Saisonale Schwankungen der Methanemissionen von Milchkühen in grasbasierten, kraftfutterarmen Produktionssystemen

M. Wild[1,2], J. Isselstein[1,2], K. Jürgens[3], M. Komainda[1]
[1]Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft,
[2]Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung (CBL), Göttingen,
[3]Kasseler Institut für ländliche Entwicklung e.V.
maria.wild@uni-goettingen.de

Einleitung und Problemstellung

In der weidebasierten Milcherzeugung wird ein großer Teil der entstehenden Treibhausgase durch enterische Methanemissionen (CH_4e) der Kühe verursacht (Rotz 2018). Ansätze zur Reduktion der CH_4e beinhalten den Einsatz von sekundären Pflanzenstoffen (Martins et al. 2024) oder pflanzlichen Fetten (Muñoz et al. 2021) sowie die Intensivierung der Produktion, um die Emissionen je Einheit erzeugten Produktes zu minimieren. Studien zeigen, dass z.B. ein erhöhter Kraftfuttereinsatz zu geringeren produktbezogenen Emissionen führt (Jiao et al. 2014; van Wyngaard et al. 2018). Dies liegt zum einen an der höheren TM-Aufnahme und damit verbundenen Milchleistung und zum anderen an einer effizienteren Pansenfermentation durch den geringeren Anteil schlecht verdaulicher Komponenten im Futter. Gleichzeitig erfordert eine Intensivierung der Fütterung eine Abwägung der eingesparten CH_4e vor dem Hintergrund anderer entstehender THG-Emissisionen im Produktionssystem sowie weiterer negativer Auswirkungen auf die Umwelt oder Nahrungskonkurrenz. Ein generelles Ziel besteht darin, die CH_4e zu reduzieren und gleichzeitig Vorteile einer weide- und grasbasierten Milcherzeugung zu erhalten. Dafür ist es essenziell, über experimentelle Ansätze hinaus mögliche Muster und Wirkungsmechanismen in den CH_4e auf grasbasierten Praxisbetrieben festzustellen. Saisonale Schwankungen sind in Abhängigkeit von der täglichen Milchleistung und der Futterqualität zu erwarten. Auch für die internationale Schätzung der Methanemessionen, z.B. durch den IPCC, ist das Erkennen solcher Schwankungen essenziell, da hier nach wie vor ein standardisierter, nicht an schwankende Futterqualitäten angepasster Konvertierungsfaktor (Y_m) angesetzt wird, welcher die Emissionen aus grasbasierter Milcherzeugung tendenziell zu überschätzen scheint (Lahart et al. 2024). Im Gegensatz zu Methoden der Emissionsmessung, wie z.B. mit SF_6-Tracergas oder Respirationskammern, ist das Schätzen über die Fettsäuremuster der Milch eine weniger aufwändige und weit skalierbare Methode, insbesondere in der Arbeit mit Praxisbetrieben (Engelke et al. 2018). Ziel der vorliegenden Untersuchung war deshalb (i) die Anwendung und Überprüfung der CH_4e-Schätzung anhand von Fettsäuremustern und Milchleistung auf Praxisbetrieben und (ii) die Herausarbeitung potenzieller saisonaler Muster in den Emissionen bei kraftfutterarmer und grasbasierter Fütterung.

Material und Methoden

Milchleistungsdaten und Fettsäuremuster von 18 bayerischen Milchviehbetrieben wurden für die Untersuchung über die monatlichen Probemelkdaten des LKV Bayern bezogen, gemittelt über alle Kühe jedes Betriebes. Die Daten deckten die Jahre 2019-2023 ab, wobei nicht für jeden Monat auf jedem Betrieb ein Datenpunkt vorlag (n = 817). Die Fettsäuremuster wurden per Infrarot-Spektroskopie ermittelt (Schwarz et al. 2021). Die CH_4e in L/Tag wurden anhand der Schätzgleichung nach Engelke et al. (2018) unter Berücksichtigung der Milchleistung (kg ECM/ Tag), des Anteils gesättigter Fettsäuren (SFA) und des Anteils Stearinsäure (C18:0) wie folgt berechnet:

$$CH_4e\left(\frac{L}{Tag}\right) = (-1364) + 9{,}58\ x\ ECM + 18{,}5\ x\ SFA + 32{,}4\ x\ C18{:}0 \qquad \textbf{Gl. 1}$$

