



Doctoral Thesis

Longevity of Dairy Cows: Biological and Production System Implications for Greenhouse Gas Emissions

Author(s):

Grandl, Florian

Publication Date:

2017

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000237472> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 24809

**LONGEVITY OF DAIRY COWS:
BIOLOGICAL AND PRODUCTION SYSTEM IMPLICATIONS
FOR GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

FLORIAN GRANDL

Diplom-Ingenieur, Universität für Bodenkultur Wien

born on *06.07.1983*

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

*Prof. Dr. Michael Kreuzer, examiner
Dr. Angela Schwarm, co-examiner
Prof. Dr. Werner Zollitsch, co-examiner*

2017

Summary

Livestock production is a major contributor to global climate change. In the dairy sector, methane (CH₄) emissions from ruminal fermentation are the primary source of greenhouse gas (GHG) emissions. A high yield strategy with maximized milk production with high input—particularly of concentrate—has long been an effective way of decrease GHG per unit of milk. However, alternative milk production strategies which consider the interrelationships of livestock production systems are gaining interest and are often promoted in organic farming. These strategies do not only focus on maximizing the output but consider the scope for GHG reduction by improving fitness and longevity of dairy cows at a production level below the maximum. Increasing the length of productive life of dairy cows and thus reducing emissions from the rearing phase is an approach to improve the sustainability of dairy production, but it is rarely investigated in detail for its consequences on the entire cattle production system. The objective of the present thesis was to investigate the effect of age on the CH₄ production in dairy cattle and to evaluate the emissions of GHG from dairy production systems along a gradient of productive lifetime of cows.

A metabolic experiment was conducted at the Plantahof (Landquart, CH) and at Agrovét-Strickhof (Lindau, CH). The experimental animals were selected with the goal to achieve the widest possible age spectrum. The animals were between 199 and 3638 days of age. For the experiment, 2 × 15 lactating dairy cows and 12 non-lactating heifers were selected from the two Brown Swiss herds at Plantahof, where two herds have been managed under different feeding regimes for more than ten years. No concentrate was given in one feeding regime, whereas in the other the diet included concentrate. The animals in the study were subjected their respective feeding strategy for their entire lives and were thus fully adapted to the two dietary treatments. The aim of the experiment was to inquire into potential changes in CH₄ emissions from enteric fermentation of dairy cows along an age gradient, to identify possible physiological mechanisms behind these changes, and to investigate the energy balance and efficiency of dairy cattle of different age. The results from the experiment were furthermore used to conduct an environmental and economic analysis of milk production systems with regard to their GHG emissions and their profitability based on a life cycle assessment approach and a full cost analysis.

In the present study, several animal characteristics that are known to influence CH₄ production in ruminants changed with age. Dry matter intake increased with age and the mean retention time of digesta was longer in older cows than in younger cows. Although young and old cows chewed regurgitated feed boluses more often than middle aged cows, fiber digestibility had a maximum in middle aged cows of around four to six years of age. In cows, absolute CH₄ emissions per day and CH₄ per unit of feed intake, body weight and milk yield were significantly related to age. The development of these CH₄ traits with age in the experimental cows was characterized by an increase from primiparous cows to a maximum in middle aged cows of around 2000 d of age, followed by a decline. The observed changes in CH₄ production with age were not accompanied by corresponding changes in intake, chewing activity, digesta retention time and digestibility of organic matter which would explain the pattern in CH₄. However, the stage of age of the greatest fiber degradation was at its maximum in middle aged cows

and smaller in young and old cows. The observed decline in CH₄ emissions in the older cows seems to result from a reduction in fiber digestibility at unchanged organic matter digestibility.

Feed efficiency (feed intake per unit of milk or body weight, and residual feed intake) in cows gave no clear indication if younger cows might be overall more efficient than older cows. Older cows showed increased energy intakes, but energy loss with feces and apparent digestibility of gross energy were not affected by age. Given that there was no change in apparent digestibility of organic matter despite a maximum in apparent digestibility of fiber in the middle aged cows, and considering the change of CH₄ losses with age it can be concluded that digestive efficiency was high in very young and old cows. Apparently, these animals were able to meet their nutrient requirement without extensively degrading fiber, which reduced proportionate losses as CH₄. Older cows accreted more energy reserves in the body, and they additionally utilized metabolizable energy more efficiently for milk energy production.

