder						
Beschrijving		Gehele stal onderkelderd				
Diepte [m]		1,5				
Mestverwijdering en frequentie		Mestschuif, weideperiode 4 maal per nacht, stalperiode 8 maal per 24 uur				
Afvoer mest uit de stal		Tussen februari en september regelmatig afvoer direct op het land				
Klimaatregeling						
Ventilatie		Natuurlijk geventileerd				
Ventilatieopeningen		Nok met een kap 43 m ² ; Zijwanden met windbreekgaas 59 m ² ; Schuifdeur aan de voorkant van de stal 17,5 m ² .				
Inhoud van de stal		3808 m ³ (43 m lengte, 22 m breedte, 2,25 m goothoogte, 5,8 m nokhoogte)				
Interne luchtbeweging		4 ventilatoren, automatisch aan bij temperatuur > 25 °C en windstil weer				
Bedrijfsvoering						
Voersysteem en voertijden		Voermengwagen; krachtvoerbox in de stal en krachtvoer tijdens melken				
Type voer						Aandeel op basis ds [%]
voermengwagen voeren		VEM	RE	DVE	Weide	Stal
			[g/kg ds]	[g/kg ds]	periode	periode
vers gras		975*	213*	90*	12	0
ingekuuld gras		934	166	73*	46	58
maïs		951	75	500*	12	12
Verschillende soorten krachtvoer		960	151	90*	24	24
Overig ruwvoer		1125	69	64*	6	6
Gemiddelde melkproductie [l/dier/dag]		29				
% eiwit en vet in de melk		3,34 en 4,05				
Gemiddeld ureumgehalte melk		18 (11 tot 26)				
Drinkwatersysteem en drinktijden		Waterbakken in de stal,; onbeperkt				
Lichtregime		Daglicht				

* geschatte waarden



Luchtinlaat buitenzijde



Luchtuitlaat



Binnenzijde stal



Binnenzijde stal

Bijlage 3 Traditionele stalinrichting, bedrijf 3

Algemeen		Melkkoeien					
Rav-code mei 2009 (www.infomil.nl)		A1.100.1 ^{***)} NH ₃ : 9,5 NH ₃ /dierplaats/jaar ; Geur: afstandentabel; Fijnstof PM10: 306 g/dier/jaar					
Stalbeschrijving		Overige huisvestingssystemen; met beweiden					
Stalsituatie							
Omschrijving stal		1 + 1 rijig					
Aantal ligboxen per diergroep		50 ligboxen voor de melkkoeien					
Beschrijving en afmeting loopoppervlak		128 m ² betonroostervloer					
extra hok(ken), oppervlak en vloer		Geen					
Loop oppervlakte per melkkoe [m ²]		2,56					
Mestkelder							
Beschrijving		Roostervloer en ligboxen onderkelderd					
Diepte [m]		1,5					
Mestverwijdering en frequentie		Nee					
Afvoer mest uit de stal		Tussen februari en juli regelmatig afvoer direct op het land					
Klimaatregeling							
Ventilatie		Natuurlijk geventileerd					
Ventilatieopeningen		Open nok 5 m ² ; Kleppen in de zijwanden 5,12 m ² ; (1 klep= 0,2 x1,6 m; in totaal 16 kleppen)					
Inhoud van de stal		Schuifdeur aan de voorkant van de stal 16 m ² . 1209 m ³ (25 m lengte, 16,4 m breedte, 2,2 m goothoogte, 5,2 m nokhoogte)					
Interne luchtbeweging		Geen ventilatoren					
Bedrijfsvoering							
Voersysteem		Voerbak; krachtvoerbox in de stal en krachtvoer tijdens melken					
						Aandeel op basis ds [%]	
	Type voer	VEM	RE [g/kg ds]	DVE [g/kg ds]	Weide periode ⁺⁾	Stal Periode	
	vers gras	960 ^{**)}	202 ^{**)}	103 ^{**)}		0	
	ingekuuld gras	934	209	71	50	50	
	maïs	987	83	56	50	50	
	Verscheidende soorten krachtvoer	960	200	140	^{*)}	^{*)}	
Gemiddelde melkproductie [l/dier/dag]		30					
% eiwit en vet in de melk		3,5 en 4,5					
Gemiddeld ureumgehalte melk		22					
Drinkwatersysteem en drinktijden		waterbakken in de stal; onbeperkt					
Lichtregime		Daglicht					

