

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 402

Emissiemetingen mestverwerkinginstallaties

Oktober 2010



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

This report presents the results of
measurements performed at two manure
treatment operation units to identify (and
quantify) possible emission sources of
ammonia, methane, nitrous oxide, odour and
particulate matter (PM2.5 and PM10)

Keywords

Manure treatment, ammonia, methane, nitrous
oxide, odour, particulate matter, PM10, PM2.5

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

J. Mosquera
J.M.G. Hol
P. Hoeksma
C.M. Groenestein

Titel

Emissiemetingen mestverwerkinginstallaties
Rapport 402

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten
gepresenteerd van metingen uitgevoerd op
twee mestverwerkinginstallaties om
emissieniveaus van ammoniak, methaan,
lachgas, geur, en fijnstof (PM10 en PM2.5) vast
te stellen

Trefwoorden

Mestverwerking, ammoniak, methaan, lachgas,
geur, fijnstof, PM10, PM2.5



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Rapport 402

Emissiemetingen mestverwerkinginstallaties

J. Mosquera

J.M.G. Hol

P. Hoeksma

C.M. Groenestein

Oktober 2010

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Beleidsondersteunende onderzoeksprogramma Verduurzaming Veehouderijketen van het ministerie van Natuur, Landbouw en Voedselveiligheid, thema Emissiearme systemen.

De metingen aan mestverwerkinginstallaties was voor ons een nieuwe ervaring. Er moest gezocht worden naar andere benaderingen dan bij stallen en toedienen van mest om emissies te kunnen bepalen. Het was derhalve een intensief project waar velen bij betrokken waren. Bij de uitvoering van de metingen is vooral veel werk verricht door Freerk Dousma en Jos Huis in 't Veld. De technische ondersteuning en het testen van de nieuwe meetbox waren in handen van Johan Ploegaert en John Horrevorts. Bij dezen willen we hen hartelijk danken voor hun bijdrage.

Samenvatting

Mestverwerking wordt gezien als een van de mogelijkheden om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Een van de mogelijkheden is om uit mest via omgekeerde osmose een mineralenconcentraat te produceren dat bij aanwending als kunstmestvervanger gebruikt kan worden bovenop de norm voor dierlijke mest. De Nederlandse overheid faciliteert een aantal pilotprojecten met betrekking tot de productie van mineralenconcentraat uit dierlijke mest. De verwachting is dat dit product betere landbouwkundige kwaliteiten heeft dan onbehandelde mest en als kunstmestvervanger kan bijdragen aan het verminderen van de milieuproblematiek. In dit kader heeft de overheid behoefte aan informatie over de emissies van ammoniak, broeikasgassen, geur en fijnstof die bij de mestverwerking die leidt tot productie van dit mineralenconcentraat aan de orde zijn.

In het kader van dit project werd een studie uitgevoerd met het doel meetmethoden uit te werken aan de hand van beschikbare technieken om gasvormige emissies (NH_3 , CH_4 , N_2O), geur- en fijnstof-emissies ($\text{PM}_{2,5}$ en PM_{10}) bij mestverwerkinginstallaties te bepalen. Vervolgens werden deze in een proefmeting aan 2 mestverwerkinginstallaties toegepast. Naast het ontwikkelen van meetmethoden had de proefmeting als doel het emissieniveau per onderdeel (emissiebron) van de installaties te bepalen en vast te stellen of een onderdeel substantieel bijdraagt aan de totale emissie van de mestverwerkinginstallatie.

Uit dit onderzoek konden de volgende conclusies getrokken worden:

Voor het bepalen van de emissies aan onderdelen van de mestverwerkinginstallaties is de bottleneck het meten van de debieten van die onderdelen.

Voor de ruimtes met een gerichte luchtuitstroom (bewerkingsruimte (nissenhut), mengruimte, wasser, loods, vergistingsilo, waterslot vergistingsilo) kan het ventilatiedebiet nauwkeurig bepaald worden met behulp van meetventilatoren of luchtsnelheidsmeters.

Om het luchtdebiet (lekkage) uit gesloten opslagsilo's voor mest, UF concentraat en RO concentraat te meten kan de interne tracergas ratiomethode worden toegepast. Voor het bepalen van het ventilatiedebiet van open opslagen (mestproducten, coproducten) moet de methode worden geoptimaliseerd.

Van drijfmest en dunne fracties kan de stofemissie op voorhand verwaarloosd worden, maar van vaste mest en de dikke fractie niet.

De emissie van fijnstof kan niet bepaald worden wanneer het debiet vastgesteld is met behulp van een tracergas.

Emissies van geur en fijnstof kunnen niet met een meetbox bepaald worden. Voor geur is dat omdat de monsternametijd en -duur niet representatief zijn, en voor fijnstof omdat dat niet vluchtig is.

Verder onderzoek- en ontwikkelwerk is nodig om te komen tot een goede meetmethode voor fijnstof uit silo's.

De emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O uit open opslagen (mestproducten, coproducten) kunnen behalve met de interne tracergasmethode ook gemeten worden met de meetbox methode. Deze methode moet echter worden geoptimaliseerd. Door de ruimtelijke en temporale variabiliteit van de emissies is het noodzakelijk meer metingen uit te voeren om de gemeten waarden verantwoord op te kunnen schalen naar het gehele emitterende oppervlak.

De bewerkingsstappen scheiden, flotatie, persen en vergisten vonden in min of meer gesloten ruimtes plaats met weinig ventilatie, wat resulteerde in lage emissies. Op bedrijf A werd de ventilatielucht bovendien gezuiverd met een luchtwasser.

Het aantal metingen en het aantal mestverwerkinginstallaties waren te laag om harde kwantitatieve uitspraken te doen over de bijdragen van de verschillende onderdelen aan de emissies van de gehele mestverwerkinginstallaties. Op basis van de metingen kan wel gesteld worden dat vooral rekening gehouden moet worden met emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O uit de opslagen van mest, mestproducten en coproducten en met emissie van fijnstof uit opslag van de vaste mestfractie na scheiden. De geuremissies waren over het algemeen laag.

Uit dit onderzoek kwamen de volgende aanbevelingen naar voren:

Debieten en concentraties aan mestverwerkinginstallaties dienen gedurende een langere periode gemeten te worden om meer kennis te verwerven over de variatie in de tijd en dus over de variatie in emissie in de tijd. Met meer inzicht zou een betrouwbare uitspraak gedaan kunnen worden op basis van minder metingen.

Het meten van emissies aan opslagen van mest- en coproducten moet geoptimaliseerd worden. Opties zijn het verbeteren van de tracergasmethode en optimalisatie van de meetboxmethode om grip te krijgen op temporale en lokale variaties.

Onderzoek- en ontwikkelwerk is nodig om tot een geschikte en betrouwbare meetmethode voor het bepalen van de fijnstofemissie uit opslagsilo's te komen.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Aanpak	2
2.2	Selectie verwerkingsinstallaties	2
2.2.1	Mestverwerkingsbedrijf A.....	2
2.2.2	Mestverwerkingsbedrijf B.....	3
2.3	Ontwikkeling meetplan	4
2.4	Uitvoering meetprogramma.....	5
2.4.1	Metingen bij Bedrijf A	5
2.4.2	Metingen bij Bedrijf B	6
2.5	Meetmethoden	7
2.5.1	Broeikasgasconcentraties.....	7
2.5.2	Ammoniakconcentraties	7
2.5.3	Stofconcentraties	8
2.5.4	Geurconcentraties.....	9
2.5.5	Ventilatiedebiet	9
2.5.6	Fluxberekening	10
3	Resultaten en discussie	12
3.1	Mestverwerkingsbedrijf A	12
3.2	Mestverwerkingsbedrijf B	16
3.3	Evaluatie metingen.....	17
4	Conclusies	19
	Literatuur	20
	Bijlagen.....	21
	Bijlage A Beschrijving meetpunten Bedrijf A.....	21
	Bijlage B Beschrijving meetpunten Bedrijf B.....	23
	Bijlage C Uitvoering metingen mestverwerkingsbedrijf A	24
	Bijlage D Uitvoering metingen mestverwerkingsbedrijf B	25

1 Inleiding

Mestverwerking wordt gezien als een van de mogelijkheden om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Een van de mogelijkheden is om uit mest via omgekeerde osmose een mineralenconcentraat te produceren dat bij aanwending als kunstmestvervanger gebruikt kan worden bovenop de norm voor dierlijke mest. De Nederlandse overheid faciliteert een aantal pilotprojecten met betrekking tot de productie van mineralenconcentraat uit dierlijke mest. De verwachting is dat dit product betere landbouwkundige kwaliteiten heeft dan onbehandelde mest en als kunstmestvervanger kan bijdragen aan het verminderen van de milieuproblematiek. In dit kader heeft de overheid behoefte aan informatie over de emissies van ammoniak, broeikasgassen, geur en fijnstof die bij de mestverwerking en de productie van dit mineralenconcentraat aan de orde zijn. Er is een protocol beschikbaar dat de meetstrategie voor gasvormige emissies en fijnstof van mestverwerkinginstallaties beschrijft, maar meetmethoden om deze emissies vast te stellen zijn nog niet voldoende ontwikkeld.

Tegen deze achtergrond is een studie uitgevoerd met het doel meetmethoden verder uit te werken aan de hand van beschikbare technieken om gasvormige emissies (NH_3 , CH_4 , N_2O), geur- en fijnstof-emissies ($\text{PM}_{2,5}$ en PM_{10}) bij mestverwerkinginstallaties te bepalen. Vervolgens werden deze methoden in een proefmeting aan twee verschillende mestverwerkinginstallaties toegepast. Naast het toetsen van de meetmethoden had de proefmeting als doel het emissieniveau per onderdeel (emissiebron) van de installaties te bepalen en vast te stellen of een onderdeel substantieel bijdraagt aan de totale emissie van de mestverwerkinginstallatie. Dit om de meetstrategie verder te optimaliseren.

