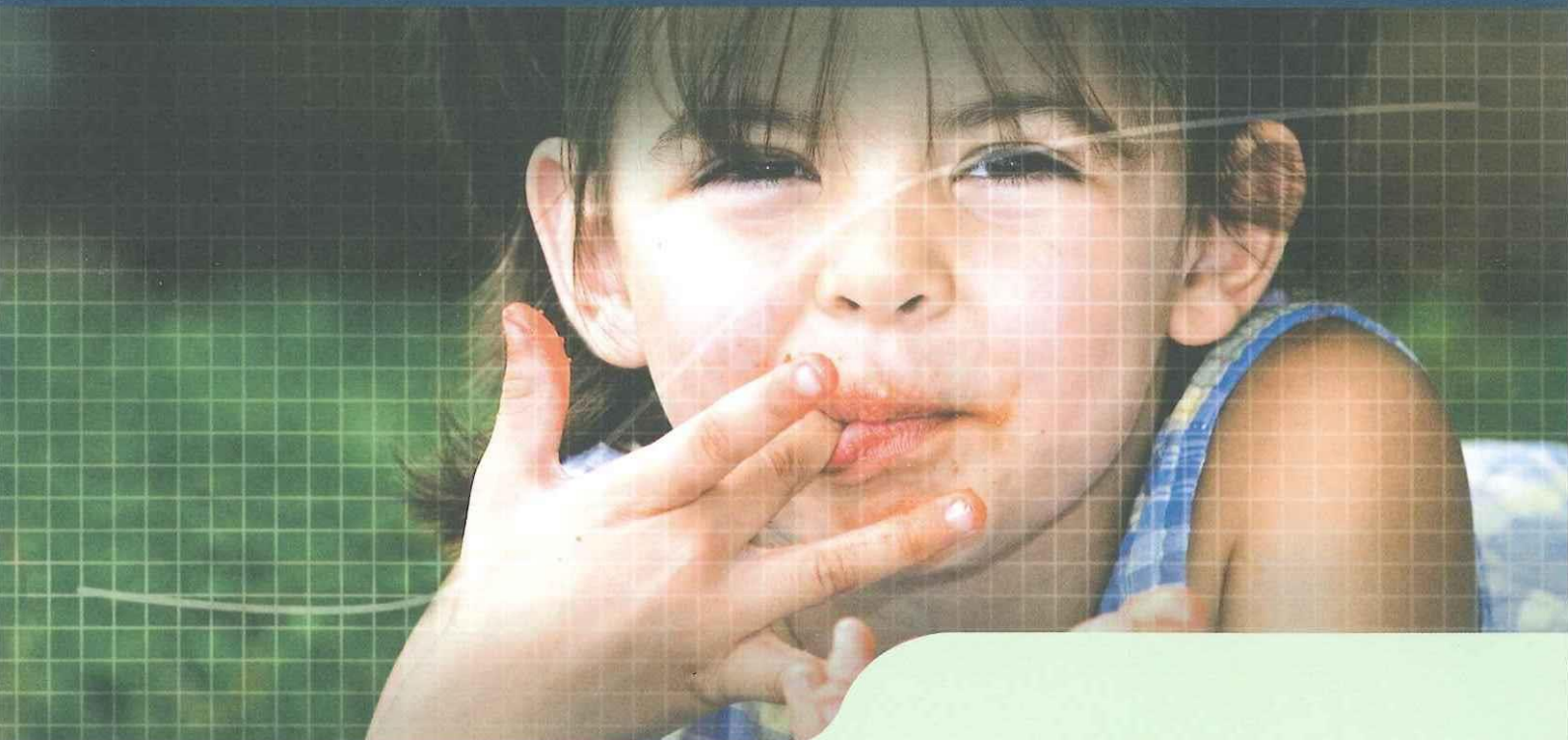


Wageningen UR Livestock Research

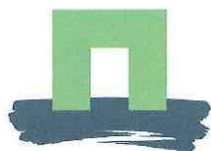
Partner in livestock innovations



Rapport 620

Emissies uit een vleesvarkensstal voorzien
van een V-vormige mestband voor het
gescheiden afvoeren van mest en urine

April 2013



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Dit onderzoek is mede gesubsidieerd door het Productschap Vee en Vlees (PVV), Provincie Limburg, het Ministerie van Economische Zaken en de firma Kempfarm.



provincie limburg



Ministerie van Economische Zaken

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, 2013

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 gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

This study reports the emissions of ammonia, odour, fine dust (PM10 and PM2.5), methane and nitrous oxide from an animal house for fattening pigs provided with V-shaped manure belts for separated removal of faeces and urine (the Kempfarm system).

Keywords

Ammonia, odour, fine dust, methane, nitrous oxide, emissions, fattening pigs, Kempfarm

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

H. Ellen
J.M.G. Hol
J. Mosquera
A.J.A. Aarnink

Titel

Emissies uit een vleesvarkensstal voorzien van een V-vormige mestband voor het gescheiden afvoeren van mest en urine

Rapport 620

Samenvatting

In dit onderzoek zijn de emissies bepaald van ammoniak, geur, fijnstof (PM10, PM2,5), methaan en lachgas uit een vleesvarkensstal met V-vormige mestband voor het gescheiden afvoeren van mest en urine (het Kempfarm-systeem).

Trefwoorden

Ammoniak, geur, fijnstof, methaan, lachgas, emissies, vleesvarkens, Kempfarm



Rapport 620

Emissies uit een vleesvarkensstal voorzien
van een V-vormige mestband voor het
gescheiden afvoeren van mest en urine

Emissions from a housing system for fattening
pigs with a V-shaped manure belt for
separated removal of faeces and urine

H. Ellen
J.M.G. Hol
J. Mosquera
A.J.A. Aarnink

April 2013

Voorwoord

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van metingen die op het Varkens Innovatie Centrum (VIC) Sterksel uitgevoerd zijn om de geuremissies van een systeem met directe scheiding van mest en urine en dagelijkse afvoer van de vaste mest door middel van mestbanden (Kempfarm-systeem) voor vleesvarkens vast te stellen. Naast geur zijn ook de emissies van ammoniak, methaan, lachgas en fijnstof gemeten.

Ing. H. Ellen
Projectleider
Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

Dit onderzoek is door Productschappen Vee, Vlees en Eieren, de Provincie Limburg, het Ministerie van Economische Zaken en dhr. Van Kempen gefinancierd.

In dit rapport staan de resultaten van de metingen die in het kader van het vaststellen van de geuremissie van het systeem met een V-vormige mestband voor het gescheiden afvoeren van mest en urine (Kempfarm-systeem) voor vleesvarkens op het Varkens Innovatie Centrum (VIC) Sterksel zijn uitgevoerd. Naast geur zijn ook de emissies van ammoniak, broeikasgassen (methaan en lachgas) en fijnstof bepaald. Het beoogde emissie reducerende principe van dit systeem voor geur is gebaseerd op frequente en gescheiden afvoer van feces en urine, waardoor omzettingen van organische stof naar andere (geur)componenten sterk worden beperkt. Het regelmatig en gescheiden afvoeren van de geproduceerde mest en urine zorgt, doordat de omzetting van ureum naar ammoniak wordt geremd, ook voor een reductie van de ammoniakemissie. Door de mest frequent uit de stal te verwijderen zal de methaanemissie uit de mest beperkt blijven, waardoor een lagere methaanemissie uit de stal mag worden verwacht. De verwachting is dat dit systeem geen invloed zal hebben op de emissies van lachgas en fijnstof.

De emissiemetingen van ammoniak, geur, (zeer) fijn stof, methaan en lachgas zijn uitgevoerd conform voorgeschreven protocollen. Dit houdt in dat zes 24-uurs (voor geur 2-uurs) metingen zijn uitgevoerd, verspreid over het jaar. Het protocol schrijft metingen voor op vier verschillende locaties. Eerder zijn metingen op één andere locatie uitgevoerd. In dit onderzoek waren metingen gepland aan twee locaties, namelijk op VIC-Sterksel en op een praktijkbedrijf. Vanwege brand zijn de metingen op het praktijkbedrijf uitgesteld. In dit rapport worden de resultaten weergegeven van de metingen die uitgevoerd zijn op VIC-Sterksel.

In onderstaande tabel zijn de op basis van deze metingen voor deze locatie de bepaalde jaaremissies (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; emissies van ammoniak, PM10, PM2,5, methaan en lachgas gecorrigeerd voor een leegstand van 3%, voor geur wordt geen leegstandscorrectie toegepast) weergegeven, samen met de emissies uit de eerdere meting (gemiddelde waarde) en de emissies in regelgeving (stand maart 2013). De bij deze meting gevonden emissies zijn waarschijnlijk sterk beïnvloed door het materiaal van de band waarmee de vaste mest werd afgevoerd.

	Deze metingen	Eerdere meting	Regelgeving ^{*)}	
			BWL 2008.10	Traditioneel
Geuremissie (OU _E /dierplaats/s)	12,5 ($\pm$ 10,2)	5,09	17,9	23,0
Ammoniakemissie (kg/dierplaats/jaar)	2,7 ($\pm$ 0,5)	1,05	0,9	2,5
PM10 emissie (g/dierplaats/jaar)	154,7 ($\pm$ 63,5)	110	153	153
PM2,5 emissie (g/dierplaats/jaar)	5,5 ($\pm$ 4,0)	^{**)}	--	--
Methaanemissie (kg/dierplaats/jaar)	1,7 ($\pm$ 1,1)	0,94	--	--
Lachgasemissie (g/dierplaats/jaar)	13,4 ($\pm$ 9,0)	110	--	--

^{*)} Op basis van max. 0,8 m²/dier

^{**)} Niet betrouwbaar gemeten

Summary

This report shows the results of measurements performed at the experimental pig farm VIC Sterksel in order to determine the odour emission from a housing system with V-shaped manure belts for separated removal of faeces and urine (the Kempfarm system) applied for fattening pigs. In addition to odour emissions, emissions of ammonia, greenhouse gases (methane and nitrous oxide) and particulate matter were also measured. The emission reduction principle of this system is based on the separation of faeces and urine and frequent removal of manure from the animal house, limiting the conversion of organic matter into other (odorous) compounds. This separation of faeces and urine, and the frequent removal of manure also reduces ammonia emissions, by inhibiting the conversion of urea into NH_3 . Frequent removal of manure also results in lower methane emissions from the manure, and therefore lower methane emissions from the animal house. No effects are expected from the application of this system on the emissions of nitrous oxide and particulate matter from the animal house.

Emission measurements of ammonia, odour, particulate matter, methane and nitrous oxide have been performed according to described protocols. This implies performing six 24-h measurements (for odour two h), spread over the year. This protocol prescribes measurements on four different locations. In a former study similar measurements were performed on another location. At the beginning of this research, it was considered to perform measurements both at VIC-Sterksel and at a commercial farm. Due to fire, measurements at the commercial farm have been postponed. This report shows the results of the measurements performed at the location VIC-Sterksel.

The table below shows the emissions based on this study, for this location, the yearly emissions (average $\pm$ standard deviation between measurements; emissions of ammonia, PM10, PM2.5, methane and nitrous oxide corrected for an empty period of 3%, for odour no correction factors are applied) together with the emissions of an earlier study and the emission factors mentioned in legislation. The emissions in this study may be effected by the material of the manure belt.

