

Serie Tieremissionen

Methanemissionen von weidenden Milchkühen: Vergleich zweier Messmethoden

Andreas Münger¹, Thomas Denninger^{1,2}, Cécile Martin³, Lukas Eggerschwiler¹ und Frigga Dohme-Meier¹

¹Agroscope, 1725 Posieux, Schweiz

²ETH, Institut für Agrarwissenschaften, Tierernährung, 8092 Zürich, Schweiz

³UMR1213 Herbivores, INRA, 63122 Saint-Genès-Champanelle, Frankreich

Auskünfte: Andreas Münger E-Mail: andreas.muenger@agroscope.admin.ch



Abb. 1 | Milchkuh mit der Ausrüstung der Schwefelhexafluorid (SF₆)-Marker-Technik zur kontinuierlichen Sammlung der Atemluft, in der anschliessend die Methankonzentration bestimmt wird.
(Foto: Andreas Münger, Agroscope)



Abb. 2 | Eine Milchkuh besucht das Greenfeed-System, wo die Methanemissionen punktuell erfasst werden.
(Foto: Andreas Münger, Agroscope)

Einleitung

Wiederkäuer sind für 80 % der landwirtschaftlichen Methanemissionen in der Schweiz verantwortlich (BAFU 2018). Methan entsteht bei der Fermentation des Futters im Pansen und stellt für das Tier einen Energieverlust dar, der sich zwischen 2 und 12 % der Bruttoenergieaufnahme belaufen kann (Johnson & Johnson, 1995). Ausserdem ist Methan ein potentes Treibhausgas. Zwar sind die Emissionen in der Schweiz seit 2000 ungefähr konstant geblieben (BAFU 2018), in der Klimastrategie Landwirtschaft des Bundes wird aber das Ziel vorgegeben, die Methanemissionen nachhaltig zu senken. Um Minderungsstrategien in der Tierhaltung beurteilen zu

können, sind Methoden nötig, die vor allem im Grasland Schweiz auch bei weidenden Rindern angewendet werden können. Die Schwefelhexafluorid (SF₆)-Marker-Technik ist eine etablierte Methode (Johnson *et al.* 1994), die bei sich frei bewegenden Tieren eingesetzt werden kann, jedoch sehr aufwändig und arbeitsintensiv ist. Eine Alternative kann das GreenFeed (GF) System (C-Lock Inc., Rapid City, SD, USA) sein (Hristov *et al.* 2016). Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um eine mobile Futterstation. Bei den Besuchen dieser Futterstation werden Respirationsmessungen einschliesslich des abgegebenen Methans gemacht. Bisher ist aber noch

nicht abschliessend geklärt, über welchen Zeitraum diese punktuellen Messungen zusammengefasst werden müssen, um verlässliche Aussagen zu den täglichen Methanemissionen pro Tier treffen zu können. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, Messungen mit dem GF-System über unterschiedliche Zeitspannen durchzuführen und diese mit den Messungen, die parallel mit der SF₆-Technik durchgeführt worden sind, zu vergleichen.

Material und Methoden

Die Messungen wurden bei Agroscope am Standort Poisieux mit 13 multiparen Milchkühen der Rasse Holstein durchgeführt. Die Kühe, welche eine mittlere Milchleistung von $21,7 \pm 4,7$ kg pro Tag erreichten, weideten Tag und Nacht und erhielten kein Ergänzungsfutter; Mineralstoffe standen ihnen in Form einer Leckschale auf der Weide zur Verfügung. Vor Beginn der Messungen wurde allen Kühen ein Bolus, welcher SF₆ in definierter täglicher Menge freisetzt, mit einem Applikator in den Vormagen eingegeben. Während fünf Tagen wurden anschliessend Proben der Atemluft an den Nüstern entnommen und über eine Kapillare in einem Kanister mit Unterdruck gesammelt, der auf dem Rücken der Kuh fixiert wurde (Abb. 1). Der Kanister wurde täglich ausgetauscht und die SF₆- und Methankonzentration wurden in den Tagesproben gaschromatografisch analysiert. Über den gleichen Zeitraum konnten die Kühe auf der Weide das GF-System besuchen (Abb. 2), wobei die Anzahl Besuche auf sechs pro Tag limitiert war. Bei jedem Besuch erhielten die Tiere im Abstand von 20 Sekunden kleine (33g) Portionen eines Lockfutters (melassierte Maisganzpflanzenwürfel), maximal acht pro Besuch. Während des Fressens wurde die Methankonzentration in der ausgeatmeten Luft analysiert. Nach Abschluss der Erhebungen mit der SF₆-Technik wurden die Messungen mit dem GF-System noch weitere sechs Tage fortgeführt. Die Methanabgabedaten aus der SF₆-Methode wurden über fünf Tage gemittelt und mit den Messdaten, welche mit dem GF-System erfasst und über fünf (GF5), sieben (GF7) oder elf Tage (GF11) gemittelt worden sind, verglichen.

