Einfluss von Jahreszeit und Fütterung auf die Methanemissionen aus Schweizer Milchviehgülle

Sabrina Staerfl[1], Christine Bosshard[2], Cyril Graf[1], Johanna Zeitz[1], Michael Kreuzer[1] und Carla Soliva[1]
[1]ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, 8092 Zürich
[2]Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich
Auskünfte: Michael Kreuzer, E-Mail: michael.kreuzer@inw.agrl.ethz.ch Tel. +41 44 632 59 72



Abb. 1 | Entnahme der Gülle mit Hilfe einer Acrylglaslanze bei einem landwirtschaftlichen Betrieb. (Foto: ART)

Einleitung

Methan (CH_4) besitzt ein über 21-mal höheres globales Erwärmungspotenzial als Kohlendioxid (CO_2) (Steinfeld *et al.* 2006) und ist neben Lachgas (N_2O) das wichtigste aus der Landwirtschaft stammende Treibhausgas. Vor allem die Wiederkäuerhaltung hat durch die Futterfermentation im Pansen einen hohen Anteil an den globalen CH_4 Emissionen. Obwohl die Mengen an CH_4 aus Gülle sehr viel geringer sind als jene, die bei der Pansenfermentation frei werden, dürfen diese bei der Budgetierung der landwirtschaftlichen Treibhausgase nicht ausser Acht gelassen werden. Besonders der anaerobe Abbau von organischer Substanz führt zu CH_4-Emissionen aus der Gülle (Steinfeld *et al.* 2006).

Zusammenfassung

Wo länderspezifische Daten fehlen, wird das Treibhausgasbudget mit sogenannten IPCC-Standardwerten kalkuliert. Der gegenwärtig für Schweizer Gülle angenommene Standardwert für das maximale Methanbildungspotenzial (B_0) ist 240 l Methan (CH_4)/kg flüchtige Feststoffe (VS). In dieser Studie wurde Gülle von 64 Milchviehbetrieben aus den wichtigsten Schweizer milchproduzierenden Kantonen gesammelt. Beprobt wurden Betriebe mit Silage- oder silofreier Fütterung (typische Milchproduktionssysteme) jeweils im Winter und Sommer. Zudem wurden die Betriebe gemäss ihrer jährlichen Milchleistung eingeteilt. B_0 wurde durch Inkubation der Gülle bei 35° C über 14 Wochen bestimmt. Für Wintergülle lag B_0 zwischen 241 und 314 l CH_4/kg VS, für Sommergülle zwischen 35 und 62 l CH_4/kg VS. Dieses tiefe B_0 könnte durch vorherige Fermentation im Güllelager oder starke Verdünnung durch Regen bedingt sein. Obwohl sich die Nährstoffzusammensetzung der Rationen und von VS signifikant unterschied, hatten weder Fütterung noch Milchleistung Einfluss auf B_0. Die Ergebnisse zeigen, dass weitere Unterschiede in Fütterung und Güllemanagement in Betracht gezogen werden müssen, um länderspezifische Werte zu ermitteln.

Da länderspezifische Daten zu CH_4-Emissionen aus Pansenfermentation und Gülle oft lückenhaft sind oder fehlen, werden Standardwerte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verwendet, um Treibhausgasbudgets zu kalkulieren (Klevenhusen *et al.* 2010). Momentan werden diese Werte auch von der Schweiz verwendet. Für Nordamerika und Europa wurde vom IPCC (2006) für die maximale CH_4-Produktionskapazität (B_0) aus Milchviehgülle ein Wert von 240 l CH_4/kg flüchtige Feststoffe (VS) festgelegt. Die CH_4-Menge, die aus der Gülle emittiert werden kann, hängt von verschiedenen Faktoren wie Lagerungsdauer, Lagerungstemperatur und Fütterung ab (Steinfeld *et al.* 2006). Rationen mit hohem Kraftfutteranteil, welche den pH Wert im Pansen sowie die Faserverdaulichkeit reduzieren, führen zu höheren Gehalten an VS, welche als gut fermentierbares Substrat für die CH_4-Bildung in der Gülle gelten (Hindrichsen *et al.* 2006).

Das Ziel dieser Studie war es, B_0 für Milchviehgülle experimentell zu ermitteln, um erste Schweiz spezifische Daten zu erhalten. Hierfür wurden Betriebe anhand der beiden typischen Schweizer Fütterungssysteme – Silage- und silofreie Fütterung (letztere hauptsächlich für die Hartkäseproduktion) – ausgewählt. Zusätzlich wurden die Betriebe aufgrund ihrer Herdenmilchleistung eingeteilt, um indirekt verschiedene Anteile an Kraftfutter in der Ration zu berücksichtigen. Jahreszeitliche Faktoren wie Unterschiede in der Fütterung und Güllelagerungstemperatur wurden berücksichtigt, indem Proben von denselben Betrieben im Winter und im Sommer gesammelt wurden.