The two feeding regimes the experimental animals were subjected to were an approach to cover possible diets of milk production strategies focusing either on high output (diet with concentrate) or on prolonging the length of productive life at moderate to high output (diet without concentrate). In the heifers, no differences in intake and digestion characteristics or energy balance according to their feeding regime origin were observed. This indicates that the feeding regime effect found in the cows was most likely an effect of the diet and not an effect of selecting for cows adapted to the respective feeding regime. In the cows, the effects of feeding regime were small. An exception were traits that were related to the amount of ingested fiber, which was greater both in absolute terms and as a proportion of total dry matter intake in the cows receiving no concentrate. There were no significant interactions between age and feeding regime and all age-dependent changes were similarly expressed in both feeding regimes.

The GHG emissions associated with the milk produced at the time of the experiment from cows of different age was greatest in cows with short and medium length of productive life and is a consequence of the maximum in CH₄ emissions of middle-aged cows. The cumulated lifetime emissions from feed production and enteric CH₄ increased almost linearly with age. The emissions associated with rearing are fixed, thus the average fixed emissions per unit of milk produced decreased. Accordingly, prolonging productive lifetime is particularly efficient in younger cows that have only produced small amounts of milk per day of life. Adding the emissions of the potential beef production from the surplus dairy calves to the GHG emissions from rearing, feed production and enteric CH₄, more emissions in absolute terms in cows with longer productive life as more offspring per cow were fattened. When the emissions were related to edible protein in order to combine milk and meat as animal products, there was a decrease in emission intensity with increasing productive lifetime of the cows. Considering economic performance, similar conclusions as from the GHG analyses can be drawn: prolonging the length of productive life was most effective in the younger cows. On a herd basis, reducing the number of cows that leave the herd during their first lactation could substantially improve the GHG emissions and profitability per unit of food produced.

This doctoral thesis showed that changes with age in the digestive physiology of dairy cattle exist. With regard to the GHG emissions and the profitability on the cattle production level, it became obvious that the greatest gain in GHG mitigation and profitability across the age gradient is a result of avoided rearing and less of individual cow performance. Primarily milk from young cows has a large potential of improvement. The physiological changes with age do not speak against the endeavor increase the length of productive life in dairy cows. Therefore, implementing dairy production strategies focusing on prolonged length of productive life of cows can be a viable way to improve environmental impacts and profitability both in conventional and organic production conditions.

Zusammenfassung

Die Nutztierhaltung trägt wesentlich zum globalen Klimawandel bei. In der Milchproduktion ist Methan (CH_4) aus der enterischen Fermentation die Hauptquelle der emittierten Treibhausgase (THG). Eine Hochleistungsstrategie mit maximaler Milchleistung und hohem Input (vor allem an Kraftfutter) zu verfolgen, war lange ein effektiver Weg um die THG-Emissionen je Einheit produzierter Milch zu reduzieren. Jedoch gewinnen alternative Milchproduktionsstrategien, die die komplexen Wechselbeziehungen von Nutztiersystemen berücksichtigen, zunehmend an Interesse und werden oft auch in der biologischen Landwirtschaft verfolgt. Solche Strategien sind nicht nur auf die Maximierung der Produktion ausgerichtet, sondern beziehen die Möglichkeit einer Senkung der THG-Emissionen durch eine Verbesserung von Fitness und Langlebigkeit der Kühe bei einer Produktion unter dem maximal möglichen Level mit ein. Eine Verlängerung der Nutzungsdauer der Kühe und damit eine Verminderung der Emissionen aus der Aufzuchtphase ist ein Ansatz, die Nachhaltigkeit der Milchproduktion zu verbessern. Die Auswirkungen dieses Vorgehens auf das gesamte Milchproduktionssystem sind allerdings kaum untersucht. Das Ziel der vorliegenden Doktorarbeit ist es, den Einfluss des Alters auf die CH_4 -Produktion von Milchvieh zu untersuchen und die THG-Emissionen von Milchproduktionssystemen entlang eines Gradienten unterschiedlicher Nutzungsdauer der Kühe abzuschätzen.