	This study	Earlier study	Legislation ^{*)}	
			BWL 2008.10	Traditional
Odour emission (OU _E /animal place/s)	12.5 ($\pm$ 10.2)	5.09	17.9	23.0
Ammonia emission (kg/animal place/year)	2.7 ($\pm$ 0.5)	1.05	0.9	2.5
PM10 emission (g/animal place/year)	154.7 ($\pm$ 63.5)	110	153	153
PM2,5 emission (g/animal place/year)	5.5 ($\pm$ 4.0)	**)	--	--
Methane emission (kg/animal place/year)	1.7 ($\pm$ 1.1)	0.94	--	--
Nitrous oxide emission (g/ animal place/year)	13.4 ($\pm$ 9.0)	110	--	--

^{*)} Max. 0,8 m²/dier

^{**) Measurement not reliable}

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Stal- en bedrijfssituatie	2
2.1.1	Huisvesting en bedrijfsvoering	2
2.1.2	Emissie reducerend principe	3
2.2	Metingen	3
2.2.1	Meetstrategie	3
2.2.2	Geurconcentratie	4
2.2.3	Ammoniakconcentratie	4
2.2.4	Stofconcentratie	4
2.2.5	Concentratie overige broeikasgassen	4
2.2.6	Ventilatiedebiet	4
2.2.7	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	5
2.2.8	Productiegegevens	5
2.3	Verwerking gegevens	5
2.3.1	Emissies	5
3	Resultaten en discussie	7
3.1	Meetomstandigheden	7
3.2	Ventilatiedebiet	8
3.3	Geur	9
3.4	Ammoniak	10
3.5	Fijn stof (PM10 en PM2,5)	10
3.6	Overige broeikasgassen (CH ₄ en N ₂ O)	11
4	Conclusies	15
	Literatuur	16
	Bijlage A Tekening uit systeembeschrijving BWL 2008.10	17
	Bijlage B Plattegrond en foto's van de stal, en overzicht van de meetpunten	18
	Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering	21
	Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)	24

1 Inleiding

Het onderzoek van Aarnink e.a. (2007), uitgevoerd in een vleesvarkensstal voorzien van een V-vormige mestband voor het gescheiden afvoeren van mest en urine (het Kempfarm systeem), heeft de potentie van dit systeem laten zien om de emissies van ammoniak (NH_3) en geur te reduceren. Op basis van deze metingen is het systeem opgenomen in de bijlage van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) onder nummer BWL2008.10, met een emissiefactor van 0,9 of 1,2 kg per dierplaats per jaar, afhankelijk van de oppervlakte per dier. De metingen gerapporteerd in Aarnink e.a. (2007) laten een lagere geuremissie zien dan de toegekende geuremissiefactor voor dit systeem (17,9 OU_E per dierplaats per s). Aangezien geuremissies sterk kunnen variëren tussen bedrijven, zijn metingen op andere bedrijven met hetzelfde systeem noodzakelijk voordat een lagere geuremissiefactor aan dit systeem toegekend kan worden.

In dit kader is een onderzoek opgestart met als doel het vaststellen van de geuremissie van het systeem. Hiervoor waren metingen gepland aan een afdeling op het Varkens Innovatie Centrum (VIC) Sterksel en op een praktijkbedrijf. Vanwege brand zijn de metingen op het praktijkbedrijf niet doorgegaan. Naast geur zijn ook de emissies van NH_3 , broeikasgassen (methaan (CH_4) en lachgas (N_2O)) en fijnstof (PM10 en PM2,5) bepaald.

In dit rapport staan de resultaten van de metingen die zijn uitgevoerd op VIC-Sterksel. Het beoogde emissie reducerende principe van dit systeem voor geur is gebaseerd op de frequente en gescheiden afvoer van feces en urine, waardoor omzettingen van organische stof naar andere (geur)componenten sterk worden beperkt. Het regelmatig en gescheiden afvoeren van de geproduceerde mest en urine zorgt, doordat de omzetting van ureum naar NH_3 wordt geremd, ook voor een reductie in NH_3 -emissies. Door de mest frequent uit de stal te verwijderen zal de methaanemissie uit de mest beperkt blijven, waardoor een lagere methaanemissie uit de stal mag worden verwacht. De verwachting is dat dit systeem geen invloed zal hebben op de emissies van lachgas en fijnstof.

2 Materiaal en methode

In de hierna volgende paragrafen en in de bijlagen wordt een beschrijving gegeven van de stal en de bedrijfssituatie (2.1; Bijlage A en B), van de metingen (2.2; Bijlage B, C en D) en van de wijze van verwerking van de gegevens (2.3).

2.1 Stal- en bedrijfssituatie

2.1.1 Huisvesting en bedrijfsvoering

De metingen vonden plaats in twee afdelingen van proefbedrijf. De metingen zijn gestart in afdeling 1. Vanwege problemen met hokbevuiling in de afdeling werd na twee metingen de gehele inrichting verplaatst naar afdeling 2. De afmetingen van beide stallen waren vergelijkbaar, alleen de inhoud (hoogte) was verschillend. In tabel 1 worden voor beide afdelingen de maatvoering weergegeven. Beiden afdelingen bestonden uit vijf hokken waar in totaal 55 dieren in konden worden gehuisvest. In de afdeling waren twee gangen aan beide lengtezijden van de stal, een controlegang en een ventilatiegang. De controlegang (dichte betonvloer) werd gebruikt voor controle van de dieren. De ventilatiegang (betonroostervloer) werd gebruikt om de ingaande lucht de afdeling binnen te brengen. Tussen beide gangen lagen de hokken. Eén hok bestond uit 52% dichte vloer en 48% roostervloer. De dichte vloer was van geprofileerd kunststof gemaakt en lag onder een helling van 3%. Deze vloer lag tegen de ventilatiegang aan. Het resterende deel van het hok bestond uit roostervloer. In afdeling 1 was dit een betonnen roostervloer, in afdeling 2 een metalen driekantrorstervloer. In elk hok was boven de roostervloer een voerbak met drinknippel geplaatst. Daarnaast hadden de dieren een extra drinknippel met lekbak boven de dichte vloer en was er in ieder hok een speeltje aanwezig.

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte afdelingen met vleesvarkens

	Afdeling 1	Afdeling 2
Vloeroppervlak		
Afdeling [m ²]	104,2	103,5
Controlegang [m ²]	11,4	10,64
Ventilatiegang [m ²]	16,4	15,3
Beschikbaar oppervlak dieren [m ²]	60	60
Werkruimte mestband [m ²]	28,8	28,8
Inhoud afdeling [m³]	229	269
Hokoppervlak		
Roostervloer		
Omschrijving	Beton	Metaal
Oppervlakte [m ² per dier]	0,52	0,52
Dichte vloer		
Omschrijving [m ²]	Dicht, hellend (3%), kunststof	Dicht, hellend (3%), kunststof
Oppervlakte [m ² per dier]	0,55	0,55
Hokinrichting		
Aantal hokken	5	5
Aantal dieren per hok	11	11
Oppervlak voerbak [m ²]	0,175	0,175
Aantal waternippels	2	2
Ventilatie		
Diameter koker (en ventilator) [m]	0,45	0,45
Maximaal geïnstalleerd debiet [m ³ /uur per dier]	60	60

Onder de roostervloer was het zogenaamde Kempfarmstelsysteem geïnstalleerd. Dit is een mestband die in een V-vorm is gespannen (helling 4%; zie Bijlage B). De mestband was onder afschot gelegd (paar

promille) zodat de urine kon aflopen naar een opvangreservoir. De feces werden van de band verwijderd door deze dagelijks 8 keer af te draaien, om de drie uur. De feces en urine werden in een opslag buiten de afdeling opgeslagen. Het emissie reducerend principe van het systeem wordt toegelicht in paragraaf 2.1.2. De mestband die werd gebruikt in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007) was van polypropyleen gemaakt. Dit is een zeer gladde band. De mestband in het huidige onderzoek was gemaakt van pvc en is een ruwere mestband dan in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007).

De stal werd mechanisch geventileerd. De buitenlucht kwam via de roostervloer op de ventilatiegang de afdeling binnen en stroomde vervolgens over de hokafscheiding naar de dieren. De stallucht werd afgezogen via een ventilatiekoker, bij afdeling 1 was deze in het midden van de afdeling boven de controlegang en bij afdeling 2 naast de toegangsdeur van de controlegang geplaatst. In de ventilatiekoker waren een ventilator en een meetventilator geplaatst, beide met een diameter van 45 cm. De hoeveelheid ventilatie werd automatisch geregeld met een klimaatcomputer waarbij op basis van de groeicurve en de actuele temperatuur in de afdeling het debiet werd ingesteld. In Bijlage B is van afdeling 2 een situatietekening gemaakt.

De dieren konden onbeperkt voer opnemen tot ongeveer 50 kg levend gewicht, daarna werd beperkt gevoerd op basis van een vaste voercurve. De voerbak werd per hok eenmaal per dag in de morgen automatisch bijgevuld. Tijdens de productieperiode van circa 120 dagen werden de dieren met drie verschillende mengvoeders gevoerd. Bij de start van de productieronde werd het zogenaamde startvoer gevoerd en na 22 dagen werd geleidelijk in 14 dagen overgegaan op het tussenvoer. Na 56 dagen werd geleidelijk in 21 dagen overgeschakeld op eindvoer. Vanaf dag 78 bestond het gehele rantsoen uit eindvoer. Voor het startvoer werd 158 g RE/EW gebruikt, bij het tussenvoer 141 g RE/EW en het eindvoer bevatte 138 g RE/EW. In Tabel 2 worden per meting de hoeveelheid voer en energiewaarde van het voer gegeven. Drinkwater was onbeperkt beschikbaar via een drinknippel in het hok (met lekbak). De dieren werden iedere dag tweemaal gecontroleerd.

2.1.2 Emissie reducerend principe

Het systeem staat in de bijlage van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) onder nummer BWL2008.10 (categorie D 3.2.16). In Bijlage A wordt het systeem, zoals beschreven in bwl2008.10, schematisch weergegeven. Het emissie reducerende principe van dit systeem voor NH_3 is gebaseerd op het regelmatig en gescheiden afvoeren van de geproduceerde mest en urine. De urine wordt continu afgevoerd via het laagste punt in de V-vormige mestband, terwijl de vaste mest 8 keer per dag wordt afgevoerd door de band af te draaien. Om te voorkomen dat er mest in de urine afvoer valt is ter hoogte van het midden van de V-vorm de roostervloer dichtgelegd (circa 40 cm). De urine en vaste mest worden in een afgesloten vat opgeslagen. Door de snelle afvoer van urine uit de mestkelder wordt de NH_3 -emissie uit de mestkelder beperkt. Het enzym urease, dat onder andere voorkomt in de feces, zorgt er voor dat ureum in de urine wordt omgezet naar NH_4^+ dat uit de mest kan vervluchtigen in de vorm van ammoniak. Door het voorkómen van de menging van urine en feces wordt er weinig NH_4^+ uit ureum gevormd en komt de NH_3 -emissie nauwelijks op gang.

Door de mest frequent uit de stal te verwijderen zal de methaanemissie uit de mest beperkt blijven, en daardoor mag een lagere methaanemissie uit de stal worden verwacht. De verwachting is dat de methaanemissie uit de mest tot vrijwel nul kan worden gereduceerd, zodat alleen nog de methaanproductie door de dieren (de endogene productie) overblijft. Mogelijk wordt ook een reductie van de geuremissie gerealiseerd doordat door de frequente en gescheiden afvoer van feces en urine, omzettingen van organische stof naar andere componenten sterk worden beperkt. De verwachting is dat dit systeem geen invloed zal hebben op de emissies van lachgas en fijnstof.