2 Materiaal en methode

2.1 Aanpak

De studie werd gefaseerd aangepakt waarbij de volgende fasen worden onderscheiden:

- Fase 1: Selectie mestverwerkinginstallaties
- Fase 2: Ontwikkeling meetplan
- Fase 3: Uitvoering meetprogramma
- Fase 4: Analyse meetresultaten

2.2 Selectie verwerkingsinstallaties

De twee meetlocaties (bedrijf A en bedrijf B) werden geselecteerd uit de bedrijven die deelnemen aan de pilot kunstmestvervangers. Hierbij werden de volgende criteria gehanteerd:

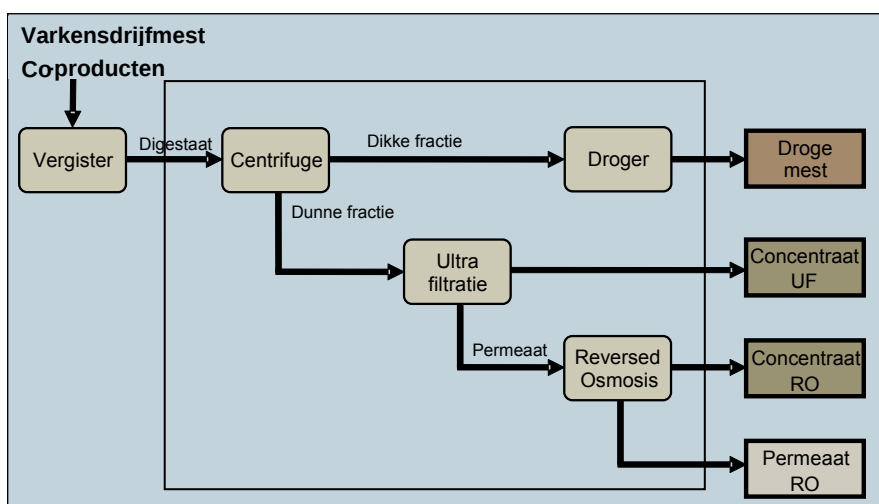
- De mestverwerkinginstallaties dienden niet hetzelfde te zijn om zoveel mogelijk ervaring op te doen met de verschillende onderdelen van mestverwerkinginstallaties.
- Emissie is het product van concentratie en ventilatie, derhalve moet van de verschillende onderdelen het ventilatiedebiet bepaald kunnen worden.
- Om de emissies van de installatie te kunnen vaststellen mogen andere emissiebronnen niet overheersen. Als bijvoorbeeld een stal naast de locatie staat is het moeilijk om deze bron te onderscheiden van die van de mestverwerkinginstallatie.

2.2.1 Mestverwerkingsbedrijf A

Bedrijf A verwerkte jaarlijks mest van 40 varkenshouders, aangevuld met pluimveemest en coproducten (zoals bijvoorbeeld maïs). Mest en coproducten werden vergist. Het geproduceerde biogas werd in een WKK-installatie omgezet in elektriciteit en thermische energie. Het digestaat (vergist materiaal) werd in drie processtappen verwerkt:

1. Vergisting
2. Scheiden
3. Ultra filtratie (UF)
4. Omgekeerde osmose (reverse osmosis (RO))

Het processchema van Bedrijf A is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Processchema van Bedrijf A. Het kader geeft de mechanisch geventileerde bedrijfsruimte weer waarin de verwerkingsinstallaties staan opgesteld

Het verwerkingsproces

De vergisting gebeurde in twee fasen: voorvergisting en hoofdvergisting. De voorvergisting vond plaats in een betonnen ruimte die met het bedrijfsgebouw was geïntegreerd. De emissie uit deze ruimte was nihil. Het materiaal uit de voorvergistingsruimte werd overgepompt naar één van 5 silo's waarin de hoofdvergisting plaats vond. Na een zekere verblijftijd werd het gistende materiaal overgepompt naar de volgende silo. Op deze wijze kon met verschillende verblijftijden worden gewerkt afhankelijk van de samenstelling van het uitgangsmateriaal (lees coproducten).

Scheiding van het digestaat in een dikke en een dunne fractie gebeurde met een centrifuge onder toevoegen van een vlokmiddel. De dikke fractie werd in twee fasen gedroogd. In de eerste droogfase werd een warmtevizel toegepast, die voorzien was van een warmtewisselaar met thermische olie als medium. De eerste droogfase resulteerde in een tussenproduct met een ds-gehalte van 400-500 g/kg. Verdere droging gebeurde in een drooginstallatie, bestaande uit een combinatie van een bandendroger en een wervelbeddroger. De benodigde thermische energie voor het droogproces werd geleverd door restwarmte van de WKK-installatie. Het eindproduct was een stabiele organische meststof met een ds-gehalte van 850-900 g/kg. Stabiël betekent dat in het product geen biologische processen meer plaatsvinden. Deze meststof werd bovendien opgeslagen in een gesloten container en was dus geen emissiebron.

De dunne fractie werd over een zeefbocht gepompt, ging door een buidelfilter en onderging vervolgens ultrafiltratie (UF). In de UF-unit werden het resterende niet-opgeloste materiaal en grotere organische moleculen verwijderd. Het verwijderde materiaal kwam terecht in het UF concentraat dat als eindproduct in een silo werd opgeslagen en van daaruit werd afgevoerd. De laatste verwerkingsstap bestond uit behandeling van het UF permeaat door omgekeerde osmose. Hierbij werden spiraalgewonden polyamide membranen toegepast. Deze membranen hielden zouten en kleine organische moleculen tegen die in het RO concentraat terecht kwamen. Het RO concentraat werd als eindproduct in een silo opgeslagen en van daaruit afgevoerd. Daarnaast resteerde als eindproduct een RO permeaat dat op het riool wordt geloosd.

De mestverwerking vond plaats in mechanisch geventileerde ruimtes (het omkaderde gedeelte in figuur 1). Alle ventilatielucht werd via een gecombineerde luchtwasser (chemisch en biologisch) afgevoerd.

Aangevoerde varkensmest werd in een afgedekte silo opgeslagen. Opslag van vaste coproducten vond plaats in een sleufsilos.

Tabel 1 vermeldt de hoeveelheden mest en coproducten die door bedrijf A jaarlijks worden verwerkt en de hoeveelheden eindproduct.

Tabel 1 Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf A

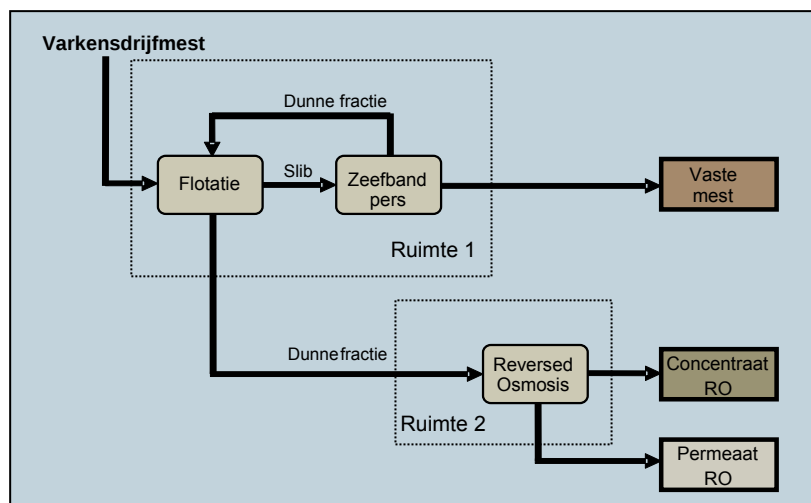
Grondstoffen	Ton	Eindproducten	Ton
Varkensdrijfmest	50.000	Droog product	2.700
Pluimveedrijfmest	5.000	Concentraat UF	10.000
Energiemaïs	7.500	Concentraat RO	12.000
Overige Coproducten	5.000	Permeaat RO	35.300

2.2.2 Mestverwerkingsbedrijf B

Bedrijf B is een mestdistributie- en verwerkingsbedrijf dat 25.000 ton varkensdrijfmest per jaar verwerkt. De mest bestaat voor 90% uit vleesvarkensmest en voor 10% uit zeugenmest. De verwerking bestaat uit de volgende processen:

1. Flotatie
2. Scheiden
3. Omgekeerde osmose (reverse osmosis (RO))

Het processchema van Bedrijf B is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Processchema van Bedrijf B. De twee kaders geven de twee afzonderlijke ruimtes weer waarin de verwerking plaats vindt

Het verwerkingsproces

Scheiding van de mest in een dikke en dunne fractie vond plaats door flotatie en een zeebandpers: aan de inkomende mest werd een vlokmiddel toegevoegd, onder druk werd lucht in de flotatie-unit gepompt. In het flotatiesysteem komt de lucht in kleine belletjes vrij. Vaste mestdeeltjes worden dan met de stijgende luchtbelletjes meegevoerd naar het vloeistofoppervlak waar ze een sliblaag vormen. Het slib wordt afgeschrapt en vervolgens in de zeebandpers uitgeperst. De dikke fractie van de zeebandpers werd als een vaste meststof opgeslagen en daarna afgezet. De dunne fractie van de zeebandpers werd teruggevoerd naar de flotatie-unit.

De dunne fractie van de flotatie-unit verbleef 70 uur in een opslagsilo en ging vervolgens naar de RO-installatie. Het RO-concentraat, een oplossing van voornamelijk kalium en ammonium, werd als eindproduct in een silo opgeslagen en van daaruit afgevoerd. Het permeaat uit de RO-installatie werd geloosd op het riool.

De mestverwerking vond plaats in twee ruimtes. De eerste ruimte (Ruimte 1 in figuur 2) bestond uit een nissenhut waar de flotatie-unit en de zeebandpers stonden opgesteld. Deze ruimte was in de kopgevels voorzien van ventilatoren, één voor de aanvoer en één voor de afvoer van lucht. In de tweede ruimte (Ruimte 2 in figuur 2) stond de installatie voor omgekeerde osmose. Deze ruimte werd niet geventileerd, emitteerde dus ook niet en werd niet gemeten.

Tabel 2 vermeldt de hoeveelheden mest en coproducten die door bedrijf B jaarlijks werden verwerkt en de hoeveelheden eindproduct.

