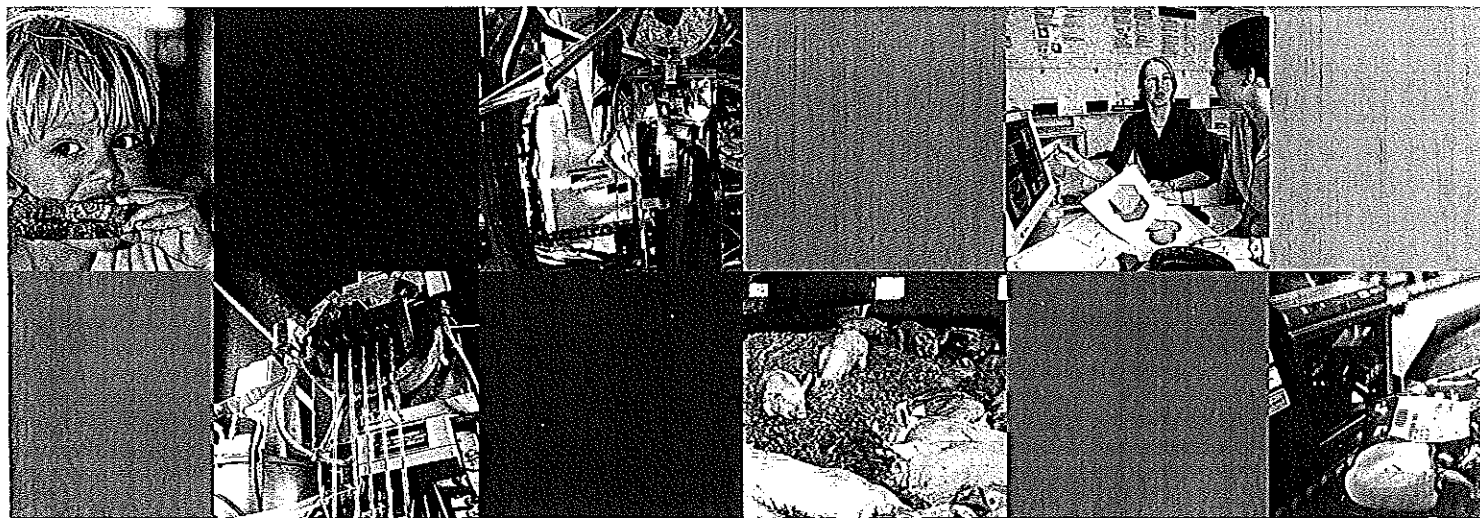




Methaanemissies voor en na plaatsing van een biogasinstallatie op De Marke

M.A. Hilhorst, P. Hofschreuder & J.W.H. Huis in 't Veld

Rapport 232



Methaanemissies voor en na plaatsing van een biogasinstallatie op De Marke

M.A. Hilhorst, P. Hofschreuder & J.W.H. Huis in 't Veld

Rapport 232

Colophon

Title	Methaanemissies voor en na plaatsing van een biogasinstallatie op De Marke
Auteur(s)	M.A. Hilhorst, P. Hofschreuder & J.W.H. Huis in 't Veld
A&I' bestel nummer	Rapport 232
ISBN-nummer	90-6754-807-3
Project nummer	630.53029.01
Datum van publicatie	Augustus 2004

Agrotechnology and Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© 2003 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

Samenvatting

Het CLM heeft een biogasinstallatie geplaatst op het proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu De Marke. Het project is een demonstratie gericht op het nuttig gebruik van methaan dat anders ontsnapt tijdens vergisting van mest. Agrotechnology & Food innovations (A&F¹ voorheen IMAG) onderzocht het verschil in de emissies van broeikasgassen voor en na het plaatsen van de biogasinstallatie op De Marke.

De emissieschatting is met een grote onzekerheidsmarge omgeven, welke voortkomt uit de ongunstige ligging van de vergister naast andere methaan emitterende gebouwen en bossages rond de meetplaats. Rekeninghoudend met die onzekerheid kunnen toch enkele conclusies worden getrokken.

Uit emissiemetingen aan de mest in de stalopvang, in de mestsilo (voor ombouw tot biogasinstallatie) en aan de gasopbrengst uit de vergister kunnen we concluderen dat de mest op De Marke een hoger methaanemissiepotentieel heeft dan normaal. De reden voor een hoge methaanopbrengst wordt uit het onderzoek niet duidelijk, maar kan met het type voer te maken.

De emissie van de vergistinginstallatie blijkt in dezelfde orde van grootte te liggen als de emissie van de mestsilo voor ombouw tot vergister. Door methaanlekken uit de gasmotor en de gaszak blijkt de installatie geen milieuwinst op te leveren door beperking van de methaanemissies. Wel wordt milieuwinst geboekt door vermeden CO₂ emissies bij energieopwekking.

Inhoud

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
2 Materialen en methoden	7
2.1 De vergistinginstallatie	7
2.2 Bepaling van de emissies.	8
2.2.1 Emissie uit de mestlo voor ombouw	8
2.2.2 De gasmotor	11
2.2.3 De gaszak	11
2.2.4 Stalemissies	12
3 Resultaten	13
3.1 Emissies uit de mestlo voor ombouw	13
3.2 De gasmotor	15
3.3 De gaszak	15
3.3.1 Windsnelheidsprofiel	15
3.3.2 Selectie van de windrichting	16
3.3.3 Verticale verdeling van concentraties	16
3.3.4 De meting met de TDL	17
3.3.5 Schatting van de bronsterkte	18
3.4 Stalemissies	20
4 Discussie	20
4.1 Emissies uit de mestlo voor ombouw	20
4.2 De gaszak	22
4.3 Stalemissies	22
5 Conclusies	23

1 Inleiding

Met subsidie van het programma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB) van de NOVEM voor een demonstratieproject heeft het CLM een biogasinstallatie geplaatst op het proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu De Marke. Het project is gericht op het nuttig gebruik van methaan dat ontstaat tijdens vergisting van mest in de opslag. Met dit project wordt gedemonstreerd hoe methaanemissies uit de veehouderij kunnen worden gereduceerd. Bovendien kan het gebruik van het methaan als energiebron de emissie van CO₂ bij energieproductie verlagen.

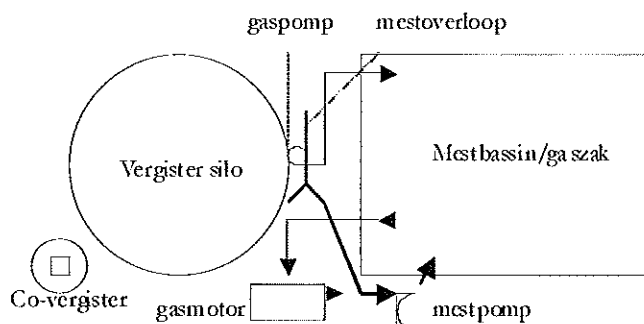
Het instituut Agrotechnology & food innovations (A&Fⁱ voorheen IMAG) onderzocht wat het verschil in de emissies van broeikasgassen is voor en na het plaatsen van de biogasinstallatie op De Marke.

2 Materialen en methoden

2.1 De vergistinginstallatie

Op De Marke is de huidige mestlo omgebouwd tot vergistingreactor. Figuur 1 geeft een overzicht van de installatie. De installatie bestaat globaal uit een pomp die de mest uit de stal naar de reactor overpompt. In de vergister wordt mest verwarmd om het vergistingproces te versnellen. Het gas dat ontstaat tijdens vergisting wordt opgeslagen in de gaszak. Ook de uitgegiste mest wordt opgevangen in de gaszak, waardoor het gas dat nog vrijkomt tijdens het navergisten ook in deze zak kan worden opgevangen.