2.2 Metingen

2.2.1 Meetstrategie

De metingen zijn in de periode oktober 2010 - december 2011 uitgevoerd. De emissiemetingen voor ammoniak (NH_3), geur, fijn stof (PM_{10} ; $\text{PM}_{2,5}$), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) zijn uitgevoerd volgens de protocollen zoals beschreven in respectievelijk Ogink e.a. (2011a), Ogink (2011), Ogink e.a. (2011b), Groenestein e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2011). Dit houdt in dat zesmaal verdeeld over een jaar een meting van een minimum duur van 24 uur uitgevoerd zou moeten worden. Omdat

tijdens de cyclus van 6 metingen (na meting 2) werd besloten om het Kempfarm-systeem in een andere afdeling te plaatsen, verliep de planning van de metingen niet geheel volgens de genoemde protocollen. De metingen in afdeling 2 konden pas weer in mei worden opgestart. Uiteindelijk zijn er 5 metingen uitgevoerd in afdeling 2. Een emissiemeting bestond uit het meten van de concentratie van NH_3 , geur, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, CH_4 en N_2O in de ingaande en de uitgaande stallucht (zie hoofdstuk 2.2.2 t/m 2.2.5) en het meten van het ventilatiedebiet.

2.2.2 Geurconcentratie

Geurconcentraties werden alleen in de uitgaande stallucht bepaald. Hierbij werd gebruik gemaakt van de zogenaamde longmethode. Stallucht werd tussen 10:00 en 12:00 uur uit de ventilatiekoker aangezogen en verzameld in een 40 liter Nalofaan monsterzak. Het monster werd direct na bemonstering naar een geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. Deze methode geeft een gemiddelde geurconcentratie over de 2-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt het meetprincipe en de praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

2.2.3 Ammoniakconcentratie

Voor bepaling van de NH_3 -concentratie in de ingaande (achtergrond) en uitgaande lucht van de stal werd de nat-chemische methode (over een periode van 24 uur) gebruikt. De concentratie in de stal werd in de ventilatiekoker gemeten, de concentratie van de ingaande lucht werd buiten in het inlaatkanaal bepaald. Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de 24-uurs meetperiode bepaald en geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de NH_3 -concentraties gedurende de dag. In Bijlage C worden het meetprincipe en de praktische uitvoering van de toegepaste meetmethode nader toegelicht.

2.2.4 Stofconcentratie

Voor de bepaling van de fijnstof concentraties is de gravimetrische meetmethode toegepast. In deze methode wordt stof op filters opgevangen. De filters werden vóór en na de metingen onder geconditioneerde omstandigheden gewogen.

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens de meetdagen:

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

Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de 24-uurs meetperiode bepaald en geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de fijn stof concentraties gedurende de dag. Zie Zhao e.a. (2009) en Bijlage C voor de complete beschrijving en praktische uitvoering van deze methode.

2.2.5 Concentratie overige broeikasgassen

Voor de bepaling van de CH_4 - en N_2O -concentraties werd, zoals bij geur het geval was, de longmethode toegepast. De CH_4 en N_2O -concentraties in de stal werden in de ventilatiekoker gemeten. De concentraties in de ingaande lucht werden buiten in het inlaatkanaal bepaald. Lucht werd gedurende 24 uur aangezogen en in 40 liter Nalofaan monsterzakken verzameld. Deze methode geeft een gemiddelde CH_4 - en N_2O -concentratie over de 24-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt het meetprincipe en de praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

2.2.6 Ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet (m^3/uur) werd bepaald met behulp van de CO_2 -massabalansmethode. Deze methode maakt gebruik van de gemeten CO_2 -concentraties van de uit- en ingaande stallucht

(respectievelijk $[CO_2]_{stal}$ en $[CO_2]_{buiten}$; ppm) en de CO_2 -productie van de dieren ($m^3 CO_2/dag$ per dier) in de stal. Aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008) wordt de CO_2 -productie van de dieren bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van de dieren (kg), het voerniveau (kg voer/dag per dier) en de energiewaarde van het voer. 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 ventilatiedebiet V (m^3/dag) wordt dan bepaald op basis van:

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

De CO_2 -concentratie in de stal (ventilatiekoker) en buiten (inlaatkanaal) werd bepaald in dezelfde monsters die zijn genomen voor de bepaling van de CH_4 - en N_2O concentraties. De lucht werd gedurende 24 uur aangezogen en in 40 liter Nalofaan monsterzakken verzameld. Deze methode geeft een gemiddelde CO_2 -concentratie over de 24-uurs meetperiode. In Bijlage C wordt het meetprincipe en de praktische uitvoering van deze methode weergegeven.

2.2.7 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur ($^{\circ}C$) en relatieve luchtvochtigheid (%) van de ingaande (1 meetpunt buiten de stal) en uitgaande stallucht (1 meetpunt bij de ventilatiekoker) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie Bijlage C), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0^{\circ}C$ en $\pm 2\%$. De data werden in een datalogysysteem (Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen. In Bijlage D worden de uurgemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten waarden voor alle meetdagen grafisch weergegeven.

2.2.8 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd:

- Aantal vleesvarkens in de afdeling
- Gemiddeld gewicht per dier
- Gemiddelde groei van de dieren
- Gemiddelde voeropname per dier
- Energiewaarde en ruw eiwitwaarde van het voer

2.3 Verwerking gegevens

2.3.1 Emissies

Per meetdag ($i=1, 2, \dots, 7$) werden de emissies van geur (E_i) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V_i) en de gemiddelde concentratie (2-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit_i}) van geur:

$$E_i = V_i \times C_{uit_i}$$

Per meetdag ($i=1, 2, \dots, 7$) werden de emissies van NH_3 , fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O (E_i) bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V_i) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit_i}) en in de ingaande lucht (C_{in_i}) van NH_3 , fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O :

$$E_i = V_i \times (C_{uit_i} - C_{in_i})$$

De emissie (E) van NH_3 , geur, fijn stof (PM10, PM2,5), CH_4 en N_2O op jaarbasis per dierplaats werd vervolgens bepaald door de gemiddelde emissies per dag te delen door het aantal dierplaatsen, vervolgens te vermenigvuldigen met 365 dagen en de leegstandsfactor, en dan het gemiddelde van

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

$$E = \frac{\overline{E_{ij}} * 365 * leegstandsfactor}{dierplaatsen_{ij}}$$

Voor vleesvarkens wordt voor NH₃, fijn stof (PM10, PM2,5), CH₄ en N₂O een leegstandsfactor van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). Voor geur wordt geen leegstandsfactor toegepast.

In deze rekenregels zijn voor geur de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in de uitgaande lucht: OU_E/m³
- ventilatiedebiet per seconde (m³/s). Het ventilatiedebiet per dag (V_{ij}; m³/dag) wordt omgerekend naar m³/s door het te vermenigvuldigen met "1/(24*60*60) dag/s"
- emissies per seconde (OU_E/s)
- emissies op jaarbasis per dierplaats (OU_E per dierplaats per s)

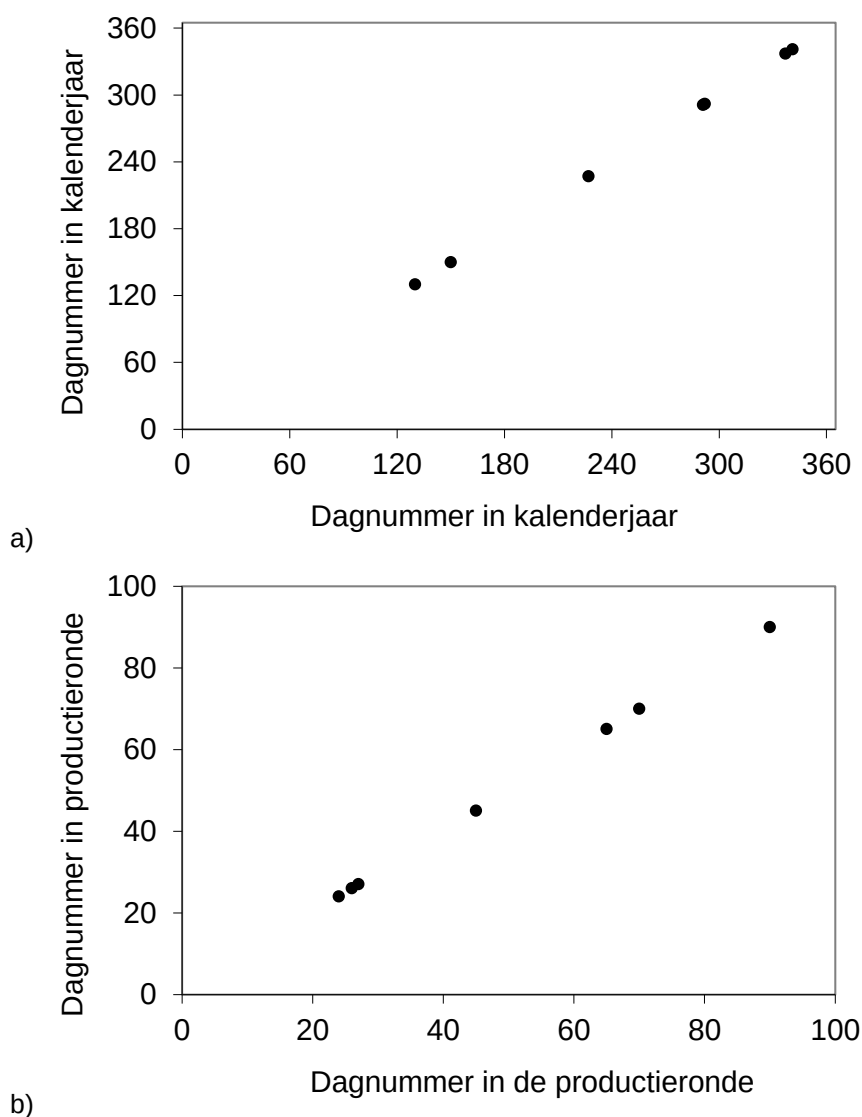
In deze rekenregels zijn voor NH₃, fijn stof (PM10, PM2,5), CH₄ en N₂O de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in de in- en uitgaande lucht: g/m³
- ventilatiedebiet per dag (m³/dag)
- emissies per dag (g/dag)
- emissies op jaarbasis per dierplaats (kg per dierplaats per jaar voor NH₃ en CH₄; g per dierplaats per jaar voor N₂O, PM10 en PM2,5)

3 Resultaten en discussie

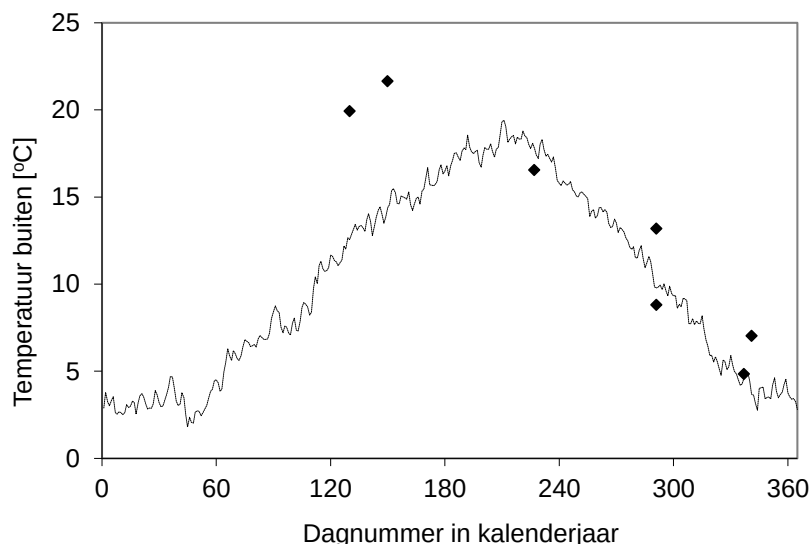
3.1 Meetomstandigheden

In Tabel 2 worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht. De metingen zijn over een periode van 211 dagen over het gehele jaar (Figuur 1a) verdeeld. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 253 dagen. Dit is hoog en wordt veroorzaakt door het missen van een meting in de periode tussen januari en mei. De metingen zijn over een productieperiode van circa 100 dagen (Figuur 1b) verdeeld. Het gemiddelde dagnummer in de productieronde was 50 dagen. De (daggemiddelde) CO₂-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 3000 ppm. De groei van de vleesvarkens was gemiddeld over alle ronden 820 g/dag.