Tabel 2 Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf B

Grondstoffen	Ton	Eindproducten	Ton
Varkensdrijfmest	25.000	Dikke fractie	3.750
		Concentraat RO	7.500
		Permeaat RO	13.750

2.3 Ontwikkeling meetplan

In eerste instantie werden beide verwerkingsinstallaties opgesplitst in onderdelen die elk als emissiebron voor gasvormige emissies en fijnstof werden beschouwd. Het opsplitsen in onderdelen werd gedaan op basis van expert judgement waarbij criteria golden als ruimtelijke scheiding van emitterende onderdelen, meetbaarheid met bestaande meettechnieken en praktische aspecten m.b.t. de uitvoerbaarheid. Vervolgens werd per onderdeel bepaald welke meetmethoden en meettechnieken toegepast konden worden, waarna een concept-meetplan werd opgesteld. Aan de hand van dit concept meetplan werden enkele oriënterende metingen uitgevoerd om de geschiktheid van de methoden en technieken te testen. Deze oriënterende metingen leidden vervolgens tot enkele

methodische en technische aanpassingen. Hierna werden per onderdeel de definitieve meetmethoden en meettechniek vastgesteld waarmee de proefmetingen werden uitgevoerd. De resultaten van deze proefmetingen worden in dit rapport gepresenteerd.

2.4 Uitvoering meetprogramma

2.4.1 Metingen bij Bedrijf A

Tabel 3 geeft een overzicht van de bedrijfsonderdelen en de meetpunten waaraan werd gemeten en welke parameters werden gemeten. De metingen werden gedurende 24 uur op 7 en 8 december 2009 uitgevoerd. Emissies van geur en fijnstof kunnen niet bepaald worden wanneer de emissies met een meetbox gemeten worden, zoals bij de opslag van co-product en de rand van de vergistingsilo. Voor geur is dat omdat de monsternametijd en –duur niet representatief is en voor fijnstof is dat omdat dat niet vluchtig is. De emissie van fijnstof kan bovendien niet bepaald worden wanneer het debiet bepaald is met behulp van een tracer, omdat niet aangenomen kan worden dat een stofdeeltje in de lucht zich hetzelfde gedraagt als een gasvormig deeltje (zie ook 2.5.5).

Tabel 3 Overzicht van bedrijfsonderdelen Bedrijf A en te meten concentraties (X) en luchtdebiet: TR = tracer en MV = meetventilator

Te meten proces/onderdeel	Meting						Luchtdebiet
	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	Geur ²	Fijnstof PM10 ²	Fijnstof PM 2,5 ²	
1. Opslag mest (silo)	X	X	X	X			TR
2. Opslag co-product (sleufsilo)	X	X	X				
3. Vergisting							
Rand vergistingsilo	X	X	X				
Waterslot vergistingsilo	X	X	X	X	X ¹		MV
Dak vergistingsilo	X	X	X	X			MV
4. Scheiding t/m osmose (bedrijfsruimte met luchtwasser)	X	X	X	X	X	X	MV
5. Opslag concentraat UF (silo)	X	X	X	X			TR
6. Opslag concentraat RO (silo)	X	X	X	X			TR

¹ alleen indicatief

² niet alle onderdelen zijn gemeten omdat geen betrouwbare technieken voorhanden waren

Op 19 november 2009 werden bij het waterslot en de dakruimte van de vergistingsilo meetventilatoren geplaatst. Het waterslot diende als noodafvoer bij overproductie van biogas. Bij normale bedrijfsvoering werd de overproductie afgefakkeld. Alleen als (de ontsteking van) de affakkelinstallatie defect was werd biogas via het waterslot afgevoerd. Met behulp van een meetventilator werd de afgevoerde hoeveelheid biogas gemeten. Om een indruk te krijgen van de variatie die kan optreden in de tijd, werd het debiet vanaf 19 november tot 8 december 2009 gedurende 20 dagen continu gemeten. Op 7 december werd gedurende een paar uur het waterslot open gezet om het effect hiervan te meten. Voor het berekenen van de methaanemissie werd het methaangehalte van het geproduceerde biogas gebruikt, zoals werd gemeten door het bedrijf.

De dakafdichting van een vergistingsilo bestond uit een dubbeldoek. Tussen beide doeken werd een druk van ca. 200 mbar gehandhaafd die nodig was om het geproduceerde biogas op de juiste voordruk voor de gasmotor te houden. De luchthoeveelheid tussen de twee afdichtingdoeken werd door middel van een eenvoudige drukregeling geregeld. Het binnenste doek bewoog op en neer afhankelijk van de biogasproductie. Het buitenste afdekdoek stond normaal gesproken strak en werd in die vorm gehouden door de drukregeling. De benodigde luchthoeveelheid werd aangevoerd via een onderdrukplep. De overtollige luchthoeveelheid werd afgevoerd via een kleine opening in het buitenste afdekdoek. De aangevoerde luchthoeveelheid werd gemeten met een meetventilator. In de afgevoerde lucht werden concentratiemetingen uitgevoerd. Het meetpunt is omschreven als dak vergistingsilo.

Met de rand van de vergistingsilo wordt de verbinding tussen het dubbeldoek van de vergistingsilo en de buitenwand van de silo bedoeld. De bedoeling is dat de verbinding luchtdicht is. Met metingen waarbij een deel van deze afdichtingstrand werd geïsoleerd, werd dit gecontroleerd. De uitvoering was complex door de moeilijke bereikbaarheid van de afdichtingstrand (ca 6 m hoog) van een silo, de ronde vorm van de silo en de wisselende uitvoering van de afdichtingstrand per silo.

Het coproduct was in dit geval maïs. De maïskuil was ingezaaid met tarwe die als een soort afdekking fungeerde. De maïs was in een sleufsilos ingekuild. De sleufsilos was 37 m breed en 65 m lang en de zijwanden hadden een hoogte van ca. 5 m. Aan de foto in Figuur 5 kan worden gezien dat het midden van de kuil veel hoger was dan de zijwanden. De planning was om meerdere malen midden op de kuil te meten en aan de randen. Om veiligheidsredenen is na één keer bovenop de kuil meten besloten hiervan af te zien. Aan de randen van de maïskuil werden driemaal de emissies gemeten. Om de emissie van de hele maïskuil (bodemoppervlak 37 x 65 m) te berekenen werd geëxtrapoleerd uitgaande van de gemiddelde emissie over het midden en de randen.

Her en der op het terrein waren nog wat kleine tijdelijke opslagen van diverse coproducten die werden toegevoegd aan de te vergisten mest. Aan deze kleine tijdelijke hopen is niet gemeten.

In de bedrijfsruimte werden de mest en het coproduct gemengd, het digestaat gescheiden, de dikke fractie gedroogd en de dunne fractie gefiltreerd via ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Deze ruimte werd zoals gezegd mechanisch geventileerd. De uitgaande lucht werd behandeld met een gecombineerde luchtwasser om de emissies van ammoniak, geur en fijnstof te reduceren. De ruimte met mest en coproduct was enigszins afgescheiden van de bedrijfsruimte waar de overige processen plaatsvonden. De deuren van de mengruimte waren gedurende het aanvoeren van co-product ca. 2 uur per dag open. Naar verwachting zal daardoor lucht zonder door de wasser te zijn gegaan, naar buiten hebben kunnen komen omdat onderdruk in de ruimte niet groot genoeg kan zijn geweest om dat te vermijden. Emissies uit de bedrijfsruimte kunnen dus enige onderschatting geven.

Bijlage A geeft per gemeten onderdeel een uitgebreid overzicht van de toegepaste meetmethode, de gebruikte meetapparatuur, het aantal meetpunten en de duur per meting. Bijlage C toont foto's van de gemeten onderdelen van de mestverwerkinginstallatie op Bedrijf A.

2.4.2 Metingen bij Bedrijf B

Tabel 4 geeft een overzicht van de bedrijfsonderdelen en de meetpunten waaraan werd gemeten en welke parameters werden gemeten. De metingen op 1 en 2 december 2009 uitgevoerd. Zoals ook vermeld bij bedrijf A kunnen emissies van fijnstof niet bepaald worden wanneer het debiet gemeten is met behulp van een tracer omdat niet aangenomen kan worden dat een stofdeeltje zich hetzelfde gedraagt als een gasvormig deeltje. Dit is het geval bij de opslag van mest, dunne fractie, concentraat en permeaat.

Tabel 4 Per onderdeel van het mestverwerkingsbedrijf wordt aangegeven welke concentraties werden gemeten (X) en het luchtdebiet: TR = tracergasmethode en MV = meetventilator

Onderdeel	Parameter						
	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	Geur ¹	Fijnstof Pm10 ¹	Fijnstof Pm 2,5 ¹	Luchtdebiet
1. Opslag mest (silo)	X	X	X	X			TR
2. Flotatie en persen (bewerkingsruimte 1, nissenhut)	X	X	X	X	X	X	MV
3. Opslag dunne fractie (silo)	X	X	X	X			TR
4. Opslag vaste mest (open front loads)	X	X	X	X	X	X	MV
5. Opslag concentraat RO (silo)	X	X	X	X			TR
6. Opslag permeaat RO (silo)	X	X	X	X			TR

¹ niet alle onderdelen zijn gemeten omdat geen betrouwbare technieken voorhanden waren

De opslag van vaste mest was overkapt met een open nok. De voorzijde was geheel open (openfront) en de overige drie zijwanden waren vanaf de grond tot 4,27 m dicht. In Bijlage B wordt vermeld op welk meetpunt met welke meetmethode en apparatuur werd gemeten en hoelang een meetperiode in beslag nam. Bijlage D toont foto's van de onderdelen van Bedrijf B waaraan werd gemeten.

