

Treibhausgasemissionen aus Milchproduktionssystemen basierend auf einer Langlebigkeitsstrategie im Vergleich zu herkömmlichen Systemen

Greenhouse gas emissions of dairy production systems based on longevity as compared to conventional systems

Florian Grandl^{1*}, Marisa Furger², Angela Schwarm¹, Simon Peter³ und Michael Kreuzer¹

Zusammenfassung

Mit steigenden Milchleistungen in modernen Milchproduktionssystemen waren und sind ein steigender Einsatz von Kraftfutter und ein Rückgang der Nutzungsdauer der Milchkühe zu beobachten. Verschiedene Überlegungen zur Nahrungskonkurrenz sowie ökonomische und ökologische Gründe führen dazu, über Alternativen zu High-Input-High-Output-Systemen nachzudenken. Im vorliegenden Projekt steht die Analyse einer Langlebigkeitsstrategie mit geringem Kraftfuttereinsatz und moderaten Milchleistungen im Vergleich zu einer Hochleistungsstrategie mit kürzerer Nutzungsdauer hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Kriterien im Zentrum. Zu diesem Zweck wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem der Einfluss des Alters auf die Methanbildung von Milchkühen sowie einer Vielzahl weiterer Parameter mit herkömmlicher und kraftfutterfreier Fütterung untersucht wurden. Erste Ergebnisse zeigen, dass die altersabhängige Entwicklung von Methan ausstoß und anderen umweltrelevanten Größen nicht dagegen sprechen, die Nutzungsdauer zu erhöhen. Die Methanemissionen scheinen sogar zurückzugehen. Eine umfassende umweltökonomische Analyse des gesamten Milchproduktionssystems einschließlich aller verwendeten Inputs sowie der Auswirkungen auf die gekoppelte Rindfleischproduktion wird nun mittels Simulationsanalysen durchgeführt.

Schlagwörter: Milchkühe, Nutzungsdauer, Fütterung, Methan, Produktionsstrategie

Summary

With increasing milk yield in modern dairy production systems, a growing use of concentrate and a decreasing length of productive life of dairy cows have been and still are observed. Different considerations such as food competition or economic and ecological reasons draw attention to alternatives of high-input-high-output systems. The present project aims at analysing a production strategy focusing on longevity, reduced concentrate input and moderate milk yield compared to a high yield strategy with short productive life with regard to ecological and economic criteria. To this end, the effect of age on methane emissions and a number of other characteristics of dairy cows fed either a Swiss standard diet or a diet without concentrates were investigated in an extensive experiment. First results show no adverse trends in methane emissions and other relevant traits in older cows which might otherwise argue against increasing the length of productive life. The methane emission even seems to decline with age. Entire milk production systems will now be comprehensively assessed by environmental-economic simulations and by including all inputs used. The implications on beef production as a by-product will be considered as well.

Keywords: Dairy cows, length of productive life, feeding, methane, production strategy

1. Einleitung

Die Milchleistung von Kühen stieg in den letzten Jahrzehnten in modernen Milcherzeugungssystemen stark an und dieser Anstieg erfolgt ungebrochen weiter. Dies ist die Folge von züchterischen Maßnahmen, Verbesserungen in Haltung und Management sowie einer veränderten Fütterung, insbesondere mit Verwendung von Rationen mit stark verbesserter Grundfutterqualität oder hohen Kraftfutteranteilen oder beidem. Kühe mit zunehmender Milchleistung benötigen unter ansonsten gleichen Bedingungen im Verhältnis zur Milchproduktion immer weniger Nährstoffe für den Er-

haltungsbedarf, wodurch sie – zumindest kurzfristig – als effizienter in der Verwertung von Nährstoffen gelten. Diesen Effekt bezeichneten BAUMAN et al. (1985) als „dilution of maintenance“ (Verdünnung des Erhaltungsbedarfs). Daher wird die Erhöhung der Produktivität regelmäßig als einer der vielversprechendsten Ansätze zur Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der Milchproduktion angeführt (z. B. CAPPER und BAUMAN 2013; *Abbildung 1*).

