

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen

4. Methanproduktion, Wasserverbrauch und Anfall von Exkrementen

Klaus Walter*

Zusammenfassung

Wiederkäuer veredeln Futtermittel in qualitativ hochwertige Nahrungsmittel, aber ihnen ist rd. 6 % der anthropogenen Treibhausgasemission anzulasten.

Für jede der von Jouany (2008) diskutierten Methanproduktionsfunktionen wird das Emissionsprofil für eine Zwischenkalbezeit errechnet. Dabei ergeben sich große Unterschiede hinsichtlich Niveau und Verlauf der einzelnen Profile. Die auf den Inhaltsstoffkonzentrationen basierten Funktionen reagieren mit deutlich erhöhtem Methananfall auf den Eiweißüberschuss bei Frischgrasverfütterung ebenso wie auf den höheren Rohfasergehalt bei Grundfutter mit geringerer Qualität.

Die Schätzfunktionen, die den Methananfall nach dem Grund- oder Kraftfutteranteil in der Ration bemessen, konvergieren gegen eine Konstante, wenn wie im letzten Drittel der Laktation der Erhaltungs- und Leistungsbedarf allein aus Grundfutter gedeckt werden kann.

Wird der Methanausstoß an Hand der Futteraufnahme bemessen, so weisen die hier kalkulierten Funktionen ein ähnliches Niveau und einen vergleichbaren Verlauf auf.

Trotz der Unterschiede bei Niveau und Profil ergeben sich für alle Methanproduktionsfunktionen mit steigender Milchleistung deutliche Größendegressionen beim produktspezifischen Methananfall, der bei einer Verdopplung der Milchleistung von 7.000 auf 14.000 kg Milch zwischen 20 bis 50 % betragen kann. Der produktbezogene Wasserverbrauch sowie der Exkrementenanfall mindern sich bei Leistungssteigerungen in ähnlicher Größenordnung.

Die Berechnungen ergeben, dass die Schadgasemission, der Wasserverbrauch und der Anfall von Exkrementen je kg Milch durch Leistungssteigerung und Verbesserung der Grundfutterqualität effizient mindern lassen, so dass sich hier die ökonomischen und ökologischen Interessen ergänzen.

Schlüsselworte: Methanproduktionsprofil einer Laktationsperiode, produktspezifischer Methananfall und Milchleistung, produktspezifischer Exkrementenanfall und Wasserbedarf

Summary

The feeding and husbandry of high performance cows

Part 4. Methane production, water consumption and excretion of waste

Ruminants turn feedstuffs into high quality nutrients in their unique digestive systems, but are attributed with creating almost 6 % of the man-made pollution with their methane excretions.

The emission profile is calculated for an interim calving period for each of the methane production functions discussed by von Jouany (2008). Here, there are large differences with regard to the level and course of the individual profiles. The functions based on the component-concentrations in the ration react to the protein surplus in fresh grass feeding, as well as to the higher crude fibre content in low quality basic rations, with significantly higher methane.

The estimation functions that measure the methane according to the portion of basic fodder or concentrate in a ration converge against a constant if, the needs can be covered solely with basic rations.

If the methane excretion is measured on the basis of the feed intake, the calculated functions indicate a similar level and a comparable course.

Despite the difference in the level and profile, all methane production functions result in increasing milk yield with a significant size degression in product-specific methane yields, which contributed between 20 to 50 % with a doubling of the milk yield from 7000 to 14,000 kg milk. The product-related water consumption and also the excrement output reduce at a similar level.

The calculations show that the pollutant gas emissions, water consumption and the level of excrement per kg milk can be efficiently reduced through an increase in yield and improvement of basic ration quality, so that the economic and ecological interests complement each other.

Keywords: Methane production profile of a lactation period, product specific methane yield and milk yield, product specific excrement yield and water requirement.

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

1 Einleitung und Fragestellung

Nach Schätzungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) ist die Landwirtschaft mit 17 bis 32 % an der weltweiten anthropogenen Treibhausgasproduktion beteiligt. Davon entfallen rund 6 Prozentpunkte auf Methan, das vor allem der Haltung von Wiederkäuern anzulasten ist. Für die stetig wachsende Weltbevölkerung entsteht daraus ein Dilemma, weil diese Tiere die vom Menschen nur bedingt nutzbaren Pflanzen zu wertvollen Nahrungsmitteln veredeln, aber gleichzeitig Schadgase produzieren, die langfristig die menschliche Lebensgrundlage gefährden. Da vorläufig ein Verzicht auf diese Nahrungsmittel nicht zur Diskussion steht, gewinnt die Suche nach Konzepten zur Verminderung der schädlichen Umweltwirkungen zunehmend an Bedeutung.

Jouany (2008) diskutiert und vergleicht eine Vielzahl von Versuchen zur Ermittlung der Methanproduktion von Rindern, die in diesem Beitrag um eine differenzierte, die Versuchsergebnisse nutzende, quantitative Analyse der Milchproduktion ergänzt wird.

2 Literatur und Lösungsansatz

Das IPCC (2006) stellt einen ersten globalen Ansatz vor, um die Methanproduktion der Wiederkäuer weltweit zu ermitteln. Gleichzeitig empfiehlt das Gremium diese erste Schätzung um differenzierte Ansätze zu ergänzen und gegebenenfalls regionale Besonderheiten zu berücksichtigen.

Die Arbeiten des IPCC und die dort genannten Quellen stellen eine erste Grundlage für die Bearbeitung dieses Komplexes dar. Hier wird ein Ansatz gewählt, der eine Vielzahl von Versuchsergebnissen nutzt, um weiter führende Ergebnisse zu erzielen.

2.1 Literatur

Brade (2008) nennt die Leistungssteigerung und Anpassung der Fett- und Eiweißgehalte an die Erfordernisse des Marktes als Ansatzpunkt zur Minderung der Schadgasemission. Brunsch (2008) konstatiert: "Weidefutter ist unabhängig von der Bezugsgröße mit den geringsten Treibhausgasemissionen verbunden". Die Arbeitsgruppe Landwirtschaftliche Emissionsinventare (2008) setzt ein Bilanzmodell ein, um die Stoffflüsse zu bilanzieren und die Quellen zu identifizieren.

Jouany (2008) gruppiert die wichtigsten bisher vorgelegten Studien zur Methanproduktion von Rindern nach der von den Experimentatoren abgeleiteten Beziehung. Danach steht der Schadgasanfall in Relation zum Grund- und Kraftfutteranteil, zu den Nährstoffgehalten und zur Futteraufnahme (Tabelle 1). Genannt werden die Autoren,

die im Experiment untersuchte Tiergruppe, die Funktionen und die Legende.

Jouany (2008) verleiht der in Tabelle 1 Nr. 3 von Sauvant und Giger-Reverdin (2007) entwickelten Funktion besondere Bedeutung, weil hier mittels einer speziellen statistischen Methode eine Vielzahl von Einzelversuchen in die Auswertung einbezogen werden. Die darüber hinaus von Jouany (2008, Table 2, page 42) aufgelisteten Funktionen konnten bei den Kalkulationen keine Berücksichtigung finden, weil diese auf Inhaltsstoffangaben zum Futter bzw. zu den Rationen basieren, die nur im Experiment zur Verfügung stehen.