Door de overdruk die ontstaat in de silo was er in eerste instantie sprake van methaanlekage door bijvoorbeeld kieren in de betonwanden van de silo. Dichtkitten met mastiek en overdekken met een zeildoek had niet voldoende effect. Daarom wordt de silo nu op onderdruk gehouden; het methaan wordt overgepompt naar de gaszak zodra de druk in de silo in de buurt komt van die van de omgeving. Het gas wordt overgepompt met een centrifugaalpomp met onderdrukschakelaar. Dit betekent dat buitenlucht in de silo lekt en niet naar buiten waardoor de concentratie methaan in het gasmengsel iets verlaagd wordt. Het gas wordt in de gaszak gepompt via gelijmde PVC pijpen. Bij goede uitvoering en fixatie van de leidingen zijn geen lekken te verwachten.



Figuur 1. Overzicht van de mestvergister op De Marke.

Omdat de silo op onderdruk wordt gehouden en de covergister niet in bedrijf is, zijn de belangrijkste mogelijke emissiebronnen van methaan:

- de stal (emissies uit mestopslag en dieren),
- de mestsilo (emissie uit mest voor ombouw tot vergister),
- de opslag van gas en het digistaat (lek door diffusieverliezen via lijmnaad, aansluitingen en PVC folie),
- de gasmotor (lek onverbrand methaan).

Dit zijn de belangrijkste bronnen waaraan gemeten dient te worden. Andere bronnen zijn als verwaarloosbaar beoordeeld.

De capaciteit van de silo is 1400 m^3 . Tijdens de metingen was er 600 m^3 gistende mest in de silo. Per dag wordt er 7 m^3 mest naar de silo gepompt. Eenmaal per 3 maanden wordt de vergiste mest uit de silo naar de gaszak gepompt en kan daar navergisten. De gaszak is gelegen in een bassin van $25 \times 20 \text{ m}^2$, de diepte is niet vastgesteld, maar wordt geschat op 3 m. Naast de silo zit een afsluiter, gevolgd door een stijgbuis (mestoverloop) om na sluiten van de mestafvoer de leiding leeg te kunnen pompen.

De aanvoer van gas naar de gasmotor is uitgevoerd met PVC-pijpen en voorzien van een gasmeter (elektronisch i.v.m. de stromingsweerstand). De aanzuiging geschiedt m.b.v. de onderdruk in de carburateur van de gasmotor. De gasmotor is ontworpen op 10 draaiuren per dag met een aangeschakelde generator van 10 kW maximaal vermogen. De waterkoeling van de gasmotor wordt op 50°C gehouden en via een ringleiding in de mest in de silo gebruikt om de mest op een temperatuur van $35\text{--}37^\circ\text{C}$ te houden. De ringleiding is aangebracht op 2,5 m van de wand in de silo. De overvloedige warmteproductie wordt via een extra radiator aan de lucht afgegeven. De mest wordt vanuit de stal direct naar de silo gepompt. De co-vergistingmengput heeft een geschatte inhoud van 14 m^3 (diameter 3 m en 2 m diep). Omdat covergisting nu nog niet plaats vindt is geen aandacht besteed aan deze put.

2.2 Bepaling van de emissies.

De meting van de emissies is gericht op methaan. In het volgende worden de methoden beschreven die zijn gebruikt bij de verschillende installatie onderdelen.

2.2.1 Emissie uit de mestsilo voor ombouw

Emissiemetingen

Het meten van emissies uit een mestopslag aan de hand van metingen buiten de silo konden niet goed worden uitgevoerd door de nabijheid van andere bronnen en door de grote verdunning die optreedt buiten de silo. Daarom is een poging gedaan de emissies te bepalen met behulp van een tracer-gas ratio methode. Het gebruik van SF_6 is een bekende methode om de lucht uitwisselingsnelheid met de omgeving te bepalen. Als dan de concentraties van de broeikasgassen in de silo bekend zijn kunnen de emissies van broeikasgassen bepaald worden. Het bleek echter een probleem het SF_6 goed te injecteren. Er is geen luchtbeweging in de silo en de variatie in het debiet kan groot zijn zodat je al snel te veel of te weinig SF_6 injecteert. De variaties zijn

afhankelijk van het weer en kunnen onverwacht groot worden. In Foto 1 zijn twee foto's te zien van de mestilo en de meetshelter met de apparatuur. Foto 2 geeft een blik in de silo en laat duidelijk een holle pilaar zien die midden in de silo stond en druipsteenachtige aangroeiing aan het plafond van de mestilo, die is ontstaan in de loop van de 10 jaar dat de silo op De Marke staat. De kolom was wel van belang omdat deze de metingen hinderden; SF_6 verzamelde in de kolom om op onverwachte tijden weer te mengen met het gas in de siloruimte.

Door A&F is een alternatieve methode ontwikkeld. De lucht in de silo wordt zo geventileerd dat de concentraties van gassen in de silo meer dan 10 maal lager zijn. Ventileren wordt gedaan door alle luiken in het betonnen deksel van de silo te openen. Dan wordt de ventilatie gestopt door de luiken te sluiten. De concentraties nemen vervolgens weer toe. Met behulp van ventilatoren wordt de lucht in de silo in beweging gehouden (recirculatie, zie ook Figuur 1). Uit de toename en het volume van de ruimte boven de mest, kan de productie van gassen in de mest en daarmee de emissie worden geschat. In het volgende wordt deze methode in meer detail beschreven. Tijdens de eerste meting in april was circa 300 m^3 mest in silo aanwezig. Het volume boven de mest is circa 1100 m^3 . Tot de tweede meting in november is daar geen verandering in gekomen. De mest in de silo is ongemocid gelaten. Een meetactie duurde ongeveer drie weken totaal.



Foto 1. De mestilo op De Marke. *Links*: De silo met de shelter met meetapparatuur ervoor. *Rechts*: De recirculatie ventilator op het dak van de silo.

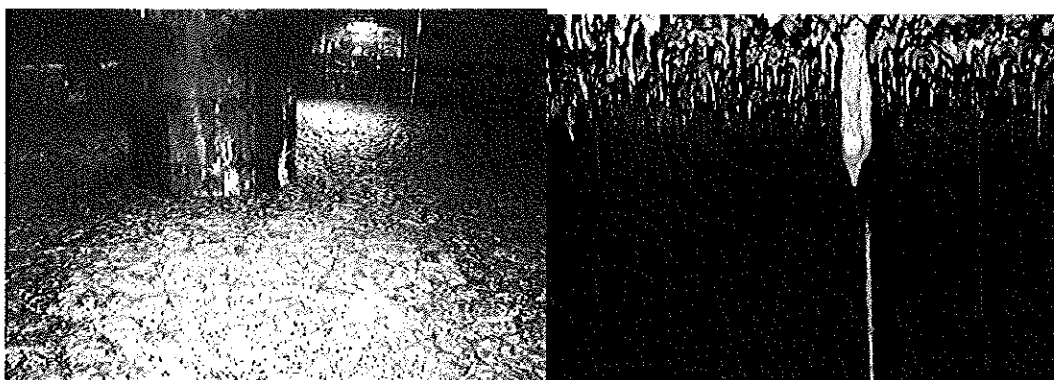


Foto 2. De binnenzijde van de mestilo op de Marke. *Rechts*: Midden in de mestilo op De Marke stond een holle pilaar van circa een meter doorsnede. Deze pilaar had enkele openingen in de silo ruimte. *Links*: Druipsteenachtige aangroeiing aan het deksel van de mestilo.