Die energiekorrigierte Milch (ECM) in kg/ Tag wurde nach Brade & Flachowsky (2005) anhand der gemessenen täglichen Milchmengen berechnet. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer Studien zu gewährleisten, wurden die CH_4e zusätzlich in die Einheit g/Tag konvertiert (Gl. 2). Anschließend wurde die Methanintensität, ausgedrückt als CH_4 je kg erzeugter Milch, berechnet (L/kg ECM bzw. g/kg ECM).

$$CH_4e\left(\frac{g}{Tag}\right) = \frac{CH_4\ (L)}{22.414}\ x\ 16.04 \qquad \textbf{Gl. 2}$$

Alle Betriebe (konventionell = 6, ökologisch = 12) fütterten größtenteils grasbasiert und wiesen eine Kraftfutterintensität von unter 150 g je kg ECM auf. Das Jahr wurde für die statistische Analyse in Frühling (April-Mai), Sommer (Juni-August), Herbst (September-Oktober) und Winter (November-März) eingeteilt, wobei die Winterperiode der Stallzeit und damit einhergehenden Stallfütterung auf den Betrieben entsprach, während die Kühe in den anderen drei Jahreszeiten in variierender Intensität Weidegang erhielten. Zwei der konventionellen Betriebe boten keinen Weidegang an. Mittels gemischer linearer Modelle wurde der Einfluss der Jahreszeit auf die tägliche Milchleistung, zentrale Milchinhaltsstoffe und CH_4e analysiert. Auf allen Betrieben wurden zusätzlich im Jahr 2023 botanische Kartierungen von repräsentativen Grünlandflächen (n = 105) aller vorhandenen Nutzungskategorien je Betrieb (z.B. Weiden, Mähweiden, Wiesen etc.) vorgenommen. Für die vorliegende Arbeit werden die Ertragsanteile der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Die durchschnittliche tägliche Milchleistung aller Betriebe betrug im Mittel über die Jahre 19,6 ± 2,35 kg ECM. Hier zeigte sich ein deutlicher jahreszeitlicher Trend mit einer Steigerung zu Beginn der Weidesaison und signifikant höherer Leistung im Frühjahr im Vergleich zum restlichen Jahr ($F_{3,727}$ = 9,76; p<.0001; Abb. 1B, Tab. 1). Trotz der positiven Korrelation zwischen täglicher Milchleistung und täglichen Methanemissionen (Pearson's Korrelation: r = 0,64, p<.0001), ergab sich für die CH_4e ein gegensätzlicher Trend, wonach die täglichen Emissionen zu Beginn der Weidesaison deutlich abfielen und im frühen Sommer ihr Minimum erreichten, während sie im Winter am höchsten waren ($F_{3,727}$ = 24,28; p<.0001; Abb. 1A, Tab. 1). Für die Methanintensität ergab sich derselbe saisonale Verlauf wie für die täglichen CH_4e, mit signifikant höheren Emissionen im Winter im Vergleich zur Weidesaison ($F_{3,727}$ = 47,87; p<.0001; Abb. 1C, Tab. 1).