Diese Intensivierung war und ist jedoch mit einer abnehmenden Nutzungsdauer der Kühe verbunden, sei es einerseits wegen Euter-, Klauen- oder Fruchtbarkeitsproblemen

¹ ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, CH-8092 Zürich

² LBBZ Plantahof, CH-7302 Landquart

³ ETH Zürich, Institut für Umweltentscheidungen, CH-8092 Zürich

* Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Florian Grandl, email: florian.grandl@usys.ethz.ch



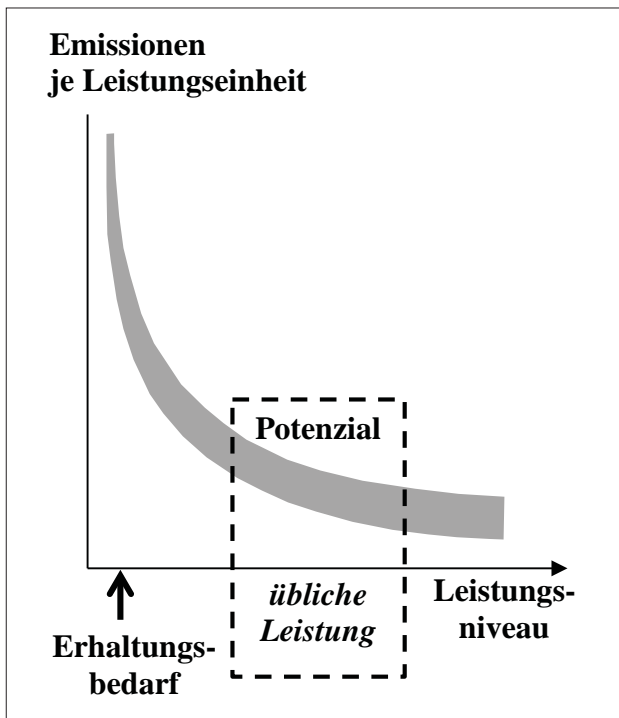


Abbildung 1: Schema der Veränderungen der Emissionen je Leistungseinheit mit steigendem Leistungsniveau unter Konstanzhaltung aller weiteren Parameter (ohne Berücksichtigung der Emissionen, die bei der Remontierung entstehen)

oder andererseits auch wegen der Merzung von Kühen, die notwendig ist, um die Herdenleistung zu steigern bzw. das Potential des züchterischen Fortschritts schnellstmöglich zu nutzen. Heute erreichen Kühe in Österreich im Schnitt 3,4 (Holstein) bis 4,0 (Fleckvieh) Abkalbungen, die durchschnittliche Nutzungsdauer bei Schweizer Kühen beträgt rund 3,7 Laktationen (BURREN 2011). In den USA ermittelten HARE et al. (2006) für die Anzahl an Abkalbungen von fünf Milchrasen einen Bereich von 2,6 bis 3,2. Angesichts der Tatsache, dass die Milchleistung in der Regel in den ersten Laktationen ansteigt und anschließend ein Plateau erreicht und dann erst ein Rückgang der Laktationsleistungen zu beobachten ist, geht mit durchschnittlichen Nutzungsdauern von rund drei Laktationen ein großes Potential an hochproduktiver Zeit systematisch verloren. Abgesehen davon, dass mit längerer Nutzungsdauer in den Herden der Anteil von Kühen in höheren und damit profitableren Laktationen ansteigt, reduziert eine längere Nutzungsdauer den Remontierungsaufwand. Die Aufzucht, im engeren Sinne eine unproduktive Periode, dauert mindestens zwei Jahre, was unter gegenwärtigen Bedingungen rund einem Drittel der gesamten Lebenszeit eines Tieres entspricht. Eine kurze Nutzungsdauer verringert somit den Zeitraum, in dem der Aufwand für die Aufzuchtphase „abgeschrieben“ werden kann. Dies gilt für die ökonomischen Kosten (Abbildung 2). Gleichmaßen kann dieses Prinzip aber auch für die „Umweltkosten“ wie beispielsweise die Treibhausgasemissionen aus der Aufzuchtphase angewendet werden.

