Methaanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen

Methane emission from cubicle housing systems for dairy cows

J.W.H. Huis in 't Veld
G.J. Monteny

Januari 2003

IMAG Rapport 2003-01

IMAG

WAGENINGEN UR

Methaanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen

Methane emission from cubicle housing systems for dairy cows

J.W.H. Huis in 't Veld
G.J. Monteny

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Novem, ROB programma
Projectnummer: 373002-0510

IMAG Rapport 2003-01
Januari 2003
€ 15,00

Dit programma is uitgevoerd in opdracht van Novem, Utrecht, met financiële ondersteuning vanuit het programma: Reductie Overige Broeikasgassen (ROB).

CIP-GEGEVENS KONINKLIJK BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

J.W.H. Huis in 't Veld en G.J. Monteny -Wageningen: IMAG
(Rapport 2003-01/Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek; 2003)
ISBN 90-5406-???-?
NUGI 849
Trefw.: methaan, emissie, broeikasgas, melkveestal, melkvee

© 2003 IMAG, Postbus 43 - 6700 AA Wageningen
Telefoon 0317-476300
Telefax 0317-425670

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, openbaar gemaakt, in enigerlei vorm of op enigerlei wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het instituut.

All rights 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 institute.

Abstract

J.W.H. Huis in 't Veld en G.J. Monteny. Methane emission from cubicle housing systems for dairy cows. Institute of Agricultural and Environmental Engineering, report 2003-01, in Dutch, with summary in English.

The Reduction Programme on non-CO_2 greenhouse gases (ROB) is part of the Dutch climate policy to reach targets set in Kyoto. One of the aims of the ROB programme is to enable research into new reduction technologies, and into emission-factors and -levels at various emission sources. In the Netherlands, the agricultural sector is an important source of non-CO_2 greenhouse gas emissions.

Research was carried out into the methane emission from housing systems for dairy cows. On these farms, advanced nutrient management was operated. The ventilation rate of the natural ventilated housing systems, necessary for calculating the emissions, was measured using a tracer gas (SF_6) system. The average methane emission from traditional housing systems, with slatted floors and a sub-floor manure storage (pit), was 500 g CH_4 per cow per day. This is significantly higher than emission levels found in literature. The emission from the manure storage was 160 g CH_4 per cow per day, whereas the house in a biological farming system emitted 1 kg CH_4 per cow per day.

Key words: methane emission, greenhouse gases, housing systems, dairy cows

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een onderzoek naar de methaanemissie uit diverse melkveestallen in Nederland. Het is mogelijk gemaakt door financiële ondersteuning vanuit het programma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB) van Novem (projectnummer: 373002/0510).

De participatie van het IMAG in het project Koeien en Kansen maakte het mogelijk om, parallel aan ammoniak emissiemetingen, ook de emissie van methaangas uit melkveestallen te meten.

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met projectmedewerkers van Koeien en Kansen, die verschillende bedrijfsdata hebben aangeleverd en ook met de deelnemende veehouders die hun melkveestallen ter beschikking hebben gesteld aan het onderzoek. We zijn hen zeer erkentelijk voor de medewerking en hopen dat de gegevens een nuttige bijdrage leveren aan het tot stand komen van een duurzame rundveehouderij.

Dr.ir C.E. van 't Klooster
Directeur Business Unit IMAG B.V.

Inhoudsopgave

Abstract 3

Voorwoord 5

1 Inleiding 9

2 Materialen en methoden 11

2.1 Bedrijfssituatie 11
2.1.1 Onderzoekssituatie 11
2.1.2 Huisvesting 11
2.1.3 Ventilatie 11

2.2 Bedrijfsvoering 12
2.2.1 Zoötechniek 12
2.2.2 Voeding 12

2.3 Metingen 14
2.3.1 Algemeen 14
2.3.1 Productiegegevens 15
2.3.2 Klimaat 16
2.3.3 Concentratiemetingen 16
2.3.4 Broeikasgasconcentraties 16

2.4 Dataverwerking en emissies 18

3 Resultaten 19

3.1 Klimaat 19

3.2 Emissie broeikasgassen 20

4 Discussie 25

4.1 Aard van het onderzoek en datakwaliteit 25

4.2 Emissieniveaus 26

5 Conclusie 31

Literatuur 33

Samenvatting 35

Summary 37

Bijlagen 39

1 Inleiding

De melkrundveehouderij levert een belangrijke bijdrage aan de uitstoot (= emissie) van methaan (CH_4). Brink *et al.* (2001) schatten dat de CH_4-emissie door de Nederlandse landbouw als geheel in 1990 een omvang had van 531 kton. Op basis van 1,9 miljoen stuks melkvee in dat jaar (CBS, 1990) en een gemiddelde, gemeten, CH_4-uitstoot van 97 kg per dier per jaar (Monteny *et al.*, 2001) is de bijdrage van de melkrundveehouderij derhalve ruim 35%. De genoemde emissiefactor van 100 kg per dier per jaar wordt echter beïnvloed door vele factoren. In de eerste plaats is naar schatting 80% van deze emissie afkomstig uit het verteringsstelsel van het rund, waardoor het sterk afhankelijk is van rantsoen, diersoort (bijv. melkvee, vleesvee), leeftijd en gewicht. Van Amstel *et al.* (1993) geven daarom voor de spijsvertering van melkvee een range van 63 en 102 kg CH_4 per dier per jaar. De resterende circa 20% is afkomstig uit mest die in de stal wordt opgeslagen. In het algemeen vindt de mestopslag in rundveestallen plaats in een mestkelder onder de loopgang met betonroosters en/of de ligboxen. Door luchtuitwisseling tussen de kelder en de stallucht, door de roostervloer heen, kan het in de mestkelder gevormde CH_4 emitteren. Monteny *et al.* (2001) berekenen dat deze emissie voor melkvee circa 21 kg per dier per jaar bedraagt, gebaseerd op specifieke kengetallen voor CH_4- en mestproductie. Duidelijk is dat de CH_4-emissie uit de kelder wordt beïnvloed door de mestsamenstelling en daardoor ook door het rantsoen. Daarnaast spelen andere factoren een rol, die gerelateerd zijn aan het staltype (stalinrichting, vloeruitvoering), de klimaatsbeheersing en het management (o.a. dierbezetting, beweidingregime). Op basis van het bovenstaande emitteert vanuit een melkveestal naar schatting 120 kg CH_4 per koe per jaar.

De totale CH_4-emissie van rundveestallen is afhankelijk van vele factoren en zal mede daarom een grote variatie vertonen. Een aantal factoren is via de bedrijfsvoering en het management van de boer te beïnvloeden. In dit verband is vanaf november 2000 tot juli 2002 onderzoek uitgevoerd op 14 melkveebedrijven. Op deze bedrijven wordt, in het kader van het mineralenproject Koeien en Kansen, door IMAG onderzocht op welke wijze de ammoniakemissie zich ontwikkelt onder invloed van een optimaal mineralenmanagement. In het kader van het programma "Reductie Overige Broeikasgassen" (ROB) werden, in opdracht van de Novem, de reguliere ammoniak- (NH_3) -emissiemetingen aan de stallen uitgebreid met methaan- (CH_4) -emissiemetingen. Daar waar mogelijk worden relaties gelegd tussen de emissie van CH_4 enerzijds, en de bedrijfsvoering en het management anderzijds. In dit rapport wordt verslag gedaan van het uitgevoerde onderzoek.

2 Materialen en methoden

2.1 Bedrijfssituatie

2.1.1 Onderzoekssituatie

Het onderzoek werd uitgevoerd in de melkveestallen van de deelnemers aan het project Koeien en Kansen. In dit project is het streven om op 17 melkveehouderijbedrijven en op de proefboerderij De Marke via diverse maatregelen te komen tot een zo optimaal mogelijke benutting van mineralen binnen het bedrijf, waardoor de verliezen drastisch worden beperkt. Door monitoring worden de emissies van ammoniak (NH_3) en methaan (CH_4) gekwantificeerd, waarbij door koppeling aan de genomen maatregelen een analyse van de effectiviteit van die maatregelen kan plaatsvinden.

In dit rapport zijn om reden van anonimiteit de verschillende bedrijven gekoppeld aan bedrijfsnummers, beginnend bij 1 en eindigend op 18. Op de niet genoemde bedrijven (nummers) waren om diverse redenen (o.a. verbouwing, afwijkend ventilatiesysteem) geen metingen mogelijk (zie paragraaf 2.3.1).

