

Serie Tieremissionen

Methanemissionen von Milchkühen: Einfluss von Ölsaaten im Futter

Andreas Münger, Lukas Eggerschwiler, Paolo Silacci und Frigga Dohme-Meier
Agroscope, 1725 Posieux, Schweiz

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



Eine Futterzugabe von Leinsamen wie auch von Rapssamen führten bei Milchkühen zu einer Verminderung der täglichen Methanproduktion um 7%. (Fotos: Gabriela Brändle und Carole Parodi, Agroscope)

Einleitung

Bei der mikrobiellen Fermentation des Futters im Pansen des Wiederkäuers fällt Methan an, das ein bedeutendes Treibhausgas ist. Um die Methanemissionen nachhaltig zu senken, werden verschiedene Strategien diskutiert. Unter anderem lässt sich durch Fütterungsmassnahmen die Produktion von Methan im Pansen beeinflussen (Beauchemin *et al.* 2008). Eine Möglichkeit ist der Zusatz von fetthaltigen Futterkomponenten zur Ration (Beauchemin *et al.* 2009). Insbesondere Fette, die reich an ungesättigten Fettsäuren sind, können auf unterschiedliche Weise auf die Pansenfermentation ein-

wirken und somit eine Reduktion der Methanbildung herbeiführen. Ungesättigte Fettsäuren können eine hemmende oder toxische Wirkung auf faserabbauende Bakterien und Protozoen haben, welche anteilmässig am meisten Substrat für die Methanogenen liefern. Ebenfalls wird ihnen ein negativer Effekt auf die Methanogene selbst nachgesagt (Patra 2013). Fette dienen selbst nicht als Substrat für die Pansenfermentation. Die ungesättigten Fettsäuren werden jedoch biohydrogeniert, ein Vorgang bei dem Wasserstoff verbraucht wird, der dann nicht mehr zur Bildung von Methan zur

Verfügung steht. Ein indirekter Einfluss ergibt sich auch dadurch, dass die Fütterung von grösseren Mengen an Fett zu einem Rückgang des Verzehrs führen kann (Jenkins 1993), womit dann auch wieder weniger Substrat für die potenzielle Methanbildung vorhanden ist. Dies ist jedoch nicht erwünscht, ebenso wenig wie die mögliche Verschlechterung der Nährstoffverdaulichkeit, insbesondere der Faserfraktion. Die Wirkungen der eingesetzten Fette hängen von ihrer Fettsäurezusammensetzung, ihrer Aufbereitung und Interaktionen mit den übrigen Rationskomponenten ab.

In der vorliegenden Studie wurde die Verfütterung von zwei Ölsaaten, die unterschiedlich aufbereitet waren (extrudierte Leinsamen und gemahlene Rapssamen) im Vergleich zu einer Kontrolle (pansenstabilisiertes Fett) hinsichtlich ihres Einflusses auf die Futteraufnahme, Leistung, Pansenfermentation und Methanemission von Milchkühen über einen Zeitraum von zwölf Wochen untersucht.

Material und Methoden

Die Versuchsgruppe umfasste 33 Milchkühe der Rassen Holstein/Red Holstein in verschiedenen Laktationen, davon 15 Erstlaktierende, und in variablen Laktationsstadien. Die Kühe wurden in drei bezüglich Laktationsnummer, Laktationsstadium, Gewicht und Leistung in den Vorversuchswochen homogene Gruppen eingeteilt. Die Fütterung bestand aus einer Totalmischration (TMR) mit folgenden Futterkomponenten (bezogen auf Trockensubstanz (TS)): Maissilage 30 %, Grassilage 17 %, Heu 29 %, Proteinkonzentrat 8 % und Mineralstoffmischung 2 %, sowie der Versuchsfutterkomponente 14 % mit den Varianten extrudierte Leinsamen (L), gemahlene Rapssamen (R) und pansenstabilisiertes Fett (Alikon, Kontrollvariante, K). Die Versuchsfutterkomponenten setzten sich je zu 60 % aus der Fettkomponente und zu 40 % aus Mühlenachprodukten beziehungsweise Weizenkleie zusammen. Die Rationen wurden für eine durchschnittliche Milchleistung von ca. 35 kg berechnet und wurden *ad libitum* vorgelegt. Sie waren isoenergetisch, isonitrogen und isolipidisch. Die Rohproteingehalte lagen bei 151 (K), 159 (L) und 156 (R) g/kg TS, die NDF-Gehalte bei 378 (K), 370 (L) und 374 (R) g/kg TS und die Rohfettgehalte bei 60 (K), 61 (L) und 62 (R) g/kg TS. Der Versuch lief über 15 Wochen. In den ersten drei Wochen erhielten alle Kühe die Kontrollvariante und ab der vierten Woche wurde mit der Fütterung der jeweiligen Versuchsvarianten begonnen.

