



Methanbildung und Grundfutter beim Wiederkäuer

Michael KREUZER, Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Tierernährung, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

Nach der Klimakonvention von Rio sind Daten zur Methanemission und Möglichkeiten zu ihrer Reduktion zu erarbeiten. Der Beitrag der landwirtschaftlich gehaltenen Wiederkäuer zur gesamten Methanemission wird weltweit auf etwa 15 % geschätzt. Ein Vergleich von grundfutterreichen und kraffutterreichen Rationen für Wiederkäuer unter Berücksichtigung der methanreduzierenden Aktivität von Böden könnte wichtige Hinweise für künftige Fütterungsstrategien ergeben.

Seit die Zusammenhänge des Methankreislaufs auf der Erde (Abb. 1) und das klimarelevante Potential des Methans erkannt wurden, hat die Methanausscheidung beim Wiederkäuer eine Wandlung von einer unbequemen Energieverlustquelle zu einem bedrohlichen Faktor für die Umwelt vollzogen. Daten zur globalen Methanemission finden sich bei Crutzen *et al.* (1986). Neben dem Wiederkäuer erweisen sich als wichtige Quellen: Feuchtgebiete (32 %), der Umgang mit fossilen Energieträgern (19 %), Verbrennung von Biomasse (11 %), Müllhalden (9 %), Reisfelder (9 %) sowie Wildtiere und Insekten (4 %). Grub und Fuhrer (1995) schätzen den Beitrag der Wiederkäuer in der Schweiz auf rund 45 % des inländischen Methananfalls, hinzu kommt der Beitrag aus der Hofdüngerlagerung. Für Deutschland (alte Bundesländer) wird der Anteil der Wiederkäuer nur auf 25 % geschätzt (Crutzen 1992), möglicherweise wegen der hohen Verluste aus dem Kohlebergbau und aus Müllhalden. Beim Wiederkäuer stellt die Fütterung die primäre Ursache der Methanbildung dar. Aus Exaktversuchen in Respirationskammern sind wesentliche Einflüsse der Rationszusammensetzung bekannt (zusammengestellt von Blaxter und Clapperton 1965; Moe und Tyrrell 1979; Kirchgessner *et al.* 1991; Johnson *et al.* 1993; Moss 1994), so dass es möglich ist, gebräuchliche Fütterungssysteme zu vergleichen.

Bezugsgrösse, um Methanbildung zu bewerten

Um die Auswirkungen von Fütterungssystemen einzuordnen, ist die Wahl der Bezugsgrösse von entscheidender Bedeu-

tung. Prinzipiell geht es ja darum, die global oder, enger gefasst, die pro Land gebildete Methanmenge zu verringern. Nur bei einer fixen Tierpopulation ist daher der Wert je Tier und Tag aussagekräftig. Durch Änderung des Fütterungssystems verschiebt sich jedoch möglicherweise auch die Tierzahl. So werden bei extensiver Fütterungsweise weniger Tiere gehalten, und der Bezug müsste pro Flächeneinheit gewählt werden. In vielen Ländern besteht jedoch eigentlich das Ziel, einen gegebenen Bedarf an Lebensmitteln bei gleichzeitig möglichst geringerer Emission zu decken. Hier ist die entscheidende Bezugsgrösse die gebildete

Methanmenge je Einheit Produkt, also Milch und Fleisch. In Westeuropa wird bei der Milchviehhaltung die Vergleichbarkeit solcher Angaben durch die Kontingentsbegrenzung der Menge sichergestellt, vorausgesetzt, es ergeben sich keine wesentlichen Verschiebungen in anderen Nutzungsrichtungen (Aufzucht, Mast). In graswürfel-/heubetonen Rationen wurde von Kirchgessner *et al.* (1991) folgende Beziehung ermittelt:

$$\text{Methan (g/kg Milch)} = 4,6 + 196/\text{Milchmenge (kg/Tag)}$$

Diese Beziehung verändert sich aber, wenn die Rationszusammensetzung gleichzeitig mit der Leistung variiert. Schliesslich ist zur ursächlichen Beurteilung von Verschiebungen der Bezug der Methanfreisetzung zur verdaulichen organischen Substanz oder, falls verfügbar, zur fermentierten organischen Substanz von Interesse.