2.1.2 Huisvesting

De in het onderzoek betrokken stallen varieerden in afmeting en bezetting. Bijna alle stallen waren voorzien van een centrale voergang in het midden van de lengterichting van de stal. In de meeste gevallen waren mestkelders in de stal aanwezig voor de opslag van mest.

De belangrijkste inrichting- en bedrijfsvoeringkenmerken van de bedrijven zijn opgenomen in tabel 1. De vloeruitvoering bestond in de meeste gevallen uit betonnen roostervloerelementen, al dan niet voorzien van een mestschuif. Op één bedrijf (nr. 3) was geen kelder aanwezig en werd de mest en urine regelmatig via een vlakke dichte vloer in een mestkanaal geschoven en van daaruit regelmatig naar een buiten de stal gelegen mestsilo gepompt. Op een ander bedrijf (nr. 18) was geen roostervloer aanwezig maar een sleufvloer met mestschuiven.

2.1.3 Ventilatie

Alle stallen werden natuurlijk geventileerd door middel van een open nok en ventilatieopeningen in de lengtegevels. De ventilatieopeningen bevonden zich aan weerszijde van de

lengterichting van de stal en alle stallen hadden een open nok. De open nok varieerde in breedte en was soms afgeschermd tegen regeninval. De ventilatieopeningen, meestal voorzien van windbreekgaas (soms in combinatie met kleppen of een gordijn) besloegen veelal aan beide zijden de totale lengte van de stal met uitzondering van de plek waar de melkput was gesitueerd. Sommige melkveehouders regelden handmatig de stand van de kleppen of het gordijn afhankelijk van de weersituatie.

2.2 Bedrijfsvoering

Ondanks verschillen zoals: al dan niet beweiden, dieraantallen, melkproductie, vloertype en dergelijke kan de algemene bedrijfsvoering op alle bedrijven als 'traditioneel' of 'gangbaar' worden aangemerkt, met uitzondering van bedrijf nr. 2. Dit bedrijf wordt gekenmerkt als 'biologisch'. Het management is op ieder bedrijf verschillend.

2.2.1 Zoötechniek

Op alle bezochte bedrijven bestond de melkveestapel uit Holstein/Frisian melkkoeien. Op één bedrijf waren kruisingen aanwezig van Holstein en MRIJ melkkoeien. Naast melkkoeien was ook dikwijls jongvee in de stal aanwezig (zie tabel 1).

2.2.2 Voeding

Het rantsoen van de melkkoeien bestond uit een mengsel van kuilgras en maïs. Tijdens de meetperioden zijn geen bijproducten aan de dieren gevoerd, met uitzondering van bedrijf 18 waar dagelijks 2 kg drogestof aan krachtvoervervanger (maïskolvensilage; mks) werd gevoerd. Het krachtvoer werd in de meeste gevallen verstrekt via in de stal aanwezige krachtvoerboxen. Tijdens de meetperioden is de gemiddelde dagelijkse opname van ruwvoer en krachtvoer in kilo drogestof per koe geregistreerd.

Tabel 1. Kenmerken van de bedrijven.

Table 1. *Characteristics of the farms.*

Bedrijfs-nummer	Aantal dieren		Melkproductie	Ruwvoer-opname	Krachtvoer-opname	Vloertype	Beweiden	Bedrijfsvoering
	melkvee	jongvee	kg/dag.koe	kg drogestof/dag.koe				
1	56	6	26,2	20,7	3,1	rooster	nee	traditioneel
2	106	12	18,5	15,3	3,6	rooster	nee	biologisch
3	122	91	23,3	9,7	7,3	dicht	nee	traditioneel
5	76	56	26,1	15,6	6,4	rooster	nee	traditioneel
6	76	11	26,8	15,7	4,3	rooster	nee	traditioneel
7	67	-	25,7	14,8	5,1	rooster	ja	traditioneel
8	89	-	**	**	**	rooster	ja	traditioneel
11	109	7	**	**	**	rooster	nee	traditioneel
12	83	10	25,2	16,1	4,9	rooster	ja	traditioneel
13	57	35	29,8	14,5	6,5	rooster	nee	traditioneel
16	54	-	25,6	12,4	8,1	rooster	ja	traditioneel
17	72	-	28,2	13,2	7,3	rooster	nee	traditioneel
18	77	25	29,7	14,5	4,0*	sleuf	ja	traditioneel

* exclusief 2 kg ds mks per koe per dag; ** op moment van rapportage geen data beschikbaar

De melkproductie is ontleend aan de melkcontrolegegevens tijdens de meetperioden. Deze bleek op het biologische bedrijf, tijdens de periode dat de metingen werden uitgevoerd, wat lager te zijn dan op de traditionele bedrijven.

Op 5 bedrijven werd tijdens de metingen beweiding toegepast en konden de dieren tevens gras opnemen. In tabel 2 staan de beweidingperioden van deze bedrijven. De beweidingsduur varieerde tussen 5 en 10 uren per dag. Op de bedrijven 7 en 16 gingen de dieren 2x daags naar de weide, de zogenaamde siëstabeweiding. Op bedrijf 5 bleven de melkkoeien continu in de stal maar ging een gedeelte van het jongvee en enkele droogstaande koeien tussen 10.30 en 17.30 uur naar buiten. Naast de beweidingduur van het melkvee is in tabel 2 voor ieder bedrijf tevens de meetperiode opgenomen.

Tabel 2. Meetperioden en tijdstippen van beweiding.
Table 2. Measurement and grazing periods.

Bedrijfs-	Meetperiode	Weidegang	
nummer	(MMM-JJ)	overdag	's avonds
1	Jan-02	-	-
2	Nov-00	-	-
3	Feb-02	-	-
5	Nov-01	-	-
6	Nov-01	-	-
7	Jul-01	9:00-14:00	19:00-22:00
8	Jul-02	10:30-17:30	-
11	Apr-02	-	-
12	Mei-02	9:30-16:30	-
13	Mrt-02	-	-
16	Okt-01	9:30-16:30	19:00-22:00
17	Sep-01	-	-
18	Jun-02	8:00-13:00	-

2.3 Metingen

2.3.1 Algemeen

Van de 17 melkveestallen bleken twee stallen (bedrijfsnummers 9 en 14) niet geschikt om met de beschikbare tracergasmethode de emissie van NH_3 en broeikasgassen te berekenen. De ene stal was aan beide lange zijden te open waardoor veel dwarsventilatie optrad. De andere stal was een zogenaamde openfront stal. Ook van dit staltype stal was het onmogelijk een representatief stalluchtmonster te verzamelen. De stallen van twee andere bedrijven (nummers 10 en 15) zullen worden verbouwd en om deze reden waren ook in deze stallen nog geen voorzieningen aangebracht om stalluchtconcentraties te meten. Tijdens de metingen bleek dat ook op bedrijf 4 teveel dwarsventilatie optrad zodat de data van dit bedrijf niet geschikt was voor verdere verwerking.

De metingen zijn gestart halverwege 2000 en hebben in 2001 ruim een half jaar stil gelegen in verband met de MKZ-crisis. Per bedrijf was de meetperiode 3 á 4 weken. Tot op heden zijn alle beschikbare bedrijven bezocht en gemeten.

Gedurende de meetperioden zijn de volgende variabelen continu gemeten:

- relatieve luchtvochtigheid RV (%) van de stal- en buitenlucht (zie § 2.3.3);
- temperatuur T (°C) van de stal- en buitenlucht (zie § 2.3.3);
- NH_3-concentratie (ppm) van de gemiddelde stallucht die de stal via de nok verliet en de achtergrondconcentratie;
- SF_6-concentratie (ppb) van de gemiddelde stallucht en de achtergrondconcentratie (zie § 2.3.4).

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 werd 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 gaschromatograaf, gebruikt voor tracergasmetingen, werd aangestuurd door Chrom-Card software. Per 5 minuten werd één monster aan de gaschrochromatograaf 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 melkveestal gedoseerd. De doseerpunten 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 broeikasgassen werd niet uitgevoerd in de meetwagen, maar in het chemisch-laboratorium van het IMAG. Het laboratorium is onder nummer geaccrediteerd bij de Raad voor Accreditatie voor het uitvoeren chemische analyses. De te analyseren stal- en buitenlucht werd hiervoor bemonsterd met luchtspuitjes en canisters.