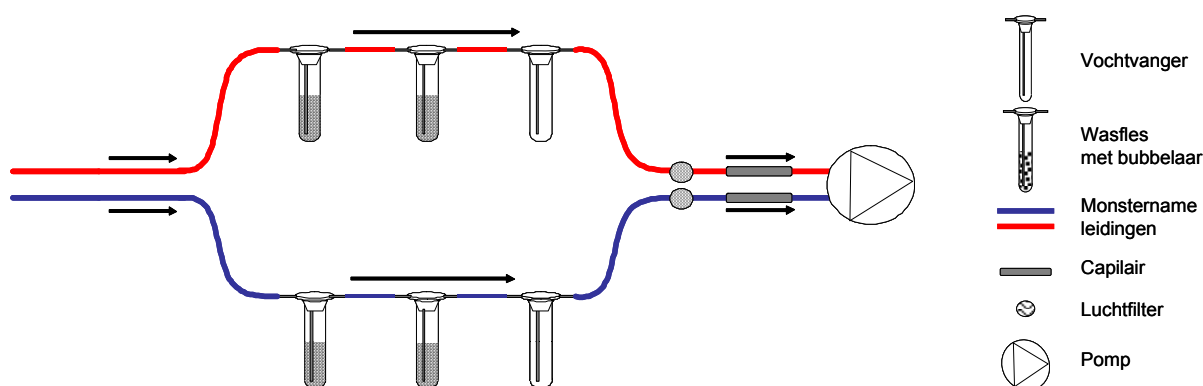
2.5 Meetmethoden

2.5.1 Broeikasgasconcentraties

De bemonstering voor de bepaling van de CH_4 -, N_2O - en CO_2 -concentraties werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). De monsterzak werd continu in 24 uur gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 l/min. Op deze wijze werd een tijdsgemiddeld monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH_4 , CO_2), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : HWD). Voor kortlopende metingen (opbouw van CH_4 en N_2O concentraties in de meetbox) werd gebruik gemaakt van een fotoakoestische monitor. Deze meetmethode is gebaseerd op de absorptie van infrarood licht door gassen (Innova 1312; Klooster e.a., 1992; Mosquera e.a., 2002).

2.5.2 Ammoniakconcentraties

De ammoniakconcentratie werd volgens de natchemische meetmethode voor NH_3 (Mosquera e.a., 2002) gemeten. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternaleiding met een constante luchtstroom ($\sim 1,0$ l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van $\sim 1,0$ l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de NH_3 wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. 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 NH_3 dat moet worden gebonden; voor deze meetpunten was deze 0,05 M. Na bemonstering gedurende 24 uur wordt de concentratie gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. De uitgaande lucht werd in duplo bemonsterd.



Figuur 3 Meetopstelling natchemisch methode voor ammoniakemissiemetingen

2.5.3 Stofconcentraties

De volgende stofmonsters zijn genomen tijdens meetdagen van 24 uur:

- enkelvoudige 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 10 μm (PM10);
- enkelvoudige 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 2,5 μm (PM2,5);

Figuur 4 laat de monstername-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische metingen is gebaseerd op de standaard referentie monsternamekoppen voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998; NEN-EN 14907, 2005). Het verschil tussen de in dit onderzoek gebruikte apparatuur en de standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafscheider is vervangen door een cycloon voorafscheider. Dit dient om overbelading van de impactieplaat te voorkomen, vooral bij bemonstering van PM2,5 (Zhao e.a., 2009).



Figuur 4 Monsterrapparaat voor PM10 en PM2,5. Linksboven: de 'constant flow' monsternamepomp. Rechtsboven: De DustTrak model 8520 voor optische en continue metingen van het verloop in PM10 concentratie. Linksonder (van links naar rechts): inlaat, PM10 cycloon, PM2,5 cycloon en filterhouder. Rechtsonder (van links naar rechts): de constructie van de inlaat

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van de PM10 of PM2,5 cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonstername gewogen onder standaard condities: temperatuur $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m^3/uur , Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval

over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 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 monsternamekoppen naar impactor monsternamekoppen. 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

2.5.4 Geurconcentraties

Geurmonsters werden genomen over een periode van twee uur in enkelvoud in de uitgaande lucht. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd driemaal gespoeld met geurloze lucht en in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen (0,4 l/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS) stallucht aangezogen in de zak. Om condensvorming te voorkomen wordt verwarmingslint langs de monsternameleiding aangebracht. Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium van Wageningen UR Livestock Research vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer L313 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses. Aan de geuranalyses wordt deelgenomen door een groep van vier tot zes panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden wordt voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en –emissies worden vermeld in respectievelijk OU_E/m³ en OU_E/s. De eenheid 'OU_E' staat hierbij voor 'European Odour Units'. Deze aan de EN 13725 ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied.

2.5.5 Ventilatie-debiet

Het luchtdebiet (m³/uur) in de ruimtes met een gerichte luchtuitstroom (bewerkingsruimte (nissenhut), mengruimte, wasser, loads, vergistingsilo, waterslot vergistingsilo) werd met behulp van meetventilatoren (Van Ouwkerk, 1993; Mosquera e.a., 2002) of luchtsnelheidsmeters continu tijdens de metingen geregistreerd en vastgelegd in een datalogger (Koenders boxen, typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS). Meetventilatoren zijn anemometers met een diameter gelijk aan de diameter van de ventilatiekoker. De meetventilator wordt aangedreven door de luchtstroom in de ventilatiekoker en is daardoor niet gekoppeld aan de motor van de ventilator. Voor het berekenen van het debiet werd gebruik gemaakt van een ijklijn waarin de relatie tussen de geregistreerde pulsen en het debiet was vastgesteld. Voor kleine kokers werden windsnelheidsmeters gebruikt om de windsnelheid vóór de ventilatiekoker te bepalen. Met de windsnelheid en de oppervlakte van de koker werd het ventilatie-debiet berekend.

Om de lekkage van de silo's en mestopslag te bepalen werd gebruik gemaakt van de interne tracergas ratiomethode. De interne tracergas ratiomethode werd gebruikt om de emissie van geur, CH₄, N₂O en NH₃ uit de mest-silo's en de mestloads met vaste mest te bepalen. De interne tracergas ratiomethode (Ouwkerk, 1993; Huis in 't Veld e.a., 2001; Mosquera e.a., 2002) is gebaseerd op de wet van behoud van massa. In de meetruimte wordt met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF₆-gas en droge perslucht met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel wordt door een leiding met speciaal ontworpen injectiepunten in de meetruimte gebracht. In iedere injectiepunt is een orifice (plaatje met zeer kleine doorstroombopening) geplaatst. Het tracergas wordt gelijkmatig over alle injectiepunten en over de gehele oppervlakte van de meetruimte verdeeld. Om een representatief monster van de lucht in de meetruimte te nemen wordt een verzamelleiding met

verschillende monsternamenpunten verdeeld over de gehele meetruimte geplaatst. Aangenomen wordt dat het tracergas en het gas waarvan de emissie bepaald moet worden, zich op dezelfde manier in de meetruimte verspreiden en zo een vergelijkbaar concentratieprofiel in de meetruimte geven. Onder deze aanname is uit de gemeten hoeveelheid geïnjecteerd tracergas (Q_{tracer}) en de concentraties van het tracergas (C_{tracer}) en het te meten gas (C_{gas}), de emissie (E_{gas}) van het te meten gas terug te vinden als

$$E_{\text{gas}} = \frac{C_{\text{gas}}}{C_{\text{tracer}}} \cdot Q_{\text{tracer}} \quad (1)$$

2.5.6 Fluxberekening

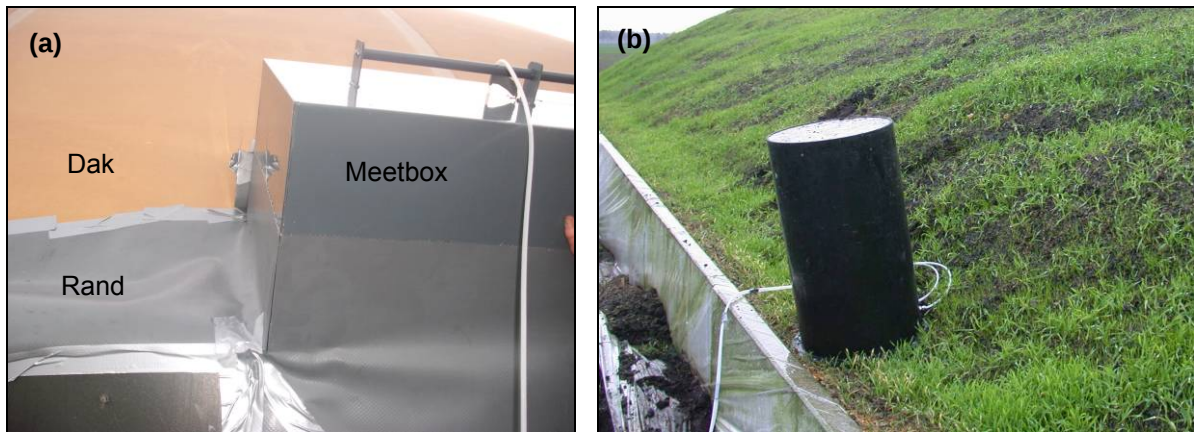
Een fluxmeting wordt uitgevoerd door een gesloten meetbox op een emitterend oppervlak te plaatsen. De ophoping van gas in een bepaald tijdstraject is dan maatgevend voor de emissie. Omdat NH_3 oplosbaar is, is de concentratie boven het emitterend oppervlak mede bepalend voor de hoeveelheid NH_3 die kan vervluchtigen. In een gesloten box kan die concentratie dusdanig oplopen dat het de emissie beïnvloedt. Daarom kan met deze methode geen betrouwbare absolute emissie bepaald worden. Deze methode kan wel worden toegepast voor het onderling vergelijken van emissies van verschillende oppervlakken. Uitgebreide gegevens omtrent de toepasbaarheid van een gesloten meetbox zijn beschreven in Mosquera e.a. (2009). Omdat CH_4 en N_2O niet oplosbaar zijn geldt bovenstaande beperking niet voor deze gassen en kunnen de emissies die met de meetbox gemeten worden representatief zijn voor de emissie van het betreffende emitterende oppervlak. De gesloten meetbox werd daarom gebruikt om de emissie van CH_4 en N_2O via de rand van de vergistingsilo (Bedrijf A), en van de sleufsilo met opslag coproduct (Bedrijf A) te bepalen.