Kohlenhydrate und Methan

Basis des Verständnisses für die unterschiedliche Einstufung von grund- und kraffutterbetonten Rationen ist die Kenntnis der methanogenen Wirkung verschiedener Kohlenhydrate. Methanogene Bakterien sind zumeist zellulolytisch aktiv. So erklärt sich, dass aus zellulosereichem Futter mehr Methan gebildet wird als bei der Fermentation von Stärke oder Zucker. Auch beim Stärkeabbau wird Wasserstoff frei, er wird aber vermehrt über die Propionsäurebildung statt über Methan verwertet, was vor allem in der Mast auch energetisch als günstig zu bewerten ist. Diese Zusammenhänge erklären die inverse Beziehung zwischen Methan und Propionsäure im Pansensaft beim Vergleich von Rationen mit unterschiedlicher Kohlenhydrat-Zusammensetzung (Demeyer und Van Nevel 1975). Im Modellversuch mit Futter auf Basis reiner Nährstoffe zeigte sich, dass je Einheit verabreichter Zellulose ungefähr doppelt soviel Methan gebildet wird wie je

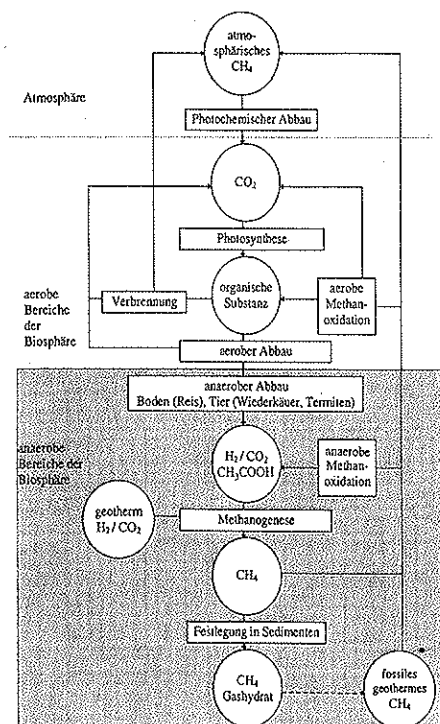


Abb. 1. Der Methankreislauf auf der Erde (nach Heyer 1990).

Einheit Stärke (Tab. 1), sei sie schwer (resistente Stärke) oder leicht pansenabbaubar (Quellstärke). Da Zellulose schlechter fermentierbar ist als Stärke, waren die Unterschiede im Methan zwischen den Gruppen bezogen auf verdauliche organische Substanz sogar noch deutlicher. Aber auch zwischen verschiedenen faserartigen Kohlenhydraten scheint es gewisse Unterschiede im Methanbildungsvermögen zu geben. Dies belegen die höheren Regressionskoeffizienten für Zellulose im Vergleich zu Hemizellulosen und Restkohlenhydraten in den Berechnungen von Moe und Tyrrell (1979). Zudem scheinen die Veränderungen im Methan bei Austausch verschiedener Kohlenhydrate nicht ganz linear (Johnson *et al.* 1993) und auch nicht unabhängig von der Fütterungsintensität zu sein. Nach Moe und Tyrrell (1979) verstärken sich die Unterschiede in der Methanbildung zwischen einzelnen Faserkohlenhydraten mit steigendem Fütterungsniveau. Da viele Daten, wie auch die häufig zitierten ursprünglichen Regressionen von Blaxter und Clapperton (1965), nur auf niedrigem Fütterungsniveau ermittelt wurden, sind lineare Extrapolationen nicht ohne weiteres gerechtfertigt. Für frischlaktierende Milchkühe und Masttiere sind somit die Verhältnisse einer hohen Fütterungsintensität anzusetzen, für Aufzuchttrinder, trockenstehende Kühe, und für Kühe am Laktationsende kann dagegen mit Werten gerechnet werden, wie sie auf dem Erhaltungsniveau ermittelt wurden.

Methansenke Grünland?

Aufsehenerregende Publikationen (z.B. Mosier *et al.* 1991; Hütsch *et al.* 1994) haben aufgezeigt, dass der Boden unter Grünland mehr Methan aus der Atmosphäre oxidiert als derjenige unter Acker (Tab. 2). Allerdings sinkt die methanreduzierende Tätigkeit des Bodens (Abb. 1) unter Grünland mit zunehmender Bewirtschaftungs-/Düngeintensität. Die günstigsten Verhältnisse liegen somit unter extensiv genutztem Grünland vor. Eine mittlere Stellung nimmt intensiv genutztes Grünland ein, während Ackerfütterbau (einschliesslich die Erzeugung von Kraftfutterrohkomponenten) am ungünstigsten einzustufen ist. Im Vergleich zur täglich je Hektar von den Tieren erzeugten Methanmenge (1 bis 3 Kühe entsprechen 1 bis 3 Düngergrossvieheinheiten je Hektar mit 300 bis 1000 g Methan je Hektar und Tag) scheint die tägliche Aufnahme des Bodens