Emissieberekeningen

Voor de berekeningen zijn de volgende aannamen gedaan:

1. Door de kunstmatige recirculatie is voldoende menging van de gassen in de silo.
2. Methaan en N_2O gedragen zich conservatief. Er is voor deze gassen geen invloed van het openen en sluiten van de luiken op de productie.
3. CO_2 is goed oplosbaar in water (afh. van pH) en er is een evenwicht tussen carbonaat en CO_2 gas in de vlocistof. Dit betekent bij openen van de silo nalevering en bij het sluiten eerst een verlaagde concentratie in de gasfase boven de mest, omdat eerst de concentratie in de mest weer moet stijgen.
4. De productie van deze gassen is in de tijd constant.
5. Als achtergrondconcentraties zijn aangenomen; $CO_2 = 360$ ppm, $CH_4 = 1,8$ ppm en $N_2O = 0,32$ ppm
6. De (natuurlijke-)ventilatie is het gevolg van gasproductie en windinslag. De diffusie is voor deze silo met betondak verwaarloosd.
7. Door spreiding van de meetwaarden mag de bronsterkte ten opzichte van de schattingen uit de gasproductie, gedurende de eerste 3 uren, binnen het gemiddelde plus of minus één maal de standaarddeviatie gemanipuleerd worden, om tot een optimale ventilatie schatting te komen.

Rekenmethode;

$$C_{\text{verandering}} = \frac{\text{productie}}{\text{volume}} - \frac{\{\text{ventilatie} + \text{productie} + \text{diffusie}\}}{\text{volume}} (C_{\text{eind}} - C_{\text{begin}})$$

$$\frac{dC}{dt} \left(\frac{\mu g}{m^3 s} \right) = \frac{P}{V} - \frac{\left(f_v + \sum_{n=1}^i f_{pi} + \sum_{n=1}^i f_{di} \right)}{V} (C_i - C_0)$$

Bij de berekeningen is f_d verwaarloosd, omdat deze gering zal zijn. Ruwe schattingen geven aan, dat deze term voor tentdaken wel van belang kan zijn indien de porositeit op 1% wordt gesteld. Er is een stapsgewijze berekening toegepast, omdat het massa verlies door ventilatie afhankelijk is van de opbouw van C_0 , die op zijn beurt weer van het transport uit de silo afhangt.

Om die reden is een stapsgewijze berekening toegepast met een stapgrootte van 5 seconden voor de eerste 3 uur en een stapgrootte van een kwartier voor de volgende drie weken.

Voor de 5 seconden stappen is telkens voor C_0 de voorgaande waarde van C_i ingevoerd (C_{i-1}).

Om een redelijke benadering van de kwartier stappen te krijgen is voor C_0 ingevuld

$$C_0 = C_{i-1} + \frac{(C_{i-1} - C_{i-2})}{2}$$

Dus de voorgaande waarde van C_i plus de helft van het verschil van de twee voorgaande waarden om voor de toename gedurende de tijdstap te corrigeren.

2.2.2 De gasmotor

De emissies uit de uitlaat van de gasmotor worden bepaald met geëvacueerde canisters. Omdat de gasmotor vrijwel continu draait onder optimale bedrijfscondities volstaat bemonstering aan de uitlaat. In principe is bemonstering gedurende een kwartier genoeg. De canister wordt daartoe uitgerust met een lange (2 m) RVS leiding, die met één einde in de uitlaat wordt gestoken. Aan het andere einde wordt een filter gemonteerd om zowel roetdeeltjes als condensvocht tegen te houden. Daarachter volgt een capillair, kraan en canister. De emissiemeting wordt drie keer achter elkaar uitgevoerd. Het gasdebiet wordt gemeten door een lange flexibele alu-slang op de uitlaat aan te sluiten en het debiet met een anemometer te meten. Temperatuurmeting direct aan de uitlaat is noodzakelijk voor volume correcties.

Er kan ook methaan lekken via bijvoorbeeld de carburateur in de generatorruimte. Eerst wordt afgeschat of deze emissies belangrijk zijn door de methaan concentratie buiten de generatorruimte en in de generatorruimte te meten met canisters met een 15 min capillair. Na meting op de GC ter plaatse weten we of er belangrijke verschillen tussen de methaanconcentratie in en buiten de ruimte bestaan. Alternatief is een lange aanzuigleiding met sterke pomp voor korte verblijftijd en een aftakking vanuit deze leiding naar de GC (via de gebruikelijke monsterpomp). Als het verschil gering is worden geen nadere metingen meer uitgevoerd. Lekverliezen uit bijvoorbeeld de carburateur worden bepaald door de deur van het generatorhok te sluiten en er een bekende hoeveelheid SF_6 in los te laten. Met vijf canisters zonder capillair (puntmeting) worden de methaanconcentratie en SF_6 concentratie in de ruimte gemeten. Aanzuiging geschiedt door capillaire leidingen (1/8") vanuit de ruimte naar canisters buiten de ruimte (gemakkelijk wisselen). De meting neemt circa 20 minuten in beslag, waarna de ruimte weer wordt geopend om oplopen van de temperatuur te vermijden. De ventilator van de warmtewisselaar (radiator) van de gasmotor verzorgt tevens de menging van de lucht in de ruimte. De lekverliezen worden geschat uit het verschil in methaan concentratie binnen de ruimte en buiten de ruimte en het verversingsdebiet. Dit is een maximumschatting, omdat een deel van de methaan via de carburateur weer de gasmotor binnengaat en verbrand.

2.2.3 De gaszak

Diffusie verliezen uit de gaszak zijn bepaald via de massabalansmethode. Bovenwinds worden twee canisters geplaatst met capillairen voor een middelingstijd van 3 tot 4 uur. Benedenwinds is een Boreal tunable-diode-laser (TDI) horizontaal opgesteld op een hoogte van 2,2 m over meer dan de volle breedte/lengte van het bassin om een horizontaal gemiddelde concentratie te meten (over 50 m padlengte). In het midden is een mast opgesteld met canisters (voorzien van capillairen) op 1.0, 2.0, 4.0, en 8.0 m. Schaling van het gemeten hoogteprofiel naar de gemiddelde methaanconcentratie op 2,2 m hoogte en vermenigvuldiging met de padlengte van de TDL levert de massaflux door het fluxraam en daarmee de emissie van de gaszak. Voor alle berekeningen is uitgegaan van neutrale atmosferische omstandigheden.

2.2.4 Stalemissies

Bij gebruik van een biogasinstallatie wordt de mest zo snel mogelijk overgepompt van de stal naar de reactor waardoor de emissie van methaan uit mest in de stal vermindert. Emissie uit de stal zijn bepaald door gebruik te maken van de SF_6 tracer-ratio methode. Daartoe wordt SF_6 op een aantal punten in de stal geïnjecteerd. De injectiepunten waren aangebracht nabij de mestkelders. Via een verzamelleiding in de nok van de stal werd de SF_6 concentratie gemeten in het ventilatie debiet. Met de verhouding tussen de hoeveelheid ingespoten SF_6 en de concentratie SF_6 in de ventilatie opening kan het ventilatiedebiet worden bepaald. Door ook van de andere gassen de concentraties in de ventilatie opening te meten kunnen de emissies worden berekend.