Tabelle 1:

Ansätze zur Quantifizierung der Methanproduktion der Wiederkäuer
Quelle: Jouany (2008, Table 2, page 42, figure 4, page 43)

Autor	Tiergruppe	Nr.	Funktion
Funktionen basieren auf dem Grund- oder Kraftfutteranteil			
Sauvant et al. 1999	Rinder	1	$M (\%GEI) = 6,4 + 5,42 \text{ KF} - 7,64 \text{ KF} * \text{KF}$
Ellis et al. 2007	Milchkühe	2	$M(\text{MJ/d}) = 8,56 + 0,14 \text{ GF}$
Sauvant und Giger-Reverdin 2007	Rinder	3	$M(\text{MJ/d}) = 13,2 + 4,2 \text{ KF} - 12 \text{ KF} * \text{KF}$
Funktionen basieren auf Inhaltsstoffkonzentrationen			
Giger-Reverdin et al. 1992	Rinder	4	$M (\%DE) = 9,77 + 0,873 \text{ CF}\%OM$
Kirchgessner et al. 1995	Milchkühe	5	$M (\text{g/d}) = 63 + 79 \text{ CF} + 10 \text{ NFE} + 26 \text{ CP} - 212 \text{ Fett}$
Yan et al. 2000	Rinder	6	$M (\text{MJ/d}) = 3,234 + 0,0547 \text{ GEI}$
Yan et al. 2000	Rinder	7	$M (\%GEI) = 0,0522 + 0,0694 \text{ ADF} / \text{DMI}$
Funktionen basieren auf dem Niveau der Futteraufnahme			
Shibata et al. 1993	Rinder	8	$M (\text{L/d}) = -17,766 + 42,793 \text{ DMI} - 0,849 \text{ DMI} * \text{DMI}$
Mills et al. 2003	Milchkühe	9	$M (\text{MJ/d}) = 5,93 + 0,92 \text{ DMI}$
Ellis et al. 2007	Milchkühe	10	$M (\text{MJ/d}) = 3,23 + 0,81 \text{ DMI}$
Ellis et al. 2007	Rinder	11	$M (\text{MJ/d}) = 3,27 + 0,736 \text{ DMI}$

ADF= acid detergent Fibre
 CF%OM = Rohfaser in % der organischen Masse
 CF = Rohfaser (kg/Tag)
 CP = Rohprotein (kg/Tag)
 DMI = Dry Matter Intake (kg/Tag)
 DE = Digestible Energy (MJ/d)
 GEI = Gross Energy Intake (MJ/d)
 GF = Grundfutter % TM
 KF = Kraftfutteranteil an der TM mit: $0 < \text{KF} < 1$
 M = Methananfall
 MJ = Mega Joule
 NFE = N- freie- Extraktstoffe (kg/Tag)

2.2 Lösungsansatz

Die in Tabelle 1 genannten Funktionen werden in das Simulationsprogramm (Walter, 2008a) implementiert und die tägliche Methanproduktion berechnet. Im Einzelnen werden die optimalen täglichen Rationen mittels Linearer Programmierung bestimmt und daraus die Methanproduktion abgeleitet. Für jede der von Jouany (2008) genannten Funktionen wird die Methanproduktion an Hand des Grund- bzw. Kraftfutteranteiles (Tabelle 1, oberes Drittel), der Inhaltstoffkonzentrationen (Tabelle 1, mittleres Drittel) und der Futtermittelaufnahme (Tabelle 1, unteres Drittel) berechnet. Das heißt, dass alle Schätzungen des täglichen Methananzfalles auf der gleichen Tagesration beruhen. Die darauf aufbauenden Berechnungen der jährlichen und auf den Liter Milch bezogenen Methanproduktion basieren ebenfalls auf den gleichen täglichen zu Jahresmengen aufsummierten Futtermengen.

Die Wissenschaftler des IPCC (2007) geben einen vergleichsweise einfachen an der Futtermittelaufnahme orientierten Ansatz vor, plädieren aber gleichzeitig für genauere Vorgehensweisen, wenn entsprechende Daten vorliegen. In dieser Arbeit werden alle in Tabelle 1 genannten Schätzer der Methanproduktion kalkuliert und einander gegenüber gestellt. Es gilt die verschiedenen Produktionsfunktionen zu evaluieren, die Unterschiede herauszuarbeiten und die gemeinsamen Tendenzen herauszufiltern, um Ansätze zur Minderung des Treibhausgasanzfalles ableiten zu können.

2.3 Methodisches Vorgehen

Aus dem optimalen Produktionsprogramm eines Milchvieh haltenden Betriebs werden die innerbetrieblichen Mengen und Verrechnungspreise des Grundfutters in das Simulationsprogramm übernommen (Walter, 2008a). Die Grundfutterbasis umfasst neben Silomais vor allem Grünland, hier Frischgrasverfütterung im Stall, sowie Grassilage 1. und 2. Schnitt für Milchvieh (3. und spätere Schnitte für Jungvieh sowie Trockensteher). Alternativ wird die ganzjährige Verfütterung von konserviertem Grundfutter kalkuliert. Die Qualitäten der Gras- und Maissilagen orientieren sich an den von Meyer (2008) ausgewiesenen Mittelwerten aller Grundfutteranalysen der LUFÄ Nord-West des Jahres 2008 sowie den positiven und negativen Abweichungen. Das Kraftfutter besteht aus betriebseigenem Futtergetreide, maximal 4 kg pro Tag, Milchviehmischfutter der Energiestufe 4 (18 % Rohprotein und 7 MJ NEL je kg TM) und einer Vitamin- und Mineralstoffgabe von bis zu 150 Gramm je Tier und Tag bei Höchstleistung.

Das Simulationsprogramm (Walter, 2008a) ermittelt die optimalen täglichen Rationen für Milchleistungen, die zwischen 6.000 bis 14.000 kg Milch je Kuh und Jahr bei einer normierten Zwischenkalbezeit von 360 Tagen variieren,

die jeweils mit geringen, mittleren und sehr guten Grundfutterqualitäten kombiniert werden.

Der Methanausstoß wird von den Experimentatoren in Liter, Gramm oder Energieeinheiten je Tier und Tag ausgewiesen, Tabelle 1. Das Simulationsprogramm errechnet den Energieinhalt der Methanproduktion, wobei die Konstanten $0,72 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $35,89 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ für die Umrechnung zu Grunde gelegt werden.

Ausgehend von der Feststellung von Brunsch (2008), dass Weidefutter die geringste Schadgasemission aufweist, kann bei der Analyse der Milchproduktion allein kein gravierender systematischer Fehler entstehen, weil vorrangig Grassilage und Frischgras die Grundfutterbasis prägen. Daneben kann Maissilage bei Frischgrasverfütterung mit max. 3 kg TM und bei ausschließlich konserviertem Grundfutter bis zu 50 % der Grundfuttermenge eingesetzt werden. Die Variation der Grundfutterqualität zeigt, dass steigende Leistungen nicht durch Kraftfutter, sondern durch höhere Energie- und Nährstoffkonzentrationen im Grundfutter erzeugt werden (Walter et al., 2005; Walter 2008c).

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse basieren auf Messungen mit laktierenden Kühen. Die Milchproduktion ist jedoch an eine Trockenzeit, den generativen Zyklus und auch an die Aufzucht gebunden. Hier soll zunächst¹ nur die Milchviehhaltung allein analysiert werden. Im Einzelnen wird die tägliche Methanproduktion kalkuliert und anschließend die der gesamten Zwischenkalbezeit bestimmt. Der Methananzfall steht in Beziehung zur Grundfutterqualität, zum Milchleistungsniveau und anderen Effizienzkriterien, die ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden.

3.1 Profile der Methanproduktion für eine Zwischenkalbezeit

Abbildung 1 zeigt die Profile der Methanproduktion für die gesamte Zwischenkalbezeit von hier 360 Tagen, wenn die in Tabelle 1 genannten Beziehungen zu Grunde gelegt werden. Dabei weisen die drei Teilgrafiken auf der linken Seite die Profile für ganzjährige Verfütterung von konserviertem Grundfutter, also Gras- und Maissilage, auf. Die Teilgrafiken der rechten Bildhälfte enthalten die Profile der Methanproduktion bei Frischgrasverfütterung² während

¹ Mit der geplanten Integration der Aufzucht in das Simulationsprogramm kann die Fragestellung auf die gesamte Lebensdauer der Kuh ausgedehnt werden.

² Es wird Frischgrasverfütterung mit Sommerstallhaltung unterstellt, also entsteht der Kuh kein zusätzlicher Energiebedarf für Weidegang, u. U. hügeliges Weideland und Treiben zum Melken in den Stall.

der Vegetation, dabei ist eine Zufütterung von maximal 3 kg TM Maissilage je Kuh und Tag zugelassen.

Die drei Graphen der beiden oberen Teilgrafiken der Abbildung 1 stellen die auf dem Grund- bzw. Kraftfutteranteil bezogenen Beziehungen dar (oberes Drittel der Tabelle 1). Die mittleren Teilgrafiken der Abbildung 1 zeigen die auf Inhaltsstoffkonzentrationen basierten Ansätze (mittleres Drittel der Tabelle 1). Die beiden unteren Teilgrafiken korrespondieren mit den in Tabelle 1 (untere Drittel) dargestellten Funktionen, die die Methanproduktion in Relation zur Futteraufnahme stellen. Alle 11 Graphen der rechten Teilgrafiken beziehen sich auf die gleichen 360 Rationen einer Kuh in 3. Laktation bei ganzjährigem Einsatz von konserviertem Grundfutter, mit 675 kg Lebendgewicht, einer Jahresleistung von 7.000 kg Milch und 4,0 % MilCHFett sowie 3,3 % Milcheiweiß, bei einer ZKZ von 360 Tagen, die am 1. Februar beginnt und für ein Geburtsgewicht des 4. Kalbes von 45 kg ausgelegt ist. Diese Angaben gelten auch für die 11 Graphen in den drei linken Teilgrafiken der Abbildung 1, jedoch wird während der Vegetationsperiode statt Grassilage Frischgras verfüttert.