Material und Methoden

Auswahl der Milchviehbetriebe

Gülle wurde auf 64 Schweizer Milchviehbetrieben gesammelt (Tab. 1). Die Betriebe wurden aus den milchviehstärksten Schweizer Kantonen (AG, BE, FR, LU, SG, TG, VD und ZH; Muller 2010) zufällig ausgewählt. Die ›

Tab. 1 | Beschreibung der in die Güllesammlung einbezogenen Schweizer Milchviehbetriebe (Mittelwerte ± Standardabweichungen)

Fütterungssystem	Silage			silofrei		
Herdenmilchleistung (kg/Kuh und Jahr)	**<7000**	**7000–8000**	**>8000**	**<7000**	**7000–8000**	**>8000**
Anzahl Betriebe	11	11	11	11	11	9
Betriebsgrösse (ha)	23,9±3,8	25,3±4,4	32,5±3,6	25,9±3,8	31,1±3,8	39,6±4,2
Herdengrösse (Anzahl Kühe)	26,5±3,8	23,6±4,9	40,6±4,0	28,2±4,1	30,5±4,1	37,4±4,6
Milchleistung (kg/Kuh und Jahr)	6415±110	7801±140	8637±114	6545±119	7490±119	8444±132
Kraftfutteranteil (% der Gesamtration)	24,5±2,8	21,7±3,1	36,7±3,4	18,2±3,1	15,6±3,6	22,7±2,9



Abb. 2 | Inkubationseinheit mit Entnahmespritze für Gasmessung mittels Gaschromatografie. (Foto: Sabrina Stärfl)

durchschnittliche Betriebsgrösse lag bei 27,5 ± 7,7 ha, und die meisten Kühe gehörten den Rassen Braunvieh und Holstein an. Die Betriebe wurden zum einen anhand ihres Fütterungssystems eingeteilt, nämlich Silagefütterung (ganzjährig Gras- und Maissilage mit Kraftfutter) oder silofreie Fütterung (Heu im Winter, Gras im Sommer; geringe Kraftfuttermengen). Zum anderen erfolgte eine Einteilung gemäss der jährlichen Herdenmilchleistung in niedrige, mittlere und hohe Milchleistung. Der Verdünnungsgrad der Gülle variierte zwischen 1:0,5 und 1:2 (Gülle:Wasser). Die meisten Betriebe (83 %) verfügten über abgedeckte Gülleläger.

Güllenbeprobung

Die Beprobungen fanden im Februar und März 2010 (Winter) sowie im August 2010 (Sommer) statt. Nachdem die Gülle 30 min. lang gerührt wurde, wurden vertikal Proben mithilfe einer Stechlanze aus Akrylglas (Länge 2–4 m, innerer Durchmesser 4,5 cm; Abb. 1) gezogen. Proben aus zehn Einstichen mit der Lanze wurden in einem 40 l Gefäss zu einer Gesamtprobe homogenisiert; daraus wurde eine Teilprobe zu 1 l genommen. Dieser Vorgang wurde wiederholt, um eine zweite Teilprobe zu 1 l zu erhalten. Die Teilproben wurden anschliessend in Plastikflaschen gefüllt (Semadeni AG, Ostermundingen, Switzerland), für den Transport in Kühlboxen gestellt und bei -20° C bis zur Aufbereitung im Labor aufbewahrt. Zusätzlich wurden Proben der in den Betrieben eingesetzten Futtermittel (gepoolt entsprechend ihrer Rationenanteile) oder der TMR (Anteil der Einzelkomponenten wurde vermerkt) gezogen. Mit einem Standardfragebogen wurden weitere Betriebsangaben erhoben (Tab. 1).