De meetapparatuur was geïnstalleerd in een mobiele meetwagen. De meetopstelling was geautomatiseerd door middel van PC-gestuurde data acquisitieapparatuur. De besturingsprogrammatuur voor de data acquisitie was geschreven in Notebook Pro (versie 10.1) van de firma Labtech. De Notebook Pro-applicatie verzamelde alle meetwaarden met uitzondering van de tracergasmetingen. Deze meetwaarden (klimaat gegevens en de ammoniakconcentraties) werden continu gemeten en per 5 minuten opgeslagen. De gas chromatograaf, gebruikt voor tracergasmetingen, werd aangestuurd door Chrom-Card software. Per 5 minuten werd één monster aan de gaschromatograaf aangeboden en geanalyseerd. Dit was afwisselend een stallucht- of een buitenluchtmonster. Na analyse werd het resultaat opgeslagen. Wekelijks werd de stal bezocht voor controle van de meetinstallatie en kalibratie van de meetapparatuur. Alle veranderingen en werkzaamheden werden genoteerd in een logboek. In de meetwagen werd met behulp van twee thermische Mass Flow controllers (MFC) zuiver SF_6 -gas (zwavel hexafluoride) en perslucht met elkaar gemengd. Het mengsel werd op verschillende plaatsen verdeeld in de melkveeststal gedoseerd. De doserpunten bevonden zich zo dicht mogelijk bij de ammoniakbron (roostervloer en mestkelder) in de stal. Ieder doseerpunt was voorzien van een roestvrijstalen capillairhouder met een glazen kritisch capillair van 500 ml per minuut. Hierdoor werd de dosering van het tracergas gelijkmatig over de stal verdeeld. De analyse van de cannisters werd uitgevoerd in het chemisch-laboratorium van het IMAG. De stal- en buitenlucht werd hiertoe bemonsterd met vacuum canisters die luchtmonsters aftappen van de verzamelleiding voor SF_6 . Het laboratorium is onder nummer geaccrediteerd bij de Raad voor Accreditatie voor het uitvoeren chemische analyses.

Gedurende de meetperioden zijn de volgende variabelen continu gemeten:

- relatieve luchtvochtigheid RV (%) van de stal- en buitenlucht;
- temperatuur T (°C) van de stal- en buitenlucht;
- SF_6 -concentratie (ppb) van de gemiddelde stallucht en de achtergrondconcentratie,
- CH_4 concentraties met GC,
- windrichting en -snelheid op 10 m hoog.

In de stal zijn de emissie van broeikasgassen gemeten voor de periode dat de koeien in en buiten de stal waren, om onderscheid te kunnen maken tussen de emissies door pensvertering en die van de mest. Gemeten is in mei 2003.

De concentraties van methaan in de cannisters zijn bepaald in het laboratorium. De concentraties van methaan in de luchtmonsters zijn gemiddelden over de meetperiode. Voor de perioden dat de koeien in de stal stonden en voor de periode dat de koeien buiten de stal staan zijn aparte canisters gebruikt. Met een speciale inrichting aan de staldeur kon worden overgeschakeld tussen de twee canisters zodra de koeien de stal verlieten. De dieren waren over het algemeen tussen 8:00 en 13:00 buiten de stal.

3 Resultaten

3.1 Emissies uit de mestilo voor ombouw

Gemeten is in april en in oktober 2002. Hieronder wordt de gevolgde rekenprocedure beschreven voor oktober. De schatting voor april is op analoge wijze tot stand gekomen. Als eerste stap is de gasproductie voor CO_2 , CH_4 en N_2O berekend aan de hand van de concentratie toename zoals gegeven in figuur 3. Tabel 1 geeft de concentraties toename per uur die uit de gemeten concentraties kan worden afgeleid.

Tabel 1. De gemiddelde concentratie toename per uur in de mestilo voor ombouw (zie Figuur 3).

	CH_4	CO_2	N_2O
Periode	ppm/h	ppm/h	ppm/h
0-1 uur	840	760	0.24
1-2 uur	720	500	0.22
2-3 uur	950	805	0.50
Gemiddelde toename:	837	688	0.32

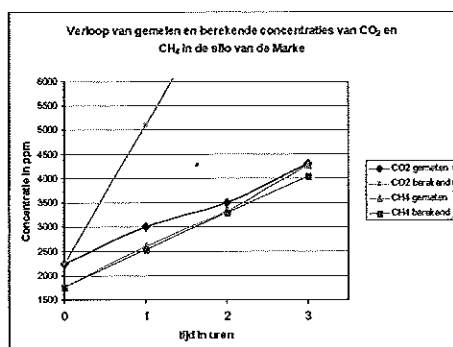
Bij een volume van de bovenruimte in de silo van 1000m^3 komt voor de emissie uit de mest voor CH_4 , CO_2 en N_2O respectievelijk 837 l uur^{-1} , 688 l uur^{-1} en 23 l uur^{-1} . Vervolgens is het ventilatie debiet geschat op basis van de helling van de concentratieverandering in de tijd en de bereikte evenwichtsconcentratie. Aanvullend op de ventilatie door gasproductie blijkt de berekende ventilatie bij de primaire schatting van de bronsterkte sterk te variëren. Voor methaan wordt $6,8\text{ liter/s}$ gevonden, voor N_2O 19 liter/s en voor CO_2 $1,15\text{ liter/s}$. Voor CO_2 speelt het evenwicht met de vloeistoffase een rol. Voor N_2O en CH_4 zou hetzelfde debiet gevonden moeten worden.

Gaan we uit van fouten in de bronsterkte schatting en een werkelijke bronsterkte die binnen het hier berekende gemiddelde plus of min 1 maal de standaarddeviatie mag variëren, dan kan een nieuw optimum worden gevonden. De bronsterkte voor methaan wordt met 14% verhoogd ($+1\sigma$) en de bronsterkte voor lachgas met 50% verlaagd (-1σ). De gasproductie wordt dan 954 l uur^{-1} voor methaan en $0,16\text{ l uur}^{-1}$ voor lachgas.

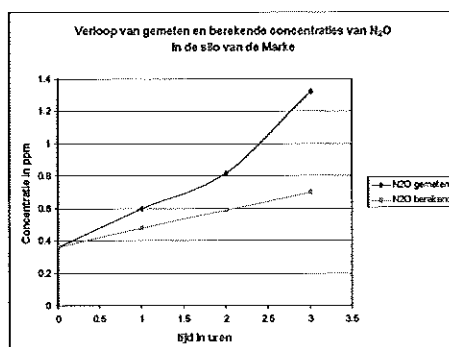
Het optimale ventilatie debiet voor beide gassen is dan 8 l s^{-1} . Met deze aanpassing van bronsterkten is nog geen goed eindevenwicht voor N_2O te simuleren. De bronsterkte zou lager moeten zijn. De schatting voor N_2O emissie is dus onzeker. De emissie gedurende de eerste uren blijkt erg variabel. De emissie lijkt ook groter dan op basis van de evenwichtsconcentratie mag

worden verwacht. Omdat de N_2O productie slechts in een beperkte zone van de mest kan plaatsvinden spelen hier verdamping van water uit de korst en toetreding van zuurstof mogelijk een rol in verhoging van de emissies bij opening van de silo. De schatting van 0,16 liter N_2O per uur lijkt daarmee nog een bovengrens van de werkelijke gemiddelde emissie voor een gesloten silo in rust.