Die Futteraufnahme der Einzeltiere wurde täglich mit automatischen Wiegetrögen erfasst. Von den drei Ver-

Zusammenfassung

Der Zusatz von fetthaltigen Futterkomponenten zur Ration von Milchkühen kann die Pansen-Fermentation und damit die Bildung von Methan im Pansen beeinflussen. In einer Studie mit 33 Milchkühen der Rassen Holstein/Red Holstein wurden zwei Ölsaaten (extrudierte Leinsamen und gemahlene Rapssamen) im Vergleich zu einer Kontrolle (pansenstabilisiertes Fett) hinsichtlich ihres Einflusses auf die Futteraufnahme, Leistung, Pansenfermentation und Methanemission von Milchkühen über einen Zeitraum von zwölf Wochen untersucht. Die Futteraufnahme und die Milchproduktion der Einzeltiere wurden täglich erfasst. Ausserdem wurden wöchentlich die Milchhaltsstoffe aus Abend- und Morgengemelk von jedem Tier analysiert. Individuelle Wochenwerte der Methanabgabe wurden an zwei Stationen des GreenFeed Systems erhoben. In den Versuchswochen 6, 9, 12 und 15 wurde 18 Kühen (sechs pro Versuchsvariante) mit Hilfe einer Schlundsonde Pansensaft entnommen und in diesem flüchtige Fettsäuren, Ammoniak sowie ausgewählte Mikroorganismen analysiert. Kühe, die extrudierte Leinsamen erhielten, wiesen eine verminderte Futteraufnahme und einen tieferen Milchfettgehalt auf, produzierten jedoch mehr Milch pro Tag. Beide Ölsaaten führten bei Milchkühen zu einer Verminderung der täglichen Methanproduktion um 7 %, was mit einer Verminderung der relativen Häufigkeit der Methanogenen im Pansen einherging. Die Methanintensität (g pro kg energiekorrigierte Milch) konnte numerisch mit beiden Ölsaaten um 15 bis 17 % gesenkt werden. Aus der vorliegenden Studie lässt sich folgern, dass mit Ölsaaten eine gewisse Reduktion der Methanemissionen erreicht werden kann, diese je nach Bezugsgrösse allerdings unterschiedlich stark ausfällt.

suchsrationen wurden wöchentlich Proben genommen und analysiert. Die Milchproduktion der einzelnen Milchkühe wurde bei jedem Gemelk registriert. Ausserdem wurden wöchentlich Milchproben aus Abend und Morgengemelk von jedem Tier gesammelt und die Milchhaltsstoffe analysiert. Individuelle Wochenwerte der Methanabgabe wurden an zwei Stationen des