Tab. 1. Methanbildung aus unterschiedlichen, reinen Kohlenhydraten beim Schaf (berechnet nach Kreuzer *et al.* 1986)

dominierendes Kohlenhydrat	Zellulose	Resistente Stärke	Quellstärke
Zelluloseanteil (%)	73	31	31
Maisstärkeanteil (%)	0	42	42
Methan (g/Tier und Tag)	14,9	8,7	8,9
Methan (g/kg VOS*)	27,7	13,7	14,2

* verdauliche organische Substanz

Tab. 2. Methanaufnahme von Böden unterschiedlich genutzter Flächen* (nach Mosier *et al.* 1991)

Fläche	Methanaufnahme der Fläche (g CH ₄ pro Hektar und Tag)
Natürliche Prärie	
schluffiger Lehm:	
-ungedüngt	4,8 ± 1,7
-gedüngt	4,8 ± 2,1
sandiger Lehm:	
-ungedüngt	8,4 ± 2,8
-gedüngt	5,5 ± 1,9
Dauergrünland	
-ungedüngt	7,7 ± 2,5
-gedüngt	5,1 ± 2,4
Ackerbau	
Weizen (im Wechsel mit Brachland)	1,7 ± 0,8
Brachland (im Wechsel mit Weizen)	2,4 ± 1,1
angrenzende Vergleichsfläche mit Dauergrünland	3,5 ± 1,5

* Gasprobennahme aus geschlossenen Kammern über definierten Flächen

allerdings gering zu sein (Tab. 2). Da die bisherigen Untersuchungen zur Methanaufnahme unterschiedlicher Böden eher qualitativen als quantitativen Charakter aufweisen, wären daraus abgeleitete Berechnungen der Gesamtbilanzen jedoch verfrüht.

Grund- oder kraffutterdominierte Ration?

In Tabelle 3 sind drei grundsätzliche Szenarien von Fütterungssystemen, wie sie bei Milch- und Mutterkühen gebräuchlich sind, in ihren mutmasslichen Auswirkungen auf die Methanfreisetzung gegenübergestellt. Die Szenarien stellen realistische Alternativen in der Produktion dar, wie sie zurzeit auf einzelbetrieblicher Ebene diskutiert werden.

Szenario 1 (Tab. 3), das in der Schweiz aus verschiedenen sinnvollen Gründen bevorzugte Fütterungssystem, stellt hinsichtlich der Methanfreisetzung vom Tier eine eher ungünstige Alternative dar. Hier wird eine relativ hohe Milchleistung durch eine gut verdauliche, faserreiche Ration erzeugt. Im Vergleich dazu führt eine stärkereiche, kraffutterdomi-

nierte Ration (Szenario 2), wie sie vielerorts in ackerbaudominierten Regionen üblich ist, zur gleichen Leistung, aber zu geringerer Methanfreisetzung. Dies kann aus den aufgezeigten Zusammenhängen abgeleitet werden, wenn auch die Differenz in der Methanausscheidung zwischen grundfutter- und kraffutterbetonten Rationen nicht 100 % beträgt, wie dies beim Einsatz der reinen Nährstoffe (Tab. 1) der Fall ist. Nach der Zusammenstellung von Johnson *et al.* (1993) ist bei einer moderaten Ergänzung von grundfutterreichen Rationen mit Kraffutter möglicherweise nur mit geringen Rückgängen im Methan zu rechnen. Erst bei amerikanischen Feedlot-Bedingungen mit fast reinen Kraffutterrationen in der Rindermast war der Rückgang beträchtlich. Inwieweit dies für die Supplementierung von schlechtem Grundfutter mit Kraffutter gilt, ist ungeklärt, weil sich die Faserverdauung bei stufenweiser Stärkezulage in der Regel linear verhält (Kirchgessner *et al.* 1985). Dies ist nur dann nicht der Fall, wenn über ein stärkerreiches Futtermittel gleichzeitig eine Limitierung der Pansenfermentation, zum Beispiel an Stickstoff, aufgehoben wird.