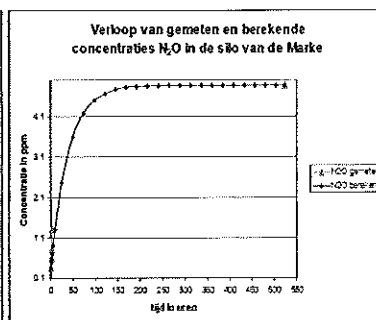
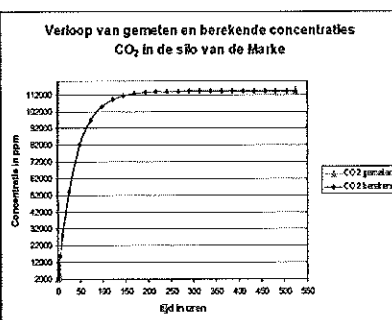
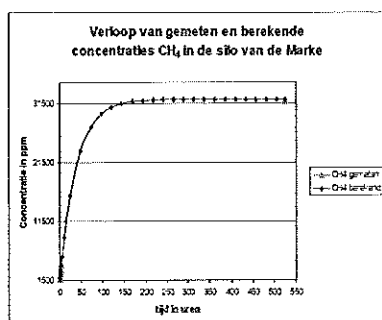
Op grond van deze overwegingen wordt er van uit gegaan, dat de beste schatting van de bronsterkten wordt verkregen door uit te gaan van de juistheid van de methaan emissie en het daarbij berekende ventilatie-debiet van $6,8 \text{ l s}^{-1}$. Passen we de bronsterkten van CO_2 en N_2O hier op aan, dan wordt de beste schatting verkregen van die bronsterkten. De CO_2 bronsterkte moet dan met een factor 4,3 worden vermenigvuldigd (wordt 2958 l uur^{-1}) en die voor N_2O met 0,37 (wordt 0.118 l uur^{-1}). Het verloop gedurende de eerste 3 uren en voor de hele periode van ruim 3 weken is in de figuren 3 t/m 7 weergegeven. De metingen zijn in oktober en november 2002 herhaald en op gelijke wijze verwerkt.



Figuur 3. Verloop van de concentratie van CO_2 en CH_4 gedurende de eerste 3 uren (gemeten en berekend)



Figuur 4. Verloop van de concentratie van N_2O gedurende de eerste 3 uren (gemeten en berekend)



Figuren 5, 6 en 7. Verloop van de concentraties van CH_4 , CO_2 , en N_2O in de tijd (gemeten en berekend) onder aanname van een bronsterkte voor CO_2 , die 4,3 maal zo groot is als de oorspronkelijke schatting, een bronsterkte voor CH_4 die gelijk is aan de oorspronkelijke schatting en voor N_2O die 0,37 maal zo klein is. Het ventilatie-debiet is geschat op $6,8 \text{ l s}^{-1}$ bovenop het debiet van de gasproductie.

De verhouding tussen het geproduceerde CH₄ en CO₂ was in april 22% en 78% voor CH₄ en CO₂ en in november 56% en 44%. De emissie in l-CH₄ per uur per ton-mest was in april 2,79 en in november 6,38 en voor de hele silo **837 l-CH₄ per uur en 1913 l-CH₄ per uur** (en CO₂ resp. 2958 en 1503 l-CO₂ per uur). De vergisting was sterk richting methaan productie verschoven. De luchttemperatuur was in de maand voorafgaand aan de proef gemiddeld 9°C (toenemend) voor april en 9,5°C (afnemend) voor oktober.

3.2 De gasmotor

De volgende concentraties werden in het afgas van de gasmotor gemeten; methaan 2.200 ppm, CO₂ 150.000 ppm. Het afgas debiet van de gasmotor gecorrigeerd voor temperatuur en druk wordt geschat op 64,7 m³ h⁻¹. Dit betekent een methaan emissie van **0,14 m³ h⁻¹** en een CO₂ emissie van **9,7 m³ h⁻¹**.

3.3 De gaszak

3.3.1 Windsnelheidsprofiel

De metingen op de Marke vonden plaats onder lichte mist, bij lage windsnelheid op de middag van 19 december 2003. De instraling en lage windsnelheid wijzen op neutrale tot licht stabiele omstandigheden.

Het logaritmisch windsnelheidsprofiel wordt voor neutrale omstandigheden beschreven door;

$$u_{(z)} = k.u^* \cdot \ln(z/z_0)$$

De meethoogte van de windsnelheidsmeting is 10 m. De stal ligt in een landschap met bossages op relatief geringe afstand. De landschappelijke ruwheid is derhalve aanmerkelijk groter dan voor het omringende grasland en wordt geschat op 0,25 m.

Bij een Von Karman constante van 0,4 is nu de wrijvingsnelheid u^* uit te rekenen. Met behulp van deze gegevens en de berekende u^* zijn vervolgens de windsnelheden op 8, 4, 2,2, 2 en 1 m hoogte berekend. Dit geeft het volgende windsnelheidsprofiel:

Tabel 2. Windsnelheidsprofiel berekend voor neutrale condities voor de Marke op basis van de windsnelheid op 10m hoogte en $z_0=0,25$ m.

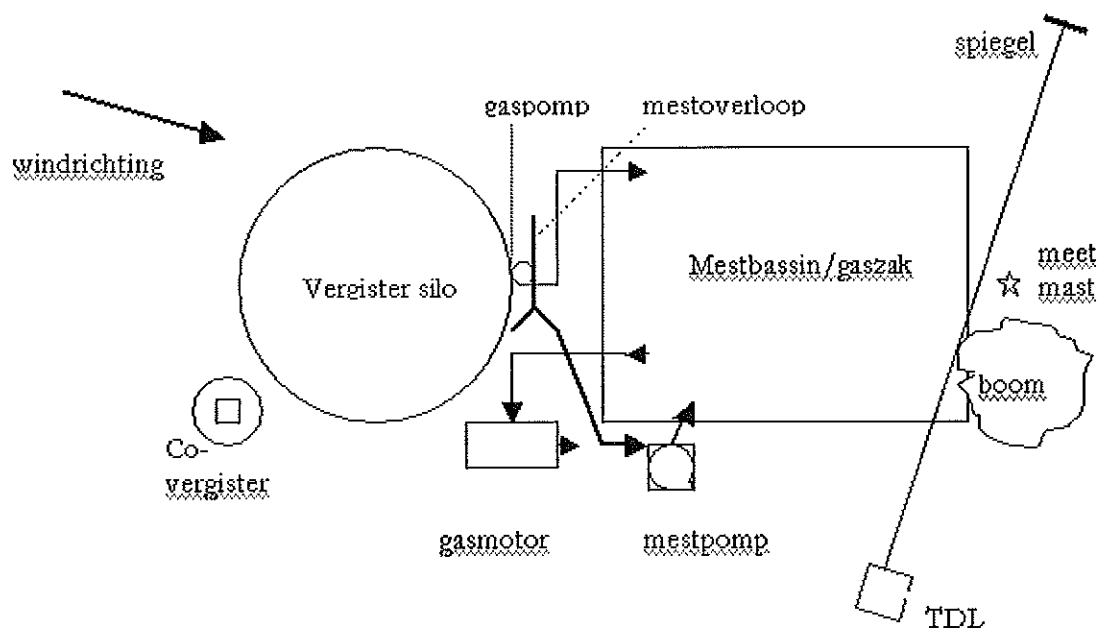
Hoogte (z) (m)	1	2	2,2	4	8	10
Windsnelheid (m.s ⁻¹)	0,44	0,66	0,68	0,88	1,10	1,13

3.3.2 Selectie van de windrichting

De richting van de meetlijn van de TDL was 252°. Deze richting werd zodanig gekozen, dat de windrichting er zoveel mogelijk loodrecht op zou staan (162°). De gemiddelde windrichting bleek na afloop 198° te zijn geweest, met een grote spreiding als gevolg van de lage windsnelheid (stdv 19°). Dit betekent, dat de windrichting soms loodrecht op de stal (richting stal 322°, dus loodrecht 232°) stond. In dat geval zou de emissie grotendeels langs de meetlijn, in plaats van erover worden gevoerd. Daarom is besloten een selectie op de geregistreerde windrichting en bijbehorende meetwaarden toe te passen. Als de wind een hock maakt kleiner dan 45° met de meetlijn worden de waarden niet meegenomen. Daarbij vielen 7 van de 44 vier minuut gemiddelde meetwaarden uit.