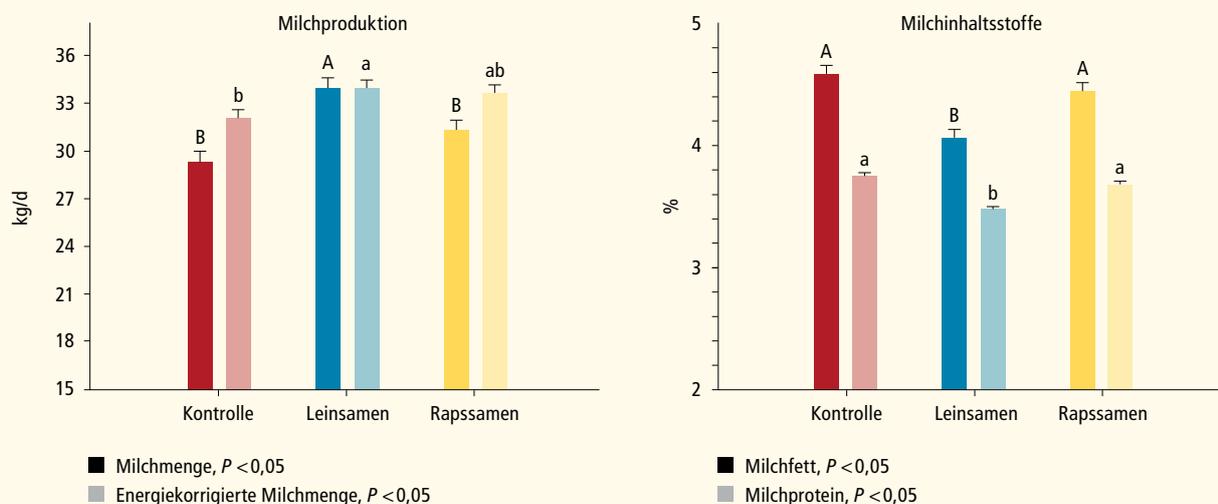


Abb. 1 | Einfluss der Verfütterung von Ölsaaten auf die Milchmenge und Milch Inhaltsstoffe (A^B; a^b, Säulen innerhalb eines Merkmals mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($P < 0,05$)).

GreenFeed-Systems (Münger *et al.* 2018) erhoben, das Atemgas während Besuchen an einer Lockfutterstation misst und daraus (über eine Woche) einen Tagesemissionswert ermittelt. Im Versuch wurden die Stationen im Mittel 4,2 ($s = 1,8$) mal pro Tag aufgesucht. In den Versuchswochen 6, 9, 12 und 15 wurde 18 Kühen (6 pro Versuchsvariante) mit Hilfe einer Schlundsonde Pansensaft entnommen. In den Pansensaftproben wurden flüchtige Fettsäuren, Ammoniak sowie ausgewählte Mikroorganismen analysiert, wie von Grosse Brinkhaus *et al.* (2016) detailliert beschrieben.

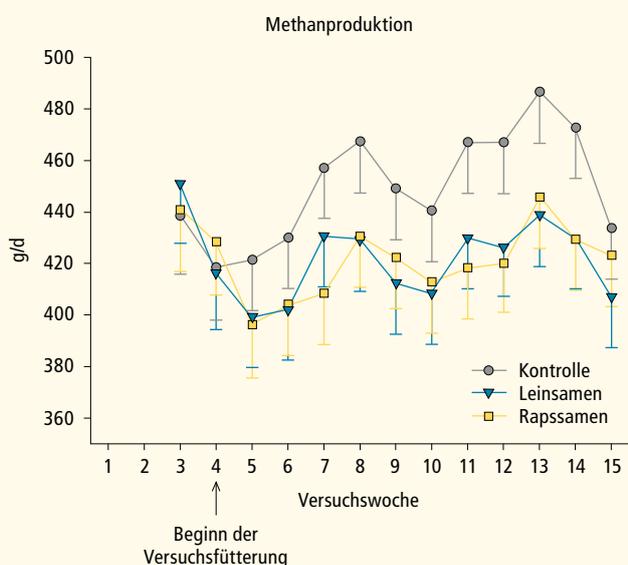


Abb. 2 | Verlauf der Methanemissionen von mit Ölsaaten gefütterten Milchkühen.

Resultate und Diskussion

Die Kühe, die Leinsamen erhielten, produzierten mehr ($P < 0,05$) Milch als jene Tiere, die die Kontroll- beziehungsweise die Rapssamenvariante erhielten (Abb. 1). Obwohl Milchfett- und Milchproteingehalte bei den Kühen in der Leinsamenvariante tiefer lagen ($P < 0,05$; Abb. 1), war die täglich produzierte Menge an energiekorrigierter Milch (ECM) in der Leinsamenvariante (33,9 kg) höher ($P < 0,05$) als in der Kontrollvariante (32,0 kg), während die Rapssamenvariante (33,6 kg) eine Zwischenposition einnahm. Die Milchharnstoffgehalte (K, 249; L, 237; R, 253 mg/l) unterschieden sich nicht ($P > 0,05$) zwischen den Versuchsvarianten. Keinen signifikanten Einfluss von gemahlene Leinsamen und Rapssamen auf die Milchleistung und die Milch Inhaltsstoffe beobachteten Beauchemin *et al.* (2009). Demgegenüber stellten Martin *et al.* (2008) einen signifikanten Rückgang im Milchfettgehalt fest, wenn extrudierte Leinsamen im Vergleich zu unbehandelten Leinsamen beziehungsweise einer Kontrolle ohne Leinsamen verfüttert wurden. In dieser Studie (Martin *et al.* 2008) wurde neben dem geringeren Milchfettgehalt auch ein tieferer TS-Verzehr mit extrudierten Leinsamen aufgezeigt, was sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie deckt (Tab. 1). Folglich nahmen die Kühe, die Leinsamen erhielten, weniger ($P < 0,05$) Nährstoffe auf im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten. Der geringere Milchfettgehalt wie auch der tiefere Verzehr in der Leinsamenvariante deuten auf einen möglichen negativen Einfluss auf die Faserverdauung hin (Jenkins 1993; Martin *et al.* 2008). Eine