Voor het meten van emissies via de rand tussen het dak en de wand van de vergisting silo's moest een speciale meetbox ontworpen worden. Deze bestond uit een stalen doos-constructie die over de silorand kon worden geplaatst waarbij een deel (lengte ca 0,5 m) van de silorand kon worden geïsoleerd. De foto in figuur 5a laat zien hoe dat er in de praktijk uit zag. Op deze wijze werd een gesloten ruimte (meetbox) verkregen waarin CH_4 en N_2O -concentraties werden gemeten. Voor het meten van de emissies uit de sleufsilo met opslag coproduct werd een vat op het emitterende oppervlak geplaatst (figuur 5b). Bij boxmethoden wordt de wet van behoud van massa gebruikt om de emissies van de gemeten gassen vanaf specifieke meetoppervlakken te bepalen. Bij de gesloten meetbox bouwt de concentratie van het te meten gas op in de meetbox. Op basis van de snelheid waarmee de concentratie zich opbouwt kan de emissie als volgt worden berekend:

$$Q = \frac{V \cdot (C_1 - C_0)}{A \cdot t} \quad (2)$$

Met Q ($\text{g m}^{-2} \text{uur}^{-1}$) de emissie op tijdstip t onder meetbox,
 C_0 (g m^{-3}) de concentratie op tijdstip $t = 0$ (plaatsing meetbox),
 C_1 (g m^{-3}) de concentratie op tijdstip t ,
 V (m^3) de inhoud van de box, en
 A (m^2) de oppervlakte van de meetbox.

Om de emissie op te schalen naar de emissie van het gehele emitterend oppervlak werd verondersteld dat het gemeten oppervlak representatief was voor het hele emitterend oppervlak.



Figuur 5 Gesloten meetbox voor emissiemetingen via de rand van de vergistingsilo (a) en aan de rand van de sleufsilo met opgeslagen co-product (maïs met ingezaaide tarwe) (b)

Om de emissie uit de ruimtes met een gerichte luchtuitstroom (bewerkingsruimte (nissenhut), mengruimte, wasser, loods, dakruimte vergistingsilo, waterslot vergistingsilo) te bepalen werden het luchtdebiet en de concentraties van de te meten gassen in de uitgaande luchtstroom gemeten. Door deze concentraties (C) te vermenigvuldigen met het luchtdebiet (V) kon de emissie uit die ruimtes worden bepaald:

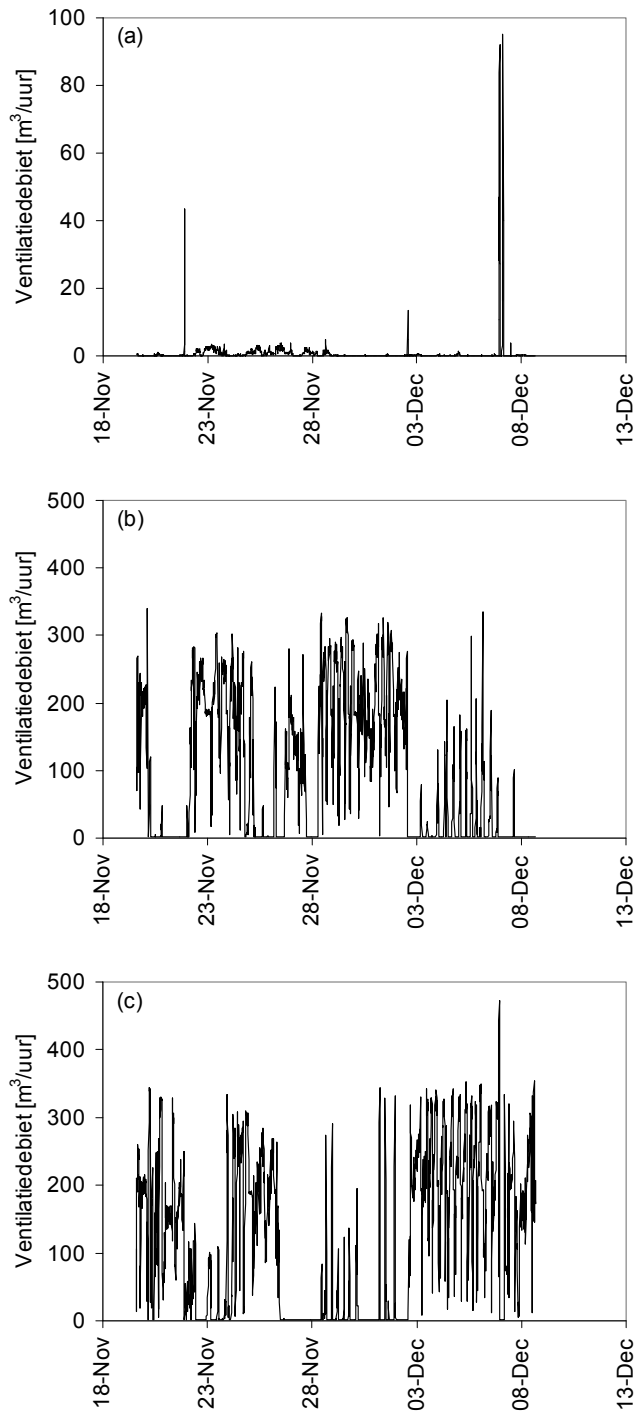
$$E = V * C \quad (3)$$

Het luchtdebiet werd bepaald met behulp van meetventilatoren of luchtsnelheidsmeters (zie Hoofdstuk 2.5.5). De concentraties van CH_4 , N_2O , NH_3 , fijnstof en geur werden gemeten zoals aangegeven in Hoofdstuk 2.5.1 t/m 2.5.4. Om een indruk te krijgen van de variatie die kan optreden in de tijd, werd het debiet vanaf 19 november tot 8 december 2009 gedurende 20 dagen continu gemeten.

3 Resultaten en discussie

3.1 Mestverwerkingsbedrijf A

In tabel 5 wordt per emissiebron het gemiddelde luchtdebiet weergegeven. Bij enkele bronnen (dakruimte van twee vergistingssilo's en het waterslot van een derde vergistingssilo) is het luchtdebiet met behulp van een datalogger continu geregistreerd. Deze resultaten zijn weergegeven in figuur 6. De concentratiemetingen zijn op 7 en 8 december uitgevoerd.



Figuur 6 Resultaten van het gedurende 20 dagen continu gemeten luchtdebiet [m^3/uur] bij het waterslot van vergistingssilo 3 (a) en bij de dakruimte van vergistingssilo 1 (b) en van vergistingssilo 2 (c)

Tabel 5 Luchtdebiet [m^3/uur] per onderdeel van Bedrijf A tijdens de concentratiemetingen

Onderdeel	
1. Opslag mest (silo)	17.530
2. Opslag co-product (sleufsilo)	n.v.t.
3. Vergisting	
Afdichting rand	n.v.t.
Waterslot (aan)	95
Dakruimte	94
4. Scheiding t/m osmose (bedrijfsruimte met luchtwasser)	814
5. Opslag concentraat UF (silo)	9.481
6. Opslag concentraat RO (silo)	7.745

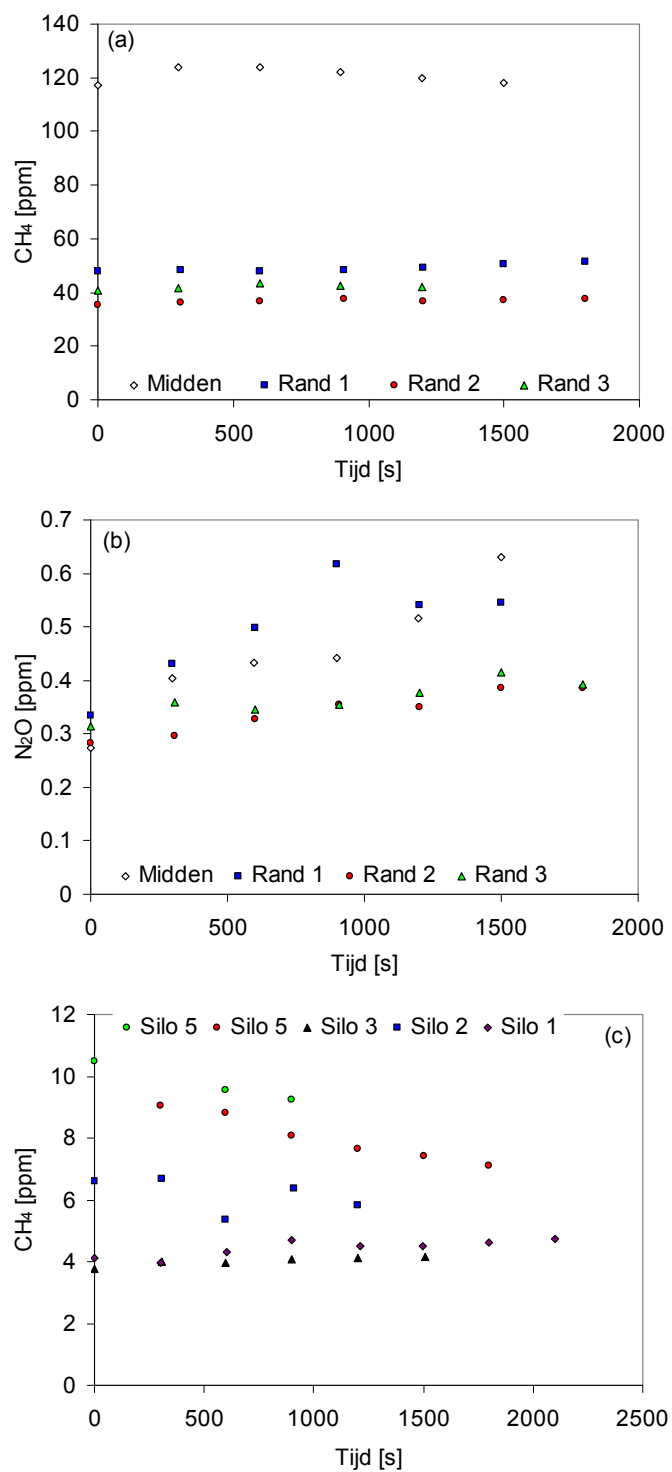
n.v.t. = niet van toepassing omdat met een meetbox gemeten is

De hoeveelheid lucht uit de opslagsilo's voor mest en concentraten lag tussen de 7.745 en 17.530 m^3/uur . Dit komt overeen met een verversing van de ruimte tussen mest en afdekking van 2 tot 5 maal per uur. Ter vergelijking: een traditionele ligboxenstal wordt 70 maal per uur verversd (H.J. van Dooren, pers. mededeling).