Eine Fokussierung der Milchproduktionssysteme auf hohe Laktationsleistungen bedingt meist auch eine Erhöhung des Kraftfutteranteils in den Rationen. Abgesehen von der Frage, inwieweit kraftfutterreiche Rationen noch den Anforderungen eines Wiederkäuers entsprechen, stellt

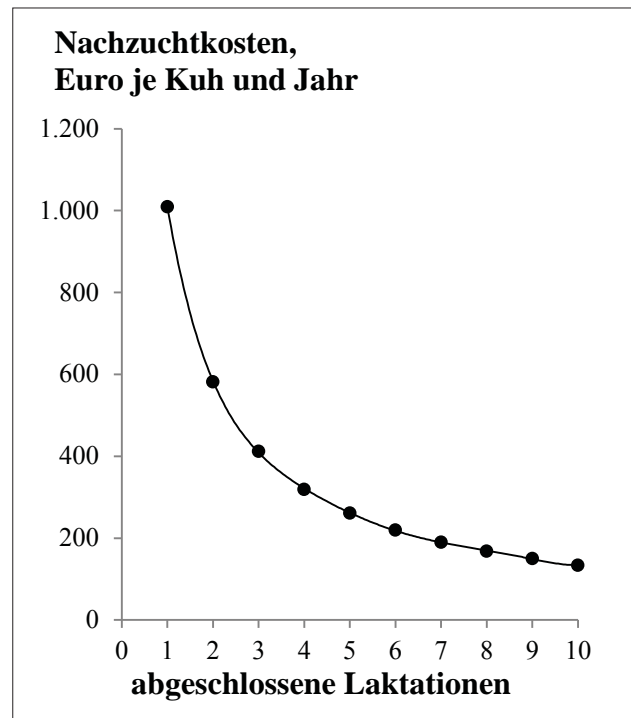


Abbildung 2: Schema der Veränderungen der Aufzucht-kosten (Euro pro Kuh und Jahr) mit der Nutzungsdauer (Daten aus HORN et al. 2012)

der Einsatz von großen Mengen an Kraftfutter auch ein Ressourcenproblem dar. Kraftfutter wird meist mit einem großen Aufwand von Ressourcen (Energie, Wasser, Dünger, Ackerland etc.) produziert und steht damit in Konkurrenz zur pflanzlichen Produktion für die menschliche Ernährung, die auf dieselben Ressourcen angewiesen ist (OLTJEN und BECKETT 1996).

Eine Alternative zu einer High-Input–High-Output-Strategie könnte darin bestehen, mit einer Low-Input–Moderate-Output-Strategie eine effiziente Milchproduktion mit langlebigen Kühen bei begrenztem Kraftfuttereinsatz anzustreben. Dabei sollen Einsparungen durch weniger Nachzucht und reduziertem Einsatz von zugekauftem Futter niedrigere Einzeltierleistungen kompensieren. Aus Umweltsichtspunkten müssen jedoch gewisse Schwierigkeiten berücksichtigt werden. Eine hohe Raufutteraufnahme und geringe Kraftfutteranteile in der Ration steigern nämlich die Methanbildung im Tier, während gleichzeitig auch weniger Milch produziert wird. Außerdem kann eine solche Strategie nur erfolgreich sein, wenn die Effizienz der Kühe in höheren Laktationen nicht stark zurückgeht beziehungsweise die Emissionen je Einheit Futter oder Milch nicht stark ansteigen. Es ist bekannt, dass es eine tierindividuelle Variation in der Methanbildung je kg Futter gibt. PINARES-PATINO et al. (2007) konnte solche Unterschiede zum Teil auf eine unterschiedliche Physiologie der Verdauung zurückführen. Gleichzeitig gibt es auch Hinweise, dass sich solche Parameter zumindest zwischen erst- und höherlaktierenden Tieren unterscheiden (MAEKAWA et al. 2002). ZEITZ et al. (2012) fanden in einer Übersichtsarbeit zu den Emissionen aus der schweizerischen Rinderhaltung einen Anstieg der Methanemissionen mit zunehmenden Alter bei Maststieren und die Werte bei den ausgewachsenen Milchkühen lagen noch höher (Abbildung 3). Innerhalb der Kühe wurde aber

nicht nach Alter unterschieden. In *Abbildung 3* sind zusätzlich die vom IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) veröffentlichten Standardwerte für Methanemissionen von Rationen mit < 90 % Kraftfutter (Standardwert 6,5) und ≥ 90 % (Standardwert 3,0) dargestellt. Untersuchungen, die speziell die physiologischen Parameter von alten Kühen erheben, fehlen bisher.