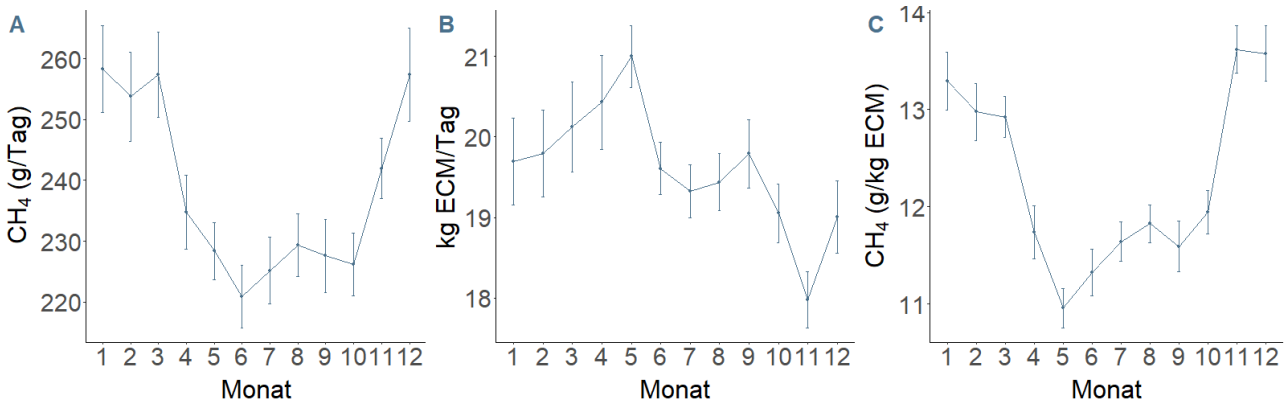

Abb. 1: Monatlicher Verlauf von (A) den CH_4-Emissionen in g/Tag, (B) der Milchleistung je Kuh in kg ECM/Tag und (C) der Methanintensität (CH_4-Emissionen in g/kg ECM). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehlerbalken.

Diese saisonalen Verläufe decken sich nur zum Teil mit anderen Untersuchungen. Mehrere Studien stellten niedrigere CH4e im Frühling fest, die im Verlauf der Vegetationsperiode anstiegen (Lahart et al. 2024; Orcasberro et al. 2021). Auch in der vorliegenden Untersuchung sanken die CH4e, während gleichzeitig die Milchleistung zu Beginn der Weidesaison anstieg, was mutmaßlich mit den niedrigen Faserkonzentrationen der Aufwüchse (NDF und ADF) im jungen Weidegras und damit verbunden höherer Verdaulichkeit erklärt werden kann (Lahart et al. 2024). Eine andere Studie konnte keine signifikanten Unterschiede in der Übergangszeit vom Stall zur Weide feststellen (Szalanski et al. 2019). Die geschätzten mittleren CH4e der untersuchten Betriebe von 239 ± 24 g/Tag waren niedriger als mittels SF_6-Methode kalkulierte Werte aus Experimenten mit gras- oder weidebasierter Fütterung (z.B. Carmona-Flores et al. 2020; Jiao et al. 2014; Lahart et al. 2024; van Wyngaard et al. 2018) und deutlich niedriger als mittels Respirationskammern gemessene Werte unter reiner TMR-Stallfütterung (Engelke et al. 2018). Alle diese Referenzen gehen zwar auch mit einer höheren täglichen Milchmenge einher, jedoch waren auch die CH_4e je kg ECM in der vorliegenden Untersuchung niedriger als in den erwähnten Studien. Dies kann entweder an Ungenauigkeiten in der Schätzmethodik liegen oder an tatsächlich niedrigeren Emissionen auf grasbasierten Praxisbetrieben als auf Grundlage von experimentellen Studien angenommen.

In einer vergleichenden Untersuchung verschiedener Schätzmethoden auf high-input und low-input-Betrieben stellten Zanon et al. (2023) fest, dass die untersuchten Gleichungen, inklusive der hier genutzten (Engelke et al. 2018), wahrscheinlich eine höhere Genauigkeit bei der Anwendung für stallbasierte high-input-Systeme aufweisen, da sie auf Grundlage solcher entwickelt wurden. Gleichzeitig könnte gerade die Einbeziehung von Fettsäuremustern und Milchleistung anstelle der TM-Aufnahme eine gute Möglichkeit sein, um stärker zwischen verschiedenen Fütterungsstrategien zu differenzieren. So ergab sich bei Zanon et al. (2023) für die hier genutzte Gleichung, im Vergleich zu anderen Schätzgleichungen ohne Berücksichtigung der Fettsäuren, die größte Diskrepanz für die Methanintensität zwischen high- und low-input- Betrieben.

Tab. 1: Mittlere Milchleistung, Milchinhaltsstoffe und Methanemissionen über alle Betriebe und Jahre, eingeteilt nach Jahreszeiten. Mittelwerte sind entsprechend dem Output der linearen Modelle angegeben. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Jahreszeiten. SFA = gesättigte Fettsäuren (FS), MUFA = einfach ungesättigte FS, PUFA = mehrfach ungesättigte FS