Resultate und Diskussion

Die durchschnittliche Anzahl der Besuche am GF-System pro Tier lag bei $1,64 \pm 0,72$ für GF5 und stieg für GF7 auf $2,23 \pm 0,56$ beziehungsweise auf $2,24 \pm 0,52$ für GF11. Eine ähnliche Anzahl Besuche wurde auch in anderen Studien beobachtet (zusammengefasst von Waghorn

Zusammenfassung ■ Methanemissionen bei sich frei bewegenden Wiederkäuern können auf unterschiedliche Art und Weise gemessen werden. In einer Studie mit 13 weidenden Milchkühen wurden bei Agroscope zwei Methoden miteinander verglichen. Die Schwefelhexafluorid (SF₆)-Marker-Technik ist eine etablierte Methode, die jedoch vergleichsweise aufwändig ist. Hierbei wurde den Kühen ein Bolus, der SF₆ in definierter Menge freisetzt, verabreicht. Während der Messungen wurde über eine durchflussgeregelter Kapillare aus dem Bereich der Nüstern kontinuierlich eine Probe der Atemluft in einem Kanister gesammelt und anschliessend analysiert. Zeitgleich konnten die Tiere das Greenfeed (GF) System besuchen. Das System ist wie eine mobile Kraftfutterstation aufgebaut, bei deren Besuch die Methanmenge in der ausgeatmeten Luft analysiert wird. Ziel der Studie war es, Messungen mit dem GF während fünf, sieben und elf Tagen durchzuführen und diese mit den Messungen zu vergleichen, die parallel mit der SF₆-Technik während fünf Tagen gemacht wurden. Die Emissionen, die mit dem GF gemessen wurden, waren höher als die mit der SF₆-Technik bestimmten Werte. Die Korrelation zwischen den Messwerten der beiden Methoden war moderat und verbesserte sich kaum, wenn beim GF die Anzahl berücksichtigter Messtage von fünf auf elf Tage erhöht wurde.