Zunächst weisen alle sechs Teilgrafiken einige Gemeinsamkeiten auf:

- Ab dem 275. Tag der Laktation lässt sich ein geringer Anstieg der Methanproduktion feststellen, der auf den beginnenden Energie- und Nährstoffbedarf des Fötus³ sowie des generativen Systems der Kuh zurück zu führen ist.
- Am 130. bzw. 175. Tag der Laktation erreicht die Kuh erstmals eine ausgeglichene Energiebilanz. Danach werden der Energiebedarf und die Versorgung direkt am Erhaltungs- und Leistungsbedarf bemessen, weil keine Defizite mehr auszugleichen sind.
- Am 300. Tag endet die Laktation. Es sind nur noch die Energie- und Nährstoffansprüche für die Erhaltung sowie den Fötus zu erfüllen und der Methananfall liegt bis zum Ende der Zwischenkalbezeit auf einem geringeren Niveau.

Am 91. Tag der Laktation, hier der 1. Mai, beginnt die Versorgung mit Frischgras und endet am 240. Tag, dem 30. November. Daher weisen die Teilgrafiken auf der rechten Hälfte der Abbildung 1 an diesen Tagen Veränderungen der Methanproduktion auf, wenn diese nach Futterart bzw. Inhaltsstoffen bemessen werden.

Die maximale Futteraufnahmekapazität wird hier nach NRC (2001) aus dem Gewicht der Kuh und aus der Milchleistung errechnet. Das Futteraufnahmevermögen wird vom ersten bis zum 130. bzw. 175. Tag der Laktation voll genutzt, weil die Gesamtenergiebilanz nicht ausgeglichen ist. Danach kann der Futteraufwand entsprechend

³ Das NRC (2001) berücksichtigt erst ab dem 80. Tag vor dem rechnerischen Geburtstermin einen Energie- und Nährstoffbedarf für den Fötus.

dem Leistungs- plus Erhaltungsbedarf ausgelegt werden, der bei einer Kuh mit 7.000 kg Milch je Jahr geringer als die maximale Aufnahmekapazität ausfällt, wenn die von der Kammer ermittelten Grundfutterqualitäten (Meyer, 2008) kalkuliert werden. Die beiden unteren Teilgrafiken stellen die Methanproduktion in Abhängigkeit vom Niveau der Futteraufnahme dar. Die Unterschiede zwischen Verfütterung von konserviertem Grundfutter und Frischgrasverfütterung während der Vegetation fallen gering aus. Wegen der in den Betrieben üblichen Begrenzung der Silomaiszufütterung⁴ zu Frischgras ergibt sich für die Variante „ganzjährig konserviertes Futter“ ein früherer Bilanzausgleich, der eine Reduzierung der Futtermenge erlaubt und damit einen geringeren Methanausstoß zur Folge hat. Diese Differenzen erweisen sich jedoch als klein im Vergleich zum Niveauunterschied zwischen der von Mills (Tabelle 1, Nr. 9) und den von Ellis (Tabelle 1, Nr. 10 und 11) sowie Shibata (Tabelle 1, Nr. 8) vorgelegten Methanproduktionsfunktionen.

Die beiden mittleren Teilgrafiken der Abbildung 1 stellen die Profile der von den Inhaltsstoffkonzentrationen definierten Methanproduktionsfunktionen dar, die von Yan (Tabelle 1, Nr. 6 und 7), Kirchgessner (Tabelle 1, Nr. 5) und Giger-Reverdin (Tabelle 1, Nr. 4) veröffentlicht wurden.

Wird nur konserviertes Grundfutter eingesetzt (Abbildung 1, Teilgrafik Mitte links), sind vom ersten bis zum 130. Tag der Laktation dem Futteraufnahmeprofil ähnliche Graphen und damit Methanproduktionsprofile zu verzeichnen. Während der letzten 60 Tage der Zwischenkalbezeit, also dem Zeitraum des Trockenstehens, gilt Ähnliches. Im Zeitraum zwischen dem 130. und 300. Tag der Laktation weisen die Funktionen Nr. 4, 5 und 7 eine höhere tägliche Methanproduktion auf, weil hier die Rohfasergehalte zu Grunde liegen. Die Optimierung⁵ der Tagesrationen mit dem Ziel Maximierung der Differenz zwischen Erlösen für Milch abzüglich der Futterkosten führt zum Einsatz der preiswerteren Grassilage 2. Schnittes, die aber wegen der höheren Rohfasergehalte eine größere Methanproduktion zur Folge hat. Die Funktion Nr. 6 kalkuliert die Methanerzeugung proportional zum Anteil von ADF je kg TM, dieser fällt während der ersten 130 Laktationstage hoch aus, nimmt mit sinkender Leistung allmählich ab und weist während des Trockenstehens nur vergleichsweise geringe Werte auf.

Wird die Verfütterung von Frischgras ab dem 91. Tag der Laktation zugelassen (Abbildung 1, Teilgrafik Mitte rechts) verdoppelt sich die Methanproduktion der Funktionen

⁴ Da Silomais energiereicher ist als Gras und Grassilage mindert eine Reduzierung der Silomaisgabe in der Sommerfütterung die Energiekonzentration in der Ration mit Frischgras.

⁵ Die Optimierung kann um einen Ansatz zur Minderung der Methanproduktion erweitert werden, wenn verlässliche, allgemein akzeptierte Methanproduktionsfunktionen vorliegen und eine monetäre Bewertung der Schadgase oder zumindest Grenzen bzw. Grenzwerte vorgegeben werden.