Tab. 3. Rationstypen in der Fütterung von Kühen und ihre Auswirkungen auf die Methanbildung

Szenario	Grundfutterqualität	Kraffutteranteil	Situation	Methan je Tier	Methan je kg Milch
1	sehr gut	wenig	Schweiz Süddeutschland	hoch	mittel-hoch
2	mittel	viel	Holland, USA Norddeutschland	mittel	mittel
3	mittel	entfällt	Extensivierung	gering	hoch

Tab. 4. Auswirkung von Strohaufschluss auf die Methanbildung beim Schaf (berechnet nach Moss *et al.* 1994)

	Strohaufschlussverfahren		
	keines	NH ₃	NaOH
ad libitum-Aufnahme (g/Tag)			
Trockenmasse	615	1051	1141
verdauliche organische Substanz	332	597	631
Methan (g)			
je Tier und Tag	12,9	19,0	21,9
je kg verdauliche organische Substanz	38,8	31,8	34,7

Künftige Messungen und Berechnungen müssen zeigen, ob und inwieweit sich die intensive Fütterung mit grundfutter- und mit kraffutterdominierten Rationen in der Gesamtmethanbilanz, bestehend aus tierischer Ausscheidung und Abbau im jeweiligen Boden, tatsächlich unterscheiden.

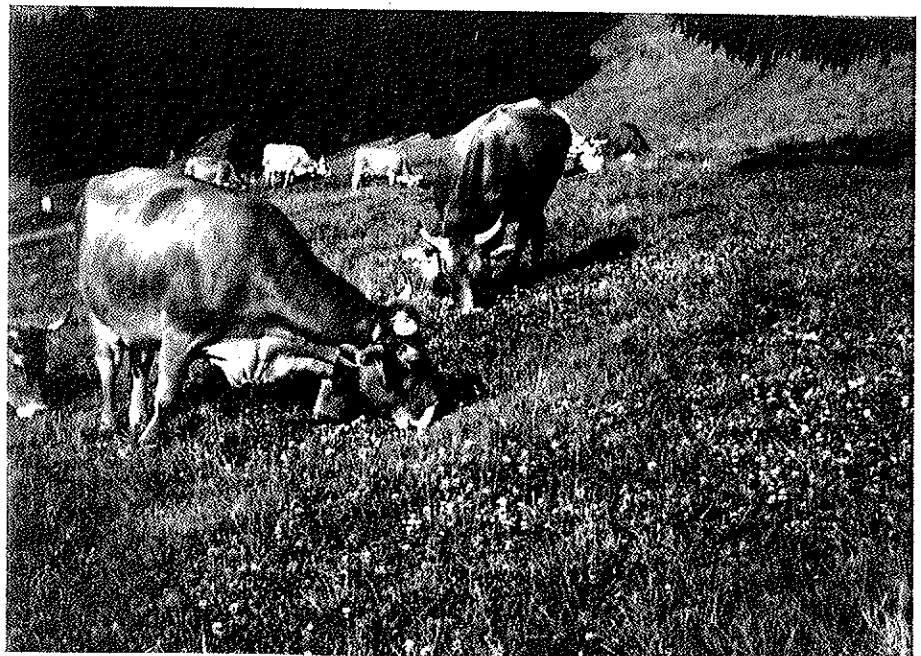
Extensive Fütterung und Methanbildung

Im Vergleich der Fütterungssysteme scheint die extensive Fütterung (Szenario 3 in Tab. 3) mehrere Vorteile in sich zu vereinen: es wird weniger Futter mit relativ schwer fermentierbaren Faserkohlenhydraten pro Hektar Nutzfläche erzeugt, und die Böden unter diesen Extensivflächen oxidieren offenbar das meiste Methan. Die geringere Methanfreisetzung je Tier erklärt sich vor allem aus der geringeren Verzehrsmenge, der in solchen Rationen höhere Fasergehalt wird durch eine niedrigere Fermentationsrate aufgrund der schlechten Verdaulichkeit ausgeglichen. Deutlich wird dies in umgekehrtem Sinne am Beispiel des Strohaufschlusses, wie er sich in vielen Entwicklungsländern als sinnvolle Möglichkeit zur Steigerung des Futterwertes anbietet (Tab. 4). Diese Massnahme bewirkt nahezu eine Verdoppelung der Methanausscheidung je Tier und Tag. Pro kg verdaulicher organischer Substanz sinkt die Methanbildung hingegen leicht.