Opvallend is het verschil in luchtdebiet tussen de dakruimtes van de twee vergistingssilo's. Bij langdurige meting, waarvan de resultaten in figuur 6 gepresenteerd zijn, bleek het verschil in gemiddeld debiet veel kleiner te zijn, n.l. respectievelijk 96 en 116 m^3/uur voor silo 1 en 2. Zoals aangegeven in het hoofdstuk Materiaal en Methoden is het debiet van de dakruimte afhankelijk van de oplopende druk door de productie van biogas. Op korte termijn kan het verschil tussen de silo's relatief groot zijn, op langere termijn zal dat op basis van vergelijkbaar substraat en omgevingsfactoren meer gelijk op lopen.

Bij de gesloten meetboxmethode wordt voor de berekening van de emissie gebruik gemaakt van het concentratieverloop in de meetbox. Figuur 7 geeft het concentratieverloop voor CH_4 en N_2O voor enkele metingen bij de rand van de vergistingssilo's en bij de sleufsilo met maïs als coproduct.

De methode van een gesloten meetbox gaat uit van een opbouw van de CH_4 en N_2O concentratie over een bepaalde tijdsperiode. Uit figuur 7 blijkt dat dit meestal het geval is voor de uitgevoerde metingen, echter het blijkt ook dat soms een afname van de concentratie werd gemeten. Het dalende verloop van de CH_4 concentratie bij vergistingssilo 5 ging gepaard met een hoge concentratie in de omgevingslucht op het moment van meten omdat het waterslot tijdelijk werd open gezet. Lucht vanuit de omgeving kwam blijkbaar de box in en omdat de emissie vanaf de silorand laag was trad een verdunning van de hoge achtergrondconcentratie op. Voor de berekening van de emissie werden alleen de resultaten gebruikt waarbij sprake was van een opbouw van concentratie in de loop van de tijd.



Figuur 7 Verloop van CH₄ en N₂O concentraties tijdens metingen met de gesloten meetbox aan de sleufsilo met coproduct maïs (a en b) en de vergistingssilo's (c)

Tabel 6 geeft een samenvatting van de emissiemetingen bij mestverwerkingsbedrijf A.

Tabel 6 Emissies per component en emissiebron van Bedrijf A

Onderdeel	Parameter					
	CH ₄ [g/uur]	N ₂ O [g/uur]	NH ₃ [g/uur]	Pm10 [g/uur]	Pm 2,5 [g/uur]	Geur [OU _E /s]
1. Opslag mest (silo)	67301	0,46	**			n.g.
2. Opslag co-product (sleufsilo)	25	3	0,00***			n.g.
3. Vergisting						
Afdichting rand	0,01	0,00	0,00			n.g.
Waterslot	111*	0,00	0,00	n.g.		n.g.
Dakruimte	17	0,02	0,04			39
4. Scheiding t/m osmose (bedrijfsruimte met luchtwasser)	334	0,77	0,04	0,01	0,01	83
5. Opslag concentraat UF (silo)	47	0,95	10			n.g.
6. Opslag concentraat RO (silo)	11	0,27	8			n.g.

* Gemiddeld over twee weken. Het waterslot is in die periode 1 uur open geweest (het ontsnapte gas had een CH₄ concentratie van ca. 55%)

** Storing in meetinstrument waardoor negatieve waarden zijn gemeten

*** De gemeten concentraties waren laag (<5 ppm) en relatief stabiel (geen concentratieopbouw in de meetbox)

n.g. Vooraf was ingeschat dat aan dit meetpunt gemeten zou worden. Om logistieke redenen was dit niet uitvoerbaar

De methaanemissie uit de mestsilo is zeer hoog ten opzichte van de overige meetpunten. Ter vergelijking: Hilhorst e.a. (2004) vonden een methaanemissie uit een mestsilo met rundveemest van 933 g CH₄/uur. De hoge methaanemissie uit de mestsilo is vooral het gevolg van een hoge CH₄ concentratie in de uitgaande lucht. De gemeten CH₄ concentratie was 5.400 ppm.

Opvallend is het verschil in CH₄ emissie tussen de twee gemeten vergistingssilo's. Het blijkt dat de hoeveelheid afgevoerde lucht uit silo 1 veel lager was dan uit silo 2 en dat ook de CH₄ concentratie veel lager was. IPCC houdt een emissie voor CH₄ aan per vleesvarken van ca. 6 kg uit mestopslag in de stal. Meetcijfers duiden dat dit aan de lage kant is. Philippe e.a. (2007) maten een gemiddelde methaanemissie van 1 g/uur per vleesvarken wat neerkomt op een emissie op jaarbasis van ca. 8,8 kg. Mosquera e.a. (2010) maten zelfs 17,5 kg per vleesvarken. Een deel van deze emissies, 1-1,5 kg, komt niet uit de mest, maar is endogeen van oorsprong (Rijnen, 2003). Bedrijf A verwerkte in totaal 55 000 ton mest, waarvan 10% kippenmest.

De volgende berekening is een vingeroefening om een inschatting te maken van de hoogte van de methaanemissie van de mestverwerkinginstallatie t.o.v. die van opslag in de stal. De methaanemissie uit mest tijdens opslag in de stal is op basis van bovenstaande 6 – 16 kg per jaar. Stel alle mest is afkomstig van vleesvarkens en per vleesvarken is de mestproductie per jaar ruim 1 ton. Op basis van de emissies in Tabel 6 kan berekend worden dat de methaanemissie door verwerken van de mest van 55 000 vleesvarkens op jaarbasis een kleine 600 000 kg zou zijn terwijl die 55 000 vleesvarkens wanneer enkel stalopslag zou hebben plaatsgevonden ca. 300 000 – 900 000 zou zijn geweest afhankelijk van de aanname van de stalemissie per vleesvarken. De silo met opgeslagen mest heeft hiervan verreweg de grootste bijdrage.

De meeste N₂O kwam uit de sleufsilo met ingekuilde maïs. Volgens IPCC (2001) emitteert 0,1% van de N-excretie van het varken als N₂O. Dat komt neer op een emissie van zo'n 0,02 kg per jaar bij een N-excretie van 12,9 kg (Velthof e.a., 2009). Philippe e.a. (2007) mat per vleesvarken 0,02 g/uur, wat neerkomt op zo'n 0,18 kg per jaar. Mosquera e.a. (2010) hebben 0,008 kg per jaar gemeten. Een vergelijkbare vingeroefening als hierboven beschreven bij methaan geeft een jaarlijkse N₂O-emissie van zo'n 45 kg. Afhankelijk van de aanname van de stalemissie zouden 55 000 varkens in de stal zo'n 400-10 000 kg N₂O emitteren. Al met al kan op basis van deze cijfers gesteld worden dat de emissie van N₂O van mestverwerkinginstallatie A laag is.

De NH₃ emissies waren over het algemeen laag. Voor de silo's met concentraat RO en concentraat UF waren de NH₃ emissies relatief hoog. Een vergelijkbare vingeroefening als hierboven beschreven bij methaan en lachgas geeft aan dat de 55 000 ton mest een NH₃-emissie van zo'n 160 kg per jaar zou opleveren. In de stal zouden 55 000 varkens volgens de emissiefactor in de Regeling ammoniak

en veehouderij (Rav) ruim 135 000 kg emitteren. Voor de volledigheid zij ook hier weer vermeld dat deze vingeroefening geen reële waarde op jaarbasis geeft, maar dat wel duidelijk wordt dat de ammoniakemissie van deze mestverwerkinginstallatie laag is. Bovendien is de emissie van de mestopslag in de silo en de NH₃ emissie van de opgeslagen coproducten niet meegenomen. Op basis van de inventarisatie van Velthof e.a. (2009) kan aangenomen worden dat de NH₃-emissie van afgedekte mestopslag laag is en het verschil tussen de berekeningen nauwelijks kleiner zal maken. De NH₃-emissie van opgeslagen coproducten verdient nadere aandacht.

De gemeten stofemissies (0,01 g/uur of 0,09 kg/jaar voor zowel PM_{2,5} als PM₁₀) voor de gehele mestverwerkingsinstallatie zijn laag t.o.v. wat in de stal zou emitteren. Mosquera e.a. (2010) rapporteerde een emissie van 0,14 kg/jaar per varken voor PM₁₀ en 0,007 kg/jaar per varken voor PM_{2,5}. Voor een stal van 55 000 varkens zou dat een emissie betekenen van ruim 7500 kg PM₁₀ en 400 kg PM_{2,5} per jaar.

De gemeten geuremissies zijn laag. Ter vergelijking: één vleesvarken geeft een geuremissie van 23 OU_E/s (Regeling geur en veehouderij (Rgv)). Door de hoge concentratie van mest hoeft dit echter geen goede maat te zijn voor de geurbeleving van omwonenden.

Opgemerkt moet worden dat deze vingeroefeningen om de emissies door te berekenen en te vergelijken met de emissie die optreden tijdens opslag in de stal, opschalingen zijn van 24-uursmetingen. Opschaling naar een jaarcijfer is niet reëel maar geeft wel een indruk van het belang van de emissies van de mestverwerkinginstallatie.

3.2 Mestverwerkingsbedrijf B

In Tabel 7 wordt per emissiebron het gemiddelde luchtdebiet tijdens de metingen op Bedrijf B weergegeven.

Tabel 7 Gemiddelde luchtdebiet (of lekkage) [m³/uur] per emissiebron van Bedrijf B

Onderdeel	Luchtdebiet
1. Opslag mest (silo)	5.014
2. Flotatie en persen (bewerkingsruimte 1, nissenhut)	4.335
3. Opslag dunne fractie (silo)	3.507
4. Opslag vaste mest (open front loads)	137.102
5. Opslag concentraat RO (silo)	3.707
6. Opslag permeaat RO (silo)	2.716

De lekkage uit de silo's lag tussen de 2.716 en 5.014 m³/uur, wat overeenkomt met een verversing van de headspace van 1 (opslag permeaat RO) tot 20 maal per uur (opslag mest). De lucht in de ruimte met vaste-mestopslag werd ongeveer 100 maal per uur verversd. Dit is hoog, aangezien de gemiddelde luchtverversing in een traditionele ligboxenstal 70 maal per uur is.

Tabel 8 geeft een samenvatting van de resultaten van de emissiemetingen bij Bedrijf B.