3.3.3 Verticale verdeling van concentraties

De methaanconcentraties werden op vier hoogten aan een mast gemeten, 1 meter, 2 meter, 4 meter en 8 meter. De mast werd volgens figuur 2 zoveel mogelijk in het verwachte centrum van de pluim geplaatst.



Figuur 2. Overzicht van vergistingsinstallatie, windrichting en meetpunten op De Marke.

De verwachting op basis van de vuistregel 1:5 was, dat bij een lengte van de mestzak van 25 meter de verhoging van de achtergrondconcentratie van CH_4 door emissies van de mestzak zich niet hoger dan tot 5 meter zouden uitstrekken. Dit zou worden gecontroleerd door de meting op 8 m hoogte. Deze meting kon worden vergeleken met de achtergrondmeting, die bovenwinds van de (niet in gebruik zijnde) co-vergister werd uitgevoerd.

Door storing in de meting (geen vulling van de canisters) vielen de metingen op 2 meter hoogte en 8 meter hoogte uit. Voor de waarde op 8 meter hoogte is bij de interpretatie van de gegevens

uitgegaan, dat deze gelijk is aan de achtergrondwaarde. De resultaten van de metingen zijn gecorrigeerd voor de achtergrond aldus;

Tabel 3. Gemeten en berekende* concentraties CH₄ en CO₂ op De Marke.

Hoogte (m)	1	2	2.2	4	8
CH ₄ (ppm)	3,4	-	2,64*	1,26	0,0
CO ₂ (ppm)	27	-	18,4*	7,0	0,0

Voor de schatting van de concentratie op de gemiddelde meethoogte van de TDL is uitgegaan van een lijnvormige emissie en een (halve)Gauss verdeling in de verticaal. Door optimalisering van bronsterkte en verticale verspreiding parameter wordt een optimale combinatie van lijnbronsterkte (ppm.m⁻¹.s⁻¹) en verticale verspreidingsparameter σ_z (m) gevonden. De gebruikte vergelijking is;

$$C = \frac{q}{\sqrt{2\pi} \cdot u \cdot \sigma_z} \cdot 2 \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2}$$

De factor 2 komt voort uit de aanname dat methaan een inert gas is en volledig aan de grond reflecteert.

De optimalisatie levert voor methaan en CO₂ de combinaties in Tabel 4.

Tabel 4. Geoptimaliseerde emissiesterkte en verticale verspreidingsparameter voor CH₄ en CO₂ voor de metingen aan de gaszak van de Marke.

Component	Bronsterkte	verspreidingsparameter
CH ₄	8,36 ppm.m ² .s ⁻¹	2,75 m
CO ₂	47,5 ppm.m ² .s ⁻¹	2,4 m

Wanneer beide gasen uit de gaszak zouden komen verwachten we een gelijke verspreidingsparameter σ_z . Methaan is een kleiner molecuul dan kooldioxide, en in de gaszak zal de methaan concentratie groter zijn dan de CO₂ concentratie. We verwachten een omgekeerd beeld van de emissiesterkte. Nu zal vooral de gasmotor een belangrijke bron zijn voor CO₂. Dit is een dicht bij de grond geplaatste puntbron, zodat het lijnbronconcept hier maar deels op zal gaan (voor de CO₂ emissie uit de gaszak, de gasmotor vormt een puntbron).

Voor de berekening van de gemiddelde concentratie aan methaan op 2,2 m hoogte (TDL hoogte) aan de mast is daarom van de geoptimaliseerde gegevens van tabel 4 uitgegaan. Deze waarde is in tabel 3 opgenomen.

3.3.4 De meting met de TDL

De padlengte van de TDL was 50 meter. De verkregen gemiddelde concentratie in het lichtpad is gelijk aan het signaal (in ppm.m) gedeeld door de padlengte. Het lichtpad werd wel loodrecht op de verwachte windrichting gezet, doch zal zich in de praktijk onder een hoek met deze windrichting bevinden. Dat verlengt de padlengte door de pluim en zou tot te hoge gemiddelde concentraties leiden. Er is daarom gecorrigeerd naar een loodrechte padlengte volgens;

$$C_{CH4cor1} = C_{gemeten} \left(\cos \left| \left\{ (252 - 90) - wdr \right\} \cdot \frac{2\pi}{360} \right| \right)$$

De factor $2\pi/360$ is hier ingevoerd omdat Excel in radialen rekent.

Als tweede stap zijn alle metingen van de interpretatie uitgesloten indien de windrichting buiten een sector van 45° loodrecht op de meetlijn kwam. In die situatie kan een deel van het gas met name bij wind meer loodrecht op de stal de meetlijn passeren zonder te worden mee gemeten. De derde stap is het corrigeren voor de achtergrond en corrigeren voor de ijkfactor van de TDL (0,706)

$$C_{CH4cor2} = \frac{C_{CH4cor1} - C_{CH4acht}}{0,706}$$

Omdat de gemiddelde methaan concentratie, die op deze wijze is berekend ($C_{CH4cor2}$) altijd lager zal zijn dan de (eveneens achtergrond gecorrigeerde) concentratie aan de meetmast, die midden in de pluim staat (de concentraties vallen voor de beide uiteinden van de meetlijn naar nul af) kunnen de gemeten concentraties aan de mast worden geschaald naar de TDL gemiddelde concentratie

$$\frac{C_{CH4TDL}}{C_{CH4mast}} = \frac{1,59}{2,64} = 0,60$$

De factor 0,60 wordt nu gebruikt om de andere gemeten concentraties langs de mast naar een pluimgemiddelde te schalen

$$C_{CH4gemid,Z} = C_{CH4mast,Z} \cdot 0,60$$

3.3.5 Schatting van de bronsterkte

Schatting van de bronsterkte kan op twee manieren plaatsvinden; Op de gebruikelijke manier van de massabalansmethode door de concentratie te vermenigvuldigen met de gemiddelde windsnelheid voor die hoogte en te vermenigvuldigen met het hoogte-interval of door het berekende Gauss profiel te integreren in de hoogte.

De rekenwijze voor de eerste methode verloopt volgens

$$q = \sum_{z=1m}^{z=8m} C_{ch4,z} \cdot \bar{u}_z \cdot dz$$

Dit levert als geschatte ongecorrigeerde bronsterkte aan de mast **8,33 ppm.m²s⁻¹** op. Gebruiken we het Gauss profiel, dan volgt de lijnbronsterkte uit

$$\int_0^z C_{CH_4_{gemid},z} dz = \int_0^z \frac{q}{\sqrt{2\pi} \cdot u \cdot \sigma_z} \cdot 2 \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2} dz = 0,5 \frac{q}{u} \cdot 2 \cdot 1$$

De coëfficiënten worden als volgt verklaard; 0,5 komt voort uit het feit dat we te maken hebben met een halve Gauss (0-z ipv -z-+z), 2 t.g.v. reflectie aan de grond, 1 = de integraal av een gauss curve.