Güllelagerungsexperiment

Die Bestimmung des maximalen CH_4-Emissionspotentials der Güllen erfolgte nach der *in vitro*-Inkubationsmethode von Hashimoto (1989). Serumflaschen mit einem Volumen von 119,1 ± 0,6 ml dienten als Fermentationsbehälter (Abb. 2). Die Flaschen wurden mit 50 ml Gülle und Inokulum im Verhältnis 2,33:1 befüllt (Sommer *et al.* 2007). Das Inokulum bestand aus Gülle von Kühen, die mit einer TMR gefüttert wurden (45 % Grassilage, 39 % Maissilage, 9,5 % Heu, 6,5 % Kraftfutter). Dieses Inokulum wurde für drei Wochen bei 35° C gelagert, um die Fermentation mit einer stabilen Mikrobenpopulation in Gang zu bringen und um den Anteil fermentierbarer Substanzen zu reduzieren (Sommer *et al.* 2007). Vier Fermentationsbehälter, die nur mit Inokulum gefüllt waren, dienten als Kontrolle und Basis für spätere Berechnungen. Nachdem die Flaschen mit Stickstoff (N) gespült wurden, um Sauerstoff zu entfernen (anaerobe Fermentation), wurden sie mit 1 cm dicken Plastikstopfen (Bellco Glass, Vineland, USA) verschlossen und bei 35 ± 0,2° C 14 Wochen lang inkubiert. Die CH_4-Konzentration im Fermentationsgas, welches mithilfe einer gasdichten Spritze (Hamilton-Bonaduz, Schweiz) einmal wöchentlich durch die Gummistopfen gezogen wurde, wurde mittels Gaschromatographie ermittelt (Hewlett Packard, Model 5890 Series II, Avondale, PA, USA). Über eine Glasspritze (Eterna matic Sanitex, Sanitex SA, Bassecourt, Schweiz) mit einer 2,5 cm langen Nadel (Gr. 16, B. Braun Medical AG, Sempach, Schweiz) wurde das Fermentationsgasvolumen bestimmt, indem der Glaskolben der horizontal gehaltenen Spritze solange durch das Fermentationsgas nach oben gedrückt wurde, bis atmosphärischer Druck erreicht war (Steed und Hashimoto, 1994). Die Gasvolumina wurden auf Standardtemperatur (0° C) und 1013 mbar Druck korrigiert.

Laboranalysen

Trockene (Heu, Kraftfutter) oder getrocknete (Silage, Gras; 48 h bei 60° C) Futterproben wurde auf 1 mm Partikelgrösse gemahlen. Trockensubstanz (TS) und Aschegehalt (TA) wurden in Inokulum, Gülle und Futter analysiert (TGA-701, Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA). Die Kohlenstoff- (C) und N-Gehalte wurden mittels C/N-Analysator ermittelt (Leco-Analysator Typ FP-2000, Leco Instrumente, Kirchheim, Deutschland). Bruttoenergie (BE) wurde durch Bombenkalorimetrie bestimmt (Calorimeter C7000, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Deutschland). In Gülle und Inokulum wurde durch MgO-Destillation (Distillation Unit 323, Büchi, Flawil, Schweiz) die Ammoniak-N-Konzentration gemessen (Amberger *et al.* 1982).

Tab. 2 | Chemische Zusammensetzung (g/kg TS) und Bruttoenergiegehalt (MJ/kg TS) der Rationen und Güllen im Winter (w) und Sommer (s)

Fütterungssystem		Silage			Silofrei				P-Werte			
Herdenmilchleistung (kg/Kuh und Jahr)		<7000	7000-8000	>8000	<7000	7000-8000	>8000	SEM[1]	Fütterungs-system (F)	Milch-leistung (M)	F×M	Jahreszeit
Rationen												
Asche	w	80,7	82,3	83,8	82,7	89,8	96,8	3,75	0,019	0,094	0,37	<0,001
	s	94	91,2	83,7	105	119	112	8,55	0,003	0,69	0,54	
Total N	w	23,1	24,8	24	23,1	22,7	24,5	1,21	0,64	0,68	0,54	<0,001
	s	25,1	27,4	23,8	30,1	27,8	31,7	2,16	0,019	1	0,27	
Bruttoenergie	w	18	18,1	18,2	17,8	17,9	17,8	0,13	0,025	0,72	0,59	0,064
	s	18,1	18,2	18,1	17,4	17,6	17,6	0,16	<0,001	0,62	0,93	
Gülle												
TS (g/kg Frischsubstanz)	w	4,78	4,29	4,47	4,42	5,53	4,58	0,759	0,99	0,82	0,29	<0,001
	s	2,26	2,16	1,84	1,66	2,33	2,29	0,504	0,98	0,82	0,5	
Asche	w	327	361	279	342	282	324	34,9	0,81	0,6	0,14	0,95
	s	320	350	285	325	270	309	31,6	0,75	0,66	0,16	
Total N	w	58,5	71,4	50,8	68,5	52,3	54,1	7,84	0,77	0,35	0,16	0,78
	s	54,2	68,2	58,4	64,5	48,6	52,9	8,31	0,52	0,68	0,22	
NH_3-N	w	45,1	51	31,3	43,8	28,3	36,5	7,05	0,29	0,35	0,13	0,88
	s	40,2	47,7	35,8	40,5	26,9	33,7	7,19	0,22	0,5	0,2	
C:N	w	6,95	6,1	7,74	7,29	8,55	6,66	0,747	0,36	0,96	0,076	0,96
	s	6,88	6,05	7,63	7,15	8,39	6,55	0,884	0,33	0,96	0,087	
Bruttoenergie	w	16,1	15,2	16,3	15,5	16,3	15,9	0,53	0,94	0,76	0,24	0,97
	s	15,8	15	15,8	14,9	15,8	15,7	0,47	0,98	0,77	0,23	