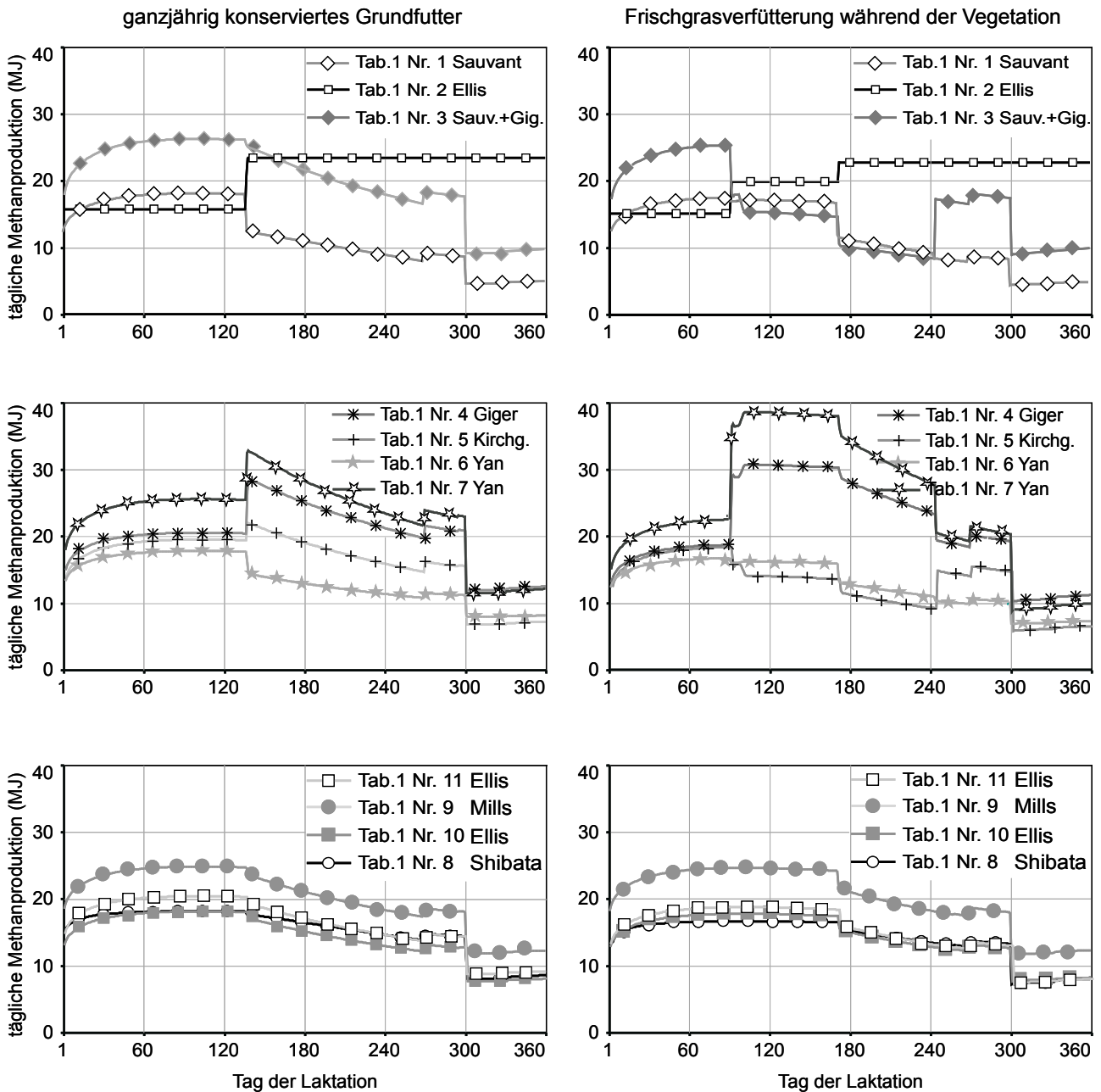


Abbildung 1:

Profil der Methanproduktion einer Kuh in 3. Laktation, mit 675 kg Lebendgewicht, einer Jahresleistung von 7.000 kg Milch, mit 4,0 % Milchfett sowie 3,3 % Milcheiweiß, bei einer ZKZ von 360 Tagen und einem Geburtsgewicht des 4. Kalbes von 45 kg, mit Kalbetermin am 1. Februar, wenn die in Tabelle 1 genannten Methanproduktionsfunktionen kalkuliert werden

Nr. 5 und 7 nahezu, die der Funktionen Nr. 4 und 6 reduziert sich dagegen. Die Funktionen Nr. 5 und 7 enthalten eine positive Beziehung zwischen Energie- sowie Rohproteinkonzentrationen und Methanproduktion, die bei dem eiweißreichen Frischgras einen kräftigen Anstieg zur Folge hat. Die Funktionen Nr. 4 und 6 stellen dagegen eine Beziehung zwischen Energiemerkmalen her, die durch die Optimierung als knapp erkannt und dementsprechend restriktiv eingesetzt werden.

Die beiden oberen Teilgrafiken der Abbildung 1 zeigen die Methanproduktionsprofile der Funktionen, die den Bezug zum Grund- oder Kraftfutteranteil herstellen. Die von Ellis et al. (2007) aus Versuchen abgeleitete Funktion (Tabelle 1, Nr. 2) weist sowohl beim Einsatz von konserviertem Grundfutter als auch bei der Frischgrasfütterung in den ersten 130 bzw. 90 Tagen den geringsten täglichen Methanausstoß auf. Ab dem 130. bzw. 170. Tag der ZKZ führt dieser Ansatz zum höchsten Methanausstoß, weil bis

auf die tägliche Vitamin- und Mineralstoffgabe von 100 Gramm nur Grundfutter verfüttert wird. Diese von Ellis entwickelte Funktion zur Ermittlung des Methan-anfalles führt zu einem Kurvenverlauf, der sich deutlich von den übrigen Graphen unterscheidet (Abbildung 1).

Die von Sauvant (1999) sowie von Sauvant und Giger-Reverdin (2007) veröffentlichten Funktionen (Tabelle 1, Nr. 1 und 3) entsprechen eher den Profilen der anderen.

Eine Bewertung der in Abbildung 1 dargestellten Profile der Methanproduktion kann das hier verwendete Simulationsprogramm nicht leisten, da es die vorgegebenen Funktionen lediglich nutzt. Eine Gegenüberstellung der auf den gleichen Rationen basierenden Profile der Methanproduktion weist jedoch auf einige Unterschiede und Unstimmigkeiten hin, insbesondere die Niveauunterschiede beim Einsatz von Frischgras sprechen für weitere Experimente. Während die von Sauvant und Giger-Reverdin (2007) veröffentlichte Funktion (Tabelle 1, Nr. 3) eine gute Übereinstimmung mit den auf Futteraufnahme basierten Funktionen aufweist, weichen die von Ellis (2007) auf Grundfutteranteilen (Tabelle 1, Nr. 2) und die von Yan (2000) auf Nährstoffgehalten basierten Funktionen (Tabelle 1, Nr. 7) deutlich von den anderen Profilen der Methanproduktion ab. Ansätze die sich direkt auf den Grund- oder Kraftfutteranteil stützen, führen langfristig zu Problemen bei der Bewertung der Trockenstehphase,⁶ in der kein Kraftfutter⁷ eingesetzt wird. Bei weiter verbesserten Grundfutterqualitäten ist die Grundfuttermenge sogar zu begrenzen, um die als nachteilig angesehene Überversorgung zu vermeiden.

Nehmen die Grundfutterqualitäten langfristig weiter zu, tendiert der Kraftfutteranteil sogar während der Laktation gegen Null und alle direkt vom Anteil abhängigen Methanproduktionsfunktionen konvergieren dann gegen die Konstante der jeweiligen Funktion. Das steht nur bedingt im Einklang mit dem Stand des Wissens. Wird der Methanausstoß an einem bzw. an mehreren Inhaltsstoffen bemessen, besteht die Gefahr, dass mit der Weiterentwicklung der Analytik und des Konzeptes zur Nährstoffbewertung die zugehörigen Funktionen „unbrauchbar“ werden, weil neue Bemessungsgrundlagen und Wertmaßstäbe entwickelt werden, wie es die heute nicht genutzten Kennzahlen „NFE“ und „StE“ deutlich machen.

Der tägliche Methanausstoß einer Kuh stellt zwar eine wichtige Kennzahl dar, erlaubt jedoch keine endgültige Bewertung der Milchproduktion. Daher soll im Folgenden

der Methan-anfall je kg Milch, das Leistungsniveau und die Grundfutterqualität als Komplement der Leistungssteigerung diskutiert werden.

3.2 Methanproduktion je Liter Milch bei steigenden Milchleistungen

In den Abbildungen 2, 3 und 4 wird für Milchleistungen von 6.000 bis 14.000 Litern der Methan-anfall einer Zwischenkalbezeit ermittelt und je kg Milch ausgewiesen. Erneut wird Frischgrasverfütterung⁸ in den drei rechten Teilgrafiken der ausschließlichen Versorgung mit konserviertem Grundfutter (linke Teilgrafiken) gegenübergestellt und die Qualität des Grundfutters variiert. Es werden die aus den eingesandten Silageproben ermittelten durchschnittlichen Qualitäten (Meyer, 2008) in den beiden mittleren Teilgrafiken zu Grunde gelegt. Die beiden oberen Teilgrafiken zeigen den Methan-anfall je kg Milch, wenn die Grundfutterqualität 10 % schwächer ausfällt, die beiden unteren die Ergebnisse für eine um 10 % über dem Mittelwert liegende Grundfutterqualität.

Weil Betriebe mit den besseren Grundfutterqualitäten stets höhere Milchleistungen erzielen, ist die Methanbelastung je kg Milch bei der durchschnittlichen Grundfutterqualität für das Leistungsniveau 6.000 kg und für die hohe Qualität für 6.000 und 7.000 kg gestrichelt dargestellt. Umgekehrt lassen sich mit geringen Grundfutterqualitäten keine hohen Leistungen erzielen, so dass die zugehörigen Graphen in den Abbildungen 2 bis 6 bereits bei 10.000 bzw. 12.000 kg Milch je Kuh und Jahr enden. Um jedoch die Bedeutung der Leistungssteigerung bestmöglich darstellen zu können, wird bei allen Alternativen mit einer Leistung von 6.000 kg Milch je Kuh und Jahr begonnen und jeweils bis zum maximal erzielbaren Leistungsniveau kalkuliert. Bei einer geringeren Grundfutterqualität, die gleichbedeutend mit einer geringeren Konzentration der Wertbestimmenden Inhaltsstoffe ist, können nur Jahresleistungen von maximal 10.000 kg erreicht werden, während die höchsten Qualitäten Milchleistungen von 14.000 kg je Kuh und Jahr ermöglichen.