Ein Stoffwechselversuch wurde am Plantahof (Landquart, Schweiz) und am Agrovet-Strickhof (Lindau, Schweiz) durchgeführt. Die Versuchstiere wurden so ausgewählt, dass ein möglichst breites Altersspektrum abgedeckt wurde. Die Tiere waren zwischen 199 und 3638 Tage alt. In den Versuch kamen 2×15 Kühe und 12 Rinder aus den beiden Herden des Plantahofs, die bereits mehr als zehn Jahre lang mit zwei verschiedenen Fütterungsregimen geführt wurden. Eine Herde wurde kraftfutterfrei gefüttert, während die Ration der anderen Kraftfutter enthielt. Die Tiere in der Untersuchung waren ihr ganzes Leben lang Teil des jeweiligen Fütterungsregimes, so dass sie vollständig an die Fütterungsvarianten adaptiert waren. Das Ziel des Versuchs war es, mögliche Änderungen in den CH_4 -Emissionen aus der enterischen Fermentation von Milchvieh entlang eines Altersgradienten zu untersuchen, mögliche physiologische Mechanismen hinter diesen Änderungen zu identifizieren und die Energiebilanz und die Effizienz verschieden alter Milchrinder zu ermitteln. Die Versuchsergebnisse flossen außerdem ein in eine Analyse der Umweltwirkung und Wirtschaftlichkeit von Milchproduktionssystemen hinsichtlich ihrer THG-Emissionen und Profitabilität basierend auf einem Ökobilanzansatz und einer Vollkostenrechnung.

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich, dass mehrere Eigenschaften der Tiere, von denen bekannt ist, dass sie die enterische CH_4 -Produktion beeinflussen, sich mit dem Alter änderten. Die Trockenmasseaufnahme stieg mit dem Alter an, ebenso war die Verweilzeit des Futters im Verdauungstrakt bei alten Kühen länger als bei jungen. Obwohl junge und alte Kühe die Futterboli beim Wiederkauen öfter kauten als mittelalte Kühe, erreichte die Faserverdaulichkeit ihr Maximum bei diesen mittelalten Kühen im Bereich von etwa vier bis sechs Jahren. Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter der Kühe und den absoluten CH_4 -Emissionen sowie den CH_4 -

Emissionen bezogen auf Futteraufnahme, Körpergewicht und Milchproduktion. Die Entwicklung der CH₄-Produktion mit dem Alter war gekennzeichnet von einem Anstieg von den erstlaktierenden Kühen zu einem Maximum bei Kühen im Altersbereich von etwa 2000 Lebenstagen und einem anschliessenden Rückgang. Die beobachteten Änderungen in den CH₄-Emissionen mit dem Alter gingen nicht einher mit den entsprechenden Änderungen in Futteraufnahme, Kauaktivität, Verweilzeit des Futters im Verdauungstrakt und Verdaulichkeit der organischen Substanz, die ein solches Muster in den CH₄-Emissionen hätten erklären können. Die Faserverdaulichkeit war jedoch im Altersbereich der mittelalten Kühe am größten und geringer bei jungen und alten Kühen. Der beobachtete Rückgang in den CH₄-Emissionen älterer Kühe schien also eine Folge eines Rückgangs der Faserverdaulichkeit bei gleichzeitig unveränderter Verdaulichkeit der organischen Substanz zu sein.

Die Futtermittelverwertung (Futteraufnahme bezogen auf die Milchproduktion oder das Körpergewicht und Residualfutteraufnahme) der Kühe liess keine eindeutige Aussage zu hinsichtlich der Frage, ob junge Kühe generell effizienter als ältere sein könnten. Ältere Kühe zeigten eine größere Energieaufnahme, während bei den Energieverlusten mit dem Kot und der scheinbaren Energieverdaulichkeit kein Zusammenhang mit dem Alter feststellbar war. Angesichts der fehlenden Altersabhängigkeit der Verdaulichkeit der organischen Substanz trotz eines Maximums der Faserverdaulichkeit bei mittelalten Kühen sowie der Veränderung der CH₄-Emissionen mit dem Alter lässt sich darauf schliessen, dass die Effizienz der Verdauung in den sehr jungen und den alten Kühen hoch war. Offensichtlich waren diese Tiere in der Lage, ihren Nährstoffbedarf ohne eine intensive Faserverdauung zu decken, was die relativen CH₄-Verluste gering hielt. Ältere Kühe bauten größere Energiereserven im Körper auf, und zusätzlich nutzten sie die umsetzbare Energie effizienter für die Milchenergieproduktion.