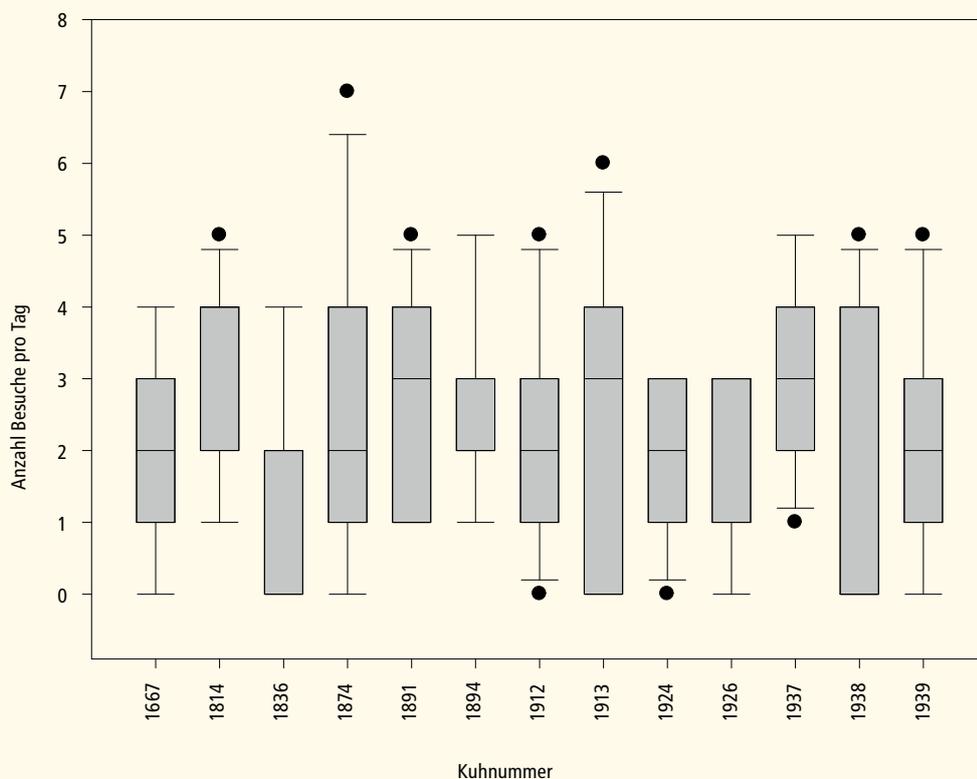


Abb. 3 | Verteilung der Anzahl täglicher Besuche der Kühe am Greenfeed-System (gemittelt über 11 Tage).

et al. 2016). Manafaziar et al. (2017) empfehlen, mindestens 20 Besuche über sieben bis 14 Tage für einen verlässlichen Wert zusammenzufassen. Im vorliegenden Versuch waren es im Mittel pro Kuh für GF5 8 (Einzelwerte 2 bis 15), für GF7 16 (10 bis 23) und für GF11 25 (17 bis 36) Besuche. Die Motivation der Kühe, das GF System zu besuchen, kann erheblich schwanken (Abb. 3). Es wird sogar berichtet, dass einzelne Kühe das System komplett meiden (Waghorn et al. 2013). Als potenziell wichtige Einflussfaktoren können die Verfügbarkeit und Zugäng-

lichkeit der GF-Station (Distanzen auf der Weide) und die Attraktivität des Lockfutters im Vergleich zur Basisration genannt werden. Systematische Untersuchungen dazu fehlen jedoch noch. Die Herdendynamik respektive -hierarchie scheint weniger von Bedeutung zu sein. Falls doch, wäre dies eher als Hinweis für eine Überbelegung der GF-Station zu werten.

Die Methanemissionswerte pro Kuh und Tag, die mit dem GF-System bestimmt wurden, waren numerisch am höchsten in GF5 gefolgt von GF7 und GF11 (Tab. 1).

Tab. 1 | Methanemissionen gemessen mit der SF₆-Technik und dem Greenfeed System

	Methode		SEM	P-Wert	Korrelationskoeffizient	P-Wert
	GF System CH4 g/Tag	SF ₆ -Technik – 5 Tage CH4 g/Tag				
GF5	331	245	13,0	< 0,001	0,57	0,042
CV %	17,2	9,5				
GF7	318	245	10,2	< 0,001	0,59	0,036
CV %	16,6	9,5				
GF11	311	245	10,3	< 0,001	0,62	0,025
CV %	17,3	9,5				

GF5 GF7, GF11: Messungen mit dem Greenfeed System über 5, 7 bzw. 11 Tage; SEM: Standardfehler des Mittelwerts; CV: Variationskoeffizient