Im Projekt „Treibhausgasemissionen aus Milchproduktionssystemen basierend auf einer Langlebigekeitsstrategie im Vergleich zu herkömmlichen Systemen“ erfolgt eine Analyse der Langlebigekeitsstrategie im Vergleich mit der High-Input–High-Output-Strategie mit kürzerer Nutzungsdauer. Zunächst wird in einem Exaktversuch geklärt, wie sich die Methanbildung und andere Verdauungs- und Produktionsparameter mit zunehmendem Alter und bei unterschiedlichen Fütterungsstrategien beim Milchvieh verhalten. Für eine umfassende Betrachtung muss weiter mit einbezogen werden, wie sich die „grauen“ Emissionen (z. B. Treibhausgase, die bei der Herstellung von Kraftfutter oder dem Einsatz von Dünger freigesetzt werden) zwischen den beiden Strategien unterscheiden. Daher werden die Strategien hinsichtlich des Treibhausgaspotenzials des gesamten Milchproduktionssystems analysiert.

2. Milchviehexperiment auf dem Plantahof und am Agroviet-Strickhof

2.1 Versuchsbeschreibung

Im Jahr 2003 wurde die bestehende Braunviehherde des Plantahofs in Landquart (Graubünden, CH) in sogenannte Raufutter- und Leistungsherden aufgeteilt (BRANDENBURGER et al. 2008). Seither erhalten alle Kühe zwar das gleiche Grundfutter, jedoch wird nur bei der Leistungsherde die Ration mit Kraftfutter ergänzt. Somit bot dieser Betrieb ideale Voraussetzungen für ein kontrolliertes Experiment, in dem Alterseffekte zugleich für zwei genau definierte Produktionsstrategien separat untersucht werden konnten.

Tabelle 1: Beschreibung der für den Versuch ausgewählten laktierenden Kühe

Merkmal		Herdenzugehörigkeit	
		Raufutterherde	Leistungsherde
Altersspanne	Tage	1.076 – 3.629	865 – 3.638
Laktationszahl		1 – 7	1 – 7
Tage nach Abkalbung	Tage	111 \pm 68	127 \pm 57
Körpergewicht	kg	667 \pm 51	710 \pm 53
Milchleistung ¹	kg/Tag	26,0 \pm 4,5	29,0 \pm 3,6
Fettgehalt	%	3,63 \pm 0,09	3,61 \pm 0,07
Eiweißgehalt	%	3,09 \pm 0,07	3,44 \pm 0,06

¹energiekorrigierte Milch

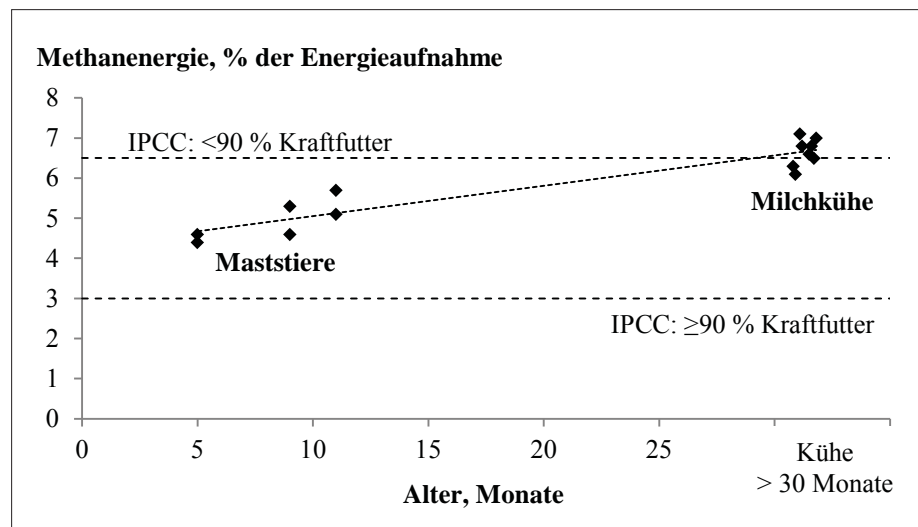


Abbildung 3: Anstieg der Methanemissionen mit dem Alter am Beispiel von Maststieren und ausgewachsenen Milchkühen bei grundfutterbasierten Rationen (Daten aus ZEITZ et al. 2012)

Insgesamt wurden 30 laktierende Kühe mit einer möglichst breiten Altersspanne (*Tabelle 1*) sowie 12 Nachzuchtrinder (7 aus der Raufutter- und 5 aus der Leistungsherde) im Alter von ca. einem halben Jahr bis zwei Jahre untersucht. Weitere Charakteristika der eingesetzten Milchkühe finden sich in *Tabelle 1*.