2.3.1 Productiegegevens

Tijdens de meetperioden werd door de veehouder dagelijks de stalbezetting en melktijden geregistreerd. De gegevens van voer en melkcontrole werden eveneens verzameld (projectadministratie Koeien en Kansen).

2.3.2 Klimaat

De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) werden continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensoren was ± 1,0 °C en ± 2 %. De metingen werden gedaan op 2 plaatsen in de stal en op één plaats buiten de stal. De sensoren hingen in een diagonale lijn op éénderde en tweederde van de stal op ongeveer 2,5 meter hoogte. De temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht werden gemeten in de schaduw aan de noordzijde van de stal op circa 2 meter hoogte. De sensoren werden vóór en na elke meetperiode gecontroleerd.

Eind 2001 is een meteomast in gebruik genomen en daar waar het mogelijk was werd de windrichting en windsnelheid tijdens de metingen geregistreerd. De windvaan was van het type W200P en de anemometer van het type A100R beide van fabrikant Vector Instruments.

2.3.3 Concentratiemetingen

De stallucht werd bemonsterd met een ¼" polyethyleen (PE) verzamelleiding. Deze verwarmde en geïsoleerde leiding hing in de lengte van de stal en in het midden onder de nok op circa 3 à 4 meter hoogte. Over deze lengte verdeeld werd op 4 à 5 plaatsen stallucht aangezogen. Op ieder aanzuigpunt was een kritisch capillair van 600 ml per minuut aangebracht zodat de aangezogen hoeveelheid stallucht op ieder punt gelijk was. Aan de buitenkant van de stal, meestal aan de westzijde, werd de buitenlucht bemonsterd op 2 à 3 meter hoogte. Ook deze PE-leiding werd verwarmd en geïsoleerd. Beide leidingen voeren naar de meetwagen waar de monsters voor SF_6 en broeikasgassen werd verzameld.

Voor de analyse van het SF_6 tracergas werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (Fisions Instruments, model 8000), die was uitgerust met een ECD-80 detector. De GC werd wekelijks gekalibreerd met een ijkgas van SF_6 in N_2 (45,7 ppb; ± 2%). Tevens werd de basislijn en retentietijden gecontroleerd en eventueel aangepast.

2.3.4 Broeikasgasconcentraties

De concentratie van broeikasgassen in de stallucht werd bepaald door analyses in het chemisch laboratorium van het IMAG. De bepaling van de gehalten aan CH_4, CO_2 en N_2O werden uitgevoerd volgens de analysemethode MSP-AO35 (gaschromatografische methode).

Op iedere locatie werd de emissie van de broeikasgassen op twee manieren bepaald namelijk met luchtspuitjes en met canisters. In beide gevallen werd de bemonsterde stallucht onttrokken aan de verzamelleiding.

Luchtspuitjes
Bij de luchtspuitjesmethode werd de stal- en buitenlucht in steriele polypropene spuitjes van 20 ml (Plastpak®, Becton Dickinson) gezogen. Door de ventilatie van het monstertijdstip te berekenen en vervolgens te vermenigvuldigen met de geanalyseerde concentratiewaarden werd de emissie van het (monster)tijdstip berekend. De in de luchtspuitjes verzamelde stallucht werd nog dezelfde dag geanalyseerd in het milieulaboratorium.

Canisters
Omdat de ventilatie in een natuurlijk geventileerde stal een grillig verloop heeft bestaat de kans dat bij korte monstertijdstippen of –momenten fouten worden gemaakt omdat het ventilatiedebiet rond het monstermoment enorm kan variëren. Bij monstername over een langere periode kan de ventilatie over een langere periode worden gemiddeld waarbij minder kans op fouten ontstaat. Om de emissie over een langere periode te kunnen berekenen werd stallucht gedurende 7 dagen verzameld in een gecoate 6 liter canister van Entech Instruments. Canisters zijn kleine roestvrijstalen vaten die op onderdruk zijn gebracht. Via een gemonteerd capillair is het mogelijk om gedurende 7 dagen een stalluchtmonster te verzamelen. Omdat bij de canistermethode geen achtergrondconcentratie zijn genomen, is voor de berekening van de stalemissie gebruikt gemaakt van de gemiddelde achtergrondconcentratie die bij de spuitjesmethode is bepaald. Gemiddeld werd op iedere locatie zowel met de spuitjes- als canistermethode driemaal de emissie van de broeikasgassen berekend. In dit rapport wordt met name de CH_4-emissie besproken die met de canistermethode is berekend. De CO_2- emissie (canistermethode) en de resultaten van de spuitjesmethode (CH_4 en CO_2) staan vermeld in bijlage B.

Op bedrijf 18 is een proef opgezet waarbij in afzonderlijke canisters stallucht werd verzameld van een volle stal en een lege stal. Wanneer de melkkoeien 's ochtends na het melken naar buiten gingen werd het canister dat stallucht verzamelde van een bezette stal gesloten. Na een half uur, waarbij werd aangenomen dat de stallucht genoeg was ververst, opende het canister dat stallucht uit de lege stal monsterde. Dit canister sloot op het moment dat de dieren 's middags naar binnen werden gebracht. Nadat de melkkoeien een half uur in de stal waren opende het canister dat stallucht uit de bezette stal monsterde.

2.4 Dataverwerking en emissies

De tracergasconcentraties werden gecorrigeerd voor de wekelijkse gaschromatograaf kalibraties. Missende waarnemingen (als gevolg van kalibraties en storingen van de apparatuur) van concentraties en klimaat werden niet geïnterpoleerd.

Met de tracergas-bronsterktemethode werd de mengfactor K_M (m^3/min) berekend uit de verhouding tussen het SF_6-injectieniveau en de gemeten verschilconcentratie van SF_6 binnen en buiten de stal:

$$\frac{Q_{SF6}^{NTP}(i,j)}{C_{SF6}^{v}(i,j)} = K_M \qquad (1)$$

K_M: mengfactor [m^3/min];
$Q_{SF6}(i,j)$: uurgemiddeld SF_6-injectieniveau tijdens uur i van dag j [ml/min];
$C_{SF6}(i,j)$: uurgemiddelde SF_6-concentratie tijdens uur I van dag j [ml/m^3];
V: verschilmeting tussen binnen- en buitenlucht;
i = 1....24: uur op een dag;
j = 1....N: nummer van een meetdag in de meetperiode;
NTP: normaaltemperatuur (273,15 K) en -druk (1013,25 hPa);

Aangenomen is dat de berekende mengfactor K_M (zie vergelijking 1) overeenkomt met de hoeveelheid lucht die de stal verliet. Deze waarde wordt derhalve geïnterpreteerd als zijnde het ventilatiedebiet.

Op de bedrijven 9 en 14 kwam door de grote zijopeningen veel dwarsventilatie voor. Bij dwarsventilatie verlaat een groot deel van de stallucht via zijopeningen de stal in plaats van via de nok. De verdeling van SF_6 in de stal raakt hierdoor verstoord waardoor bij de nok geen representatie stalluchtmonster wordt verzameld.

De emissie van broeikasgassen werd berekend als het product van broeikasgasconcentraties (stal minus achtergrond) en de berekende mengfactor K_M (= ventilatiedebiet) tijdens de monsternameperiode. Aangezien deze perioden voor de verschillende gassen niet gelijk waren (methaan met canistermethode: 1 week; overige broeikasgassen met luchtspuitjes: momentaan), zijn verschillende waarden voor het ventilatiedebiet gebruikt en gerapporteerd.

De emissies werden omgerekend naar kg per dag per koe (CH_4 en CO_2). Indien jongvee in de stal aanwezig was, werd deze op basis van de forfaitaire excretie van stikstof, met 0,32 (jongvee< 1jaar) en 0,65 (jongvee 1-2 jaar) omgerekend naar melkkoeien (S. Tamminga *et al.*, 2000).

3 Resultaten

3.1 Klimaat

In tabel 3 zijn per locatie de gemiddeld berekende ventilatie weergegeven tijdens de canistermetingen (periode van 7 dagen) en tijdens de luchtspuitjes metingen (momentopnamen). Tevens zijn de gemiddeld gemeten stal- en buitenlucht temperatuur tijdens de totale meetperiode vermeld.