Figuur 1 Verdeling van de metingen over de productiecyclus (a), en het jaar (b).

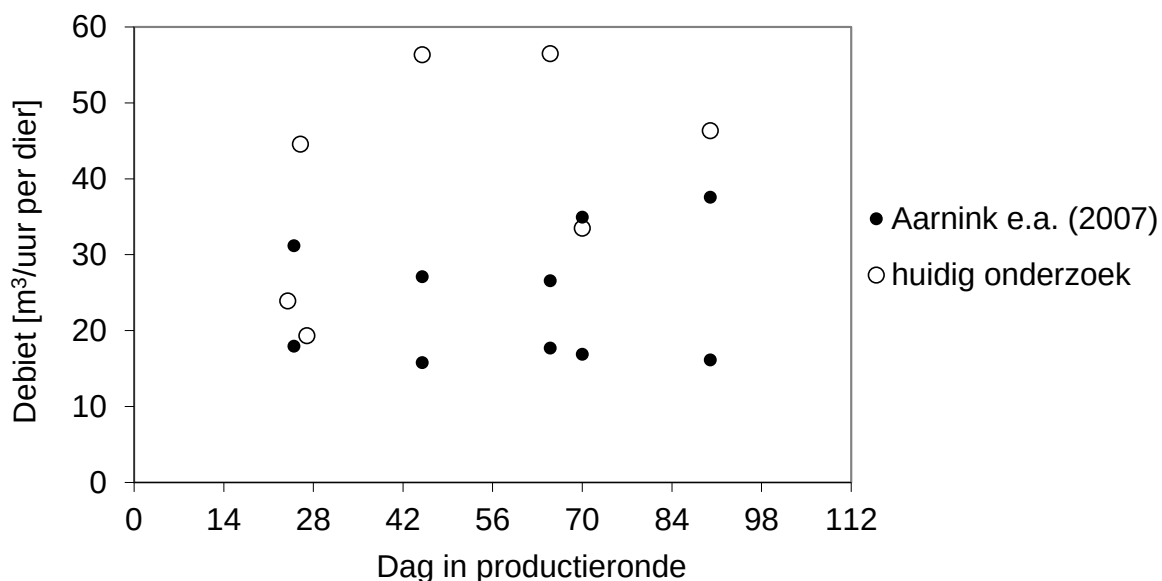
In Figuur 2 worden de gemeten buitentemperaturen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation Eindhoven. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (13,1 °C) is 3 °C hoger dan het langjarige gemiddelde in Nederland over het gehele jaar (10,1 °C).



Figuur 2 Buitentemperatuur gedurende alle meetdagen vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 1991-2010 bij het KNMI-weerstation Eindhoven (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven).

3.2 Ventilatie-debiet

Gemiddeld over alle metingen (Tabel 3) was het ventilatie-debiet $40 \pm 15 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier. Dit is hoger dan het gemiddelde ventilatie-debiet ($28 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier; debiet varieerde tussen 7 en $49 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier vleesvarkensstallen met traditionele inrichting. Bij eerder onderzoek naar hetzelfde stalsysteem in twee verschillende stallen op één bedrijf werd in stal 1 (72 dieren) gemiddeld $24 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier geventileerd, en in stal 2 (3800 vleesvarkens) gemiddeld $12 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier geventileerd (Aarnink e.a., 2007). In figuur 3 wordt het ventilatie-debiet weergegeven bij de metingen die uitgevoerd zijn in het onderhavige onderzoek. Ter vergelijking is het ventilatie-debiet van de metingen in Aarnink e.a. (2007) die in stal 2 (vergelijkbaar met de afdeling gemeten in het huidige onderzoek) uitgevoerd zijn (op dezelfde productiedagen als in het huidige onderzoek) ook in de figuur uitgezet.

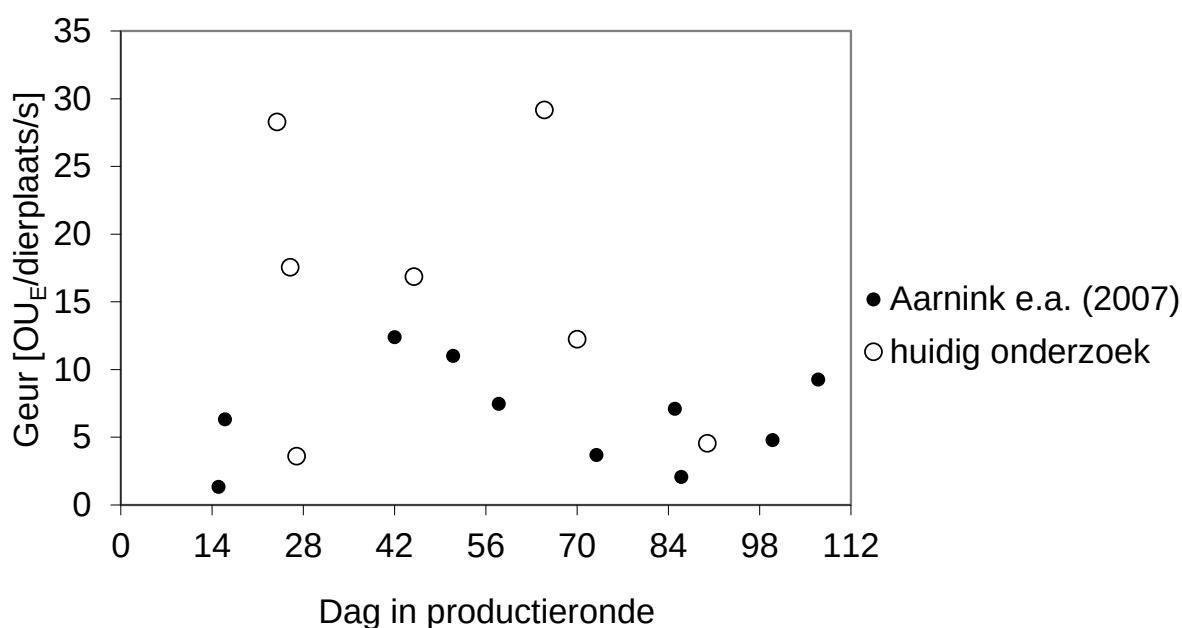


Figuur 3 Gemiddelde ventilatie-debiet [m^3/uur per dier] op alle meetdagen in het onderhavige onderzoek en in dezelfde productiedagen bij de metingen in stal 2 in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007).

Figuur 3 laat een duidelijk hoger ventilatiedebiet bij het huidige onderzoek zien, met name het ventilatiedebiet boven de $40 \text{ m}^3/\text{uur}$ dat wordt gemeten bij relatief jonge dieren. De ventilatie werd aangestuurd door de klimaatcomputer. In de klimaatcomputer werd gebruik gemaakt van een zogenaamde ventilatiecurve waarbij temperatuur in de afdeling en buiten en het leeftijd van de dieren het gevraagde debiet bepaalde. Deze ventilatiecurve is gedurende de meetperiode niet veranderd. De luchtbeweging in de stal werd regelmatig gecontroleerd met behulp van rookproeven. Op basis hiervan werden kleine aanpassingen uitgevoerd (wijziging inlaatopening bij meting 1 en 2; isolatieplaat als dak boven de dichte vloer bij meting 2; wijzigen hoogte temperatuursensor bij meting 4; afsluiten kopeinden van de controlegang voor geleiding luchtbeweging naar de hokken bij meting 5). Over het algemeen hebben de wijzigingen het ventilatiedebiet niet verlaagd. Voor een vergelijkbare staltemperatuur werd in het onderhavige onderzoek meer m^3/uur per dier geventileerd. Het ventilatiedebiet beïnvloedt over het algemeen de hoogte van de ammoniakemissie. Ammoniakemissie ontstaat onder andere door luchtbeweging boven het emitterend oppervlak. Een hoger ventilatiedebiet zal de kans op een hogere luchtbeweging boven het emitterende oppervlak over het algemeen verhogen.

3.3 Geur

In Figuur 4 wordt de geuremissie weergegeven. De emissie werd driemaal rond dag 28 in de productieronde gemeten. Op basis van alle gegevens werd een geuremissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $12,5 \pm 10,2 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s. Dit resultaat is hoger dan de emissies gerapporteerd in Aarnink e.a. (2007) bij metingen aan hetzelfde systeem (gemiddeld $5,4 \pm 3,7 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s). De gemiddelde emissie in het onderhavige onderzoek is lager ten opzichte van de huidige norm voor traditionele stallen ($23,0 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s) en de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier vleesvarkensstallen met traditionele inrichting ($22,4 \pm 8,1 \text{ OU}_E$ per dierplaats per s).