Abbildung 2 offenbart zwei Auffälligkeiten. Zum einen sind es die deutlichen Unterschiede im Niveau des Methan-anfalles je kg Milch, wenn die Funktionen Nr. 4 (Giger-Reverdin et al., 1992) und Nr. 6 (Yan et al., 2000) mit den Schätzern Nr. 7 (Yan et al., 2000) und Nr. 5 (Kirchgessner, et al., 1995) verglichen werden. Zum anderen ist es die zu

⁶ Es sei nochmals darauf verwiesen, dass die Experimente mit laktierenden Kühen durchgeführt worden sind und dass diese Funktionen den Zeitraum des Trockenstehens nicht adäquat abbilden können. Ihre Nutzung ist streng genommen auf die 300 Tage der Laktation zu begrenzen.

⁷ Die Anfütterung mit Kraftfutter kurz vor dem Kalben bleibt hier unberücksichtigt.

⁸ Da keine Analysen von Frischgras vorliegen, wird die von Zimmer (1969) entwickelte Beziehung zwischen Grassilagequalität und Ausgangsprodukt Gras zu Grunde gelegt. Zimmer zeigt, dass die Silierung mit Verlusten von 3 bis 5 % verbunden ist, daher wird hier für das Frischgras eine um 4 % höhere Nährstoffkonzentration unterstellt.

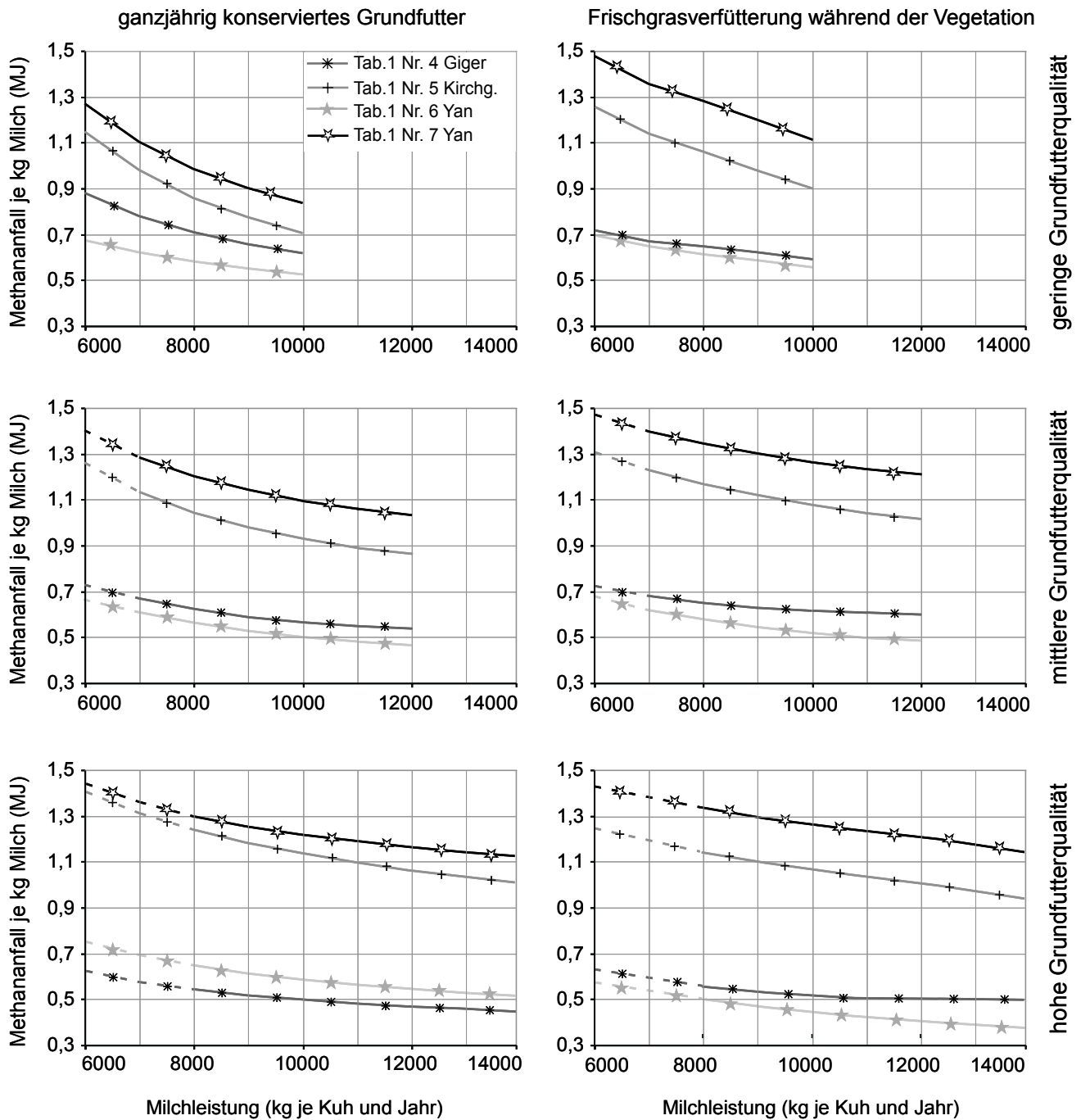


Abbildung 2:

Methanproduktion je kg Milch bei unterschiedlichen Milchleistungen und geringer bzw. mittlerer sowie hoher Grundfutterqualität, wenn die in Tabelle 1 genannten Methanproduktionsfunktionen kalkuliert werden, die auf der Inhaltsstoffkonzentration basieren

verzeichnende Degression des Methanfalles je kg Milch, die mit steigender Grundfutterqualität geringer ausfällt.

Wird der Methanfall je kg Milch nach den Funktionen Nr. 4 bis 7 (Tabelle 1) kalkuliert, wird also von Inhaltsstoffen ausgegangen, dann sind gravierende Niveauunterschiede zwischen zugehörigen Resultaten festzustellen, die das Ausmaß der Degression mit der Leistung weit übertreffen. Der Vergleich mit den in Abbildungen 3 und 4 darge-

stellten Ergebnissen zeigt, dass insbesondere die mit den Schätzern Nr. 7 (Yan et al., 2000) und Nr. 5 (Kirchgessner et al., 1995) gewonnenen Ergebnisse stark abweichen und rechnerisch zu einer hohen Methanproduktion führen.

Erneut ist darauf hinzuweisen, dass das Simulationsprogramm die in den Versuchen gewonnenen Ergebnisse nur nutzt, also nicht im Hinblick auf ihre „Realitätsnähe“ bewerten kann. Es ermöglicht nur Vergleiche, die u. U. von

Experten und Experimentatoren selbst zu diskutieren, zu bewerten, zu ergänzen oder auch zu korrigieren sind.

Abbildung 3 zeigt die Methanproduktion je kg Milch, wenn der Methanfall an Hand der Futteraufnahme (kg TM je Tier und Tag) geschätzt wird. Vergleichbar zu Abbildung 2 werden die Leistungen von 6.000 bis 14.000 kg Milch je Kuh und Jahr variiert, drei Grundfutterqualitäten

analysiert und erneut konserviertes Grundfutter mit der Verfütterung von Frischgras während der Vegetationsperiode verglichen.