De optimale lijnbronsterkte voor de ongecorrigeerde concentraties langs de mast hadden we al berekend, nl op **8,3 ppm.m² s⁻¹** voor een gemiddelde windsnelheid ter hoogte van de TDL meetlijn (2,2m). Het verschil tussen gebruik van de massabalansmethode en gebruik van de Gauss curve is gering. Deze overeenstemming kan echter een gevolg zijn van het geringe aantal meetpunten waardoor de Gauss wordt gefit. Het geeft geen beeld van de spreiding, die in het resultaat kan worden verwacht, anders dan de analytische variatie, die inderdaad gering is. Om op basis van één meting toch een beeld te krijgen van de mogelijke spreiding wordt de Gauss methode nader bekeken. Voor de Gauss methode wordt een constante waarde voor de gemiddelde windsnelheid aangenomen. Deze waarde is op 2,2 m hoogte genomen, doch uit de massabalans blijkt, dat het zwaartepunt van het massatransport hoger ligt. De concentraties zijn hoger aan de mast wel lager, maar de windsnelheid is hoger. Op basis van de massabalans methode rekenen we het zwaartepunt van het massatransport uit op 2,54 m hoogte. De bijbehorende geschatte windsnelheid bedraagt 0,375 m s⁻¹. Optimaliseren we de Gauss curve opnieuw met deze windsnelheid, dan bedraagt de geschatte waarde voor sigma z 2,70 m (tegen oorspronkelijk 2,75 m) en de geschatte lijnbronsterkte 9,1 ppm.m².s⁻¹ (tegen oorspronkelijk 8.3 ppm.m².s⁻¹).

De conclusies luiden;

- De lijnbronsterkte aan de mast zal zich tussen 8,3 en 9,1 ppm.m².s⁻¹ hebben bevonden.
- De geschatte onzekerheid in de bronsterkte is 10%.
- Voor vervolgmetingen dienen meer meethoogten te worden gebruikt en voor elke meethoogte een windsnelheid te worden bepaald.

De bronsterkte wordt nu verkregen uit

$$Q(g s^{-1}) = 0,5 \times \frac{q}{u} \times 2 \times 1 \times 0,602 \times 7,14 \cdot 10^{-4} \times 50$$

De eerste vier termen vormen de berekende lijnbronsterkte, de vijfde term de correctie voor het gemiddelde concentratieniveau over de hele lengte van de meetlijn, de zesde term de omrekening van ppm naar gram en 50 is tenslotte de lengte van de meetlijn.

Hieruit volgt een bronsterkte van 0,26 g CH₄ s⁻¹ of anders uitgedrukt, 936 g.h⁻¹ of 1,3 m³ h⁻¹ (±10%).

Deze waarde ($1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) is hoog ten opzichte van de waarde voor de emissie gemeten aan dezelfde silo zonder mestvergisting, nl $0,84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ tijdens de eerste meting en $1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ tijdens de tweede meting.

De berekende emissie van CO_2 was hoog ten opzichte van de emissie van methaan. De emissies van de gasmotor zijn daar voor een deel verantwoordelijk voor. Welk deel is onbekend, omdat geen pluimverspreidingsexperimenten zijn uitgevoerd. De metingen aan de meetmast zouden voor een Gaussfit gebruikt kunnen worden, ware het niet, dat de pluim van de gasmotor door de nabijheid van de stal zeker geen mooie Gaussvorm gehad zal hebben. Als we zeer ruw schatten, dat de helft van de emissies van de gasmotor zijn mee gemeten dienen de berekende emissies voor de gaszak met $0,07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ te worden verlaagd. Daarmee verandert de schatting van de methaan emissie uit de gaszak niet. Uiteindelijk blijft de schatting van de methaan emissie op $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \pm 10\%$ staan.

De hoge CO_2 metingen aan de mast lijken te worden verklaard door de hoge CO_2 emissie van de gasmotor. De (achtergrond gecorrigeerde) concentraties aan de mast (die aan de rand van de pluim van de uitlaat staat) zijn voor CO_2 een factor 7-8 hoger dan methaan, in de uitlaatlucht is dit een factor 68.

3.4 Stalemissies

Gebleken is dat het lang duurt voor lucht in de stal volledig ververscht is nadat de koeien de stal hebben verlaten. Omdat de canisters het gemiddelde meten over de periode dat de koeien uit de stal zijn zal dit gemiddelde dus te hoog zijn. Voor de emissie voor een lege stal is daarom nog een luchtmonster met spuitje genomen vlak voor de koeien weer de stal ingaan. Deze waarde is gebruikt voor "stal leeg" en komt overeen met de emissie uit de mest. In Tabel 5 is een samenvatting gegeven van de resultaten.

Tabel 5. Methaan emissies uit de stal gesplitst in emissies uit de mest en door pensvergisting.

	<u>Stal</u>	<u>kg-CH₄ / dag per dier</u>
CH ₄	Leeg	0.021
	Bezet	0.567
CO ₂	Leeg	0.27
	Bezet	17.88

4 Discussie

4.1 Emissies uit de mestsilo voor ombouw

De achtergrond concentratie voor methaan lijkt correct vergeleken met 1,74 ppm mondiaal en tussen 1,75 en 2,1 in Nederland in afhankelijkheid van de nabijheid van wegen. Doordat alleen metingen van twee dagen (3 metingen met tussenpozen van een uur op de eerste dag en een duplo meting ruim drie weken later) beschikbaar zijn bestaat geen beeld van de variatie in de tijd.

De emissieschatting voor methaan (837 liter per uur in de eerste periode en 1913 liter per uur in de tweede periode voor de hele silo en voor ombouw) geeft aan, dat de emissies als gevolg van factoren als meteorologie, mesttemperatuur en mestveroudering een factor twee uiteen kunnen liggen. Door gebrek aan continue metingen aan silo's en een zeer gering aantal bemeten silo's is niet in te schatten in hoeverre deze waarden representatief zijn. De schattingen voor CO₂ (2958 liter per uur voor de eerste meting en 1503 liter per uur voor de hele silo) geven hetzelfde, doch reciproke beeld. Hier is de onzekerheid groter dan bij methaan. Voor methaan is komen de emissieschatting uit de stijging van de concentratie na beluchting en berekend uit de evenwichtsconcentratie goed overeen. Voor CO₂ is dat niet zo. De lage emissie in de beginfase duidt op een opbouw van CO₂ in de vloeistoffase bij sluiting van de silo. Het zou goed zijn via pH en oplosbaarheden na te gaan of deze veronderstelling juist is. De schatting voor de N₂O emissie (0,118 liter per uur) is onzeker (-1,26 σ).

In de berekening is geen rekening gehouden met de toegenomen ventilatie door de stijging van de CO₂ emissie met een factor 4,3. Kwantitatief betekent dit een toename van 0,189 l s⁻¹ naar 0,812 l s⁻¹. Dat zou een onbekend verlopende toename van het ventilatiedebiet in houden van 6,8 l s⁻¹ bij de start van de experimenten tot 7,6 l s⁻¹ aan het eind. Door het onbekend zijn van dit verloop is dit probleem niet rekenkundig ge-exploreerd. Het heeft wel invloed op de schatting van de emissies om een eindconcentratie te bereiken.

Het hiervoor geschetste probleem pleit voor regelmatigere metingen gedurende de eerste week of gebruikmaking van een tracer voor onafhankelijke debietbepaling.