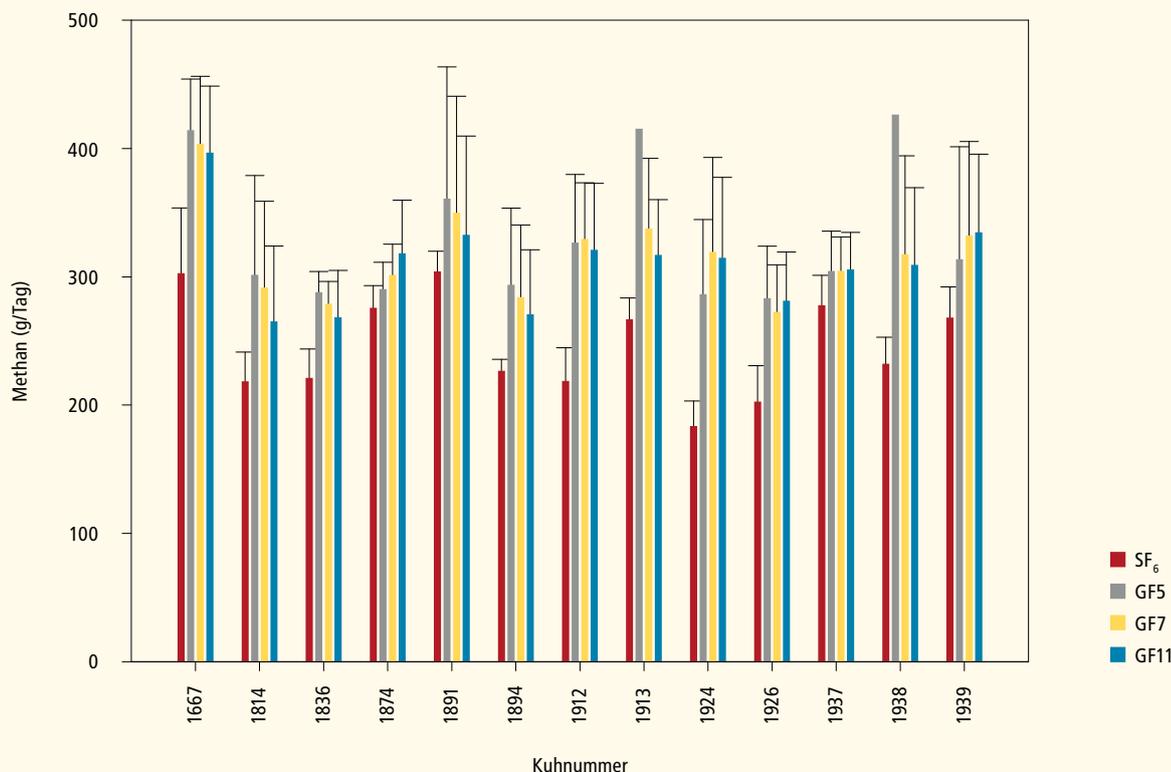


Abb. 4 | Methanemissionen (mit Standardabweichung) der einzelnen Milchkühe, gemessen mit der SF₆-Technik einerseits und dem Green-feed-System, gemittelt über 5 (GF5), 7 (GF7) oder 11 Tage (GF11) andererseits.

Der Einfluss der Anzahl Messtage auf die mittlere Methanemission war nicht sehr ausgeprägt. Die gemessenen Emissionen sind vergleichbar mit Werten aus einer Studie von Waghorn *et al.* (2016), wo ebenfalls das GF System bei weidenden Milchkühen zum Einsatz kam und Methanausscheidungen in einem Bereich von 298 bis 333 g/Tag gemessen wurden. In Abbildung 4 sind die täglichen Methanemissionen der einzelnen Milchkühe dargestellt. Hier fällt auf, dass bei gleichem Fütterungstyp die täglichen Emissionen zwischen den Tieren recht stark variieren können. Auch wenn dies vor allem durch die unterschiedlichen Verzehrsmengen bedingt ist, können weitere tierspezifische Faktoren eine Rolle spielen. Dies bestätigten Beobachtungen von Lassey *et al.* (1997), die auf Unterschiede in den Emissionen zwischen Tieren derselben Rasse bei gleicher Fütterung und mit ähnlichem Produktionsniveau hinweisen. De Haas *et al.* (2017) gehen davon aus, dass die Höhe der Methanausscheidungen auch teilweise vererbbar sein könnten. Der Vergleich der beiden Methoden (GF-System vs. SF₆-Technik) ergab, dass unabhängig von den berücksichtigten GF-Messtagen die mit dem GF-System ermittelten Emissionswerte grundsätzlich höher lagen als jene, die mit der SF₆-Technik gemessen wurden (Tab. 1).