Wie schon die Jahresprofile des Methanfalles (Abbildung 1) erkennen lassen, fallen die produktspezifischen Methanbelastungen hinsichtlich des Kurvenverlaufs ähnlich aus, lediglich das Niveau der Funktion Nr. 9 (Mills,

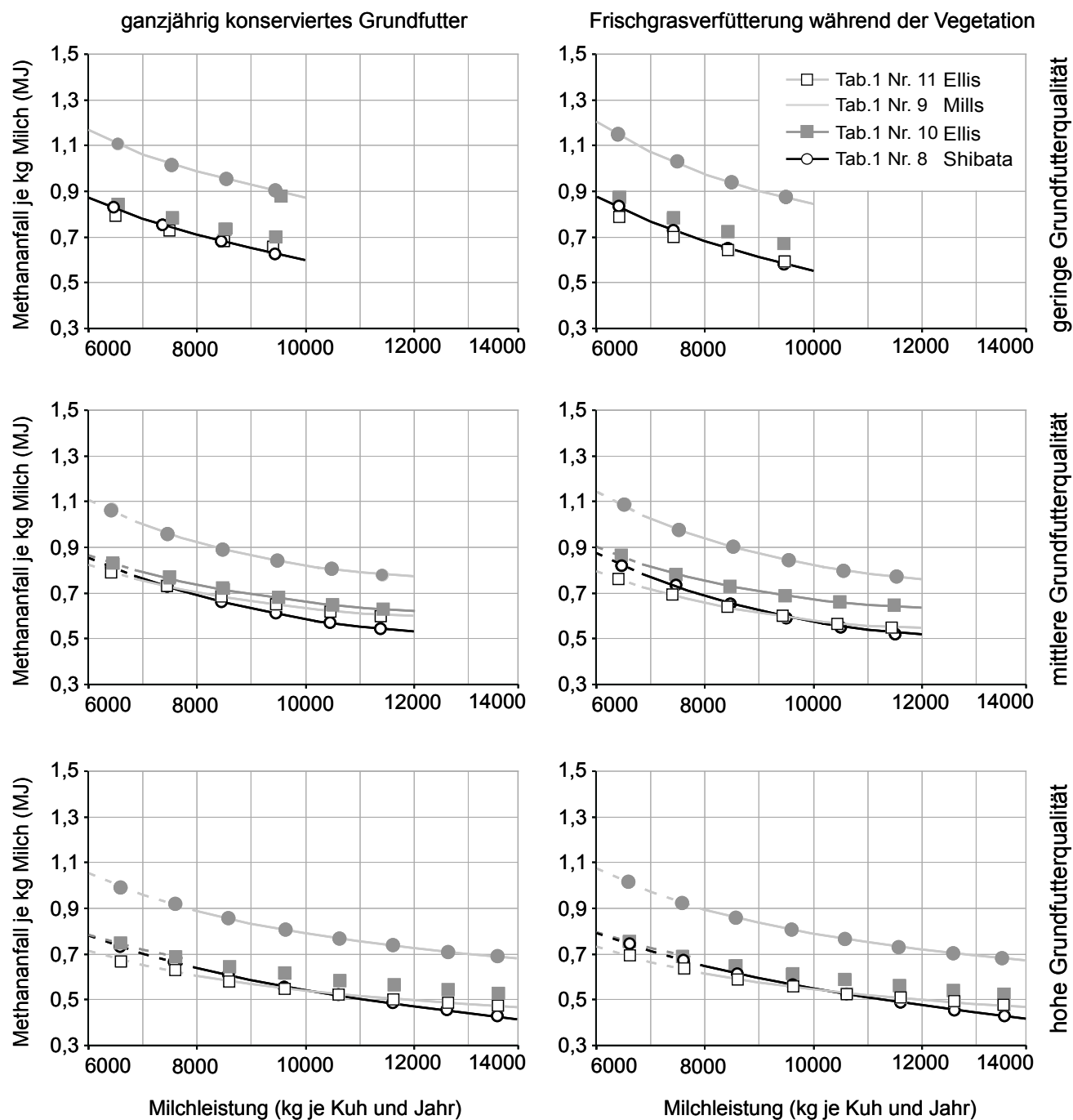


Abbildung 3:

Methanproduktion je kg Milch bei unterschiedlichen Milchleistungen und geringer bzw. mittlerer sowie hoher Grundfutterqualität, wenn die in Tabelle 1 genannten Methanproduktionsfunktionen kalkuliert werden, die auf der Futteraufnahme basieren

2003) liegt um 0,2 bis 0,3 MJ je kg Milch höher. Die Degression bei steigendem Leistungsniveau ist dem der anderen Ansätze zur Bemessung des Methanansfalls ähnlich.

Der Vergleich zwischen den Varianten mit und ohne Frischgraseinsatz zeigt eine geringfügig niedrigere Methanproduktion, wenn nur konserviertes Futter eingesetzt wird. Dieser minimale Vorteil ist bei besseren Leistungen

und Grundfutterqualitäten nicht mehr vorhanden und verliert seine Bedeutung.

Bei höheren Grundfutterqualitäten (Abbildung 3, unteren Teilgrafiken) entsteht ein geringerer Methanausstoß je Produkteinheit als bei den schwächeren Qualitäten. Dieser Unterschied ist für alle Leistungen erkennbar und erweist sich damit als ein Ansatz zur Minderung der Schadgasproduktion.

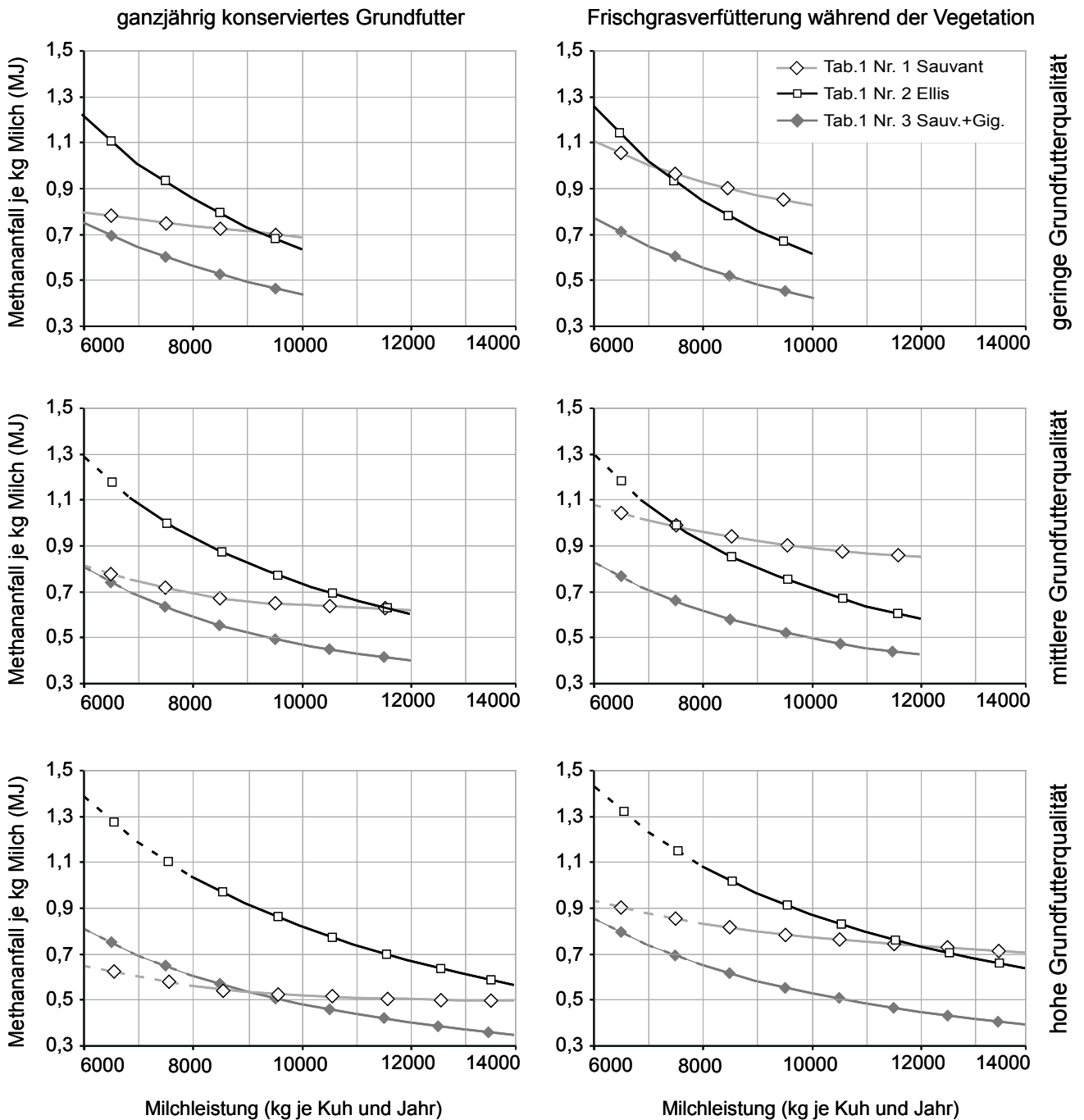


Abbildung 4:

Methanproduktion je kg Milch bei unterschiedlichen Milchleistungen und geringer bzw. mittlerer sowie hoher Grundfutterqualität, wenn die in Tabelle 1 genannten Methanproduktionsfunktionen kalkuliert werden, die auf dem Grund- oder Kraftfutteranteil basieren

Die Berechnung der Methanproduktion auf der Basis der Futterraufnahme (Abbildung 3) liefert deutlich einheitlichere Ergebnisse als die zuvor diskutierten Ansätze, die auf den Futterinhaltsstoffen (Abbildung 2) beruhen und erweisen sich auch im Vergleich zu den auf Futteranteilen beruhenden Ansätzen (Abbildung 4) als wesentlich homogener.