Tabel 3. Gemiddeld gemeten ventilatie tijdens de canister- en luchtspuitjes metingen en de gemiddelde stallucht en buitenlucht tijdens de meetperioden.
Table 3. *Mean ventilation rate during the canister and syring measurements and the in- and outdoor temperature during the whole measuring period.*

Bedrijfs-	Ventilatie		Temperatuur	
nummer	m^3/uur per koe		stal	buiten
	Canister metingen	Luchtspuitjes metingen	°C	°C
1	1678	1701	11,6	9,8
2	1597	1887	11,3	7,6
3	1401	3048	9,3	5,5
5	1820	1860	11,8	10,2
6	784	939	11,2	7,5
7	967	734	22,2	21,3
8	1045	1174	22,2	21,0
11	1621	2579	10,6	8,5
12	1904	3273	16,1	13,7
13	801	986	11,9	8,6
16	1979	2057	15,9	14,9
17	1001	1344	17,9	15,4
18a	2303	2385	19,2	18,9
18b	2328	1239		

a: stal vol

b: stal leeg

De gemiddelde ventilatie in de onderzochte stallen tijdens de meetperioden (canistermetingen) varieerde tussen 800 en ruim 2000 m^3/uur per koe (gemiddeld: 1370). Opgemerkt kan worden dat ruim werd geventileerd, zeker ten opzichte van normwaarden in handboeken (800 – 1000 m^3/uur per koe), hoewel de laatste jaren de tendens bestaat tot het realiseren van grotere ventilatiedebieten vooral vanuit het oogpunt van diergezondheid.

Dit blijkt vooral uit de hoge ventilatie op de bedrijven 5 en 18. Op deze bedrijven is sprake van relatief nieuwe stallen met hoge zijmuren en daarin grote ventilatieopeningen.

De grote variatie in ventilatie tussen de stallen kan verschillende oorzaken hebben. Met name de grote van de ventilatieopeningen (soms in combinatie met openstaande schuifdeuren) en de breedte van de nokopening zullen van invloed zijn op de ventilatie. Ook de windsnelheid en –richting hebben een grote directe invloed op de ventilatie: tijdens de metingen op de bedrijven 1, 3 en 11 kwamen harde stormachtige winden voor. Door relatief kleine ventilatieopeningen was het effect op de stalventilatie op bedrijf 1 beperkt. De stallen van de twee overige bedrijven hadden grote inlaatopeningen en zorgde de harde wind voor hoge ventilatiewaarden. Tijdens de metingen met de luchtspuitjes varieerde bijvoorbeeld de ventilatie op bedrijf 3 tussen 750 en 5380 m^3/uur per koe. De hoge ventilatie op de bedrijven 12 en 16 werd veroorzaakt door het feit dat de grote staldeuren open stonden wanneer de koeien buiten liepen.

Over het algemeen was de ventilatie in de stal voldoende om een temperatuur in de stal te realiseren die slechts enkele graden hoger was dan de buitentemperatuur. Op bedrijf 3 was het temperatuursverschil (binnen minus buiten), ondanks het grote ventilatiedebiet, bijna 4^0C. Het betrof hier een van de eerste typen ligboxenstallen met een relatief laag dak waarbij de ventilatieopeningen waren vergroot. Tijdens de metingen op bedrijf 16 (veengebied) was de relatieve luchtvochtigheid zowel binnen als buiten de stal erg hoog. De gemeten relatieve vochtigheden tijdens de metingen zijn weergegeven in bijlage A.

In de meeste gevallen was het ventilatiedebiet tijdens de verschillende monsternameperioden per stal goed vergelijkbaar. De grote verschillen in het debiet voor stallen op de bedrijven 3, 11 en 12 geven aan dat een nauwkeurige bepaling van het ventilatiedebiet tijdens de periode van monstername van groot belang is voor het verkrijgen van een correct emissiecijfer.

3.2 Emissie broeikasgassen

In tabel 4 zijn de gemiddelde en de minimale en maximale emissies van CH_4 vermeld, op basis van de concentratiemetingen met de canistermethode. De emissies van CO_2 (luchtspuitjes en canisters) en van CH_4 (luchtspuitjes) staan in bijlage B, maar zijn verder niet in de beschouwingen betrokken. Ook N_2O is geanalyseerd (bijlage C: Gemeten N_2O-concentraties), maar meestal was er geen verschil in N_2O-concentraties binnen en buiten de stal. In tabel 4 en in de bijlagen zijn tevens het aantal monsternames vermeld waarop de berekende emissies zijn gebaseerd.

Tabel 4. Emissie van CH_4 bepaald met de canistermethode (n = aantal monsters).
Table 4. *Methane emission determined with canisters (n = number of samples).*

Bedrijfs-nummer	Meet-datum	n	CH_4-emissie (kg/dag per koe) gemiddeld	min-max
1	Jan-02	6	0,55	0,44 - 0,71
2	Nov-00	2	1,05	0,86 - 1,25
3	Feb-02	3	0,54	0,19 - 1,10
5	Nov-01	2	0,52	0,51 - 0,53
6	Nov-01	4	0,45	0,23 - 0,61
7*	Jul-01	3	0,44	0,33 - 0,57
8	Jul-02	3	0,55	0,48 - 0,63
11	Apr-02	2	0,39	0,16 – 0,58
12*	Mei-02	2	0,59	0,27 – 0,92
13	Mrt-02	1	0,31	-
16*	Okt-01	2	0,44	0,44 - 0,44
17	Sep-01	2	0,67	0,64 - 0,69
18a	Jun-02	4	0,57	0,51 - 0,65
18b	Jun-02	4	0,17	0,06 - 0,17

* beweiding
a: stal vol
b: stal leeg

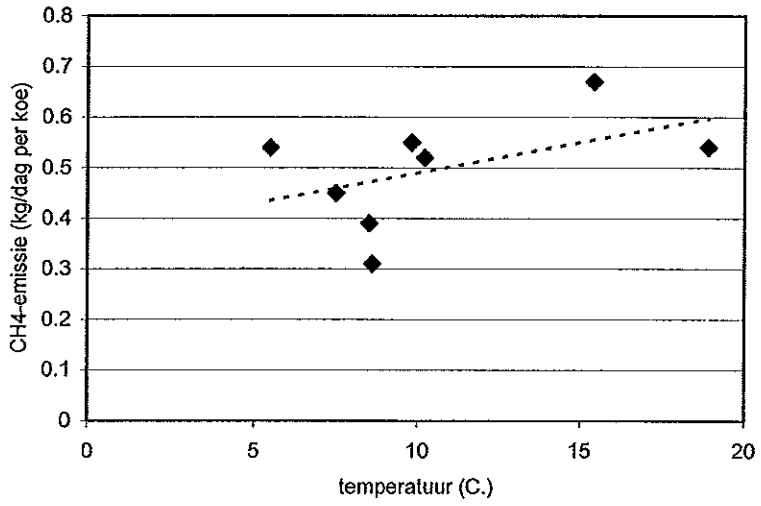
De CH_4-emissie van de traditionele bedrijven zonder en met beweiding waren met respectievelijk 0,48 en 0,51 kg/dag per koe nagenoeg gelijk. Kennelijk werd de geringere bijdrage van de dieren (de metingen zijn een gemiddelde van perioden van 7 dagen met en zonder dieren in de stal) gedurende de 5-10 uur weidegang gecompenseerd door de emissie van andere bronnen in de stal (m.n. mestkelder). De totale emissie zal derhalve bij volledige stalbezetting aanzienlijk hoger zijn geweest dan de aangegeven waarden. Over de bijdrage van de mestkelder is uitsluitend op basis van de metingen bij bedrijfsnummer 18 een uitspraak te doen, omdat in situatie 18b in het geheel geen dieren aanwezig waren. Daaruit blijkt dat de bijdrage van de mestkelder circa 30% van de CH_4-emissie van dezelfde stal bij volle bezetting.