Bisher durchgeführte Vergleiche der beiden Methoden zeigen hinsichtlich der Bestimmung der täglichen Methanemissionen kein einheitliches Bild. So beobachteten Hristov *et al.* (2016) bei Milchkühen höhere Emissionen mit der SF₆-Technik verglichen mit dem GF-System, während Jonker *et al.* (2016) tiefere Werte für die SF₆-Technik feststellten, wenn Emissionen bei Mastriestern gemessen wurden. Der Spearman-Korrelationskoeffizient zwischen den Methoden in der vorliegenden Untersuchung war moderat, wenn fünf Messtage beim GF-System (0,57) berücksichtigt wurden und verbesserte sich kaum, wenn sieben (0,59) beziehungsweise elf Tage (0,62) herangezogen wurden.

Die grössere Variation der Tageswerte vom GF-System im Vergleich zur SF₆-Technik, welche sich in den berechneten Variationskoeffizienten zeigte, ist vermutlich methodisch bedingt: Ein SF₆-Wert ist ein Durchschnitt von integral über 24 Stunden gesammelten Proben, während sich die GF-Werte aus einer Zusammenfassung von Spotmessungen über einen festgelegten Zeitraum ergeben. Sie können somit zusätzlich zu den physiologischen Schwankungen auch durch eine von Tag zu Tag unterschiedliche Zahl Besuche und eine ungleichmässige Verteilung der Besuche im Tagesverlauf beein-

flusst werden. Der letztere Faktor ist in erster Linie von Belang, wenn das GF-System im Stall verwendet wird. Hier kann es aufgrund von limitierten Fütterungszeiten oder einer inhomogenen Tagesration vorkommen, dass die Methanemissionen einen ausgeprägten Tagesgang zeigen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass realistische Messungen mit dem GF System durchgeführt werden können, wenn die Tiere möglichst jederzeit das System nutzen können und eine ausreichende Anzahl von Messtagen, wie weiter oben schon diskutiert wurde, berücksichtigt werden.

Schlussfolgerungen

Die Emissionswerte, die mit dem GF-System ermittelt wurden, unterscheiden sich in dieser Untersuchung von jenen, die mit der SF₆-Technik bestimmt wurden. Aus-

gehend vom Tiertyp und Produktionsniveau erscheinen die GF-Werte glaubwürdiger als die SF₆-Werte. Die Unterschiede konnten auch nicht vermindert werden, wenn die Anzahl berücksichtigter Messtage beim GF erhöht wurde. Diesbezügliche Empfehlungen aus anderen Untersuchungen können weitgehend bestätigt werden. Bei einer Entscheidung für die eine oder andere Methode muss berücksichtigt werden, dass bei der SF₆-Technik verschiedene teilweise schwierig zu kontrollierende Faktoren einen grossen Einfluss auf die Messqualität haben, wie zum Beispiel die tatsächliche Markerfreisetzung, die gleichmässige Probensammlung und die anspruchsvolle Analytik. Dagegen ist das GF-System technisch vergleichsweise einfach und gut kontrollierbar aufgebaut und erlaubt beispielsweise eine kontinuierliche Erfassung der Methanemissionen über die gesamte Laktationsdauer. ■