Die mit den Schätzfunktionen 1 bis 3 (Tabelle 1) berechneten Methanmengen je kg Milch fallen sowohl hinsichtlich des Niveaus als auch der Degression außerordentlich uneinheitlich aus (Abbildung 4). Während der von Ellis (Formel 2, Tabelle 1) vorgelegte Ansatz bei niedrigen Leistungen mit 1,3 bis 1,5 MJ Methan je kg Milch beginnt und sich bei hohen Milchleistungen mehr als halbiert, setzt die Methanproduktion gemäß Sauvant (Formel 1, Tabelle 1) bei ca. 0,8 MJ ein und sinkt mit der Leistung unter 0,5 MJ je kg Milch.

Die von Sauvant und Giger-Reverdin (2007) abgeleitete Beziehung (Formel 3, Tabelle 1) führt wegen der geringen Degression zu abweichenden Ergebnisstrukturen (Abbildung 4). Hier wird erneut deutlich, dass die auf Grund- oder Kraftfutteranteilen beruhenden Schätzer gegen eine Konstante konvergieren, wenn mit zunehmender Grundfutterqualität weniger und schließlich kein Kraftfutter mehr eingesetzt wird. Diese Ansätze sind zur Berechnung der Schadgasmengen für ökologisch wirtschaftende Betriebe nur bedingt geeignet.

Kann die Grundfutterqualität in der Zukunft weiter gesteigert werden, wird sich der Kraftfüttereinsatz stark reduzieren (Walter, 2008c), so dass dann auch die herkömmlich produzierenden Betriebe nur unzureichend mittels Funktionen bewertet werden können, die sich auf den Grund- bzw. Kraftfutteranteil beziehen.

4 Exkreme je Kilogramm Milch

Methan wird auch aus den Exkrementen freigesetzt. Das Simulationsprogramm kalkuliert nicht nur den Futterbedarf, die Futterraufnahmekapazität und die Tagesrationen, sondern es verfolgt auch den "Verbleib" der Stoffe auf der Basis von Trockenmasse. Wird von der Futterraufnahme die mit der Milch abgegebene Menge, das bilanzierte Wachstum, der Gewichtszuwachs des Fötus, der Verlust durch Atmung, Schwitzen sowie Speichelfluss und Haare etc. abgezogen, ergibt sich die in den Exkrementen enthaltene Trockenmasse.

Abbildung 5 zeigt eine deutliche Degression der Exkrementmengen je kg Milch, die durch die Leistungssteigerung erzielt werden kann und zusätzlich die mit der Qualitätssteigerung beim Grundfutter erreichbare Minderung. Da die Steigerung der Milchleistung untrennbar mit der Verbesserung der Grundfutterqualität verbunden ist, sind die beiden in Abbildung 5 dargestellten Effekte zu kom-

binieren. Langfristig lassen sich Grundfutterqualität und Milchleistung nur gemeinsam steigern, dementsprechend sinkt der Exkrementenanfall bei Leistungen um 6.000 bis 7.000 kg Milch bei geringer Grundfutterqualität von 0,5 bis 0,6 kg auf nur noch 0,3 bis 0,4 kg TM je kg Milch, wenn die Milchleistung und die Grundfutterqualität Spitzenwerte erreichen.

Der Methananfall aus der Gülle, einer weiteren Quelle für die Entstehung von Treibhausgasen, wird hier nicht kalkuliert, weil der Exkrementenanfall des Jungviehes in dieser Analyse unberücksichtigt bleibt. Da die kleinen Kälber nicht auf Spaltenboden gehalten werden dürfen, sind die Milchvieh haltenden Betriebe gezwungen, neben der Gülle- auch die Festmistschiene zu unterhalten. Das erhöht nicht nur die Kosten, sondern führt auch zu zwei unterschiedlichen Schadgasemissionsquellen.

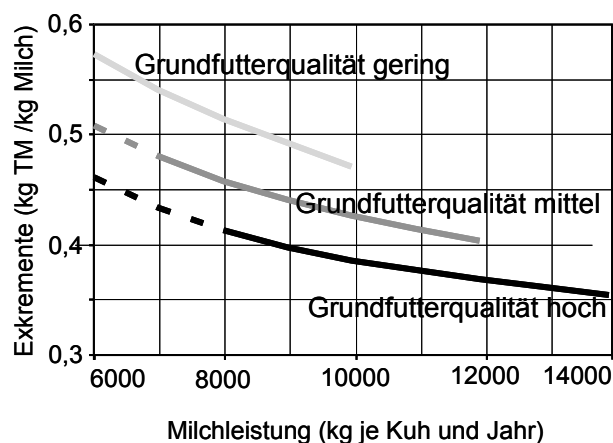


Abbildung 5:

Anfall von Exkrementen je kg Milch bei unterschiedlichen Milchleistungen und Grundfutterqualitäten

Da langfristig mit wachsenden Beständen zu rechnen ist und gleichzeitig die Biogaserzeugung auf Güllebasis sich zu einer (geförderte) Alternative zum herkömmlichen Konzept der Gülleverwendung entwickeln kann, ergeben sich für den Komplex des Schadgasanfalls aus den Exkrementen grundsätzlich andere Perspektiven und Bewertungsmöglichkeiten.

Derartige Kalkulationen bleiben zukünftigen gesamtbetrieblichen Analysen vorbehalten. Gleichzeitig damit sollten dann die Ansprüche der zukünftigen Milchproduktion (inklusive Nachzucht) an Futter, Fläche, Arbeit sowie Kapital analysiert und diskutiert werden. Mittel- bis langfristig wird sich die Milchproduktion grundlegend ändern (müssen), wenn die Anforderungen des Umweltschutzes sowie der Wirtschaftlichkeit in einem „quotenfreien“ Marktgeschehen greifen und gleichzeitig die Preisgarantien und Stützungen seitens der Agrarpolitik ausbleiben.

5 Wasserbedarf je Kilogramm Milch

Da die Milchproduktion einen erheblichen Anspruch an die Ressource Wasser hat, wird die Frage nach dem Wasserbedarf je kg Milch gestellt. Das NRC (2001) nennt die von Holter und Dahlborn entwickelten Wasserbedarfsfunktionen. Abbildung 6 zeigt, dass der von Holter (NRC, 2001) entwickelte Ansatz einen um bis zu 50 % höheren Wasserbedarf je kg Milch ausweist. Die nach Holter und Dahlborn (NRC, 2001) kalkulierten Ansprüche an Tränkwasser verdeutlichen eine Degression mit steigendem Leistungsniveau. Daneben ist ein geringer Einfluss der Grundfutterqualität zu erkennen, der einen niedrigeren Tränkwasserbedarf bei höheren Qualitäten beinhaltet.

Das Simulationsprogramm (Walter, 2008a) kalkuliert den Wasserbedarf, indem es das im Futter enthaltene Wasser den Mengen gegenüberstellt, die durch die Milch, das Atmen, den Speichelverlust etc. abgehen. Die Wasseraufnahme errechnet sich aus diesem Abgang und wird erhöht, bis das Kot- und Harnmisch einen mittleren Wassergehalt von 80 % aufweist. Die vom Simulationsprogramm ermittelten Ansprüche an Wasser entsprechen dem Mittel der von Holter und Dahlborn berechneten Mengen. Auf eine Darstellung in Abbildung 6 wird verzichtet.

Eine weitergehende Analyse des Wasserbedarfes wird mit der Bewertung des Klimaeinflusses folgen. Hier soll zunächst gezeigt werden, dass die Leistungssteigerung auch unter diesem Aspekt eine positive Umweltwirkung aufweist.