Tabel 8 Emissies per component en emissiebron van Bedrijf B

Onderdeel	Parameter					Geur [OU _E /s]
	CH ₄ [g/uur]	N ₂ O [g/uur]	NH ₃ [g/uur]	PM _{2,5} [g/uur]	PM ₁₀ [g/uur]	
1. Opslag mest (silo)	18519	1	54			n,g,
2. Flotatie en persen (bewerkingsruimte 1, nissenhut)	74	0,20	10	0,11	0,18	3384
3. Opslag dunne fractie (silo)	35145	16	**			n,g,
4. Opslag vaste mest (open front loads)	8250	40	345	3	4	7883
5. Opslag concentraat RO (silo)	19050	3	279			n,g,
6. Opslag permeaat RO (silo)	230	0,36	83			n.g.

** Storing in meetinstrument waardoor negatieve waarden zijn gemeten

n.g. Vooraf was ingeschat dat aan dit meetpunt gemeten zou worden. Om logistieke redenen was dit niet uitvoerbaar

De methaanemissies uit drie van de vier silo's zijn hoog ten opzichte van de emissie uit de andere meetpunten. De gemeten CH_4 concentraties waren zeer hoog (3.600 tot 14.500 ppm). Ook tijdens de opslag van vaste mest trad methaanemissie op. Als vingeroefening kan aan de hand van de emissies in Tabel 8 berekend worden dat de methaanemissie van het verwerken van mest van 25 000 vleesvarkens op jaarbasis grofweg 700 000 kg zou zijn terwijl die 25 000 vleesvarkens bij stalopslag ca. 150 000 – 400 000 zou zijn geweest, afhankelijk van de aanname van de stalemissie (zie hoofdstuk 3.1 voor een uitgebreidere toelichting van deze aanname). De silo's met opgeslagen mest, concentraat en dunne fractie hebben hiervan de grootste bijdrage. Dat de laatste twee zo'n hoge CH_4 -emissie hebben is verrassend omdat het organische stof gehalte in deze fracties laag is ten opzichte van onbehandelde mest.

De meeste N_2O kwam uit de opslag vaste mest. Een vergelijkbare vingeroefening als hierboven beschreven bij methaan resulteert in een jaarlijkse N_2O -emissie van ruim 500 kg door de mestverwerkinginstallatie. Afhankelijk van de aanname van de stalemissie (zie hoofdstuk 3.1 voor een uitgebreidere toelichting van deze aanname) zouden 25 000 varkens in de stal zo'n 200 - 4500 kg N_2O emitteren. Deze mestverwerkinginstallatie voegt dus een substantiële hoeveelheid N_2O emissie toe, waarvan het merendeel afkomstig is uit opslag van de dunne fractie en de opslag van vaste mest.

Op basis van de data in Tabel 8 kan berekend worden dat de NH_3 emissie door de mestverwerkinginstallatie op Bedrijf B, exclusief de opslag dunne fractie, zo'n 6500 kg per jaar bedroeg. Uit een stal met 25 000 kg mest zal op jaarbasis 62 500 kg NH_3 emitteren (zie hoofdstuk 3.1 voor een uitgebreidere toelichting van deze aanname). Door mestverwerking kwam dus een relatief lage, maar niet verwaarloosbare hoeveelheid ammoniak vrij. De opslag vaste mest en de opslag concentraat RO droegen het meest bij aan de totale ammoniakemissie.

Opvallend is dat het aandeel $\text{PM}_{2,5}$ ten opzichte van PM_{10} hoog is. De emissies uit de opslag vaste mest van zowel $\text{PM}_{2,5}$ (3 g/uur of 26 kg/jaar) als PM_{10} (4 g/uur of 35 kg/jaar) was relatief laag. Mosquera e.a. (2010) rapporteerde een emissie van $\text{PM}_{2,5}$ en PM_{10} van respectievelijk 0,007 kg en 0,14 kg per varken per jaar. Voor een stal met 25 000 varkens zou dat een emissie betekenen van 175 kg $\text{PM}_{2,5}$ en ruim 3500 kg PM_{10} en per jaar.

De gemeten geuremissies zijn laag ten opzichte van die van vleesvarkens: één vleesvarken geeft een geuremissie van 23 OU_E/s (Rgv). Het zij opgemerkt dat door de hoge concentratie van mest dit geen goede maat hoeft te zijn voor de geurbeleving van omwonenden.

Net als bij Bedrijf A wordt hier opgemerkt dat deze vingeroefeningen, waarbij 24-uursmetingen van emissies uit silo's en verwerkingsruimtes worden vergeleken met emissies uit een stal en geëxtrapoleerd naar een jaarcijfer, is niet reëel maar wel een indruk geeft van het belang van de emissies van methaan, lachgas en ammoniak, van de mestverwerkinginstallatie.

3.3 Evaluatie metingen

Zoals eerder aangegeven is de emissie het product van de concentratie en de hoeveelheid lucht die het systeem verlaat (debiet). Het meten van de concentratie is relatief eenvoudig. De methoden die gebruikt werden om de concentraties van ammoniak (natchemisch), geur, broeikasgassen (longmethode) en fijnstof (cyclonen voor PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$) te bepalen gaven betrouwbare resultaten. De fotoakoestische monitor (Innova 1312) kan worden toegepast voor het meten van de broeikasgasconcentraties (CH_4 en N_2O). Bij toepassing van een meetbox is het van belang dat deze voldoende volume heeft om een te snelle concentratieverhoging van de gassen te voorkomen. Het is noodzakelijk om CO_2 weg te filteren (bijvoorbeeld met behulp van sodalime) voordat de lucht in de monitor wordt geanalyseerd, dit om interferentie van CO_2 met N_2O te voorkomen. Tijdens de metingen bleek dat het CO_2 filter snel verzadigd raakte waardoor een aantal N_2O -metingen minder betrouwbaar waren. Door storing in een van de instrumenten bleek de monitor negatieve waarden voor de NH_3 concentratie te hebben bepaald. Controle van de meetresultaten tijdens de metingen is daarom essentieel om dit te voorkomen of te verhelpen.

Bij emissiemetingen is bepaling van het debiet het lastige punt. Wanneer een meetventilator gebruikt kan worden, kan een betrouwbare debietmeting uitgevoerd worden. De interne tracergas ratiomethode kan worden toegepast voor het meten van het luchtdebiet (lekkage) uit opslagsilo's voor

mest, UF concentraat en RO concentraat. Tijdens de metingen bleek dat de gebruikte gaschromatograaf storingsgevoelig was. Voor het bepalen van het ventilatiedebiet van open opslagen (mestproducten, coproducten) moet de methode worden geoptimaliseerd. Dit houdt met name in dat de apparatuur die op locatie ingezet wordt robuust moet zijn en dat in eerste instantie meer injectiepunten voor de tracergas SF_6 nodig zijn om de methode betrouwbaarder te maken. Dit is nodig om zeker te weten dat bij terugmeting van het SF_6 representatief bemonsterd kan worden. In latere instantie, wanneer met meer inzicht betrouwbaardere interpretaties van de cijfers gemaakt kunnen worden, zou dit aantal eventueel weer teruggebracht kunnen worden. De aanname dat de lucht optimaal gemengd is en dat het te meten gas zich hetzelfde gedraagt als SF_6 moet gerechtvaardigd zijn. Dit maakt dat de emissie van stof niet op deze manier bepaald kan worden, stof gedraagt zich namelijk niet als een gas.

De meetbox biedt de mogelijkheid om een flux te meten, waardoor een debietbepaling niet meer nodig is. Voor geur kan deze methode niet toegepast worden omdat de monsternameduur en –tijd niet representatief zijn. Voor stof voldoet deze methode ook niet, omdat stof niet vluchtig is en zich in ongestoorde toestand onder de meetbox niet representatief (als zonder meetbox) zal ophopen in de lucht.

De toepassing van de meetbox om de emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O uit open opslagen (mestproducten, coproducten) te bepalen moet verbeterd worden. Door de ruimtelijke en temporale variabiliteit van de emissies is het bovendien noodzakelijk meer metingen uit te voeren om verantwoord op te schalen naar het gehele emitterende oppervlak. Deze optimalisatie vraagt behalve technische aanpassingen, ook logistieke bijstellingen. De opslagsilo's op beide meetlocaties waren moeilijk bereikbaar of door de grote hoogte of door de consistentie van het oppervlak (niet beloopbaar product in de sleufsilos). Daarnaast bleek door de grote hoeveelheid metingen die gelijktijdig gedaan moesten worden dat de geurmetingen soms niet konden worden uitgevoerd.

De meetbox die gebruikt werd om de emissies uit de (rand van de) vergister te bepalen moet worden geoptimaliseerd om lekkages uit de meetbox te voorkomen. Echter, de vergistingsilo is redelijk goed afgesloten en de vergister draagt naar verwachting maar in zeer beperkte mate bij aan de totale emissie van mestverwerkinginstallaties. Daarom wordt aanbevolen om meting hiervan bij het vaststellen van emissiefactoren van mestverwerkinginstallaties alleen oriënterend met een paar metingen te doen. Indien blijkt dat de bijdrage aan de emissie substantieel geacht kan worden, kan uitbreiding van de metingen met meer meetpunten en -momenten uitgevoerd worden.

Opschaling naar een jaargemiddelde om te komen tot een emissiefactor vergt protocollaire metingen aan meerdere locaties in meerdere seizoenen zoals beschreven in Hoeksma & Mosquera (2008).

4 Conclusies

Voor het bepalen van de emissies aan onderdelen van de mestverwerkinginstallaties is de bottleneck het meten van de debieten van die onderdelen.

Voor de ruimtes met een gerichte luchtuitstroom (bewerkingsruimte (nissenhut), mengruimte, wasser, loods, vergistingsilo, waterslot vergistingsilo) kan het ventilatiedebiet nauwkeurig bepaald worden met behulp van meetventilatoren of luchtsnelheidsmeters.

Om het luchtdebiet (lekkage) uit gesloten opslagsilo's voor mest, UF concentraat en RO concentraat te meten kan de interne tracergas ratiomethode worden toegepast. Voor het bepalen van het ventilatiedebiet van open opslagen (mestproducten, coproducten) moet de methode worden geoptimaliseerd.

Van drijfmest en dunne fracties kan de stofemissie op voorhand verwaarloosd worden, maar van vaste mest en de dikke fractie niet.

De emissie van fijnstof kan niet bepaald worden wanneer het debiet vastgesteld is met behulp van een tracergas.