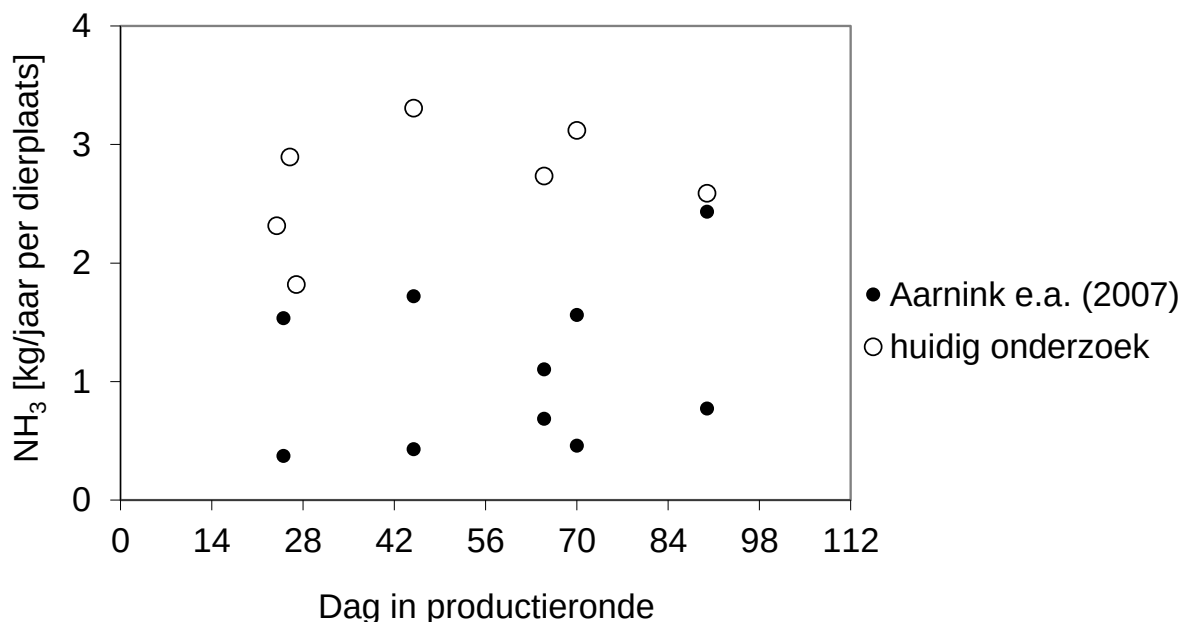


Figuur 4 Gemiddelde geuremissie op alle verschillende meetdagen in het onderhavige onderzoek en bij de metingen in stal 2 in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007)

3.4 Ammoniak

In tabel 3 worden per meting de NH_3 -concentratie in de in- en uitgaande lucht van de stal gegeven. De gemiddelde NH_3 -emissie was $2,7 \pm 0,5$ kg per dierplaats per jaar. Bij deze emissies is een correctie voor leegstand van 0,97 (3% leegstand) toegepast (Groenestein en Aarnink, 2008). Eerder onderzoek (Aarnink e.a., 2007; zie paragraaf 3.2) naar hetzelfde stalsysteem in twee andere stallen kwam op veel lagere waarden uit, deze lagen tussen de 0,7 en 1,5 kg per dierplaats per jaar. Recent onderzoek van Mosquera e.a. (2010) aan traditioneel ingerichte stallen leverde een gemiddelde NH_3 emissie op van $3,5 \pm 1,0$ kg per dierplaats per jaar. Dit onderzoek was uitgevoerd bij vier vleesvarkensbedrijven waar op ieder bedrijf 6 maal verdeeld over het jaar werd gemeten.

In Figuur 5 worden de resultaten van het huidige onderzoek en van de metingen in een vergelijkbare stal uit Aarnink e.a. (2007) uitgezet per dag in de productieronde. Voor het onderzoek van Aarnink e.a. (2007) is, van de continue reeks metingen, alleen de NH_3 -emissie op dezelfde productiedagen als gemeten in het huidige onderzoek weergegeven. Opvallend is dat alle emissies gemeten in de huidige meetserie hoger zijn dan in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007). Een mogelijke oorzaak voor deze verschillen zou het veel hogere ventilatiedebiet in de huidige studie kunnen zijn (figuur 3). Door een toename van de luchtbeweging in de stal zal een hoger ventilatiedebiet over het algemeen leiden tot een hogere ammoniakemissie.



Figuur 5 Gemiddelde ammoniakemissie op alle verschillende meetdagen in het onderhavige onderzoek en in dezelfde productiedagen bij de metingen in stal 2 in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007)

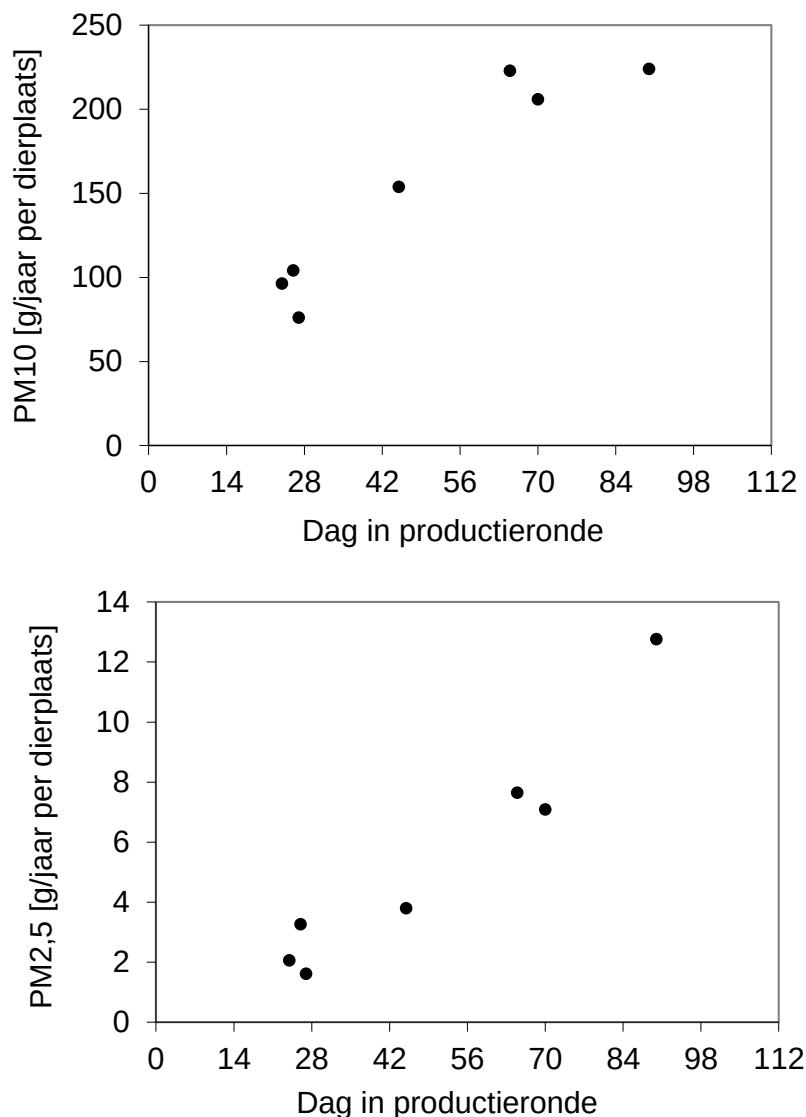
Een andere mogelijk oorzaak voor de verschillen in emissie tussen de huidige meetserie en het onderzoek van Aarnink e.a. (2007) is de verschillende mestband die gebruikt is in beide onderzoeken. De mestband die werd gebruikt in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007) was van polypropyleen gemaakt. Dit is een zeer gladde band. De mestband in het huidige onderzoek was gemaakt van pvc en is een ruwere mestband dan in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007). Een gladdere mestband voorkomt dat het enzym urease zich kan hechten aan de mestband, met als gevolg een reductie in ureaseactiviteit en daardoor een lagere ammoniakproductie (concentratie) en daarmee een lagere emissie.

3.5 Fijn stof (PM10 en PM2,5)

In Figuur 6 worden de PM10- en PM2,5-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. De gemiddelde PM10-emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) over alle metingen was $154,7 \pm 63,5$ g per dierplaats per jaar. Dit is vergelijkbaar met de emissiefactor opgenomen in het overzicht

“fijn stof emissiefactoren voor de veehouderij” (153 g per dierplaats per jaar; www.rijksoverheid.nl) en met de emissies gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) bij metingen aan vier vleesvarkensstallen met traditionele inrichting ($139,7 \pm 65,4$ g per dierplaats per jaar).

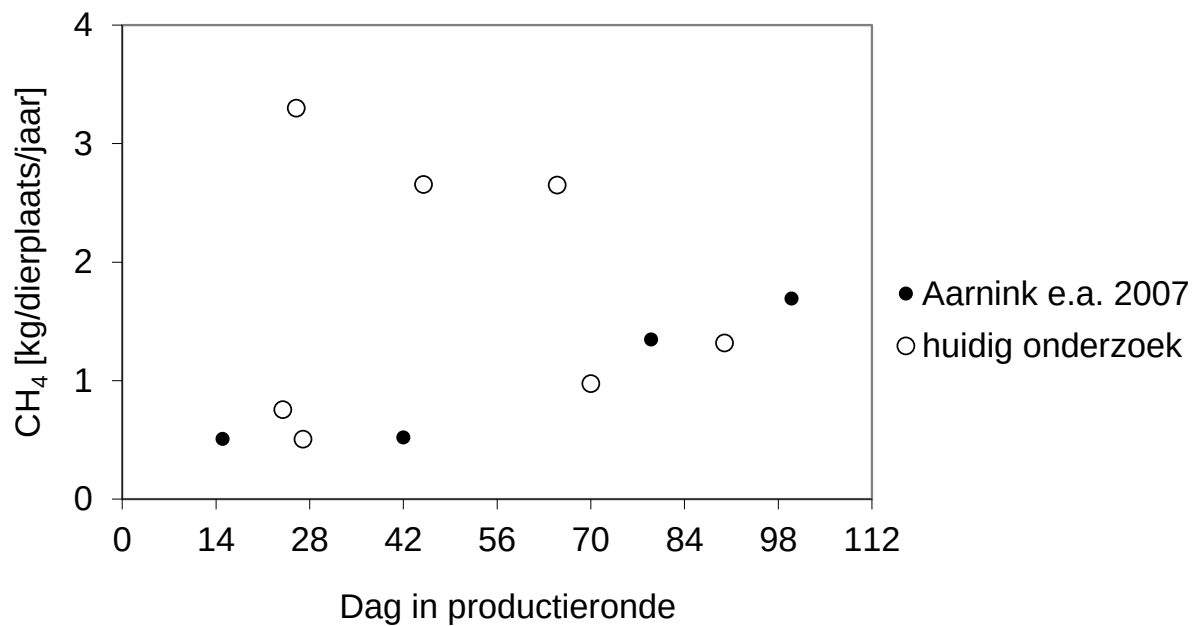
De gemiddelde PM_{2,5}-emissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) op basis van alle meetgegevens was $5,5 \pm 4,0$ g per dierplaats per jaar en is vergelijkbaar met de emissies ($7,0 \pm 3,8$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010).



Figuur 6 Gemiddelde PM₁₀- en PM_{2,5}-emissies op de verschillende meetdagen

3.6 Overige broeikasgassen (CH₄ en N₂O)

In Figuur 7 worden de CH₄-emissies op de verschillende meetdagen weergegeven. Op basis van alle gegevens werd een gemiddelde methaanemissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) berekend van $1,7 \pm 1,1$ kg per dierplaats per jaar. De gemeten methaanemissie is vergelijkbaar met de emissies ($1,9 \pm 0,2$ kg per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010) voor systemen met frequent verwijdering van mest. Beide niveaus zijn vergelijkbaar met de endogene methaanproductie (1,5 kg per dier per jaar; Maas e.a., 2011). Een stal met langdurige mestopslag in de stal heeft een methaanemissie van $15,7 \pm 10,9$ kg per dierplaats per jaar (Mosquera e.a., 2010). Volgens het Netherlands Inventory Report 2011 (Maas e.a., 2011) is de methaanemissie uit traditioneel ingerichte stallen 7,8 kg per dierplaats per jaar.



Figuur 7 Gemiddelde methaanemissie op alle verschillende meetdagen in het onderhavige onderzoek en bij de metingen in stal 2 in het onderzoek van Aarnink e.a. (2007)

De gemiddelde lachgasemissie ($\pm$ standaarddeviatie tussen metingen) was $13,4 \pm 9,0$ g per dierplaats per jaar. Deze emissie is hoger dan de emissies ($8,0 \pm 5,3$ g per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Mosquera e.a. (2010). De gemiddelde lachgasemissie in het huidige onderzoek is lager ten opzichte van de emissies gerapporteerd in de Netherlands Inventory Report 2011 (Maas e.a., 2011; 20 g per dierplaats per jaar) voor vleesvarkensstallen met traditionele inrichting.