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Milchleistung (kg ECM/Tag)	20,8^{b}	19,3^{a}	19,4^{a}	19,3^{a}
Fett (%)	3,98^{a}	3,91^{a}	4,09^{b}	4,17^{c}
Eiweiß (%)	3,38^{a}	3,39^{a}	3,44^{b}	3,59^{c}
SFA (% vom Milchfett)	63,8^{b}	62,7^{a}	63,2^{ab}	67,1^{c}
MUFA (% vom Milchfett)	26,9^{b}	27,5^{b}	27,2^{b}	24,1^{a}
PUFA (% vom Milchfett)	4,01^{b}	4,33^{c}	4,36^{c}	3,42^{a}
CH_4e (L/Tag)	326^{a}	312^{a}	318^{a}	354^{b}
CH_4e (g/Tag)	233^{a}	223^{a}	227^{a}	253^{b}
CH_4e/ Milchleistung (L/kg ECM)	15,9^{a}	16,2^{a}	16,5^{a}	18,6^{b}
CH_4e/ Milchleistung (g/kg ECM)	11,4^{a}	11,6^{a}	11,8^{a}	13,3^{b}

Auch die Zusammensetzung und die Artenvielfalt des für die Fütterung oder Beweidung genutzten Grünlandes kann die CH_4e beeinflussen. So stellten Carmona-Flores et al. (2020) signifikant niedrigere Emissionen je kg ECM auf artenreichen Weiden im Vergleich zu Weidelgras-Weißklee-Weiden fest. Insbesondere Pflanzen mit einem hohen Gehalt an sekundären Inhaltsstoffen wie z.B. Tanninen scheinen eine wichtige Rolle zu spielen und das Fettsäuremuster in der Milch zu verändern. Loza et al. (2023) konnten zeigen, dass bei der Fütterung von artenreichem, im Vergleich zu artenarmem Weidegras und zu Silage die gesättigten FS (SFA) in der Milch ab- und die mehrfach ungesättigten FS (PUFA) zunahmen. Da die CH_4e unter anderem vom Verhältnis und den Anteilen von gesättigten und ungesättigten FS beeinflusst werden, lässt sich ein Zusammenhang zwischen Artenzusammensetzung und CH_4e vermuten.

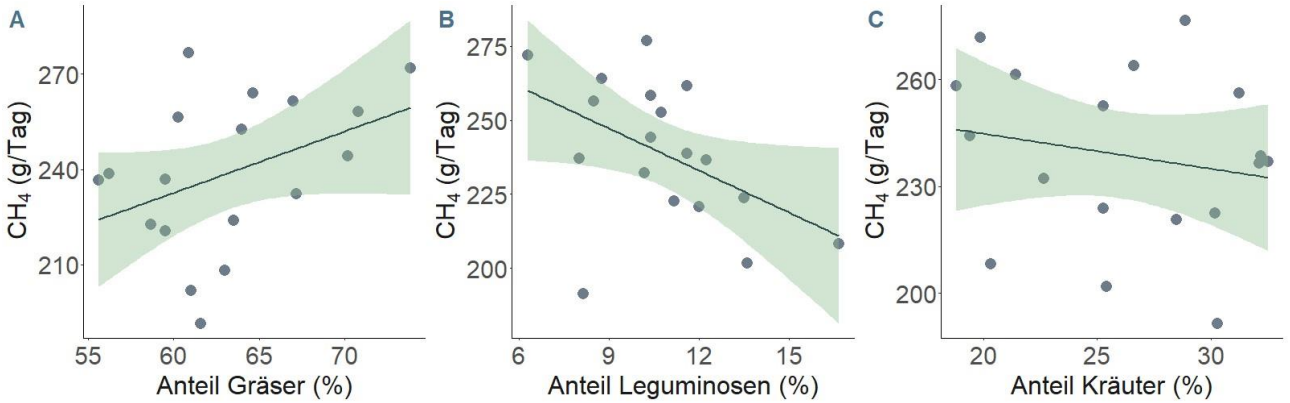

Abb. 2: Korrelationen zwischen mittleren Methanemissionen (g/Tag) und prozentualen Ertragsanteilen der funktionellen Gruppen auf repräsentativen Grünlandflächen der untersuchten Betriebe. Die Methandaten je Betrieb sind gemittelt über alle Jahre und Monate. Dargestellt sind Einzeldatenpunkte, Regressionsgeraden und Konfidenzintervalle.