Ook de emissie van het bedrijf met de dichte vloer (0,54 kg CH_4/dag per koe) was nagenoeg gelijk aan de emissie van de overige traditionele bedrijven. Wat opvalt is de hoge emissie van CH_4 op het biologische bedrijf (2). Ondanks dat er slechts aan één stal werd gemeten, bevestigen de metingen met de luchtspuitjes (bijlage B) de relatief hoge waarde. Op dit bedrijf werd in geruime mate gebruik gemaakt van stro in de ligbedden van de melkkoeien, waarbij nogal wat stro via de roostervloer in de onderliggende mestkelder terechtkwam. Beide aspecten kunnen hebben bijgedragen aan de extra vorming van CH_4, evenals de wat hogere verhouding tussen ruwvoer en krachtvoer (tabel 1).

Uit tabel 4 blijkt dat de variatie rond het gemiddelde in een aantal gevallen aanzienlijk is, ondanks het feit dat weekgemiddelde emissies werden bepaald (canistermethode). Hieruit valt af te leiden dat bij het vaststellen van een meetprotocol voor de CH_4-emissie op langere tijdsbasis (bijv. jaarrond) rekening gehouden moet worden met het grillige verloop van de emissie. In het onderhavige onderzoek is geen verdere aandacht besteed aan de oorzaken van de binnen-bedrijf-variatie in CH_4-emissie.

Opvallend is het lage emissiecijfer van de enige meting in de stal van bedrijf 13 terwijl de stal continu was bezet. Aangezien de gemeten CH_4 concentratie op dit bedrijf vergelijkbaar was met de concentratieniveaus in de overige stallen, werd deze lage emissie vooral veroorzaakt door de geringe ventilatie.

In bijlage B staan de CO_2 -emissies vermeld die tevens met de canistermethode zijn bepaald. Gemiddeld emitteerde op de traditionele bedrijven 14,95 kg CO_2/dag per koe (zonder beweiding) en 14,58 kg CO_2/dag per koe (inclusief beweiding) uit de stallen. Op het biologische bedrijf en het bedrijf met de dichte vloer emitteerde respectievelijk 19,30 en 18,70 kg CO_2/dag per koe. Uit de stal met sleufvloer (nr. 18) was dit 4,82 en 17,64 kg CO_2/dag per koe, in de situatie resp. zonder en met dieren in de stal.



Figuur 1. Relatie tussen staltemperatuur en CH_4 emissie (bedrijven zonder beweiding).
Figure 1. *Relationship between indoor temperature and CH_4 emission* (without grazing).

Figuur 1 geeft de relatie tussen de staltemperatuur en de CH_4 emissie voor de meetperioden waarin uitsluitend dieren in de stal aanwezig waren. Uit de figuur blijkt dat in die situaties de emissie een stijgende trend vertoont bij toename van de staltemperatuur. In tegenstelling tot de verwachting voor NH_3 (Monteny *et al.*, 1998) is een dergelijke relatie voor CH_4

minder voor de hand liggend, aangezien een belangrijk deel afkomstig is van de niet- of niet direct temperatuursafhankelijke spijsvertering door de dieren.

4 Discussie

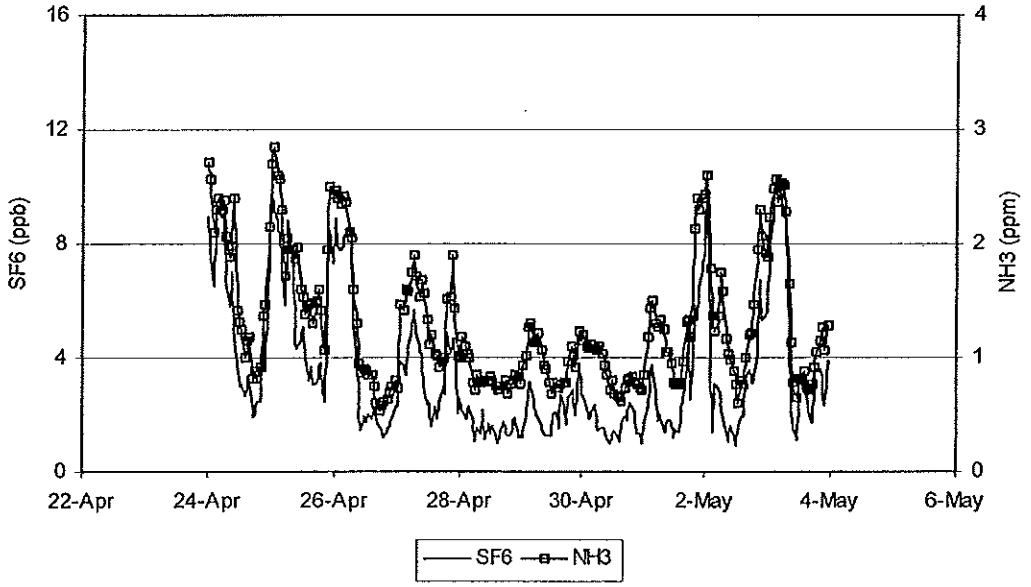
4.1 Aard van het onderzoek en datakwaliteit

Het onderzoek had vooral het karakter van een monitoringsstudie, conform het karakter van het basisproject Koeien en Kansen. Daarbij was het oorspronkelijk de bedoeling dat de emissiemetingen hoogfrequent (1 meetweek per bedrijf; 2-3 meetperioden per bedrijf per jaar) zouden plaatsvinden, zodat een goed beeld zou kunnen worden verkregen over de stalemissie in verschillende perioden van het jaar. Echter, door de uitbraak van MKZ in februari 2001, waardoor de metingen gedurende een aantal maanden niet konden worden uitgevoerd, werd voor de periode daarna gekozen voor een laagfrequentere meetstrategie. Een en ander om het aantal bewegingen tussen bedrijven om reden van hygiëne te minimaliseren. Als gevolg daarvan werden cijfers verkregen over langere meetperioden, zonder dat er sprake was van een herhaling op bedrijfsniveau. Daarmee kon niet worden ingegaan op de oorspronkelijke doelstelling om trends in de emissies als gevolg van ingezet en uitgevoerd optimaal management te kwantificeren.

Deze langere meetperiode geeft in het algemeen een beter gemiddelde emissie over de periode waarover gemeten is. Nadeel is dat geen inzicht is verkregen in de seizoenseffecten op de emissie. Voor NH_3 wordt de emissie op jaarbasis in dergelijke gevallen berekend met een procesmodel voor de NH_3-emissie uit melkveestallen (Monteny *et al.*, 1998), waarbij de meetperiode gebruikt wordt om het model te kalibreren. Voor CH_4 is zo'n model niet voorhanden zodat een datacorrectie, bijvoorbeeld op temperatuur, niet is uitgevoerd. De gepresenteerde CH_4-emissiecijfers zijn daarom in beginsel alleen geldig voor de omstandigheden waaronder ze zijn gemeten. Echter, aangezien CH_4 voor het grootste deel afkomstig van het dier (vertering; afhankelijk van rantsoen, diertype, leeftijd) en in mindere mate vanuit de mestopslag (koude vergisting; o.a. afhankelijk van temperatuur), kunnen de in dit rapport gepresenteerde emissiecijfers worden gezien als bruikbaar voor het berekenen van een ordegrootte jaaremissie.

De gebruikte meetmethode is niet als zodanig gevalideerd voor toepassing binnen onderzoek naar CH_4-emissies. Wel zijn validaties uitgevoerd voor toepassing als methode om NH_3-emissies te meten (Scholtens *et al.*, 1996). Eén van de mogelijke problemen bij metingen in natuurlijk geventileerde stallen is het verschil in menggedrag tussen het relatief zware tracergas SF_6 en de lichtere doelgassen NH_3 en CH_4. Dit verschil in menggedrag zal zich vooral voordoen bij lage ventilatiedebieten, waarbij het zwaardere gas minder goed mengt dan de lichtere gassen. Echter, doordat gebruik wordt gemaakt van een reeds voorverdund (met perslucht) mengsel van lucht en tracergas, wordt dit bezwaar grotendeels ondervangen. Daarnaast kunnen vooral bij dwarsventilatie en hogere windsnelheden problemen ontstaan. Beide situaties worden bij de data-analyse nader beschouwd, waarbij dataselectie

plaatsvindt bij afwijkende patronen van het concentratieverloop van SF_6 en NH_3 (beide gassen worden continu gemeten). In figuur 2 worden het karakteristieke verloop getoond van beide concentraties gedurende een willekeurige meetperiode op een van de bedrijven. De concentratie van beide gassen werd gemeten in de monsternameleiding in de nok van de stal (paragraaf 2.4). Het concentratieverloop vertoonde gedurende de gehele periode een grote mate van overeenkomst, hetgeen duidt op een goede menging van beide gassen. De lagere concentraties in de periode tussen 28 april en 2 mei wordt verklaard uit hogere windsnelheden, waardoor het ventilatiedebiet toeneemt. Voor de betreffende stal was ook in die periode het menggedrag van beide gassen acceptabel. Bij verder toenemende windsnelheden (en derhalve dwarsventilatie) of bij situaties met grote inlaatopeningen zal het verloop van de SF_6-concentratie in het algemeen vlakker zijn dan van de NH_3-concentratie, hetgeen betekent dat de meting van het ventilatiedebiet niet langer betrouwbaar is.