Tab. 1 | Einfluss verschiedener Ölsaaten auf die Futteraufnahme, Methanemission und Pansenfermentation von Milchkühen¹

	Versuchsvarianten			
	Kontrolle	Leinsamen	Rapssamen	SEM
Futter- und Nährstoffaufnahme, kg/Tag				
TS	21,3 ^b	19,6 ^c	21,9 ^a	0,19
Rohprotein	3,20 ^b	3,12 ^b	3,43 ^a	0,03
Rohfett	1,28 ^b	1,20 ^c	1,35 ^a	0,01
NDF	8,03 ^a	7,25 ^b	8,22 ^a	0,07
Methanproduktion, g/kg, bezogen auf				
– TS-Aufnahme	21,4 ^a	21,6 ^a	19,2 ^b	0,26
– NDF-Aufnahme	56,6 ^a	58,4 ^a	51,4 ^b	0,70
– ECM ¹	15,0	12,6	12,8	1,16
Merkmale der Pansenfermentation				
Flüchtige Fettsäuren, mmol/l	92,5	93,3	89,8	2,33
Acetat, molar %	64,9 ^a	62,9 ^b	64,4 ^{ab}	0,48
Propionat, molar %	19,6	20,3	19,8	0,41
Butyrat, molar %	12,2 ^b	13,2 ^a	12,4 ^{ab}	0,28
Acetat : Propionat	3,35	3,14	3,29	0,09
Ammoniak, mmol/l	4,36 ^b	5,93 ^a	4,31 ^b	0,39
Ausgewählte Bakterien und Methanogene (% der gesamten Bakterien-DNS)				
<i>Prevotella</i> spp.	67,3 ^b	84,7 ^a	71,0 ^b	3,82
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	2,17 ^b	2,89 ^a	2,45 ^{ab}	0,15
<i>Ruminococcus albus</i>	0,11	0,14	0,13	0,01
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	6,78	7,14	6,91	0,37
Methanogene, total	10,74 ^a	6,82 ^b	7,72 ^b	0,56

¹ ECM, Energiekorrigierte Milch; NDF, Neutrale Detergentienfaser; SEM, Standardfehler des Mittelwerts; TS, Trockensubstanz,

^{ab} Werte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($P < 0,05$).

Annahme, die durch den geringeren ($P < 0,05$) Anteil an Acetat im Pansensaft im Vergleich zur Kontrollvariante noch unterstützt wird (Tab. 1). Eine Abnahme des Faserabbaus im Pansen hat nämlich vor allem eine verminderte Produktion an Acetat zur Folge und ist eher bei der Zufütterung von Fetten, die reich an ungesättigten Fettsäuren sind, zu beobachten (Palmquist und Jenkins 1980). Durch eine verringerte Produktion von Acetat kann der Milchfettgehalt gesenkt werden, da dieses als Hauptsubstrat für die *De-novo*-Synthese von kurz- und mittellangkettigen Fettsäuren im Euter dient. In ihrer Übersichtsarbeit geben Grainger und Beauchemin (2011) an, dass es bei der Verfütterung von Ölsaaten, wenn dies zu einem Fettgehalt in der Ration von mehr als 60 bis 70 g pro kg TS führt, zu einer beeinträchtigten Verdauung kommen kann. Der Fettgehalt in der vorliegenden Studie lag in den Ölsaatenvarianten bei 61 (L) beziehungsweise 62 g/kg TS (R). Neben dem Einfluss auf den Anteil an Acetat, führte die Verfütterung der Leinsamenvariante noch zu einem Anstieg ($P < 0,05$) des Anteils an Butyrat (nicht signifikant im Vergleich zur Rapssamenvariante) und des Gehaltes an Ammoniak