Das Messprogramm fand dabei an zwei verschiedenen Orten statt. Zunächst wurden die Tiere paarweise vom Plantahof zum Provisorium Agroviet-Strickhof in Eschikon (Zürich, CH) transportiert und dort für drei Tage in Respirationsskammern gehalten, die nach dem offenen Prinzip arbeiten (*Abbildung 4*). Mit diesen Kammern, die von frischer Luft durchströmt werden, ist es möglich, die Methanausscheidung der einzelnen Tiere direkt zu messen. Das übliche Futter der Tiere wurde zusammen mit den Tieren vom Plantahof zum Agroviet-Strickhof gebracht und alle täglichen Routinen wurden möglichst beibehalten.

Nach diesen drei Tagen wurden die Tiere zurück in den Milchvieh-Anbindestall am Plantahof geführt, wo sie für weitere acht Tage im Versuch waren. In dieser Zeit wurden die Dauer und die Anzahl an Kauschlägen der Fress- und Wiederkauaktivität mit Hilfe von in Halfter eingebauten Drucksensoren (BRAUN et al. 2013; *Abbildung 5 links*) aufgezeichnet. Weiters wurde den Tieren ein Urinal angeschallt, mit dem der gesamte produzierte Harn in einen Kanister abgeführt wurde (*Abbildung 5 rechts*). Der gesamte Kot wurde in Wannen aufgefangen. Auch die Tröge im Anbindestall wurden so modifiziert, dass keine Kuh vom Futter der Nachbarkuh fressen konnte (*Abbildung 5 links*). Zu Beginn der Versuchsdurchgänge wurden den Tieren einmalig unverdauliche Marker verabreicht, deren Wiederfindung im Kot zu bestimmten Zeiten nach der Aufnahme erfasst wurde. Schließlich erhielt die Hälfte der Tiere einen Sensor in den Pansen, der per Funk den aktuellen pH-Wert im Pansensaft nach außen weitergab. All diese Vorrichtungen erlaubten es, die folgenden Variablen am Tier zu messen, die helfen sollten, mögliche Altersunterschiede aufzuzeigen und mögliche Effekte auf die Methanemissionen zu erklären: Futter- und Nährstoffaufnahme, Milchleistung und -zusammensetzung, Wiederkauaktivität und Kautätigkeit, pH-Wert