Figuur 2. Karakteristiek verloop van de concentraties van SF_6 (tracergas) en NH_3 gedurende een 10-daagse meetperiode op een van de deelnemende bedrijven.
Figure 2. *Characteristic course of the tracergas and ammonia concentration during a 10-days period.*

4.2 Emissieniveaus

Uitgaande van de in tabel 1 gepresenteerde bedrijfskenmerken kunnen de bedrijven 1 en 4 t/m 17 qua stalinrichting worden gezien als traditionele melkrundveebedrijven met roostervloer en mestopslag onder de roosters en/of ligboxen. Bedrijven 3 en 18 kunnen ook als zodanig worden gekenmerkt, met dien verstande dat de vloeruitvoering verschilde (respec-

tievelijk dichte vloer en sleufvloer). Bedrijf 2 wordt gekenmerkt door een biologische bedrijfsvoering waarbij, in tegenstelling tot de meeste andere bedrijven, in de ligboxen stro aanwezig is. Verder was op het tweede bedrijf vooral de voeding anders dan op de overige bedrijven, in die zin dat de verhouding ruwvoer/krachtvoer hoger was (tabel 4). Tenslotte waren de dieren tijdens de metingen op de bedrijven 7, 8, 12 en 16 overdag buiten, zodat de CH_4-emissies een gewogen gemiddelde weergeven van een situatie met en zonder dieren in de stal. Alleen op bedrijf 18 werd afzonderlijk gemeten aan een periode waarbij de dieren ofwel permanent in de stal ofwel permanent buiten verbleven.

Tijdens de onderscheiden meetperioden per bedrijf varieerden de CH_4-emissieniveaus op de traditionele bedrijven waarbij de dieren permanent in de stal verbleven tussen 0,31 en 0,71 kg CH_4 per dag per dier met een gemiddelde van 0,5 kg CH_4 per dag per koe. Dit is aanmerkelijk hoger dan de CH_4-emissieniveaus die doorgaans in de literatuur worden gevonden. Zo rapporteerden Brose *et al.* (1999) een CH_4-emissie van 0,26-0,29 kg per Livestock Unit (1 LU = 500 kg) per dag voor lacterende koeien in een ligboxenstal, terwijl Crutzen *et al.* (1986), Kirchgessner *et al.* (1991) en Holter en Young (1992) uitkomen op resp. 0,26, 0,257 en 0,268 kg CH_4 per LU per dag. Niet bekend is of verschillen in rantsoen en/of productieniveau verantwoordelijk zijn voor de verschillen tussen de emissies gemeten in de onderhavige studie en de waarden in de literatuur. Metingen van betrekkelijk recente datum uit Duitsland (Jungbluth *et al.*, 1997) en in het kader van een onderzoek in vier EU-landen (Groot Koerkamp en Uenk, 1997) resulteerden in emissies van 200–265 g CH_4 per dier (Livestock Unit = 500 kg gewicht) per dag.

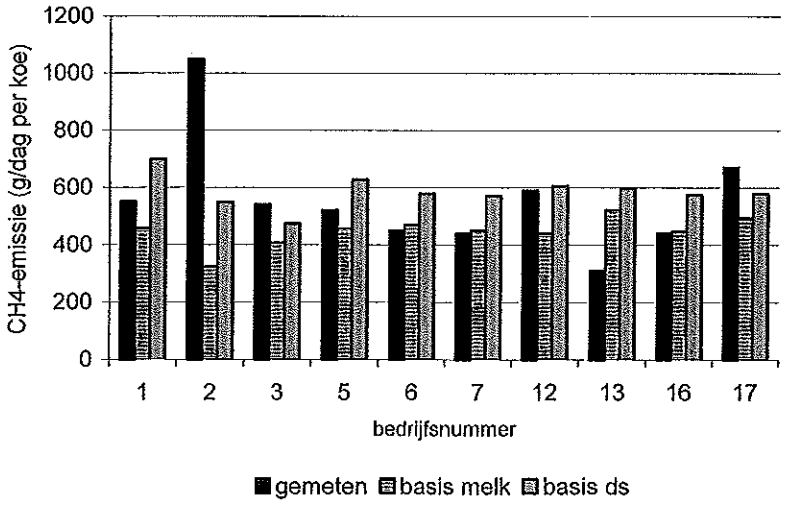
Uitgaande van de in het onderhavige onderzoek gemeten CH_4-emissies (gemiddeld 0,5 kg per dag per dier), is de jaarrond-emissie van een traditionele ligboxenstal op basis van 365 dagen en 190 dagen respectievelijk 185 en 95 kg per dier. In het laatste geval dient voor het berekenen van een jaarrond-emissie rekening te worden gehouden met eventuele CH_4-emissie gedurende de periode van de dag dat de dieren in de stal zijn (bijv. rond de melkingen), alsmede met de aanwezigheid van mest in de kelders, waardoor de jaarrond-emissie hoger zal uitkomen.

De gemiddelde CH_4-emissie van stallen waarbij de dieren overdag buiten werden gehouden (bedrijf 7, 8, 12 en 16) was niet aanwijsbaar lager dan de gemiddelde CH_4-emissie gemeten in de situaties waarbij de dieren dag en nacht in de stal aanwezig waren. Dit betekent dat de emissie van deze stallen bij volledige bezetting aanzienlijk hoger zal zijn geweest dan de gemeten cijfers. Uitgaande van een bijdrage door de dieren van 80% van de stalemissie (op basis van literatuur) en een beweidingduur van 35% van de dag kan worden aangenomen dat de emissie circa 30% (80%*35) hoger zou zijn geweest.

De metingen op bedrijf 18 geven in dat kader aan dat de CH_4-emissie van een stal zonder dieren (uitsluitend een bijdrage uit de mestkelder en eventueel vanuit mest die op de vloer aanwezig was) met 0,16 kg per jaar per dier aanzienlijk lager ligt dan bij dezelfde stal met

dieren (0,54 kg per jaar per dier). Op basis van deze cijfers is de bijdrage vanuit de kelder circa 30%, terwijl in de literatuur 20% wordt genoemd. Daarbij dient te worden aangetekend dat deze waarneming is gebaseerd op één meetperiode aan één stal, terwijl daarnaast de stal voorzien was van een zgn. sleufvloer. Deze vloer heeft als eigenschap dat hij de luchtuitwisseling kelder en stal, en daarmee de emissie vanuit de kelder, aanzienlijk beperkt. Dit zou betekenen dat de bijdrage vanuit de kelder in een gangbare stal met roostervloer hoger zou zijn, aannemende dat de grotere luchtuitwisseling direct gerelateerd is aan een hogere emissie.

De CH_4-emissie van het biologische bedrijf (2) was aanzienlijk hoger dan van de overige bedrijven. Op dit bedrijf werd in geruime mate gebruik gemaakt van stro in de ligboxen van de melkkoeien. Berekening van de CH_4-emissie op basis van melkproductie en rantsoen (drogestof opname) - zie figuur 3 - geeft onvoldoende verklaring van de hoge gemeten emissie. Mogelijk is de aard van het ruwvoer dermate afwijkend geweest, dat daardoor meer CH_4 uit het dier en/of de mest afkomstig was. Wellicht van meer belang is dat vanuit stromest meer CH_4 wordt geproduceerd dan uit mengmest. Groenestein en Reitsma (1993) en Groenestein en Huis in 't Veld (1994) rapporteerden een CH_4-emissieniveau van ruim 1 en 0,8 kg per dag per dier uit een potstal met respectievelijk melkvee en zoogkoeien. In een dergelijke stal worden de dieren op stro gehouden en wordt alle mest in het stro opgevangen en blijft de stromest langere tijd in de stal. De hoge CH_4-emissie wordt in dat verband vooral veroorzaakt door afbraakprocessen in de stromest (compostering). De bijdrage van deze afbraakprocessen zal in het onderhavige geval minder zijn geweest dan tijdens metingen in de potstallen.