[1]SEM = Standardfehler des Mittels

Berechnungen und statistische Analysen

Der Gehalt an VS wurde gemäss IPCC (2006; Tier 2) wie folgt bestimmt:

$$VS\ (kg/Kuh/Tag) = [GEI \times (1 - DE/100) + (UE \times GEI)] \times [(1-ASH/18{,}45)]$$

Dabei ist GEI = BE-Aufnahme (MJ/Kuh/Tag; angenommener Schweizer Durchschnittswert von 18 kg TS-Verzehr/Kuh/Tag; ALP 2008), DE = Verdaulichkeit der Bruttoenergie (%) = (GEI – Kotenergie(MJ/Kuh/Tag)) × 100/GEI, UE × GEI = Harnenergie (MJ/Kuh/Tag) in Relation zu GEI (hier wurde der IPCC Standardwert von 0,04 × GEI benutzt), ASH = Aschegehalt der Gülle in Relation zur TS-Aufnahme. Der Faktor 18,45 entspricht dem Umwandlungsfaktor für GEI pro kg TS (MJ/kg; relativ konstanter Faktor für Grundfutter- und Getreidebasierte Rationen; IPCC 2006). Der CH_4-Ertrag (ml CH_4/g VS) wurde ermittelt, indem die Menge an CH_4 aus dem Inokulum (Durchschnitt der 4 Kontrollflaschen) von der CH_4 Menge jeder Inkubationsflasche subtrahiert wurde. Der Wert wurde durch die Menge an VS in der Gülleprobe dividiert. Der maximale CH_4-Ertrag (B_0, ml CH_4/g VS) wurde mit folgender Gleichung berechnet:

$$'B' = B_0 \times (1 - e^{-kt})$$

mit 'B' als kumulativem CH_4-Ertrag während der 14-wöchigen Inkubationsdauer, k als Methanproduktionsrate pro Tag und t als Zeit. B_0 (Methanertrag bei t = unendlich) wurde mithilfe einer nichtlinearen Regressionskurve unter Verwendung des Marquardt-Levenberg Algorithmus in SigmaPlot 11.0 (Systat Software, Chicago, Illinois) geschätzt (Massé *et al.* 2010).