Literatur

- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2018. Landwirtschaft als Luftschadstoffquelle. Zugang: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html> [05.03.2018].
- De Haas Y., Pszczola M., Soyeurt H., Wall E. & Lassen J., 2017. Invited review: Phenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. *J. Dairy Sci.* **100**, 855–870.
- Lassey K.R., Uylatt M.J., Martin R.J., Walker C.F. & Shelton I.D., 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmos. Environ.* **31**, 2905–2914.
- Hristov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T., Harper M.T., Weeks H., Branco A.F., Price W.J., Moate P.W., Deighton M.H., Williams S.R.O., Kindermann M. & Duvall S., 2016. Short communication: Comparison of the GreenFeed system with the sulfur hexafluoride tracer technique for measuring enteric methane emissions from dairy cows. *J. Dairy Sci.* **99**, 5461–5465.
- Johnson K., Huyler M., Westberg H., Lamb B. Zimmerman P., 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environ. Sci. Technol.* **28**, 359–362.
- Johnson K. A. & Johnson D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* **73**, 2483–2492.
- Jonker A., Molano G., Antwi C. & Waghorn G.C., 2016. Enteric methane and carbon dioxide emissions measured using respiration chambers, the sulfur hexafluoride tracer technique, and a GreenFeed head-chamber system from beef heifers fed alfalfa silage at three allowances and four feeding frequencies. *J. Anim. Sci.* **94**, 4326–4337.
- Manafiazar G., Zimmerman S. & Basarab J.A., 2017. Repeatability and variability of short-term spot measurement of methane and carbon dioxide emissions from beef cattle using GreenFeed emissions monitoring system. *Can. J. Anim. Sci.* **97**, 118–126.
- Waghorn G.C., Garnett E.J., Pinares-Patino C.S. & Zimmerman S., 2013. Implementation of GreenFeed in a dairy herd grazing pasture. *Adv. Anim. Biosci.* **4**, 436.
- Waghorn G., Jonker A. & Macdonald K.A., 2016. Measuring methane from grazing dairy cows using. *Animal Prod. Sci.* **56**, 252–257.

Riassunto**Emissioni di metano delle vacche da latte al pascolo: confronto di due metodi di misurazione**

Le emissioni di metano dei ruminanti al pascolo possono essere misurate usando diversi metodi. In uno studio condotto presso Agroscope su 13 vacche da latte al pascolo, sono stati confrontati due metodi. La tecnica che fa uso di marcatori di esafluoruro di zolfo (SF_6) è un metodo consolidato ma molto complicato se confrontato con altri metodi. Alle vacche è stato somministrato un bolo che rilascia SF_6 in una determinata quantità. Tramite un capillare a flusso controllato dalle narici, sono stati continuamente raccolti in un contenitore i campioni d'aria respirata che sono stati in seguito analizzati. Durante le misurazioni gli animali potevano alimentarsi con il sistema Greenfeed (GF), una stazione di foraggiamento mobile in grado di misurare il tenore di metano nell'aria espirata durante l'avvicinamento volontario degli animali. L'obiettivo dello studio era quello di confrontare le misurazioni effettuate con il metodo GF durante cinque, sette e undici giorni con le misurazioni effettuate in parallelo con la tecnica SF_6 nell'arco di cinque giorni. I risultati hanno mostrato come le emissioni misurate con il sistema GF erano maggiori rispetto a quelle determinate con la tecnica SF_6 . La correlazione tra i valori misurati con i due metodi è risultata moderata ed è leggermente migliorata quando il periodo di misurazione con il GF è stato esteso da cinque a undici giorni.

Summary**Methane emission from grazing dairy cows: comparison of methods**

Methane emission from free-ranging ruminants can be measured in different ways. In a study with 13 grazing dairy cows, Agroscope compared two methods. The sulfur hexafluoride (SF_6) tracer technique is an established method, but its application is challenging and laborious. Before the measurements started, the cows were equipped with a calibrated permeation tube releasing SF_6 in the forestomach. During the measurements, when the SF_6 tracer technique and the GreenFeed (GF) system were applied simultaneously, daily individual respiration gas samples were collected through a flow-control capillary into evacuated canisters fixed on the cows' back and analyzed subsequently. The GF system is a mobile device measuring respiration gas output during voluntary visits of a feeding station. The aim of the study was to perform measurements with the GF system over five, seven and eleven days and to compare them with the measurements that were carried out in parallel with the SF_6 technique over five days. The methane emissions estimated by GF were higher than those obtained using the SF_6 technique. The correlation between methods was moderate and became hardly better when the measurement period with the GF was extended from five to eleven days.

Key words: methane emission, SF_6 , GreenFeed, dairy cow, pasture.