Figuur 3. Methaanemissie van een aantal deelnemende bedrijven, zowel gemeten als berekend op basis van normwaarden voor de CH_4-emissie per kg melk en per kg droge stof opname.
Figure 3. *Methane emission from several farms, both measured and calculated on the basis of the milk production and the dry matter intake.*

In figuur 3 wordt een vergelijking weergegeven van de gemeten CH_4-emissies van een aantal bedrijven binnen Koeien en Kansen en de berekende CH_4-emissies op basis van het aantal kg geproduceerde melk en het aantal kg droge stof dat wordt opgenomen via ruwvoer en krachtvoer (Veen, 2001; Bannink, persoonlijke mededelingen). Daarbij zijn alleen die bedrijven vermeld waarvan gegevens over melkproductie en drogestofopname beschikbaar waren. De volgende uitgangspunten zijn gebruikt bij de berekening van de emissie:

- CH_4-emissie = 14 g per dag per kg melk
- CH_4-emissie = 24 g per dag per kg droge stof uit ruwvoer (gewogen gemiddelde van de CH_4-emissie van kuilgras en snijmaïs van resp. 27 en 21 g per dag per kg droge stof)
- CH_4-emissie = 20 g per dag per kg droge stof uit krachtvoer

Deze normwaarden zijn vervolgens gecombineerd met de relevante gegevens uit tabel 1, om te komen tot de CH_4-emissies vanuit het dier. De stalemissies zijn vervolgens berekend door uit te gaan van een bijdrage vanuit de mestkelder van 20% (80% afkomstig vanuit het dier; verdeling volgens theorie).

Uit deze vergelijking blijkt dat de, op basis van de melkproductie, gemiddelde berekende CH_4-emissie van de aangegeven bedrijven, met uitzondering van het biologische bedrijf (nr. 2), 8% lager was dan de gemiddelde gemeten CH_4-emissie, terwijl de – op basis van droge stof – berekende gemiddelde CH_4-emissie circa 18% hoger was dan de gemeten emissie. Hieruit kan worden afgeleid dat de gemeten CH_4-emissies binnen de theoretisch verwachte range ligt. Daarnaast is de – op basis van droge stof – berekende emissie in alle gevallen hoger dan de berekende emissie met de melkproductie als uitgangspunt.

5 Conclusie

De methaanemissie uit de stallen op alle traditionele rundveebedrijven was gemiddeld 500 g per dag per koe. Dit is aanzienlijk hoger dan waarden die in de literatuur worden gevonden en die worden gebruikt in nationale en mondiale emissie-inventarisaties. De laatstgenoemde waarden dienen in dit verband op basis van het onderhavige onderzoek naar boven te worden bijgesteld.

De stalemissie van het biologische melkveebedrijf was iets hoger dan 1 kg CH_4 per dag per koe, terwijl uit een traditionele stal zonder dieren 160 g CH_4 per dag per dier emitteerde. Het eerstgenoemde cijfer komt overeen met de verwachtingen ten aanzien van stalsystemen waarin stro wordt gebruikt. Het laatste cijfer geeft aan dat, zelfs bij een sleufvloer – waarbij de kelderemissie grotendeels wordt uitgeschakeld – een aanzienlijk deel (in deze studie ca. 30%) van de CH_3-emissie uit de kelder afkomstig moet zijn.

De variatie in de CH_4-emissies per bedrijf bleek aanzienlijk te zijn. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij meetstrategieën om te komen tot emissiecijfers op jaarbasis.

Vanwege de door MKZ gewijzigde onderzoeksstrategie kon slechts 1 (langere dan geplande) meetperiode per stal worden uitgevoerd. Hierdoor kan geen uitspraak worden gedaan over het effect van aangepaste bedrijfsvoering en management op de ontwikkeling van de CH_4-emissie. Wel werden nauwkeuriger gemiddelde emissiecijfers per stal verkregen.

Literatuur

Amstel, A.R. van, R.J. Zwart, M.S. Krol, J.P. Beck, A.F. Bouwmand en K.W. van der Hoek, 1993. Methane, the other greenhouse gas. Research and Policy in the Netherlands. RIVM-rapport 48 15 07 001, Bilthoven.

Bannink, A., persoonlijke mededelingen, ID Lelystad.

Brink, C., C. Kroeze en Z. Klimont, 2001. Ammonia abatement and its impact on emissions of nitrous oxide and methane – Part 2: application for Europe. Atmospheric Environment 35 (2001): 6313-6325.

Brose, G., E. Hartung en T. Jungbluth, 1999. Einflüsse auf und Messung von Emissionen von Ammonia und klimarelevante Gasen aus einem frei belüfteten Milchviehstal. 4. International Conference: Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming, 9-10 March 1999, Freising-Weihenstephan, Duitsland, p. 63-68.

CBS (1990). CBS StatLine

Crutzen, P.J., I. Aselmann en W. Seiler, 1986. Methane production by demestic animals, wild ruminants, other herbivourus fauna, and humans. Tellus 38B:271-284.

Groenestein, C.M. en B. Reitsma, 1993. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X: potstal voor melkvee. Wageningen, DLO, rapport 93-1005, 15 pp. excl. bijlage.

Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1994. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien. Wageningen, DLO, rapport 94-1006, 14 pp. excl. bijlage.

Groot Koerkamp, P.W.G. en G.H. Uenk, 1997. Climatic Conditions and Areal Pollutants in and Emissions from Commercial Animal Production Systems in the Netherlands. In: J.A.M. Voermans en G.J. Monteny, Proceedings of the International Symposium on Ammonia and odour Control from Animal Facilities. Vinkeloord, 6-10 October 1997, p. 139-144.

Jungbluth T., G. Brose en E. Hartung, 1997. Ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns. ASAE Paper No Paper 974127, ASAE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota.

Kirchgessner, M., W. Windisch, H.L. Müller en M. Kreuzer, 1991. Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle. Agrobiological Research 44 (1992): 91-102.

Holter, J.B. en A.J. Young. 1992. Methane prediction in dry and lactating holstein cows. Journal of Dairy Cows 75 (1992): 2165-2175.

Monteny, G.J., D.D. Schulte, A. Elzing en E.J.J. Lamaker, 1998. A conceptual mechanistic model for the ammonia emission from free stall cubicle dairy cow houses. Transactions of the ASAE 41 (1): 193-201.

Monteny, G.J., C.M. Groenestein en M.A. Hilhorst, 2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. Nutrient Cycling in Agroecosystems 60 (2001): 123-132.

Scholtens, R., J.J.C. van der Heiden-de Vos en J.W.H. Huis in 't Veld, 1996. Validatie van gasbalansmodellen voor het bepalen van het ventilatiedebiet van rundveestallen. Wageningen, DLO, rapport 96-11, 33 pp. excl. bijlage.

Tamminga, S. A.W. Jongbloed, M.M. van Eerdt, H.F.M. Aarts, F. Mandersloot, N.J.P. Hoogervorst en H. Westbroek, 2000. De forfaitaire excretie van stikstof door landbouwhuisdieren. Rapport ID Lelystad 00-2040R, 2000.

Veen, W.A.G., 2001. Veevoedingsmaatregelen ter vermindering van methaanproductie door herkauwers. Instituut voor de Veevoeding "De Schothorst", Lelystad, 56 pp.

Samenvatting

In het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB) is in opdracht van Novem onderzoek uitgevoerd naar de methaanemissie uit melkveestallen.

Het onderzoek werd uitgevoerd op 13 melkveebedrijven, parallel aan ammoniakemissiemetingen die werden uitgevoerd in het kader van het project Koeien en Kansen. In dit project streeft men om op 17 melkveehouderijbedrijven en op proefboerderij De Marke via diverse maatregelen te komen tot een zo optimaal mogelijke benutting van mineralen binnen het bedrijf.