⁺⁾ weidegang van 5 uur; ^{*)} gemiddelde krachtvoergift 8 kg / dier / dag. ^{**)} geschatte waarde; ^{***)} Op dit bedrijf wordt weidegang toegepast, maar voor dit onderzoek werd behalve voor meting 5 de dieren permanent in de stal gehouden



Luchtinlaat buitenzijde



Luchtuitlaat



Binnenzijde stal



Binnenzijde stal

Bijlage 4 Traditionele stalinrichting, bedrijf 4

Algemeen		Melkkoeien			
Rav-code mei 2009 (www.infomil.nl)		A1.100.2 NH ₃ : 11,0 NH ₃ /dierplaats/jaar ; Geur: afstandentabel; Fijnstof PM10: 306 g/dier/jaar			
Stalbeschrijving		Overige huisvestingssystemen; permanent opstallen			
Stalsituatie					
Omschrijving stal		2 + 2 rijig			
Aantal ligboxen per diergroep		170 ligboxen; 140 melkkoeien 5 droge koeien 20 drachtig jongvee			
Beschrijving en afmeting loopoppervlak extra hok(ken), oppervlak en vloer		470 m ² betonroostervloer + 10 m ² dichte vloer 1 strohok, 25 m ² 1 ziekenstal, 7,5 m ²			
Loop oppervlakte per melkkoe [m ²]		2,76			
Mestkelder					
Beschrijving		Roostervloer en ligboxen onderkelderd			
Diepte [m]		1,6			
Mestverwijdering en frequentie		Mestschuif, 12 maal per 24 uur			
Afvoer mest uit de stal		Tussen februari en juli regelmatig afvoer direct op het land			
Klimaatregeling					
Ventilatie		Natuurlijk geventileerd			
Ventilatieopeningen		Open nok 16,8 m ² ; Zijwanden met windbreekgaas 46,2 m ² ; Schuifdeur aan de voorkant van de stal 36 m ² .			
Inhoud van de stal		6908 m ³ (56 m lengte, 25,7 m breedte, 2,5 m goothoogte, 7,1 m nokhoogte)			
Interne luchtbeweging		4 ventilatoren, automatisch aan bij een temperatuur>20,5 °C uit bij een temperatuur <19,5 °C			
Bedrijfsvoering					
Voersysteem en voertijden		Voermengwagen; krachtvoerbox in de stal en krachtvoer tijdens melken			
Type voer					Aandeel op basis ds [%]
Gemiddeld rantsoen		VEM	RE	DVE	Stalperiode
			[g/kg ds]	[g/kg ds]	
ingekuuld gras		902 – 940	200*	70 - 82	
maïs		933	83*	38	
aardappelpersvezel		1038	73*	86	
Verschillende soorten krachtvoer		1044 - 1194	200*	117 - 206	29
Overig ruwvoer		432 - 737	-	1 - 47	5
Gemiddelde melkproductie [l/dier/dag]		31,5			
% eiwit en vet in de melk		3,5 en 4,3			
Gemiddeld ureumgehalte melk		26 (18-31)			
Drinkwatersysteem en drinktijden		waterbakken in de stal; onbeperkt			
Lichtregime		Daglicht			

* geschatte waarde



Luchtinlaat



Luchtuitlaat



Binnenzijde stal



Binnenzijde stal



Wageningen UR Livestock Research

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

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