Die bei den Versuchstieren angewandten Fütterungsregime waren eine Näherung an mögliche Rationen, die den Milchproduktionsstrategien mit den Ziel „hohe Leistung“ (Ration mit Kraftfutter) beziehungsweise „lange Nutzungsdauer mit moderaten bis hohen Leistungen“ (Ration ohne Kraftfutter), entsprechen könnten. Bei den Rindern liessen sich keine Unterschiede in der Futteraufnahme und den Verdauungsmerkmalen zwischen den Fütterungsregimen, aus denen die Rinder stammten, beobachten. Dies deutet darauf hin, dass ein Einfluss des Fütterungsregimes bei den Kühen höchstwahrscheinlich ein Fütterungseffekt war und kein Einfluss einer Selektion von Kühen innerhalb eines Fütterungsregimes. Bei den Kühen war der Einfluss des Fütterungsregimes gering. Eine Ausnahme waren Merkmale, die mit der Menge an aufgenommener Futterfaser zusammenhingen. Diese war sowohl absolut als auch im Verhältnis zur Trockenmasseaufnahme grösser bei den Kühen, die kein Kraftfutter erhielten. Es gab keine signifikanten Interaktionen zwischen dem Alter und dem Fütterungsregime. Alle altersabhängigen Änderungen traten in beiden Fütterungsregimes gleichermassen auf.

Die THG-Emissionen aus der Milchproduktion der verschieden alten Kühe bei der Betrachtung zum Zeitpunkt des Versuchs waren am höchsten bei Kühen mit kurzer bis mittlerer Nutzungsdauer. Dies war eine Folge des Maximums der CH₄-Emissionen der mittelalten Kühe. Die kumulierten Emissionen über die gesamte Lebensdauer aus der Produktion der Futtermittel und der enterischen CH₄-Bildung stiegen

nahezu linear mit dem Alter an. Die Emissionen aus der Aufzuchtphase hingegen sind fix, daher sanken die durchschnittlichen fixen Emissionen je Einheit produzierter Milch mit steigendem Alter der Kühe. Folglich ist eine Verlängerung der Nutzungsdauer besonders wirksam bei jüngeren Kühen, die erst eine geringe Menge Milch je Lebenstag produziert haben. Wenn die Emissionen aus der Rindermast der verfügbaren Kälber der Milchkühe zu den Emissionen aus Aufzucht, Futterproduktion und enterischer Fermentation addiert werden, so steigen die absoluten Emissionen mit längerer Nutzungsdauer an, da mehr Nachkommen gemästet werden. Diese gesamten Emissionen wurden ins Verhältnis zum essbaren Protein gesetzt, um die tierischen Produkte Milch und Fleisch zu kombinieren. In diesem Fall sanken die Emissionen je Einheit essbaren Proteins mit längerer Nutzungsdauer. Hinsichtlich der ökonomischen Leistung liessen sich ähnliche Schlüsse wie bei den THG ziehen: eine Verlängerung der Nutzungsdauer ist insbesondere bei den jungen Tieren wirksam. Bezogen auf eine Herde bedeutet dies, dass vor allem eine Verringerung der Abgänge in der ersten Laktation sowohl die THG-Emissionen als auch die Profitabilität je Produkteinheit deutlich verbessern könnte.

In der vorliegenden Doktorarbeit zeigte sich, dass Unterschiede in der Verdauungsphysiologie von Milchvieh verschiedenen Alters existieren. Hinsichtlich der THG-Emissionen und der Profitabilität der Milchproduktionssysteme wurde deutlich, dass der vielversprechendste Verbesserungsansatz auf der Verringerung der Zahl an Nachzuchttieren fusst und weniger auf der individuellen Leistung der Tiere. Insbesondere von jungen Kühen produzierte Milch hat ein großes Verbesserungspotential. Die physiologischen Änderungen mit dem Alter der Kühe sprechen nicht gegen Bemühungen, die Nutzungsdauer zu verlängern. Daher könnten Milchproduktionsstrategien mit einem Fokus auf langer Nutzungsdauer ein brauchbarer Weg sein, um Umweltwirkungen und Ökonomie der Milchproduktion sowohl unter konventionellen als auch biologischen Produktionsbedingungen zu verbessern.