Tabel 2 Data waarop de metingen zijn uitgevoerd, het aantal dieren, het gewicht, voergegevens, en de gemiddelde 24-uurs klimaatgegevens tijdens de metingen: temperatuur buiten (T-buiten) en in de stal (T-stal), en relatieve luchtvochtigheid buiten (RV-buiten) en in de stal (RV-stal). .

Meting	1	2	3	4	5	6	7
Datum	18-10-2010	3-12-2010	10-5-2011	30-5-2011	15-8-2011	18-10-2011	7-12-2011
Dag in het jaar	291	337	130	150	227	291	341
T-buiten [°C]	13,2	4,8	19,9	21,6	16,5	8,8	7,0
RV-buiten [%]	60	32	59	51	83	87	80
T-binnen [°C]	21,6	18,9	25,6	n.g.*	23,9	19,5	20,7
RV-binnen [%]	58	45	57	47	60	60	63
CO ₂ stalconcentratie [ppm]	1600	1780	1180	1170	1130	1320	1910
CO ₂ concentratie buiten [ppm]	418	447	452	435	470	411	458
Aantal vleesvarkens	55	55	55	55	55	55	55
Dagnummer in de productieronde	24	70	45	65	26	90	27
Gewicht dieren [kg]**	42	80	72	86	50	100	40
Groei van de dieren [g/dag]**	800	900	870	900	800	850	800
Voergift [kg/dag per dier]	1,4	2,8	2,4	2,4	1,4	2,4	1,4
Energiewaarde voer [MJ/kg]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,08	1,10
RE-waarde [g/kg]	174	155	155	155	174	150	174

* niet gemeten door technische storing

** geschatte waarden

Tabel 3 Data waarop de metingen zijn uitgevoerd, ventilatiedebiet, concentratie en emissie van PM10, PM2,5, NH₃, geur, CH₄ en N₂O op de verschillende meetdagen. n.g.: niet gemeten.

Meting	1	2	3	4	5	6	7
Datum	18-10-2010	3-12-2010	10-5-2011	30-5-2011	15-8-2011	18-10-2011	7-12-2011
Debiet [m ³ /uur per dier]	23,9	33,5	56,3	56,5	44,6	46,3	19,3
Geurconcentratie [OU _E /m ³]	4260	1314	1077	1859	1418	354	670
Geuremissie [OU _E /s]	28,3	12,2	16,8	29,2	17,5	4,6	3,6
NH ₃ concentratie stal [ppm]	16,44	15,56	9,87	8,16	10,88	9,31	15,68
NH ₃ concentratie buiten [ppm]	0,35	0,09	0,12	0,12	0,09	0,03	0,04
NH ₃ emissie [kg/jaar per dierplaats]	2,3	3,1	3,3	2,7	2,9	2,6	1,8
PM10 concentratie stal [mg/m ³]	0,495	0,744	0,351	0,490	0,287	0,579	0,483
PM10 concentratie buiten [mg/m ³]	0,021	0,021	0,030	0,026	0,012	0,010	n.g.
PM10 emissie [g/jaar per dierplaats]	96,3	205,9	153,8	222,8	104,0	223,9	76,0*
PM2,5 concentratie stal [mg/m ³]	0,025	0,050	0,026	0,029	0,013	0,038	0,023
PM2,5 concentratie buiten [mg/m ³]	0,014	0,025	0,018	0,013	0,004	0,005	n.g.
PM2,5 emissie [g/jaar per dierplaats]	2,1	7,1	3,8	7,6	3,3	12,8	1,6*
CH ₄ concentratie stal [ppm]	7,68	6,97	10,21	10,17	14,95	6,77	6,46
CH ₄ concentratie buiten [ppm]	2,11	1,85	1,89	1,89	1,89	1,76	1,85
CH ₄ emissie [kg/jaar per dierplaats]	0,8	1,0	2,7	2,6	3,3	1,3	0,5
N ₂ O concentratie stal [ppm]	0,64	0,41	0,39	0,45	0,32	0,40	0,38
N ₂ O concentratie buiten [ppm]	0,56	0,40	0,38	0,44	0,29	0,37	0,34
N ₂ O emissie [g/jaar per dierplaats]	28,7	1,9	7,9	7,3	20,1	16,0	11,6

* voor de concentratie van de ingaande lucht is het gemiddelde genomen van meting 3 t/m 6 om daarmee de emissie te kunnen berekenen.

4 Conclusies

In dit rapport zijn de resultaten gerapporteerd van de metingen die op het Varkens Innovatie Centrum (VIC) Sterksel zijn uitgevoerd om de emissies van geur, ammoniak, broeikasgassen (methaan en lachgas) en fijnstof van een systeem met een V-vormige mestband voor het gescheiden afvoeren van mest en urine (het Kempfarm-systeem) voor vleesvarkens te bepalen.

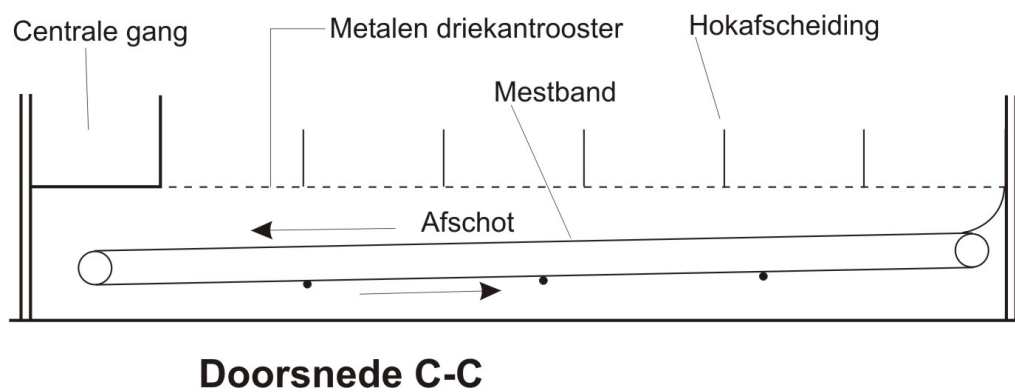
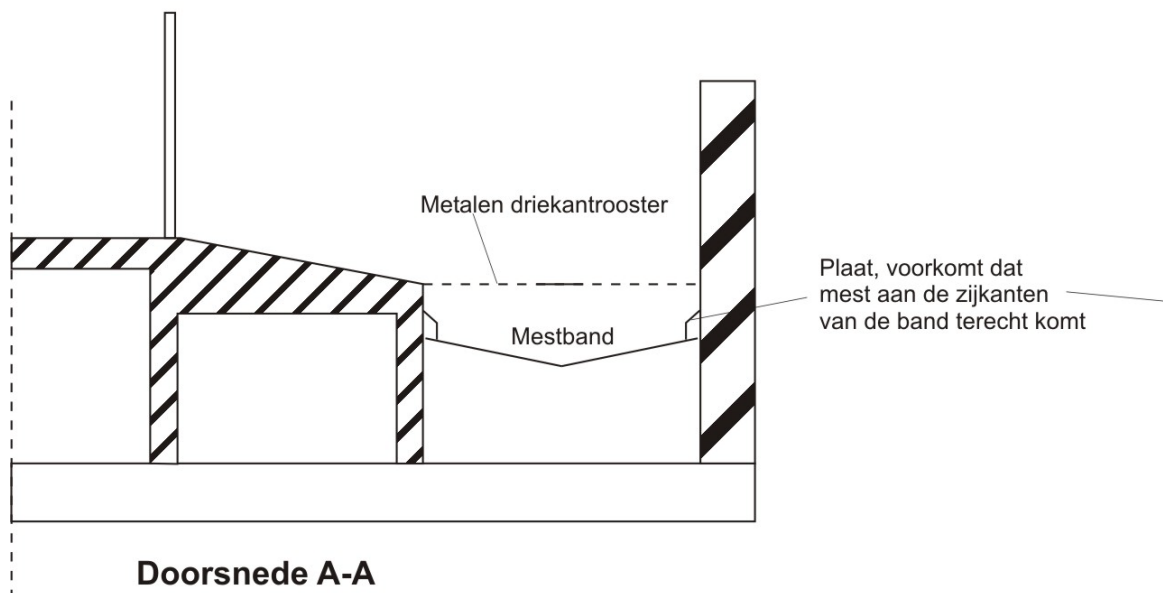
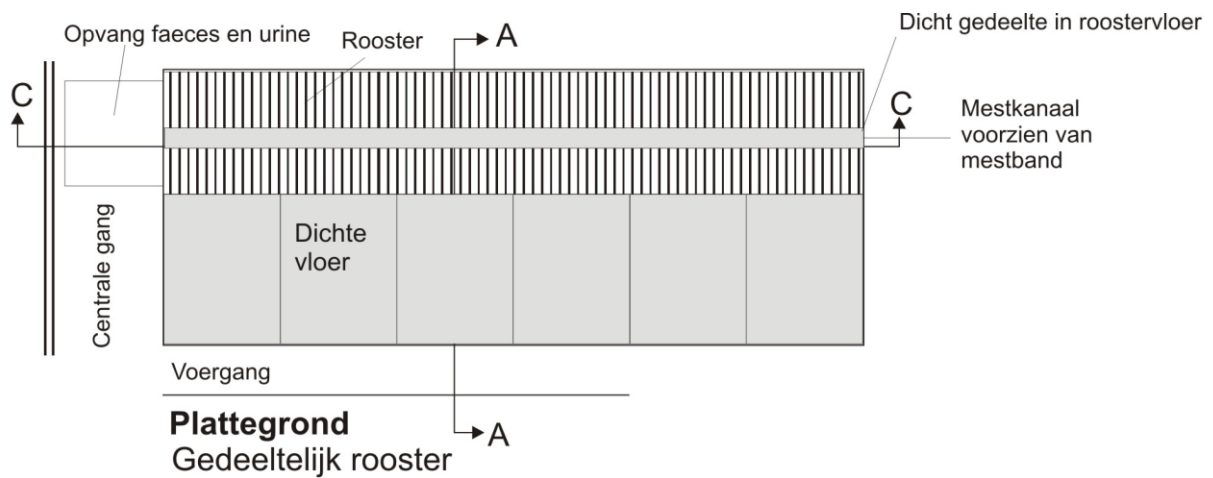
Op basis van deze metingen zijn de volgende jaaremissies bepaald (gemiddelde emissie $\pm$ standaarddeviatie tussen metingen; emissies van ammoniak, PM10, PM2,5, methaan en lachgas gecorrigeerd voor een leegstand van 3%, voor geur wordt geen leegstandscorrectie toegepast):

- Geuremissie: $12,5 \pm 10,2$ OUE per dierplaats per s
- Ammoniakemissie: $2,7 \pm 0,5$ kg per dierplaats per jaar
- PM10 emissie: $154,7 \pm 63,5$ g per dierplaats per jaar
- PM2,5 emissie: $5,5 \pm 4,0$ g per dierplaats per jaar
- Methaanemissie: $1,7 \pm 1,1$ kg per dierplaats per jaar
- Lachgasemissie: $13,4 \pm 9,0$ g per dierplaats per jaar