im Pansensaft verglichen mit den beiden anderen Versuchsvarianten. Beauchemin *et al.* (2009) fanden keinen Einfluss von Lein- und Rapssamen auf den Anteil von Acetat, jedoch eine Verringerung des Anteils an Butyrat. Interessanterweise stieg ($P < 0,05$) durch die Verfütterung von extrudierten Leinsamen im Vergleich zur Kontrolle die relative Häufigkeit von *Prevotella* spp. und *Ruminococcus flavefaciens* (Tab. 1). Besonders Linolensäure, die vorherrschende Fettsäure in Leinsamen, soll eine hemmende Wirkung auf grampositive, faserabbauende Bakterien, wie z.B. *Ruminococcus flavefaciens* und *Ruminococcus albus* haben (Galbraith *et al.* 1971), was so in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden konnte. Hingegen war die relative Häufigkeit von Methanogenen in der Leinsamen- und Rapssamenvariante im Vergleich zur Kontrollvariante verringert ($P < 0,05$). Dies deckt sich mit *In-vitro*-Untersuchungen von Demeyer und Henderickx (1967), die von einer toxischen Wirkung besonders der ungesättigten Fettsäuren ausgehen, was gleichzeitig zu einer Abnahme der Methanproduktion führte. Die Methanproduktion war im Durchschnitt über die zwölf Messwochen in der Leinsamenvariante

(419 g/d) und in der Rapssamenvariante (420 g/d) um 7 % im Vergleich zu Kontrolle (451 g/d) nachhaltig reduziert ($P < 0,05$; Abb. 2). Die Methanrate (g pro kg TS-Aufnahme) unterschied sich nicht zwischen Kontroll- und Leinsamenvariante, lag aber in der Rapssamenvariante 11 % tiefer ($P < 0,05$; Tab 1). Die Methanproduktion pro kg NDF Aufnahme war ebenfalls tiefer ($P < 0,05$) bei Kühen, die gemahlene Rapssamen erhielten. Die Methanintensität (g pro kg ECM) unterschied sich zwar statistisch nicht zwischen den Versuchsvarianten, war aber in der Leinsamenvariante um 17 % und in der Rapssamenvariante um 15 % tiefer als in der Kontrollvariante. Ähnliche, jedoch nicht ganz so ausgeprägte, Reduktionen der Methanintensität haben auch Beauchemin *et al.* (2009) mit gemahlene Leinsamen und Rapssamen beobachtet.

Schlussfolgerungen

Die Verfütterung von extrudierten Leinsamen beziehungsweise gemahlene Rapssamen führte bei Milchkühen zu einer Verminderung der täglichen Methanproduktion um 7 %. Die Methanintensität konnte numerisch mit beiden Ölsaaten um 15 bis 17 % gesenkt werden. Aus der vorliegenden Studie lässt sich folgern, dass mit Ölsaaten eine gewisse Reduktion der Methanemissionen erreicht werden kann, diese je nach Bezugsgröße allerdings unterschiedlich stark ausfällt. Ferner ist zu beachten, dass in der vorliegenden Studie im Vergleich zu Empfehlungen der Hersteller entsprechender Produkte vergleichsweise hohe Mengen an Ölsaaten eingesetzt wurden. Damit bleibt offen, ob mit tieferen Einsatzmengen, wie sie unter anderem aus Kostenüberlegungen empfohlen werden, vergleichbare Minderungen der Methanemissionen erreicht werden können. ■

Literatur

- Beauchemin K.A., Kreuzer M., O'Mara F. & McAllister T.A., 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Austr. J. Exp. Agr.* **48**, 21–27.
- Beauchemin K.A., McGinn S.M., Benchaar C. & Holtshausen L., 2009. Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *J. Dairy Sci.* **92**, 2118–2127.
- Demeyer D.I. & Henderickx H.K., 1967. Effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production in vitro by mixed rumen bacteria. *Biochim. Biophys. Acta* **137**, 484–497.
- Galbraith H., Miller T.B., Paton A.M. & Thompson J.K., 1971. Antibacterial activity of long chain fatty acids and the reversal with calcium, magnesium, ergocalciferol and cholesterol. *J. Appl. Bacteriol.* **34**, 803–813.
- Grosse Brinkhaus A., Bee G., Silacci P., Kreuzer M. & Dohme-Meier F., 2016. Effect of exchanging *Onobrychis viciifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows. *J. Dairy Sci.* **99**, 4384–4397.
- Grainger C. & Beauchemin K.A., 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Anim. Feed Sci. Technol.* **166-167**, 308–320.
- Jenkins T.C., 1993. Lipid Metabolism in the Rumen. *J. Dairy Sci.* **76**, 3851–3863.
- Martin C., Rouel J., Jouany J. P., Doreau M. & Chilliard Y., 2008. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *J. Anim. Sci.* **86**, 2642–2650.
- Münger A., Denninger T., Martin C., Eggerschwiler L. & Dohme-Meier F., 2018. Methanemissionen von weidenden Milchkühen: Vergleich zweier Messmethoden. *Agrarforschung Schweiz* **9**, 180–185.
- Palmquist D.L. & Jenkins T.C., 1980. Fat in lactation rations – Review. *J. Dairy Sci.* **63**, 1–14.
- Patra K. P., 2013. The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. *Livestock Sci.* **155**, 244–254.