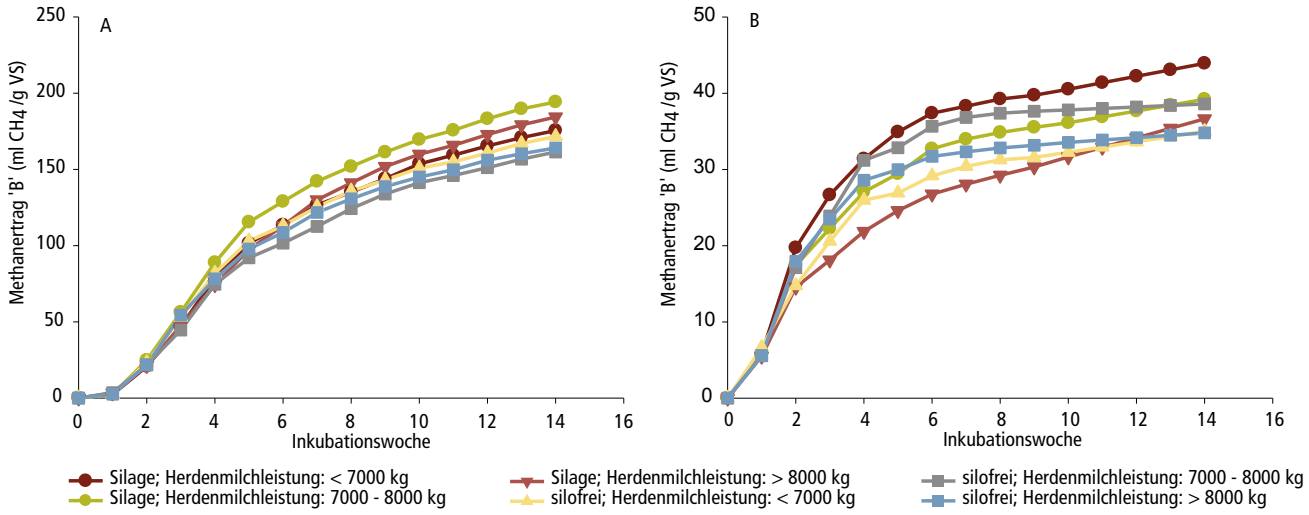


Abb. 3 | Kumulierter Methanertrag 'B' (IPCC 2006) von Milchviehgülle bei Silage- oder silofreier Fütterung und unterschiedlicher Herdenmilchleistung, ermittelt durch 14-wöchige Inkubation bei 35°C. (A, Wintergülle; B; Sommergülle)

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Varianzanalyse (Prozedur MIXED; SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) mit Fütterungssystem, Milchleistung, Interaktion von Fütterungssystem und Milchleistung sowie Jahreszeiten als fixe Effekte. Der Mittelwertvergleich wurde mit dem Tukey-Test durchgeführt, wobei Unterschiede bei $P < 0{,}05$ als signifikant betrachtet wurden.

Resultate und Diskussion

Chemische Zusammensetzung von Rationen und Gülle

Generell waren die saisonalen Unterschiede in der Nährstoffzusammensetzung der Futterrationen bei Silagebetrieben geringer als bei silofreien Betrieben (Tab. 2). Dies hat damit zu tun, dass sich die Ration bei den Silagebetrieben über das Jahr kaum verändert, während die Tiere bei silofreier Fütterung im Winter Heu und im Sommer Gras erhalten. Die Jahreszeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Asche- und N-Gehalt der Rationen, mit höheren Gehalten im Sommer. Der höhere N-Gehalt silofreier Rationen verglichen mit auf Silage basierten Rationen resultierte vermutlich aus den typischerweise höheren Proteingehalten in frischem Gras im Vergleich zu Silage. Zusätzlich war der Aschegehalt in den silofreien Rationen signifikant höher, hingegen der BE-Gehalt signifikant tiefer als bei den Silagerationen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen Fütterungssystem und Milchleistung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung der Ration gefunden werden. Hinsichtlich des TS-Gehaltes in der Gülle konnte ein Unterschied ($p<0{,}001$) zwischen den beiden Jahreszeiten gefunden werden. Die übrigen untersuchten Nährstoffe in der Gülle unterschieden sich jedoch nicht signifikant in ihren Gehalten.

Methanemissionen bei der Güllelagerung

Der kumulative Methanertrag 'B', auf welchem B_0 basiert, veränderte sich massgeblich mit fortschreitender Inkubationsdauer für Winter- (Abb. 3A) und Sommergülle (Abb. 3B). Ähnlich wie bei anderen Studien (z.B. Hindrichsen *et al.* 2006) stieg die CH_4-Bildung bis zu einem gewissen Level langsam an, um dann, vermutlich bedingt durch abnehmende Nährstoffverfügbarkeit, wieder abzusinken. Im Gegensatz zu Hindrichsen *et al.* (2006; ohne Inokulum) konnte in der vorliegenden Studie das Erreichen der maximalen CH_4 Menge jedoch bereits nach vier Wochen Inkubation beobachtet werden, was somit vermutlich aus der Verwendung eines Inokulums resultiert (Vedrenne *et al.* 2008). Bei Verwendung eines Inokulums sollte jedoch wie in der vorliegenden Studie ein niedriges Inokulum/Substrat-Verhältnis bevorzugt werden (30:70 gemäss Hashimoto 1989), um eine übermässige CH_4-Bildung zu vermeiden (Vedrenne *et al.* 2008).

Die Gesamtgehalte an VS in den Güllen überschritten die Standardwerte des IPCC (2006) von 1,86 t/Kuh und Jahr in beiden Jahreszeiten nur geringfügig (Tab. 3). Es konnte ein saisonaler Trend ($p=0{,}07$) zu höheren Werten im Winter beobachtet werden. Der Gehalt an VS war zwischen den Fütterungssystemen zu beiden Jahreszeiten signifikant verschieden, was vermutlich auf den niedrigeren BE- und höheren Aschegehalt in den silo-

Tab. 3 | Menge an flüchtigen Feststoffen (VS) und maximale Methanproduktionskapazität (B_0) nach 14 Wochen Inkubation bei 35°C von Winter- (w) und Sommergülle (s)