Foto: Katrin Bühler



Foto: Florian Grandl

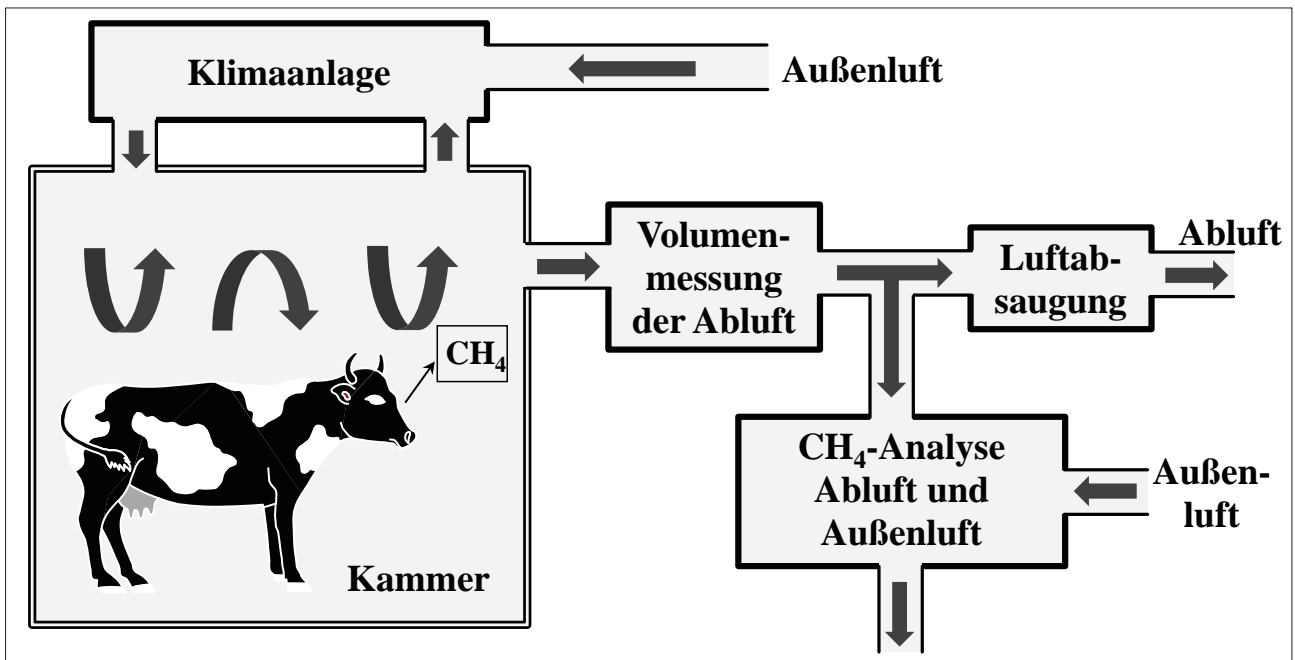


Abbildung 4: Ansicht Respirationskammern am Provisorium Agrovet-Strickhof (oben) und Funktionsschema von Respirationskammern mit offenem Prinzip (unten)



Foto: Florian Grandl



Foto: Florian Grandl

Abbildung 5: Kühe am Plantahof, ausgestattet mit Kausensoren (links) und mit Urinalen (rechts)

im Pansensaft, Verdaulichkeit des Futters, Passagezeit des Futters durch den Verdauungstrakt sowie Stickstoff- und Energieverwertung.

Während des Versuchs wurden den Kühen die in *Tabelle 2* beschriebenen täglichen Mengen (kg Frischmasse) an

einzelnen Futtermitteln vorgelegt. Dies entsprach in etwa auch der Aufnahme, wobei jedoch vom Heu etwas weniger verzehrt wurde als angeboten worden war. Die Jungtiere wurden für den Versuch nur mit Heu (plus Mineralergänzung) gefüttert.

Tabelle 2: Futtervorlage in kg Frischmasse pro Tag

Futterart	Herdenzugehörigkeit	
	Raufutterherde	Leistungsherde
Heu	13,0	12,0
Maissilage	22,0	27,0
Grascobs	5,0	3,0
Milchleistungsfutter	-	3,0
Eiweißkonzentrat	-	2,0
Mineralfutter und Salz	0,15	0,15

Die statistische Auswertung erfolgte primär mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse. Dazu wurden Mittelwerte je Tier gebildet. Die Zielvariablen wurden den Eingangsvariablen Alter und Herdenzugehörigkeit gegenübergestellt; Körpergewicht und Milchleistung wurden als Kovariablen berücksichtigt. Die Variablen wurden zudem in linearer sowie quadratisch und logarithmisch transformierter Form getestet, um nicht-lineare Verlaufskurven beschreiben zu können.

2.2 Erste Resultate

Die auf Lebendmasse und Milchleistung korrigierte Futteraufnahme erstlaktierender Kühe war erwartungsgemäß geringer im Vergleich zu Kühen mit mehreren Laktationen. Ab der zweiten Laktation waren keine deutlichen Änderungen der Futteraufnahme mit zunehmendem Alter mehr erkennbar, was auch auf die im Versuch gemessene Milchleistung zutrifft. Bei der Fress- und Wiederkauzeit pro Tag und beim pH-Wert im Pansen war kein Einfluss des Alters erkennbar. Dagegen wies die Fress- und Wiederkauzeit je kg verzehrte Faser aus dem Futter ein Minimum in der dritten/vierten Laktation auf. Ob dies an einer verbesserten Kaeffizienz älterer Tiere liegt, ist nicht eindeutig zu beantworten. Die Vermutung liegt nahe, insbesondere weil die Jungtiere sogar besonders viel Zeit für das Fressen und Wiederkauen verwendeten. Möglicherweise ist aber auch die Zeit festgelegt, welche die Kühe für Fressen und Wiederkauen aufwenden, selbst wenn eine unterschiedliche Futtermenge zu bewältigen ist. Die Verweilzeit des Futters im Verdauungstrakt zeigte einen Anstieg mit dem Alter. Dementsprechend war die Füllung des Verdauungstraktes mit dem Alter größer und die Verdaulichkeit der organischen Masse stieg an. Trotz all dieser Veränderungen zeigten die Methanemissionen je kg Futtertrockenmasse-Aufnahme und je kg Milch nach einem anfänglichen Anstieg bis etwa zur dritten Laktation eine kontinuierliche Abnahme bis zu den ältesten Kühen.