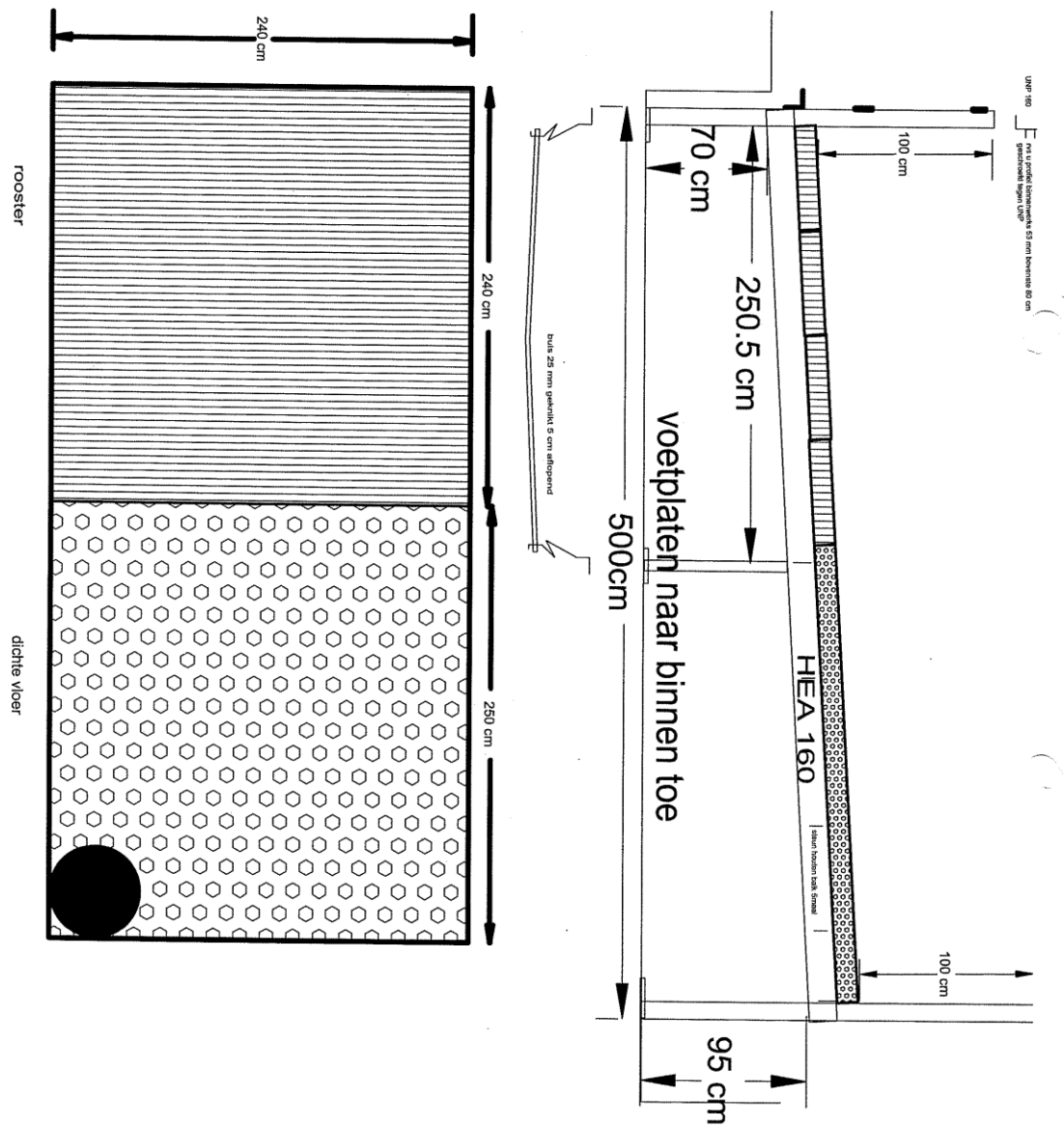
Literatuur

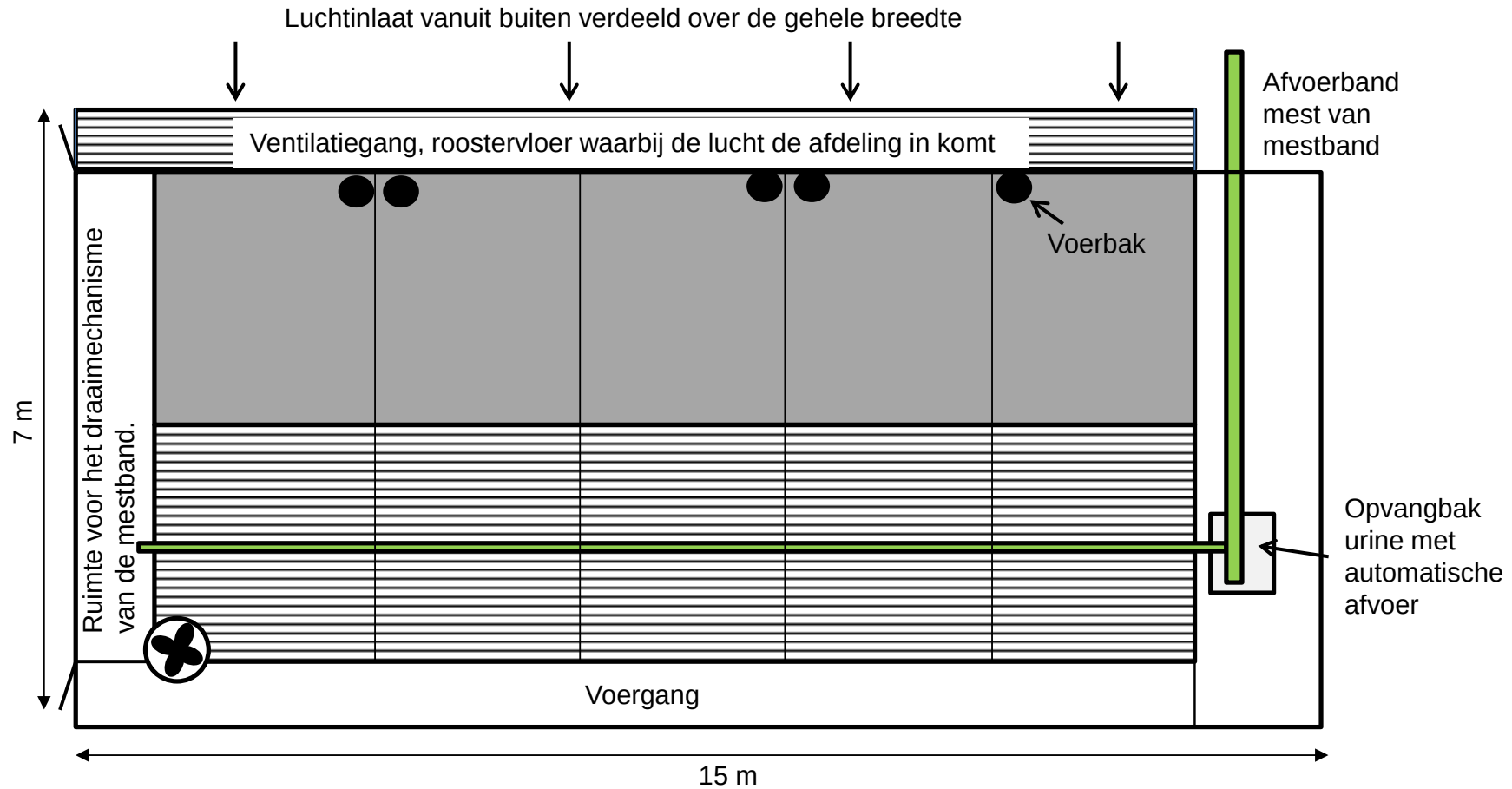
- Aarnink, A.J.A., J.W.H. Huis in 't Veld, J.M.G. Hol, I. Vermeij. 2007. Kempfarm vleesvarkensstal: milieu emissies en investeringskosten. Animal Sciences Group Rapport 67.
- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Groenestein, C.M., A.J.A. Aarnink. 2008. Notitie over leegstand ten behoeve van het berekenen van een emissiefactor van een stal. Intern rapport 200808, Animal Science Group van Wageningen UR, Lelystad, The Netherlands.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera, N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 493, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A. J. A. Aarnink, 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.
- Maas, C.W.M. van der , P.W.H.G. Coenen, P.J. Zijlema, K. Baas, G. van den Berghe, J.D. te Biesebeek, A.T. Brandt, G. Geilenkirchen, K.W. van der Hoek, R. te Molder, R. Dröge, C.J. Peek, J. Vonk, I. van den Wyngaert. 2011. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2009. National Inventory Report 2011, MNP, Bilthoven, The Netherlands.
- Mosquera, J., J. M. G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2010. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Rapport 292, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, The Netherlands.
- Mosquera, J., C.M. Groenestein, N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 494, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegieljkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M., G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.
- Ogink, N.W.M.. 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 491, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, J.M.G. Hol. 2011a. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 454, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., P. Hofschreuder, A.J.A. Aarnink. 2011b. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, 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.
- 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, P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. Aerosol Science 40: 868 – 878.

Bijlage A Tekening uit systeembeschrijving BWL 2008.10



Bijlage B Plattegrond en foto's van de stal, en overzicht van de meetpunten





NH_3 -, geur, CH_4 -, N_2O - en CO_2 -emissies in de koker

Fijn stof naast de koker in het gangpad.

Temperatuur aan de rand van de koker.



Binnenzijde stal



Mestbanden van het systeem

Bijlage C Beschrijving meetmethoden en praktische uitvoering

Natchemisch met wasflessen en impingers (NH₃)

Deze methode werd gebruikt om de NH₃-concentratie in de ingaande lucht (achtergrondconcentratie) te bepalen. Bij de nat-chemische methode (Wintjes, 1993) wordt de lucht via een monsternamleiding met een constante luchtstroom (~1,0 l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van ~1,0 l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH₃ wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (zie foto hieronder). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden NH₃ spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA; zie foto hieronder). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH₄⁺ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH₃-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.



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

Longmethode (geur en broeikasgassen)

Bij de toepassing van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) werd eerst een 40 liter Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak.

Bij de bepaling van de geurconcentratie werd gedurende twee uur (tussen 10:00 en 12:00 uur) stallucht aangezogen met een flow van ca. 0,4 l/min. Voordat de lucht in een geurvrije zak werd verzameld werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). De geuranalyses werden uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer L400 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses.

Bij de bepaling van de concentratie broeikasgassen werd de monsterzak gedurende 24 uur continu gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 l/min. Op deze wijze werd een 24-uurs monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂), Haysep Q (N₂O); detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: HWD).



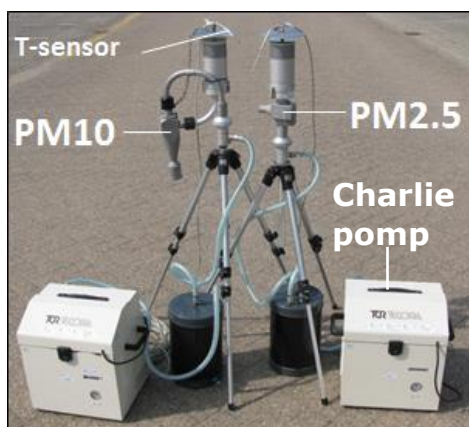
Meetopstelling voor het meten van de geurconcentratie in de uitgaande stallucht, en van de concentraties van CH₄, N₂O en CO₂ in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht.