Riassunto**Emissioni di metano da parte delle vacche da latte: influenza dei semi di oleaginose nella razione foraggera**

L'aggiunta alla razione foraggera delle vacche da latte di alimenti ricchi di grassi può influenzare la fermentazione ruminale e, di conseguenza, la produzione di metano nel rumine stesso. In una prova condotta su 33 vacche da latte di razza Holstein / Red Holstein, è stata studiata l'influenza di due tipi di semi di oleaginose (semi di lino estrusi e semi di colza macinati), aggiunti alla razione foraggera delle bovine. Sono stati esaminati i seguenti parametri: ingestione di foraggio, produzione di latte, fermentazione ruminale ed emissioni di metano da parte delle bovine. La prova è durata 12 settimane, durante le quali i risultati sono stati confrontati con una variante di controllo, in cui si è mantenuto stabile il tenore in grassi del rumine. L'ingestione di foraggio e la produzione di latte delle singole bovine sono state registrate quotidianamente, mentre i tenori delle componenti del loro latte, sia quello munto la sera sia quello della mattina, sono stati analizzati a cadenza settimanale. Sempre settimanalmente, grazie a due stazioni «GreenFeed», sono state misurate anche le emissioni di metano. Nel corso delle settimane 6, 9, 12 e 15, è stato prelevato del succo ruminale da 18 vacche (6 per variante sperimentale). Il prelievo è stato eseguito con una sonda esofagea e ha consentito di analizzare gli acidi grassi volatili, l'ammoniaca e i di alcuni microrganismi selezionati. Le vacche foraggiate con semi di lino estrusi hanno evidenziato un'ingestione ridotta e un minore tenore in grassi del latte, a fronte di una maggiore produzione giornaliera di latte. Entrambi i semi di oleaginose hanno fatto calare del 7 % la produzione giornaliera di metano delle lattifere, abbinata a una riduzione della abbondanza relativa dei microrganismi metanogeni del rumine. L'intensità di produzione del metano (g di metano per kg di latte, corretto in funzione del suo tenore energetico) si potrebbe ridurre numericamente del 15 – 17 % distribuendo i due semi di oleaginose. La presente prova consente di concludere che si può raggiungere una certa riduzione delle emissioni di metano con entrambi i semi di oleaginose, ma che la riduzione potrà variare di molto in funzione del valore di riferimento.

Summary**Methane emissions from dairy cows: influence of oilseeds in the feed**

The addition of fatty feed components to a dairy cow ration can influence ruminal fermentation, and hence methane formation in the rumen. In a study with 33 Holstein / Red Holstein dairy cows, the influence of two different types of oilseeds (extruded linseed and ground rapeseed) versus a control (rumen-stable fat) was investigated over a period of 12 weeks in terms of its impact on feed intake, milk yield, ruminal fermentation and methane emission. The feed intake and milk production of the individual animals was recorded daily. In addition, the milk constituents from an evening and morning milking of each animal were analysed on a weekly basis. Individual weekly methane release data were collected at two GreenFeed stations. In weeks 6, 9, 12 and 15 of the trial, ruminal fluid was sampled from 18 cows (six per treatment) using an esophageal probe and analysed for volatile fatty acids, ammonia, and selected microorganisms. Cows that were fed the extruded linseed consumed less feed and their milk had a lower fat content, although they produced more milk per day. Both types of oilseeds led to a 7% reduction in daily methane production in dairy cows, which was accompanied by a reduction in the relative incidence of methanogens in the rumen. Methane intensity (g/kg of energy corrected milk) was numerically reduced by 15 – 17% with both types of oilseeds. We conclude from the present study that a certain reduction in methane emissions can be achieved with oilseeds, but that the amount of reduction varies in terms of intensity according to the calculation basis used.

Key words: methane emission, GreenFeed, dairy cows, linseed, rapeseed.