Die meisten Alterseffekte waren gleichermaßen in der Raufutterherde und in der Leistungsherde zu finden. Zwischen den Herden bestand bei der Futteraufnahme trotz gewisser Milchleistungsunterschiede (Tabelle 1) kein bedeutender Unterschied (Raufutterherde 21 kg und Leistungsherde 22 kg Trockenmasse pro Tag). Die Tiere der Raufutterherde nahmen aber aufgrund des Kraftfuttermittels mehr Faser auf, wodurch die Verdaulichkeit der organischen Masse leicht niedriger war. Dieser Unterschied in der Verdaulichkeit (Raufutterherde 67,9 %, Leistungsherde 69,3 %) fiel aber vergleichsweise moderat aus, möglicherweise weil das Kraftfutter zumindest teilweise durch Grascobs mit hoher Verdaulichkeit ersetzt wurde. Die Faserverdaulichkeit hingegen war bei der Raufutterherde tendenziell höher. Die

Verweildauer des Futters im Verdauungstrakt war in beiden Herden gleich. Die Kühe der Raufutterherde bildeten absolut mehr Methan. Je kg Futter-Trockensubstanz, Milch und verdaulicher organischer Masse betrug die Differenz in der Methanbildung zur Leistungsherde 15 bis 18 %. Dies war wegen der entsprechend höheren Aufnahme an Faser, dem Nährstoff mit dem höchsten Methanbildungspotenzial, zu erwarten. Entsprechend ergab sich bezogen auf die verdauliche Faser kein Unterschied im Methan.

Die Erklärung für die Abnahme der Methanemission der Kühe mit zunehmendem Alter muss erst noch genauer analysiert werden. Die altersbedingten Veränderungen in den erklärenden Variablen, die dazu gemessen wurden, hätten eher das Gegenteil erwarten lassen. So gäbe es z. B. mit längerer Verweildauer des Futters im Pansen auch mehr Zeit, Methan zu bilden. Allerdings war ein leichter Rückgang der Faserverdaulichkeit bei den ältesten Kühen zu beobachten.

3. Konsequenzen für die Treibhausgasbilanz der Milchproduktionssysteme

ZEHETMEIER et al. (2014) unterstreichen die große Bedeutung von Milchleistung und Remontierungsrate als entscheidende Indikatoren für Unterschiede in den Treibhausgasemissionen. Diese Erkenntnis stammt aus der Analyse von 53 Milchviehbetrieben in West- und Süddeutschland. Auch wenn die Erklärungen für die im Versuch beobachteten Änderungen der Methanemissionen mit dem Alter noch nicht vollständig sind, lässt sich als generelle Erkenntnis aus dem Versuch feststellen, dass die Methanemissionen kein Hindernis für eine ökologisch nachhaltige Langlebigekeitsstrategie sind. Weitere Auswertungen werden zeigen, ob beziehungsweise wo ein Optimum der Nutzungsdauer hinsichtlich der Gesamtemissionen aus der Milchproduktion existiert. Da sich Langlebigekeits- und die High-Input-High-Output-Strategie auch im Rationstyp unterscheiden, ist der Vergleich von Raufutter- und Leistungsherde hier ebenfalls von großem Interesse. Es hat sich gezeigt, dass etwas Kraftfutter zwar das Methan leicht senkt (stärker bei Bezug auf die erzeugte Milch), die Emissionen, die im Zuge der Bereitstellung des Kraftfutters entstehen, könnten das aber aufwiegen. Tatsächlich zeigten erste Berechnungen (MENGELT 2014) ein vergleichbares Gesamttreibhausgaspotenzial pro kg aktuell produzierter Milch von Raufutter- und Leistungsherde.