Fütterungssystem		Silage			Silofrei				P-Werte			
Herdenmilchleistung (kg/Kuh und Jahr)		<7000	7000-8000	>8000	<7000	7000-8000	>8000	SEM[1]	Fütterungssystem (F)	Milchleistung (M)	F×M	Jahreszeit
Flüchtige Feststoffe (t /Kuh und Jahr)[2]	w	2,14	2,15	2,17	2,12	2,14	2,11	0,016	0,031	0,65	0,37	0,068
	s	2,11	2,13	2,14	2,09	2,1	2,08	0,019	<0,001	0,54	0,76	
B_0 (l CH_4/kg VS)	w	275	308	314	246	281	241	51,6	0,27	0,77	0,87	<0,001
	s	61,5	45,1	45,6	34,5	42,7	35,5	12,24	0,21	0,84	0,6	

[1]SEM = Standardfehler des Mittels
[2]Berechnet gemäss IPCC (2006; Tier 2); Standardwert 1.86 t/Kuh und Jahr

freien Rationen verglichen mit den Silagerationen zurückzuführen war. Die Milchleistung hatte keinen Einfluss auf VS, und es wurde keine Interaktion zwischen Milchleistung und Fütterung gefunden.

Bei der maximalen CH_4-Produktionskapazität B_0 wurde ein klarer saisonaler Effekt ($p<0,001$) beobachtet, wohingegen Fütterungssystem, Milchleistung und Fütterungssystem × Milchleistung keinen Einfluss hatten ($p>0,05$). Die niedrigeren B_0-Werte der silofreien Betriebe ($p>0,05$) verglichen mit den Silagebetrieben resultierten vermutlich aus den niedrigeren Gehalten an fermentierbarem Substrat in der Gülle silofreier Betriebe (Steinfeld *et al.* 2006). Auch Møller *et al.* (2004) fanden mit raufutterreichen im Vergleich zu kraftfutterreichen Rationen niedrigere B_0-Werte in der Gülle von Milchvieh. Der tiefere pH-Wert im Pansen bei kraftfutterreicher Fütterung reduziert nämlich die Faserverdaulichkeit, was zu höheren Gehalten an fermentierbarem Substrat in der Gülle führt (Hindrichsen *et al.* 2006). Vor diesem Hintergrund ist es verwunderlich, dass im vorliegenden Versuch die Milchleistung keinen Einfluss auf B_0 (und VS) hatte. Nach 14 Wochen Inkubation bei 35° C war B_0 bei Wintergülle deutlich höher als bei Sommergülle (Tab. 3), obwohl der Gehalt an VS kaum verschieden war. In diesem Fall war die Sommergülle nicht nur durch die Fütterung von wasserreichem Gras (silagefreie Betriebe), sondern vor allem durch starke Regenfälle vor der Probenahme verdünnt. Vedrenne *et al.* (2008) fanden allerdings sogar höhere B_0-Werte bei verdünnter (1 - 7 % TS) verglichen mit unverdünnter Gülle (3 - 14 % TS), weil so zu hohe und damit die CH_4-Bildung hemmende Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren (FFS) oder Ammoniak verdünnt wurden. In der vorliegenden Studie scheint dies aber nicht der Fall gewesen zu sein. Durch die häufige Ausbringung der Gülle im Sommer im Gegensatz zum Winter konnte sich möglicherweise aber keine so stabile Mikrobenpopulation etablieren wie in der Wintergülle. Zudem könnten die höheren Temperaturen im Sommer die anaerobe Fermentation beschleunigt haben, so dass zum Zeitpunkt der Probenahme weniger fermentierbare Substanz in den Gülleproben vorhanden gewesen sein könnte. Obwohl dies nicht aus dem VS-Gehalt der Gülle ersichtlich war, ist nicht auszuschliessen, dass die Zusammensetzung der VS in der Winter- und der Sommergülle verschieden war, d.h. dass unterschiedliche Anteile an flüchtigen Fettsäuren, Proteinen, Kohlenhydraten und Lignin in der VS vorhanden waren (Vedrenne *et al.* 2008). Zudem könnten während der TS- und Rohasche-Bestimmung unbekannte und unterschiedliche Mengen an FFS verloren gegangen sein, was eventuell zu ungenauen Rohasche- und damit VS-Werten geführt haben könnte (Vedrenne *et al.* 2008). Besonders von Silagebetrieben mit ganzjähriger gleichbleibender Fütterung wäre allerdings dennoch eine ähnliche CH_4-Produktion im Sommer und Winter zu erwarten gewesen. Folglich sollten länderspezifische Daten für B_0 im Sommer nicht in gelagerter, sondern in frischer Gülle bestimmt werden.