Gravimetrische meetmethode fijn stof

De gravimetrische meetmethode is er op gebaseerd om het verschil in gewicht van het filter voor en na de meting te bepalen om zodoende de hoeveelheid ingevangen stof vast te stellen. Omdat het bij deze meetmethode slechts om kleine gewichtverschillen gaat is de meetmethode om het stof te verzamelen aan strikte randvoorwaarde verbonden. De apparatuur voor gravimetrische meting van PM₁₀ en PM_{2,5} is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM₁₀ en PM_{2,5} concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en de standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafscheider is vervangen door een cycloon voorafscheider. Dit vanwege het gevaar van overbelading van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM_{2,5} (Zhao e.a., 2009). In Hofschreuder et al. (2008) worden correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gemeten met cycloon monsternametekoppen naar impactor monsternametekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

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

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



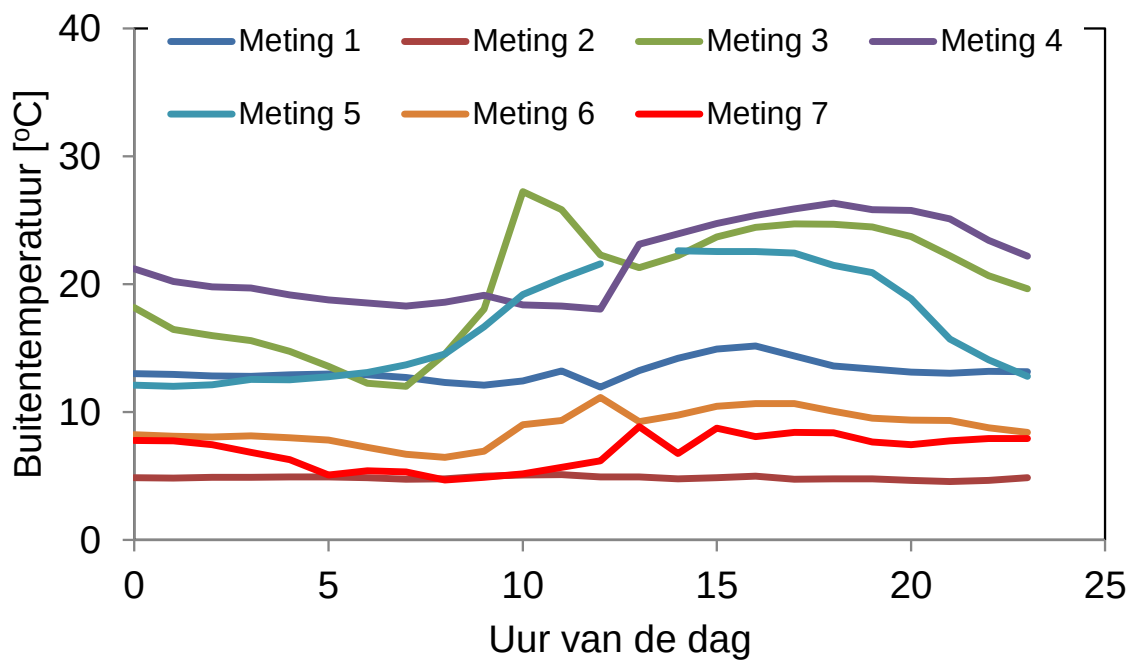
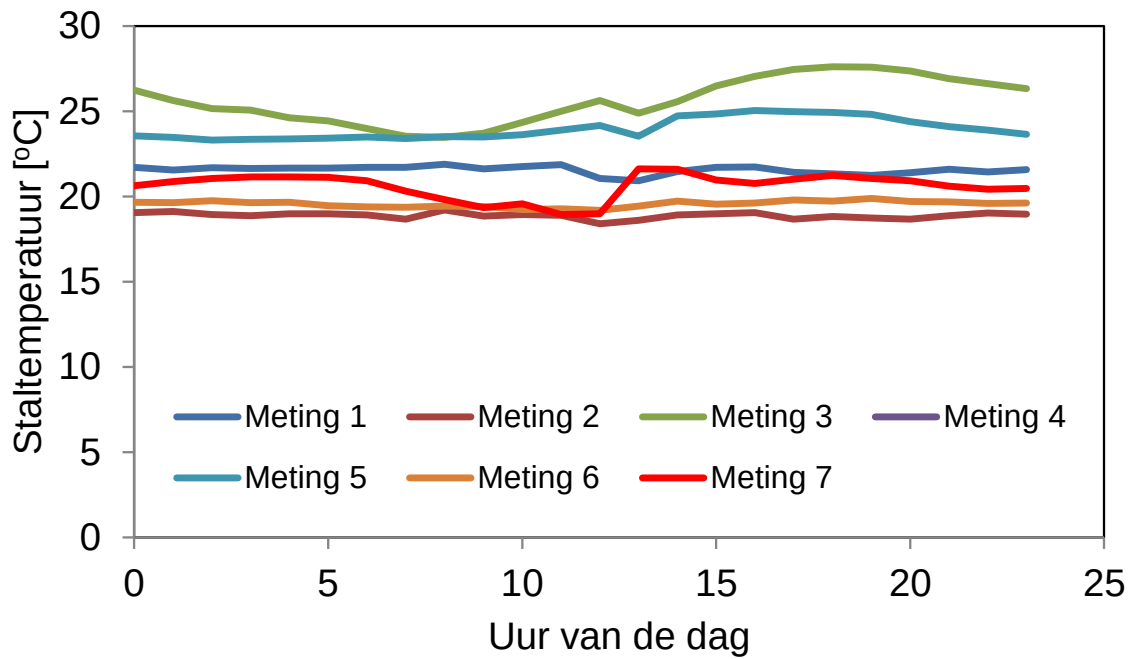
PM₁₀ en PM_{2,5} werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland), nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM₁₀ of PM_{2,5} cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). De filters werden voor en na de stofmonsternamte gewogen onder standaard condities: temperatuur 20 °C ± 1 °C en 50% ± 5% relatieve luchtvochtigheid (NEN-EN 14907, 2005). De hoeveelheid verzameld stof werd bepaald door het verschil in gewicht te bepalen van het filter voor en na de monsternamte.

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

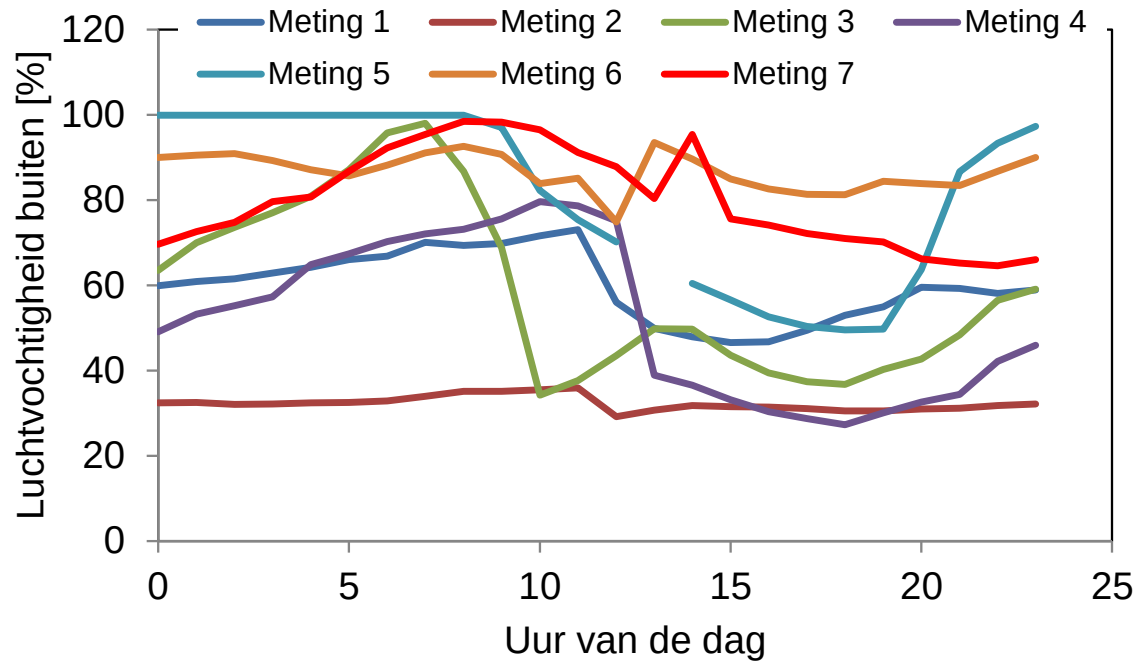
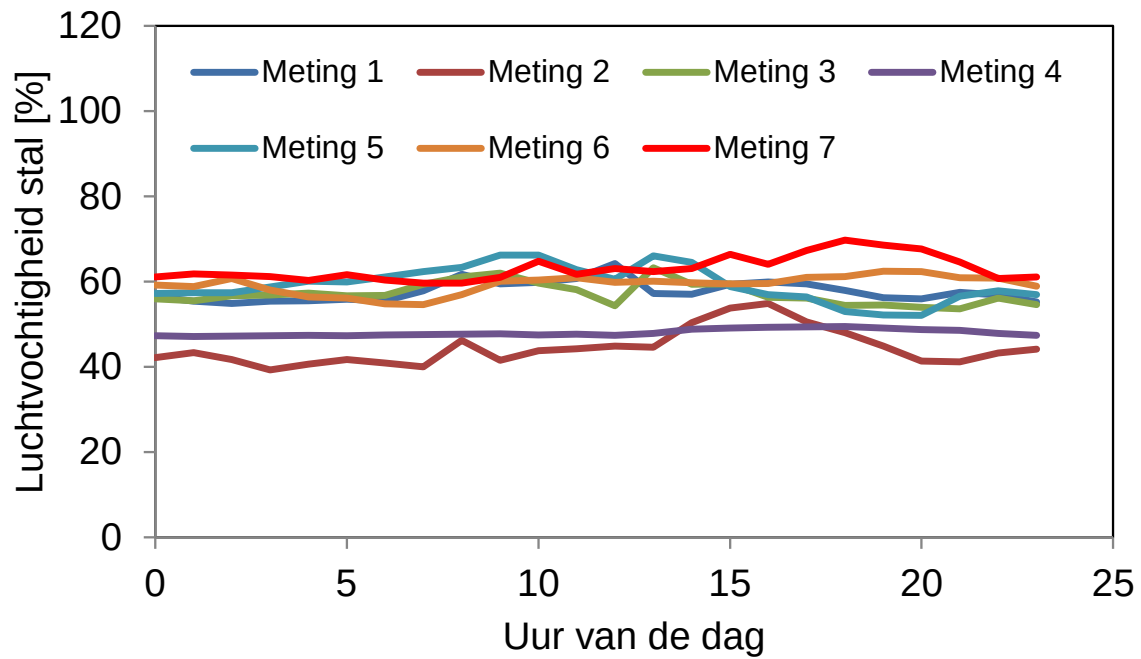
Voor de meting van temperatuur en relatieve wordt gebruik gemaakt van Rotronic T en RV sensoren (ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; zie foto hieronder), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$. Per meetpunt wordt een rotronic opgehangen. De data wordt eenmaal per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



Bijlage D Klimaatgegevens (temperatuur en luchtvochtigheid)



Uurgemiddelden stal- en buitentemperatuur tijdens de meetdagen



Uurgemiddelden stal- en buitenluchtvochtigheid tijdens de meetdagen