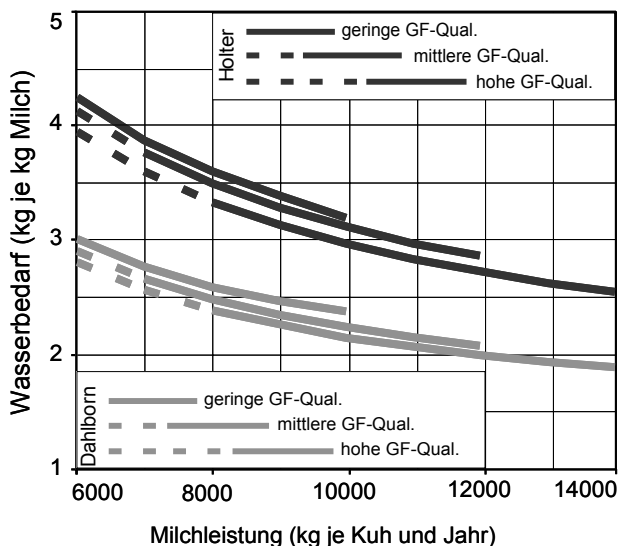


Abbildung 6:
Wasserbedarf je kg Milch bei unterschiedlichen Milchleistungen

6 Bewertung

Die Kalkulationen zeigen eine deutliche Degression der Ansprüche mit steigenden Leistungen. Während sich der

Wasserbedarf je kg Milch mit der Verdopplung der Leistung um rd. ein Drittel reduziert, halbiert sich gleichzeitig der erforderliche Viehbestand, wenn eine vorgegebene Quote erfüllt werden soll. Nährstoff- und Futterbedarf je Produkteinheit vermindern sich in ähnlichen Größenordnungen, so dass sich auch der produktspezifische Methan ausstoß entsprechend reduziert. Damit bieten weitere Leistungssteigerungen nicht nur eine höhere Effizienz der Ressourcennutzung, sondern auch einen wirkungsvollen Ansatz zur Minderung der Schadgasemission.

Wegen des immensen experimentellen Aufwandes von Versuchen in Respirationskammern lassen sich nur wenige Kühe für einen begrenzten Versuchszeitraum analysieren. Demzufolge liegt in der Regel nur ein geringer Stichprobenumfang vor, der nur selten eine hochsignifikante statistische Absicherung erlaubt. Moderne statistische Analyseverfahren (St. Pierre, 2001) bieten einen Ansatz, um unterschiedliche Versuche verknüpft auszuwerten, deren gemeinsamen Tendenzen deutlich werden zulassen und gegebenenfalls bessere statistische Prüfmaße zu erhalten.

Dem von Sauvant und Giger-Reverdin (2008) vorgelegten methodischen Ansatz ist daher große Bedeutung zuzumessen, weil sie mittels der "meta-analysis"⁹ eine Vielzahl von unterschiedlichen Experimenten statistisch aufarbeiten und auf diese Weise einen vergleichsweise „guten Fit“ erzielen. Die derart berechnete Funktion¹⁰ führt zu einer relativ brauchbaren Übereinstimmung mit den auf Trockenmasseaufnahme basierten Schätzern.

Paul (1990) entwickelte ein Simulationsmodell, das mittels eines Differentialgleichungssystems die Verdauung der Wiederkäuer abbildet. Dieses Simulationsmodell stellt eine effiziente Ergänzung zu den Experimenten dar. Erste Simulationsläufe zeigen, dass der Methanfall dem der Funktionen Nr. 8, 10 und 11 (Tabelle 1) nahe kommt.

Die hier vorgelegten Kalkulationen lassen erkennen, dass der von der Kuh produzierte Methanfall je kg Milch mit steigenden Leistungen niedriger ausfällt. Der Einspareffekt beträgt je nach Methanproduktionsfunktion zwischen 30 bis 60 %, wenn die Milchleistung von 6.000 auf 14.000 kg Milch je Kuh und Jahr ansteigt. Dabei lassen sich zwischen den einzelnen Schätzfunktionen erhebliche Niveauunterschiede feststellen. Die Schätzfunktionen Nr. 7, 5 und 3 ergeben bei 6.000 kg Milch 1,3 bis 1,5 MJ Methan je kg Milch, wohingegen die Schätzer Nr. 1, 4 und 6 nur zu einem Methanfall von 0,5-0,8 MJ je Produkteinheit kommen. Die Niveauunterschiede stehen für eine große Unsicherheit bei der Bestimmung des tatsächlichen Methanfalles und sprechen für zusätzliche Experimente, aber auch für die umfassende Bewertung der bisher

⁹ Vergleiche St. Pierre (2001)

¹⁰ Vergleiche Jouany (2008, figure 4, page 43)

durchgeführten Versuche mittels der von Sauvant und Giger-Reverdin (2008) genutzten "meta-analysis".

Gelänge eine Präzisierung der Methanproduktionsfunktion und würde eine monetäre Bewertung der Schadgasemission vorgegeben werden, dann könnte die Optimierung der Milchproduktion die Emissionsreduktion mit umfassen.

Literatur

- Arbeitsgruppe Landwirtschaftliche Emissionsinventare (2008) Bilanzierung der klimarelevanten Wirkungen durch Tierernährung und Tierhaltung. In: BMELV (2008) Moderne Tierernährung - sicher, effizient und klimaschonend : Tagungsband ; Braunschweig, 13./14. November 2008. Bonn : BMELV, p 37
- Brade W, Lebzién P (2008) Reduzierungspotentiale für Treibhausgase in der Tierernährung und Tierhaltung. In : BMELV (2008) Moderne Tierernährung - sicher, effizient und klimaschonend : Tagungsband ; Braunschweig, 13./14. November 2008. Bonn : BMELV, pp 45-46
- Brunsch R, Kraatz S, Berg W, Rus CG (2008) Treibhausgasemissionen bei der Futtererzeugung. In: BMELV (2008) Moderne Tierernährung - sicher, effizient und klimaschonend : Tagungsband ; Braunschweig, 13./14. November 2008. Bonn : BMELV, pp 35-36
- GfE (2001) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt a M : DLG Verl, 136 p, Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 8
- IPCC Report (2006) Emissions from livestock and manure management [online]. Zu finden in <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf> [zitiert am 14.04.2009]
- IPCC (2007) Climate change 2007 : synthesis report [online]. Zu finden in <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf> [zitiert am 01.04.2009]
- Jouany J-P (2008) Enteric methane production by ruminants and its control. In: Andrieu S, Wilde D (eds) Gut efficiency : the key ingredient in ruminant production : elevating animal performance and health. Wageningen : Wageningen Acad Publ, p 35
- Meyer A (2008) Ergebnisse der Grassilageuntersuchung 2008 [online]. Zu finden in <<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/tier/nav/752/article/11042.html>>
- NRC (2001) Nutrition requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Pr
- Durbal V (2001) NRC dairy cattle program computations. In: Nutrition requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Pr
- Oltenucu PA, Rounsaville TR, Milligan RA, Hintz RL (1980) Relationship between days open and cumulative milk yield at various intervals from parturition for high and low producing cows. J Dairy Sci 63:1317-1327
- Paul W (1990) Physiologie der Milchkühe – eine mathematische Systemanalyse. Braunschweig : FAL, 290 p, Landbauforsch Völkenrode SH 116
- Robinson PH (2006) Excel Spreadsheets: PredDMI.xls, NRGREQ.xls [online]. Zu finden in <<http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/robinson/Excel/default.htm>> [zitiert am 10.06.2009]
- St Pierre NR (2001) Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. J Dairy Sci 84:741-755
- Walter K, Bockisch F-J, Ohrtmann J, Thomsen J (2005) Entwicklung der Milchleistung, des Kraftfuttereinsatzes und der Grundfutterqualität. Landbauforsch Völkenrode 55(2):119-126
- Walter K (2008a) Das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ – methodischer Ansatz und Realisierung : Version 1.2. Braunschweig : FAL, 95 p, Ber Inst Agrartechnol Biosystemtechnik 398
- Walter K (2008b) Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen : 1, Rationsoptimierung, Nährstoffdefizit und -bedarf. Landbauforsch 58(1-2):1-17
- Walter K (2008c) Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen : 2, Grundfutterqualität und erzielbare Leistung. Landbauforsch 58(3):211-230
- Zimmer E (1969) Biochemische Grundlagen der Einsäuerung. In: Crop conservation and grassland : proceedings of the 3rd General Meeting of the European Grassland Federation. Frankfurt a M : DLG, pp 1125