Der Standardwert des IPCC (2006) von 240 l CH_4/kg VS für B_0 bei Milchkühen in Westeuropa basiert auf theoretischen Berechnungen anhand der von den Kühen ausgeschiedenen Menge an VS. In diesem Versuch lag B_0 für Wintergülle zwischen 241 (silofrei, > 8000 kg Milchleistung) und 314 l CH_4/kg VS (Silage, > 8000 kg Milchleistung), womit letzterer Wert etwa 30 % über dem IPCC-Standardwert lag. In anderen Studien variierte B_0 aus frischer Gülle zwischen 126 und 207 l CH_4/kg VS (Amon *et al.* 2004; Møller *et al.* 2004) und aus gelagerter Gülle zwischen 204 und 296 l CH_4/kg VS (Vedrenne *et al.* 2008).

Offenbar hängt das maximale CH_4-Emissionspotenzial aus der Gülle noch von anderen Faktoren als VS-Gehalt und Fütterungssystem (inkl. Milchleistung) ab. Die Lagerdauer von 14 Wochen, wie sie in der aktuellen Studie angewandt wurde, entspricht ungefähr der Lage- ›

rungsdauer von Wintergülle in Westeuropa, ist aber zu lange für Sommergülle. Wie in Abbildung 3 gezeigt, beeinflusst die Lagerungsdauer das CH_4-Produktionspotential deutlich. Da die Lagerungsdauer in den Richtlinien des IPCC (2006) für die Bestimmung von B_0 nicht berücksichtigt wird, kann dies zu Ungenauigkeiten bei den Standardwerten führen. Zudem weichen die Werte, die wie hier gemäss der *in vitro*-Methode von Hashimoto (1989) bestimmt wurden, möglicherweise von den mit anderen Methoden bestimmten Werten ab (z.B. Kulturflaschensystem von Møller *et al.* 2004; geschlossene Kammertechnik bei Külling *et al.* 2001; Respirationskammermethode bei Hindrichsen *et al.* 2006 und Klevenhusen *et al.* 2010), womit auch die gelagerte Menge an Testgülle eine Rolle spielen dürfte. Ein weiterer Faktor, der die CH_4-Bildung in der Gülle beeinflusst, ist die Lagertemperatur (hier 35° C; Hashimoto 1989). Andere Autoren wie Steed und Hashimoto (1994) führten ihre Inkubationen bei 10° C, 20° C und 30° C durch. Klevenhusen *et al.* (2010) inkubierten Gülle bei 14° C und 27° C, was den von der IPCC (2006) angenommenen Werten für kalte und warme Klimazonen entspricht. Die Ergebnisse der aktuellen Studie zeigen, dass die Entwicklung einheitlicher Protokolle für die Bestimmung von CH_4-Emissionen aus der Gülle unter Laborbedingungen nötig ist.

Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie zeigt, dass es grosse Unterschiede zwischen dem maximalen CH_4-Bildungspotenzial von Winter- und Sommergülle gibt. Es muss geklärt werden ob diese Unterschiede auf vorherige Fermentation im Güllelager zurückzuführen sind, auf unterschiedliche Mikrobenpopulationen, oder auf jahreszeitlich unterschiedliche Niederschlagsmengen und Temperaturschwankungen. Bevor spezifische Daten für die Schweiz ermittelt werden können, ist es erforderlich, die Datenbasis auf die ganze Schweiz auszuweiten (u.a. auch Bergregionen). Zudem müssen die experimentellen Methoden, mit denen die CH_4-Emissionen erfasst werden, standardisiert werden. ■

Dank
Diese Studie wurde von den Schweizer Bundesämtern für Landwirtschaft und Umwelt unterstützt. Danke auch an alle Betriebe für die gute Kooperation.