Auch bei anderen Grundfütterationen ergibt sich ein Methananstieg mit höherer Qualität des Grundfutters. So lag nach Regressionsberechnungen von Kirchgessner *et al.* (1991) die Methanbildung aus Rationen auf Basis von Maissilage, trotz der darin enthaltenen Stärke, mit 16,8 g Methan pro kg Futtertrockenmasse (Intercept: 81 g/Tag) höher als auf Basis Heu und Graswürfel von mittlerer Qualität mit 14,0 g Methan/kg (Intercept:

93 g/Tag). Umgerechnet auf Tier und Tag entspricht dies bei 18 kg Trockenmasseaufnahme einem Anstieg von 333 g auf 396 g Methan je Tier und Tag. Hochwertiges Grünfutter dürfte daher mindestens so hohe Methanwerte wie die aufgezeigten Maissilagerationen zur Folge haben. Besonders günstig im Sinne der Methansenkung sind dagegen Futterrüben einzustufen. Aufgrund ihres hohen Zuckergehalts verhielten sie sich bei der Methanbildung von Kühen - trotz ebenfalls enthaltener vergärbare Faser - nicht wie Grundfutter, sondern wie Kraffutter, welches durch die Rüben substituiert wurde (Müller *et al.* 1994).

Der Bezug der Methanausscheidung auf die erzeugte Produktmenge verändert die Bewertung einer extensiven Fütterungsweise erheblich (Rath und Gädeken 1991). Eine 600 kg schwere 4000 Liter-Kuh bildet 103 kg Methan/Jahr beziehungsweise 25,7 g/kg Milch, eine gleich schwere 6000 Liter-Kuh erzeugt 113 kg Methan/Jahr beziehungsweise 18,8 g/kg Milch (Kirchgessner *et al.* 1991). Dies kommt im Mittel pro Tier beziehungsweise Stallplatz zwar einem Anstieg von 10 % gleich, pro kg Milch aber einem Rückgang von 27 %. Erfolgt die Leistungssteigerung durch eine Erhöhung der Futtermenge bei unveränderter Rationszusammensetzung, so ist ein etwas weniger starker Rückgang je kg Milch zu erwarten, wird dagegen vermehrt Kraffutter eingesetzt, ist ein höherer Rückgang an gebildetem Methan je kg Milch zu erwarten.

**Abb. 2. Extensiv oder intensiv füttern? (Foto: B. Sulzer)**

Für die globale Bewertung einer extensiven Fütterungsweise sind weitere Faktoren zu berücksichtigen. Extensive Fütterung bewirkt nur dann eine günstigere Methangesamtbilanz, wenn der Verzehr an Rindfleisch und Milch in dem betreffenden Land genauso stark wie die Erzeugung zurückgehen würde. Andernfalls wird der Fehlbedarf an diesen Lebensmitteln woanders produziert, und die Methanbilanz fällt insgesamt deutlich schlechter aus als bei intensiver Fütterung. Dies kann wiederum eindrücklich an dem gezeigten Beispiel mit Strohaufschluss demonstriert werden. Diese Massnahme kann bewirken, dass die Tiere überhaupt erst ein nennenswertes Wachstum zeigen, so dass die Methanbildung je Einheit Wachstum durch Strohaufschluss bedeutend verringert wird. Was in entwickelten Ländern seine Begrenzung im Verbrauch findet, gilt hingegen nicht zwangsläufig für Entwicklungsländer. Eine globale Verringerung der Methanbildung würde, wie gezeigt, nur dann stattfinden, wenn gleichzeitig mit einer Futterwertsteigerung, wie dem Strohaufschluss, wesentlich weniger Tiere gehalten würden. Dies ist angesichts der schlechten Ernährungslage in diesen Ländern jedoch unwahrscheinlich.

LITERATUR

- Blaxter K.L. and Clapperton J.L., 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.* 19, 511-522.
- Crutzen P.J., 1992. Die Bedeutung des Methans für das Erdklima und seine Beeinflussung durch den Menschen in Deutschland. Publ. Max-Planck-Institut für Chemie, Deutschland.
- Crutzen P.J., Aselmann I. and Seiler, W., 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus* 38 B, 271-284.
- Demeyer D.I. and Van Nevel C.J., 1975. Methanogenesis, an integrated part of carbohydrate fermentation, and its control. In: *Digestion and Metabolism in the Ruminant* (McDonald, I.W. and Warner, A.C.I., eds). University of New England Publishing Unit, Armidale, Australia, 366-382.
- Grub A. und Fuhrer J., 1995. Treibhausgasemissionen der schweizerischen Landwirtschaft. *Agrarforschung* 2 (6), 217-220.
- Heyer J., 1990. Der Kreislauf des Methans. *Mikrobiologie/Ökologie/Nutzung*. Akademie-Verlag Berlin.
- Hütsch B., Webster C.P. and Powlson, D.S., 1994. Methane oxidation in soil as affected by land use, soil pH and N fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1613-1622.