De methode van ventileren van een silo en het kijken naar het verloop van de concentraties lijkt een goede methode voor methaan. Voor lachgas moet worden nagegaan of deze methode ook kan werken, omdat er een indicatie is van beïnvloeding van de emissie door het openen van de silo. In principe wordt geen N₂O emissie verwacht in een afgesloten mestsilo. Voor goed oplosbare gasen zoals CO₂ is het de vraag of deze methode kan worden toegepast. Gerichte experimenten in een geheel betonnen silo (geen diffusie door de wand) en bemonstering van de mest zouden hier licht op kunnen werpen.

De variatie in berekende emissies op basis van de eerste drie uren is vooral te wijten aan de variatie in meetomstandigheden (verandering van temperatuur en weer in de loop van de dag) en niet aan de meetnauwkeurigheid (reproduceerbaarheid) van de analyses.

De evenwichtshoeveelheden van CO₂, CH₄ en N₂O in de silo zijn hoog (11,5 %, 3,2 %, en 5 ppm), doch laag als het aantal liters wordt vergeleken met de productie in de silo. Dit betekent dat het bijvullen van mest en het kort openen van de silo van gering belang zijn op het totaal van de jaarlijkse emissies. Voor oplosbare gasen als CO₂ en NH₃ dient te worden nagegaan of de emissies door nalevering uit de vloeistof wel belangrijk zijn. Meting van de emissies tijdens en na het mixen en verpompen zijn in dit kader zinvol en geven bovendien meer inzicht in de dynamiek van de opbouw van concentraties na sluiting van een silo.

4.2 De gaszak

De metingen werden uitgevoerd in een situatie met lage windsnelheid. Dit heeft als voordeel, dat de verhoging van de concentratie in de lucht ten opzichte van de achtergrond naar verhouding hoog is. Dit komt de nauwkeurigheid van de bepaling ten goede. Nadeel is, dat de windrichting bij deze lage windsnelheden niet erg stabiel is. Dit probleem is voor een deel ondervangen, door alle meetwaarden voor windrichtingen buiten een hoek van 45° loodrecht op de meetlijn, niet in de berekening op te nemen. Bij een richting van de meetlijn van 252° en een gemiddelde windrichting van 198° met de stdv. van $19,4^\circ$ stond de wind meer richting stal dan loodrecht op de meetlijn. Bij het selectie criterium 45° wordt naar schatting 15% van de pluim niet mee gemeten indien de wind meer parallel aan de lengterichting van de gaszak staat. Bij wind meer loodrecht op de lengte van de gaszak is dat omstreeks 30%. Dit criterium geeft 15% uitval van meetwaarden en een systematische onderschatting van de emissie.

De hoekgevoeligheid van de meting had geringer kunnen worden gemaakt door een langere meetlijn te kiezen en deze verder van de mestzak te verplaatsten. Dit was echter technisch niet mogelijk door de nabijheid van de stal (die ook methaan emitteert) en bosjes, bomen en gebouwen.

In de berekeningen is uitgegaan van berekening volgens de massabalansmethode met een geschat windsnelheidsprofiel en de integratie van een Gaussvormig profiel met aanname van constante windsnelheid. Beter was geweest om anemometers langs de mast te plaatsen en het windsnelheidsprofiel te meten. Gezien de korte voorbereidingstijd en meetduur (twee personen 1 dag) was dat niet mogelijk.

De verhoogde concentraties aan CO_2 aan de mast geven aan dat een deel van de emissie van de gasmotor is mee gemeten. Doordat geen horizontale CO_2 metingen beschikbaar zijn is de invloed van deze emissies niet exact te berekenen. Op basis van de windrichtings-verdeling en de positie van de uitlaat van de gasmotor ten opzichte van de meetlijn, lijkt de schatting van het mee meten van 50% van de methaanemissies van de gasmotor aan de ruime kant. De invloed hiervan op de geschatte emissie van methaan uit de gaszak blijkt verwaarloosbaar, door de relatief lage methaanconcentraties in het afgas.

Er is geen verschil in geschatte lijnbronsterkte voor methaan door de gemeten concentraties te vermenigvuldigen met de windsnelheid over het hoogtebereik waarvoor zij representatief zijn (massabalans methode) en volgens de integratie van een Gaussvormig profiel van $1,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \pm 10\%$ (na correctie voor emissies van de gasmotor). Het resultaat ligt dicht bij het gemiddelde van de mestsilo voor de ombouw: $1,38 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \pm 40\%$.

4.3 Stalemissies

Tijdens de metingen bleek de afname van de concentraties van zowel CH_4 als CO_2 trager dan verwacht. Die afname mag verwacht worden omdat de belangrijkste bron voor deze gassen de koeien zijn. Mogelijk was nog geen stabiele onderwaarde bereikt op het moment als dat de koeien weer in de stal gingen. Het was de bedoeling een onderscheid te maken tussen de

stalemissies ten gevolge van de mest en die van de koeien zelf door pensvergisting, maar dat is niet goed gelukt. De eindwaarden voor de "mest" in 'tabel 5 zijn hoog vergeleken met de verwachting van 10% emissie uit mest en 90% emissie door pensvergisting. Toch zijn de gevonden waarden in lijn met de hoge emissiewaarden van de mest in de silo voor het ombouwen en van de biogasreactor na het ombouwen.

5 Conclusies

De emissieschatting is met een grote onzekerheidsmarge omgeven, welke voort komt uit de ongunstige ligging van de vergister vlak naast andere methaan emitterende gebouwen en bossages rond de meetplaats en niet in de laatste plaats het geringe aantal metingen aan de mest silo voor en na ombouw en gebrek aan andere gegevens om de resultaten te kunnen inschalen. Rekeninghoudend met die onzekerheid kunnen toch enkele opvallende conclusies worden getrokken.

Voor de mest silo was de meest waarschijnlijke emissie sterkte voor methaan, rekening houdend met een vulling van circa 300 m³, in april 0,84 en in november 1,9 m³CH₄ .h⁻¹. (gemiddeld **1,4 m³.h⁻¹** met een spreiding tussen de 2 metingen van 40%). De luchttemperatuur in de maand voorafgaand aan de proef was gemiddeld 9°C (toenemend) voor april en 9,5°C (afnemend) voor oktober. De methaan emissie uit de mestopslag op De Marke voor ombouw tot vergister was hoger dan verwacht. Hoewel de meting in de stal enige vragen open laat, lijkt de methaan emissie uit de mest in de stal ook hoger dan normaal. We kunnen concluderen dat de mest een hoger methaan emissiepotentieel heeft dan normaal.

De methaanemissie uit de gasmotor is **0,14 m³ h⁻¹** en de CO₂ emissie van 9,7 m³ h⁻¹.

De emissie van de vergister blijkt van dezelfde grootte als de emissie van de mest silo voor ombouw tot vergister, namelijk **1,3 m³.h⁻¹ (±10%) tegen 1,4 m³.h⁻¹ (±40%)**. Hierbij dient te worden bedacht, dat de schatting van de onzekerheid slechts betrekking heeft op de onzekerheidsanalyse van twee metingen aan de silo voor ombouw en één meting na ombouw. De vergister blijkt milieuwinst op te leveren door energiewinning (door vermeden CO₂ emissies), maar geen milieuwinst door beperking van de methaan emissies. Dit komt doordat vooral methaan lekt uit de gaszak en een beetje uit de gasmotor. Een meer gasdichte folie of het gebruik van een ouderwetse gashouder, zouden op dit punt verbetering kunnen brengen.