Literatur

- ALP (Agroscope Liebefeld-Posieux), 2008. Fütterungsempfehlungen und Nährstofftabellen für Wiederkäuer. Onlineversion. Zugang: http://www.agroscope.admin.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=de. [1. November 2011].
- Amberger A., Vilsmeier K., & Guster R., 1982. Stickstofffraktionen verschiedener Güllen und deren Wirkung im Pflanzenversuch. Z. Pflanzenernähr. *Bodenk.* **145**, 325–336.
- Amon T., Kryvoruchko V., & Amon B., 2004. Methane production from maize, grassland and animal manures through anaerobic digestion. *In:* FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture: RAMIRAN 2004, 11th International Conference, 6.-9. Oktober 2004, Murcia, Spain, Vol. II, 175 – 178.
- Hashimoto A.G., 1989. Effect of inoculum substrate ratio on methane yield and production rate from straw. *Biol. Wastes* **28** (4), 247–255.
- Hindrichsen I.K., Wettstein H.R., Machmüller A., & Kreuzer M., 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agric. Ecosyst. Environ.* **113** (1 – 4), 150 – 161.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. **4** | Agriculture, forestry and other land use (Eds H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe). 10.1 – 10.87.
- Klevenhusen F., Bernasconi S.M., Kreuzer M., & Soliva C.R., 2010. Experimental validation of the Intergovernmental Panel on Climate Change default values for ruminant-derived methane and its carbon-isotope signature. *Anim. Prod. Sci.* **50** (3), 159–167.
- Külling D.R., Menzi H., Krober T.F., Neftel A., Sutter F., Lischer P., & Kreuzer M., 2001. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *J. Agric. Sci.* **137** (2), 235–250.
- Massé D., Gilbert Y., Savoie P., Belanger G., Parent G., & Babineau D., 2010. Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. Biores. *Technol.* **101** (24), 9536–9541.
- Møller H.B., Sommer S.G., & Ahring B.K., 2004. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *J. Environ. Qual.* **33** (1), 27–36.
- Muller T., 2010. Auswertung der Daten über die Milchproduktion, Milchjahr 2008/2009. Zugang: http://www.blw.admin.ch/themen/00013/00079/index.html?lang=de [1. November 2011]
- Sommer S.G., Petersen S.O., Sørensen P., Poulsen H.D., & Møller H.B., 2007. Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **78** (1), 27–36.
- Steed J., & Hashimoto A.G., 1994. Methane emissions from typical manure management systems. *Biores. Technol.* **50** (1), 123–130.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., & de Haan C. (editors), 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, Italien.
- Vedrenne F., Beline F., Dabert P., & Bernet N., 2008. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. *Biores. Technol.* **99** (1), 146–155.

Riassunto

Influenza della stagione e dell'alimentazione sulle emissioni di metano dai liquami svizzeri

In assenza di dati nazionali, il budget dei gas serra viene calcolato per mezzo dei cosiddetti valori standard IPCC. Il valore standard attualmente assunto per il potenziale massimo di formazione di metano (B_0) dei liquami svizzeri è di 240 litri di metano (CH_4) per chilogrammo di sostanza volatile (VS). Nel presente studio sono stati collezionati liquami provenienti da 64 aziende produttrici di latte, situate nei più importanti cantoni svizzeri produttori di latte. I campioni sono stati prelevati sia da aziende foraggianti silaggi, sia da aziende prive di silaggi nelle razioni (a rappresentare i due tipici sistemi di produzione lattiera). I campionamenti sono stati effettuati sia in inverno, sia in estate. Le aziende sono state inoltre suddivise secondo il loro livello di produzione annuale di latte. B_0 è stato determinato in seguito ad un'incubazione dei liquami a 35 °C per 14 settimane. Per i liquami invernali sono stati determinati valori di B_0 tra 241 e 314 l CH_4/kg VS, per i liquami estivi tra 35 e 62 l CH_4 /kg VS. Questi valori di B_0 inferiori potrebbero essere dovuti ad una precedente fermentazione nella cisterna del liquame o ad una forte diluizione dovuta alla pioggia. Sebbene la composizione nutritiva delle razioni e delle sostanze volatili (VS) abbiano mostrato differenze significanti, né l'alimentazione degli animali, né il loro livello di produzione lattiera hanno influenzato il valore di B_0. I risultati mostrano che ulteriori differenze nell'alimentazione del bestiame e nella gestione dei liquami devono essere prese in considerazione, al fine di individuare i valori specifici del paese.

Summary

Effect of season and feeding on methane emission from Swiss dairy cow slurry

Due to the lack of country-specific data, the so-called IPCC default values are often taken for calculating greenhouse gas budgets. The default value to be applied for Switzerland for the ultimate methane (CH_4) production capacity (B_0) of slurry amounts to 240 l CH_4/kg volatile solids (VS). In the present study, slurry from 64 dairy farms representing all major Swiss milk producing Cantons was collected. Sampling took place both in winter and summer on farms feeding either silage or no silage (two major Swiss dairy cattle feeding systems). Farms were further classified by their annual milk yield. B_0 was determined by incubating the slurry at 35 °C for 14 weeks. Winter slurry resulted in a B_0 ranging between 241 and 314 l CH_4/kg VS, summer slurry B_0 ranged between 35 and 62 l CH_4/kg VS. This low B_0 could have resulted from previous fermentation in the slurry ponds or strong dilution through precipitation. Annual milk yield and feeding system did not influence B_0, even though nutrient composition of diets and VS differed significantly. The results indicate that further differences in feeding and slurry management have to be considered in developing country-specific data.

Key words: methane, slurry, dairy farms, IPCC default value.