Johnson D.E., Hill T.M., Ward G.M., Johnson K.A., Branine M.E., Carmean B.R. and Lodman D.W., 1993. 11. Ruminants and other animals. In: *Atmosphere Methane Sources, Sinks, and Role in Global Change* (Khalil, M.A.K., ed.). NATO ASI Series, Vol. 113, Springer, Berlin, 199-229.

Kirchgessner M., Kellner R.J. und Kreuzer M., 1985. Beeinflussung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen und Zellwandbestandteilen beim Schaf durch den Austausch von Rohfaser durch Stärke. *Wirtschaftstierg. Futter* 31, 105-116.

Kirchgessner M., Windisch W., Müller H.L. und Kreuzer M., 1991. Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle. *Agriol. Res.* 44, 91-102.

Kreuzer M., Kirchgessner M. und Müller H.L., 1986. Effect of defaunation on the loss of energy in wethers fed different quantities of cellulose and normal or steamflaked maize starch. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 16, 233-241.

Moe P.W. and Tyrrell H.F., 1979. Methane production in dairy cows. In: *Proc. 8th Symp. Energy Metabolism*, EAAP Publ. 26, Butterworths, London, 59-62.

Mosier A., Schimel D., Valentine D., Bronson K. and Parton W., 1991. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature* 350, 330-332.

Moss A.R., 1994. Methane production by ruminants - Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutr. Abstr. Rev.* 64, 785-806.

Moss A.R., Givens D.I. and Garnsworthy P.C., 1994. The effect of alkali treatment of cereal straws on digestibility and methane production by sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49, 245-259.

Müller H.L., Birkenmaier F., Schwarz F.J. und Kirchgessner M., 1994. Energetische Verwertung von Futterrüben durch Milchkühe. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 71, 234-246.

Rath D. und Gädeken D., 1991. Milchproduktion beeinflusst das Weltklima. *Tierzüchter* 43, 103-105.

DANK

Mein bester Dank für die anregenden Diskussionen gilt Dr. J. Fuhrer, Dr. A. Grub und Frau Minanzio aus dem IUL der FAL in Liebefeld.

RÉSUMÉ

Relation entre l'alimentation et la production de méthane chez le ruminant

À l'aide de données résultant d'essais de respiration, trois rations ont été analysées par rapport à leur production de méthane: une alimentation intensive composée soit d'une ration de base, soit

d'une ration riche en concentrés, et une alimentation extensive. Une ration de base (de bonne qualité), permettant le même rendement en lait et en viande qu'une ration riche en concentrés, entraîne une production de méthane comparativement plus élevée par animal et par jour. Ceci est dû à la proportion plus importante de fibres facilement fermentescibles dans ces rations, puisque les fibres dégagent plus de méthane que l'amidon. D'autre part, il semble que les sols sous herbages oxydent de plus grandes quantités de méthane atmosphérique que les sols cultivés. Bien qu'une alimentation extensive réduise les émissions de méthane par animal et par jour tout en favorisant la fixation du méthane par le sol, la formation de méthane par unité de lait ou de viande produite est beaucoup plus élevée. L'importation de ces produits ne ferait que déplacer les problèmes liés au méthane dans d'autres pays.

SUMMARY

Methane production and forage in ruminants

Three forage related feeding situations were analysed for their relevance to methane release using data from respiratory trials: intensive feeding with forage-based and with concentrate-based rations, respectively, and extensive feeding. A diet rich in forage ensuring the same milk or meat yield as a diet rich in concentrate will cause a higher methane formation per animal per day. The higher proportion of easily-fermentable fiber in these rations is responsible for this effect because methane release from fiber is higher than from starch. In contrast with these results, soil below grassland seems to oxidize higher quantities of atmospheric methane than soil below arable land. Although extensive feeding furthermore reduces methane release per head and day and shows an increased soil methane uptake, methane formation per unit milk or meat is dramatically higher and imports of these products would only transfer the methane problem to other countries.

KEY WORDS: ruminants, methane release, methane sink, forage, concentrate, eco balance