Neben den Emissionen, welche die Milchkühe selbst produzieren, sowie diejenigen, die im Zuge von Her- und Bereitstellungen der Inputs für die Milchproduktion anfallen, ist für eine umfassende Systembewertung auch die enge Verknüpfung mit der Rindfleischproduktion zu beachten (ZEHETMEIER et al. 2012). Kälber, die nicht zur Nachzucht verwendet werden und in verschiedensten Formen der Großviehmast verwendet werden, spielen in vielen Ländern eine wesentliche Rolle in der Rindfleischversorgung. Daneben spielt insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Nutzungsdauer auch der Anfall an Altkühen eine Rolle für die Rindfleischversorgung. Somit wird die Berücksichtigung von Angebot und Nachfrage im Rindfleischsektor für die künftige Entwicklung von Strategien für die Milchproduktion ebenfalls mitentscheidend sein.

4. Danksagung

Angehörige des Plantahofs (Landquart): Andrea Accola, Dino Balestra, Carl Brandenburger, Kaspar Freuler, Josef Jenewein, Peter Kuchler; Angehörige des Strickhofs (Eschikon): Mirjam Hunziker, Hanspeter Renfer, Sabine Rinderknecht, Ueli Voegeli; Angehörige des Provisoriums Agrovet-Strickhof: Sergej Amelchanka, Carla Soliva, Rudolf Stoz; Angehörige der ETH Zürich: Florian Leiber, Simon Peter Luzi, Regula Mengelt, Johanna Zeitz; Tiertransporteur: Armin Mark.

Das Projekt wird durch das Mercator-Forschungsprogramm des World Food System Center der ETH Zürich gefördert.

5. Literatur

- BAUMAN, D.E., S.N. McCUTCHEON, W.D. STEINHOOR, P.J. EPPARD und S.J. SECHEN, 1985: Sources of variation and prospects for improvement of productive efficiency in the dairy cow: a review. *J. Anim. Sci.* 60, 583-592.
- BRANDENBURGER, C., E. VON AH und A. LATSCHA, 2008: Herdentrennung am LBBZ Plantahof Erfahrungen und Resultate aus dem Praxisversuch von 2003 bis 2007. In: *Praxis trifft Forschung: Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2008, Landbauforschung, Sonderheft 320*. Braunschweig, VTI, 119-130.
- BRAUN, U., L. TRÖSCH, F. NYDEGGER und M. HÄSSIG, 2013: Evaluation of eating and rumination behaviour in cows using a noseband pressure sensor. *BMC Vet. Res.* 9, 164.
- BURREN, A., 2011: Das Maximum oder das Optimum Anstreben. *Die Grüne* 21, 28-30.
- CAPPER, J.L. und D.E. BAUMAN, 2013: The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1, 469-489.
- HARE, E., H.D. NORMAN und J.R. WRIGHT, 2006: Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States. *J. Dairy Sci.* 89, 3713-3720.
- HORN, M., W. KNAUS, L. KIRNER und A. STEINWIDDER, 2012: Economic evaluation of longevity in organic dairy cows. *Org. Agr.* 2, 127-143.
- MAEKAWA, M., K.A. BEAUCHEMIN und D.A. CHRISTENSEN, 2002: Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 1176-1182.
- MENGELT, R., 2014: Futtererzeugung und tierische Emissionen als Bestimmungsgrößen der Treibhausgasbilanz der Milchproduktion – Einfluss der Fütterungsstrategie. Bachelorarbeit, ETH Zürich, 32 S.
- OLTJEN, J.W. und J.L. BECKETT, 1996: Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems. *J. Anim. Sci.* 74, 1406-1409.
- PINARES-PATINO, C.S., G.C. WAGHORN, A. MACHMÜLLER, B. VLAMING, G. MOLANO, A. CAVANAGH und H. CLARK, 2007: Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Can. J. Anim. Sci.* 87, 601-613.
- ZEHETMEIER, M., J. BAUDRACCO, H. HOFFMANN und A. HEISENHUBER, 2012: Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6, 154-166.
- ZEHETMEIER, M., H. HOFFMANN, J. SAUER, G. HOFMANN, G. DORFNER und D. O'BRIEN, 2014: A dominance analysis of greenhouse gas emissions, beef output and land use of German dairy farms. *Agric. Syst.* 129, 55-67.
- ZEITZ, J.O., C.R. SOLIVA und M. KREUZER, 2012: Swiss diet types for cattle: how accurately are they reflected by the Intergovernmental Panel on Climate Change default values? *J. Integrat. Environm. Sci.* 9, 199-216.