De monstername van lucht dat de stal verliet gebeurde via een geïsoleerde en verwarmde verzamelleiding vlak onder de open nok. Gedurende 7 dagen werd de lucht opgevangen in een gecoate roestvrijstalen canister van 6 liter. De bepaling van het gehalte methaan werd uitgevoerd volgens de analysemethode MSP-A035 (gaschromatische methode) in het chemisch laboratorium van het IMAG .

De emissie uit een stal is het product van de gemeten concentratie van het gas en de hoeveelheid lucht dat de stal verlaat (ventilatiedebiet). Melkveestallen zijn natuurlijk geventileerd hetgeen betekent dat het ventilatiedebiet niet word gecontroleerd en niet met bijvoorbeeld meetventilatoren is te registreren. In dit onderzoek is het debiet bepaald met een bronsterkte-tracermethode. Als tracergas voor de debietmetingen werd zwavel hexafluoride (SF_6) gebruikt. Een mengsel van perslucht en tracergas werd zodanig in de stal geïnjecteerd dat het zich vergelijkbaar met ammoniak (en methaan) vanaf de stalvloer kon verspreiden. In het mengmonster, dat via de verzamelleiding werd aangezogen, werd de tracergasconcentratie gemeten. Uit deze concentratie werd de mengfactor (ventilatiedebiet) afgeleid.

Op de traditionele melkveebedrijven varieerde de stalemissie tussen 0,31 en 0,71 kg CH_4 per dag per dier met een gemiddelde van 0,5 kg CH_4 per dag per dier. Dit emissiecijfer is navenant hoger dan de CH_4-emissieniveaus die doorgaans in de literatuur worden gevonden. De gemeten emissies waren overigens goed vergelijkbaar met de theoretische emissies die op basis van de melkproductie en de drogestofopname mogen worden verwacht. Opvallend is dat op 4 melkveebedrijven, waar de melkkoeien overdag tussen de 5 en 10 uren buiten werden gehouden, de gemiddelde CH_4-emissie niet lager was dan de gemiddelde emissie van de stallen waar de dieren permanent binnen waren. Op één bedrijf is afzonderlijk in een volle en een lege stal gemeten. In een lege stal vormt de mestkelder de enige bron en deze bijdrage bleek 30% te zijn van de emissie bij volle stalbezetting, terwijl in de literatuur 20% wordt genoemd. Op één van de bedrijven werd een biologische bedrijfsvoering toegepast. De CH_4-emissie was met ruim 1 kg per dag per koe aanmerkelijk hoger dan de emissie op de traditionele bedrijven. Onbekend is in welke mate het gebruik van stro in de stal en/of het voer hebben bijgedragen aan dit verschil.

Summary

As part of the Reduction Programme non CO_2 greenhouse gases (ROB), financed by Novem, measurements were carried out on the methane emission from cubicle housing systems for dairy cows.

The measurements were conducted on 13 dairy cattle farms, parallel with ammonia emission measurements (framework: project 'Koeien en Kansen'). In this project, optimal nutrient management is conducted to achieve a substantial reduction of nutrient losses.

Air in the cow houses was sampled using insulated and heated ducts, just below the top of the building. During 7 days, air was accumulated in so called canisters. Gas concentrations were measured with a laboratory GC.

Air exchange rates were determined using a tracer gas method with SF_6. A mixture of SF_6 and air was continuously released at floor level. Tracer gas concentrations were continuously measured by sampling of air from the ducts in the top of the building. The ventilation rate was calculated on basis of the mass flow of the tracer gas and the gas concentration. Emissions of methane were calculated using the methane concentrations in the canisters and the ventilation rate.

Methane emissions ranged from 0.31 to 0.71 (average: 0.5) kg per day per animal. This is substantially higher than emission data for dairy cows found in literature, but they are in accordance with theoretical emission values calculated on basis of milk yield and dry matter intake. No differences were recorded in the emissions from cow houses with full time and part time (daytime grazing) of the animals. Based on one series of measurements in one house, the contribution of the slurry storage below the floor (without animals present in the building) was 30% of the emissions from the house with full occupation, while a value of 20% is reported in literature. Moreover, the methane emission from a dairy cow house with bedding (biological farming system) was around 1 kg per day per animal, which is in accordance with literature data.

Bijlagen

Bijlage A Relatieve luchtvochtigheid tijdens metingen

Bijlage B Berekende CH_4- en CO_2-emissies

Bijlage C Gemeten N_2O-concentraties

Bijlage A Relatieve luchtvochtigheid tijdens metingen

Gemiddeld gemeten relatieve luchtvochtigheid van de stal- en buitenlucht tijdens de uitgevoerde metingen.

Bedrijfs-nummer	Meet-datum	relatieve luchtvochtigheid	
		stal	buiten
		%	%
1	jan-02	81,6	86,9
2	nov-00	81,0	86,1
3	feb-02	76,5	88,9
5	nov-01	84,1	84,9
6	nov-01	88,1	92,6
7	juli-01	76,4	72,0
8	juli-02	85,6	87,4
11	april-02	70,2	79,4
12	mei-02	80,7	84,4
13	mrt-02	79,1	87,2
16	okt-01	93,7	93,7
17	sep-01	83,4	88,2
18	juni-02	79,8	76,4

Bijlage B Berekende CH_4-en CO_2-emissies

Emissie van de CH_4 en CO_2 weergegeven in kg per koe per dag en bepaald met luchtspuitjes en de CO_2 emissie bepaald op basis van de canisters.

Bedrijfs-nummer	Meet-datum	Luchtspuitjes				Canisters		
			Ventilatie	CH_4	CO_2		Ventilatie	CO_2
		n	m^3/uur per dier	kg/dag per koe	kg/dag per koe	n	m^3/uur per dier	kg/dag per koe
1	jan-02	5	1701	0,47	12,12	4	1678	15,49
2	nov-00	3	1887	1,24	17,42	2	1597	19,30
3	feb-02	5	3048	0,50	16,74	3	1401	18,70
5	nov-01	4	1860	0,54	13,56	2	1820	11,94
6	nov-01	3	939	0,73	18,79	4	784	11,60
7	juli-01	3	734	0,86	19,41	3	967	7,01
8a	jul-02	3	1174	0,68	25,48	3	1045	18,48
8b	jul-02	4	954	0,03	2,56			
11	apr-02	3	2579	0,42	12,20	2	1621	20,15
12	mei-02	3	3273	0,72	19,67	2	1904	17,25
13	mrt-02	4	986	0,46	13,22	1	801	7,70
16	okt-01	3	2057	0,02	1,51	2	1979	15,57
17	sep-01	3	1344	0,31	9,74	2	1001	16,28
18a	apr-02	1	2385	0,70	20,69	4	2303	17,64
18b	apr-02	1	1239	0,02	0,27	4	2328	4,82

Opmerkingen:

- Bedrijfsnummer 2: Biologische boer.
- Bedrijfsnummer 7: Dieren overdag buiten, monstername luchtspuitjes volle stal.
- Bedrijfsnummer 16: Dieren overdag buiten, monstername luchtspuitjes in lege stal
- Bedrijfsnummer a: Stal vol
- Bedrijfsnummer b: Stal leeg

Bijlage C Gemeten N_2O-concentraties

Gemiddelde gemeten N_2O concentratie binnen en buiten de stal gemeten met luchtspuitjes en de gemiddeld gemeten N_2O concentratie in de stal gemeten met canisters.

Bedrijfs-	luchtspuitjes			canisters	
nummer		NO_2 stal	N_2O buiten		NO_2 stal
	n	ppm	ppm	n	ppm
1	10	0,23	0,23	6	0,24
2	3	<0,5	<0,5	2	<0,5
3	5	0,22	0,21	3	0,21
4	3	0,14	0,13	1	0,16
5	4	0,22	0,21	2	0,22
6	3	0,19	0,18	4	0,20
7	3	0,19	0,15	3	0,17
8a	3	0,15	0,15	3	0,14
8b	4	0,15	0,15		
11	3	0,18	0,17	2	0,17
12	3	0,17	0,16	2	0,17
13	4	0,22	0,21	1	0,21
16	3	0,19	0,20	2	0,17
17	3	0,17	0,19	2	0,47
18a	2	0,14	0,14	4	0,15
18b	1	0,12	0,14	4	0,15

Doordat er geen duidelijk verschil zat tussen de NO_2 concentratie binnen en buiten de stal zijn de concentraties niet doorgerekend naar emissiecijfers.