So konnte durch die Untersuchung des Grünlandes auf den teilnehmenden Betrieben dieser Studie eine signifikant negative Korrelation zwischen dem mittleren Ertragsanteil von Leguminosen und der täglichen CH_4e festgestellt werden (r = -0,47; p<.05; Abb. 2B). Der Ertragsanteil von Gräsern zeigte dagegen eine leicht positive Korrelation, wenn gleich diese nicht signifikant war (Abb. 2A). Höhere AFD- und NDF-Konzentrationen im Gras im Vergleich zu Leguminosen und Kräutern können durch langsamere Fermentation im Pansen die Emissionen erhöhen.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigt saisonale Schwankungen der Methanemissionen für 18 grasbasiert fütternde Praxisbetriebe, mit signifikant höheren Emissionen im Winter als in der Weidesaison. Als Gründe können hierfür die bessere Futterqualität auf der Weide und positive Einflüsse von verdauungsfördernden Pflanzenstoffen in Betracht gezogen werden, welche den Effekt der steigenden Milchmenge im Frühjahr nicht nur auszugleichen, sondern umzukehren scheinen. Die Berechnung der CH_4e unter Zuhilfenahme einer Schätzgleichung ist unkompliziert und ließe sich aufgrund des geringen Aufwandes auf beliebig viele Betriebe hochskalieren. Die berechneten Emissionen sind niedriger als gemessene Werte aus experimentellen Studien. Ob dies an der Schätzmethode oder an tatsächlich geringeren CH_4e auf praktischen Betrieben als angenommen liegt, bleibt zu untersuchen. In weiteren Analysen soll desweiteren eine detaillierte Beschreibung der Futterrationen erfolgen und deren Einfluss auf die CH_4e getestet werden.

Literatur

Brade, W., Flachowsky, G. (2005): Cattle breeding and milk production recommendations for practice, in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 289.

Carmona-Flores, L., Bionaz, M., Dowing, T., Sahin, M., Cheng, L., Ates, S. (2020): Milk Production, N Partitioning, and Methane Emissions in Dairy Cows Grazing Mixed or Spatially Separated Simple and Diverse Pastures. Animals 10 (8).

Engelke, S. W., Gürbüz, D., Derno, M., Tuchscherer, A., Berg, W., Kuhla, B., Metges, C. (2018): Milk fatty acids estimated by mid-infrared spectroscopy and milk yield can predict methane emissions in dairy cows. Agron. Sustain. Dev. 38 (3).

Jiao, H. P., Dale, A. J., Carson, A. F., Murray, S., Gordon, A. W., Ferris, C. P. (2014): Effect of concentrate feed level on methane emissions from grazing dairy cows. Journal of Dairy Science 97 (11): 7043-7053.

Lahart, B., Buckley, F., Herron, J., Fitzgerald, R., Fitzpatrick, E., Galvin, N., Shalloo, L. (2024): Evaluating enteric methane emissions within a herd of genetically divergent grazing dairy cows. Journal of Dairy Science 107 (1): 383-397.

Loza, C., Davis, H., Malisch, C., Taube, F., Loges, R., Magistrali, A., Butler, G. (2023): Milk Fatty Acids: The Impact of Grazing Diverse Pasture and the Potential to Predict Rumen-Derived Methane. Agriculture 13 (1).

Muñoz, C., Villalobos, R., Peralta, A. M. T., Morales, R., Urrutia, N. L., Ungerfeld, E. M. (2021): Long-Term and Carryover Effects of Supplementation with Whole Oilseeds on Methane Emission, Milk Production and Milk Fatty Acid Profile of Grazing Dairy Cows. Animals 11 (10).

Rotz, A. (2018): Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. Journal of Dairy Science 101 (7): 6675-6690.

Schwarz, D., Rosenberg Bak, M., Waaben Hansen, P. (2022): Development of global fatty acid models and possible applications. Int. Journ. Of Dairy Tech. 75 (1): 4-20.

Szalanski, M., Kristensen, T., Difford, G., Lassen, J., Buitenhuis, A. J., Pszczola, M., Løvendahl, P. (2019): Enteric methane emission from Jersey cows during the spring transition from indoor feeding to grazing. Journal of Dairy Science 102 (7): 6319-6329.

Van Wyngaard, J.D.V., Meeske, R., Erasmus, L. J. (2018): Effect of concentrate feeding level on methane emissions, production performance and rumen fermentation of Jersey cows grazing ryegrass pasture during spring. Animal Feed Science and Technology 241: 121-132.

Zanon, T., Fichter, G., Mittermair, P., Nocker, L., Gauly, M., Peratoner, G. (2023): Quantifying methane emissions under field conditions under 2 different dairy production scenarios: Low-input versus high-input milk production. Journal of Dairy Science 106 (7): 4711-472.