Emissies van geur en fijnstof kunnen niet met een meetbox bepaald worden. Voor geur is dat omdat de monsternametijd en –duur niet representatief zijn, en voor fijnstof omdat dat niet vluchtig is.

Verder onderzoeks- en ontwikkelwerk is nodig om te komen tot een goede meetmethode voor fijnstof uit silo's.

De emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O uit open opslagen (mestproducten, coproducten) kunnen behalve met de interne tracergasmethode ook gemeten worden met de meetbox methode. Deze methode moet echter worden geoptimaliseerd. Door de ruimtelijke en temporale variabiliteit van de emissies is het noodzakelijk meer metingen uit te voeren om de gemeten waarden verantwoord op te kunnen schalen naar het gehele emitterende oppervlak.

De bewerkingsstappen scheiden, flotatie, persen en vergisten vonden in min of meer gesloten ruimtes plaats met weinig ventilatie, wat resulteerde in lage emissies. Op bedrijf A werd de ventilatielucht bovendien gezuiverd met een luchtwasser.

Het aantal metingen en het aantal mestverwerkinginstallaties waren te laag om harde kwantitatieve uitspraken te doen over de bijdragen van de verschillende onderdelen aan de emissies van de gehele mestverwerkinginstallaties. Op basis van de metingen kan wel gesteld worden dat vooral rekening gehouden moet worden met emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O uit de opslagen van mest, mestproducten en coproducten en met emissie van fijnstof uit opslag van de vaste mestfractie na scheiden. De geuremissies waren over het algemeen laag.

Aanbevelingen

Debieten en concentraties aan mestverwerkinginstallaties dienen gedurende een langere periode gemeten te worden om meer kennis te verwerven over de variatie in de tijd en dus over de variatie in emissie in de tijd. Met meer inzicht zou een betrouwbare uitspraak gedaan kunnen worden op basis van minder metingen.

Het meten van emissies aan opslagen van mest- en coproducten moet geoptimaliseerd worden. Opties zijn het verbeteren van de tracergasmethode en optimalisatie van de meetbox-methode om grip te krijgen op temporale en lokale variaties.

Onderzoeks- en ontwikkelwerk is nodig om tot een geschikte en betrouwbare meetmethode voor het bepalen van de fijnstofemissie uit opslagsilo's te komen.

Literatuur

- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Hilhorst, M.A., P. Hofschreuder, J.W.H. Huis in 't Veld. 2004. Methaanemissies voor en na plaatsing van een biogasinstallatie op De Marke. A&F Rapport 232.
- Hoeksma, P., J. Mosquera. 2008. Protocol voor meten van gasvormige emissies en fijn stof van mestverwerkinginstallaties. Lelystad : Animal Sciences Group, (Rapport / Animal Sciences Group 167).
- 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.
- Huis in 't Veld, J.W.H., P.W.G. Groot-Koerkamp, 2001. Research into the ammonia emission from livestock production systems no. L; Naturally ventilated cubicle-housing system with a profiled floor for dairy cattle in the winter period (in Dutch). Report IMAG, Wageningen, the Netherlands.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. Van 't Klooster, N.W.M. Ogink, D. Swierstra, N. Verdoes, 2002a. Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij. Report 2002-12. IMAG, Wageningen, the Netherlands.
- Mosquera, J., G.J. Kasper, K. Blanken, F. Dousma, A.J.A. Aarnink. 2009. Ontwikkeling snelle meetmethode ter bepaling van ammoniakemissiereductie van vloergebonden maatregelen. Wageningen UR Livestock Research Report 291.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Wageningen UR Livestock Research Rapport 292.
- 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.
- Philippe, F.X., M. Laitat, B. Canart, M. Vandenheede, B. Nicks. 2007. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. Livestock Science 111, 144-152.
- Rijnen, M.M.J.A., 2003. Energetic utilization of dietary fiber in pigs. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5808-866-9, Wageningen, NL, 160 pp.
- Van 't Klooster, C.E., B.P. Heitlager, J.P.B.F. Van Gastel. 1992. Measurement systems for emissions of ammonia and other gasses at the Research Institute for Pig Husbandry. *Rosmalen: Research Institute for Pig Husbandry, Report P3.92*.
- Van Ouwerkerk, E.N.J. 1993. Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. *Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij* **16**. DLO, Wageningen, pp. 178.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, 2009. Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland. Rapport 70 WOT Natuur & Milieu.
- 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. Journal of Aerosol Science, Vol. 40, Issue 10, October 2009, pp. 868-878.

Bijlagen

Bijlage A Beschrijving meetpunten Bedrijf A

Onderdeel/meetpunt	Parameter	Meetmethode	Meetapparatuur	Aantal meetpunten	Meetduur
1. Vergistingsilo					
Afdichting rand	CH ₄ en N ₂ O	Meetbox, opbouw concentratie	Multigasmonitor	2 van de 5 silo's 1 meetpunt, 1 silo 2 meetpunten (totaal=4)	30 minuten per meetpunt
Waterslot	Debietbepaling	Meetventilator	Meetventilator	1 (van de 5 silo's)	20 dagen
	NH ₃	Natchemische methode, gemiddelde concentratie	Spectrofotometer	1 (van de 5 silo's)	24 uur
	CH ₄ en N ₂ O	Longmethode, gemiddelde concentratie	Gaschromatograaf		
Dakruimte	Debietbepaling	Meetventilator	Meetventilator	2 van de 5 silo's	20 dagen
	NH ₃	Natchemische methode gemiddelde concentratie	Spectrofotometer	2 van de 5 silo's	24 uur per meetpunt
	CH ₄ en N ₂ O	Longmethode gemiddelde concentratie	Gaschromatograaf		
	Geur	Longmethode gemiddelde concentratie	Olfactometer	2 van de 5 silo's	2 uur per meetpunt
2. Silo's					
Mest, concentraat RO en UF	Lekkage	Interne tracergas ratiomethode	Gaschromatograaf	Aan iedere silo	30 minuten per meetpunt
	NH ₃ , CH ₄ en N ₂ O	Fotoakoestische methode, continue meting	Multigasmonitor		
3. Sleufsilos met ingekuuld snijmaïs	CH ₄ en N ₂ O	Meetbox, opbouw concentratie	Multigasmonitor	1 meetpunt midden op de maaskuil en 3 meetpunten aan de rand van de maaskuil (totaal=4)	30 minuten per meetpunt
4. Mengruimte vergister	Debietbepaling	Meetventilator	Meetventilator	1 bij het afzuigpunt van deze ruimte	24 uur
	NH ₃	Natchemische methode gemiddelde concentratie	Spectrofotometer		
	CH ₄ en N ₂ O	Longmethode gemiddelde concentratie	Gaschromatograaf		
	Geur	Longmethode gemiddelde concentratie	Olfactometer	1 bij het afzuigpunt van deze ruimte	2 uur

Onderdeel/meetpunt	Parameter	Meetmethode	Meetapparatuur	Aantal meetpunten	Meetduur
5. Luchtwasser	Debietbepaling	Windsnelheid in afvoerbuis	Rotor windsnelheidsmeter	1 in de het afvoerkoker	2 maal 5 minuten
	NH ₃	Natchemische methode gemiddelde concentratie	Spectrofotometer	1 boven de wasser in de uitgaande luchtstroom	24 uur
	CH ₄ en N ₂ O	Longmethode gemiddelde concentratie	Gaschromatograaf		
	Fijnstof (pm10 en pm 2,5)	Gravimetrische methode	Cyclonen en stofpomp met gereguleerde luchtstroom, meetbalans		
	Geur	Longmethode gemiddelde concentratie	Olfactometer	1 bij het afzuigpunt van deze ruimte	2 uur

Bijlage B Beschrijving meetpunten Bedrijf B

Onderdeel/meetpunt	Parameter	Meetmethode	Meetapparatuur	Aantal meetpunten	Meetduur
1. Silo's					
Mest, concentraat, dunne fractie en water	Lekkage	Interne tracergas ratiomethode	Gaschromatograaf	Aan iedere silo	30 minuten per meetpunt
	NH ₃ , CH ₄ en N ₂ O	Fotoakoestische methode, continue meting	Multigasmonitor		
2. Bewerkingsruimte (nissenhut)	Debietbepaling	Meetventilator	Meetventilator	1 bij het afzuigpunt van deze ruimte	24 uur
	NH ₃	Natchemische methode gemiddelde concentratie	Spectrofotometer		
	CH ₄ en N ₂ O	Longmethode gemiddelde concentratie	Gaschromatograaf		
	Geur	Longmethode gemiddelde concentratie	Olfactometer	1 bij het afzuigpunt van deze ruimte	2 uur
3a. Opslag vaste mest loods (uitgaande lucht in de nok van de loods)	Debietbepaling	Interne tracergas ratiomethode	Gaschromatograaf	1 verzamelleiding bij de open nok van deze ruimte	24 uur
	NH ₃	Natchemische methode gemiddelde concentratie	Spectrofotometer		
	CH ₄ en N ₂ O	Longmethode gemiddelde concentratie	Gaschromatograaf		
	Geur	Longmethode gemiddelde concentratie	Olfactometer	1 bij de open nok van deze ruimte	2 uur
3b Opslag vast mest loods (puntmeting op de mest)	CH ₄ en N ₂ O	Meetbox, opbouw concentratie	Multigasmonitor	Meetpunten bij 3 verschillende soorten mest (totaal=7)	15-30 minuten

Bijlage C Uitvoering metingen mestverwerkingsbedrijf A



Meting mestsilo, ventilator met injectie en monsternamelingen



Meetshelter met injectieapparatuur, GC voor bepaling SF_6 -concentratie en multigasmonitor voor bepaling broeikasgassen en NH_3 .

Meetpunt voor bepaling NH_3 , geur, CH_4 , N_2O concentratie en ventilatiedebiet



Meting mengruimte mestvergister



Meting sleufsilo met omgekeerd vat op de maïshoop



Meting rand vergistingssilo



Bijlage D Uitvoering metingen mestverwerkingsbedrijf B



Meting uitgaande lucht nissenhut met zeefbandpers



Droge mestopslag met injectieleiding op de mest en verzamelleiding in de nok



Mestsilo en watersilo



Meting mestsilo met interne tracergas ratiomethode





Wageningen UR Livestock Research

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

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