

Methanemissionen von österreichischen Milchkühen: Wie groß ist der Einfluss von Genotyp und Kraftfutterniveau?

*Methane emissions of Austrian dairy cows: How big is the
effect of genotype and concentrate level?*

Georg Terler^{1*}, Ramona Hotschnig^{2*}, Christian Fasching¹, Daniel
Eingang¹, Gregor Huber¹, Stefanie Gappmaier¹, Werner Zollitsch²

Zusammenfassung

Neben anderen Sektoren ist auch die Landwirtschaft gefordert, ihren Beitrag zur Reduktion der Auswirkungen des Klimawandels zu leisten. Da Methan (CH₄)-Emissionen aus der Verdauung der Wiederkäuer den größten Teil der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen ausmachen, gilt es daher vor allem in diesem Bereich nach Reduktionsstrategien zu forschen. In einem Forschungsprojekt an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde daher untersucht, inwiefern CH₄-Emissionen von österreichischen Milchkühen durch die Wahl des Genotyps und durch den Kraftfutteranteil in der Ration beeinflusst werden können. Für diesen Versuch wurden 52 Milchkühe vier verschiedener Genotypen (Fleckvieh – FV, Holstein_Hochleistung – HF_HL, Holstein_Lebensleistung – HF_LL, HF_Neuseeland – HF_NZ) ausgewählt und mit unterschiedlich hohen Kraftfutteranteilen gefüttert. Über zwei Tage hinweg wurde in Respirationskammern die Methan (CH₄)-Produktion dieser Kühe gemessen und gleichzeitig die Futteraufnahme und Milchleistung erhoben. Hinsichtlich Futteraufnahme und Milchleistung wurde zwischen den Genotypen kein signifikanter Unterschied festgestellt. Die tägliche CH₄-Produktion und die CH₄-Produktion pro kg Grund- und Gesamtfutteraufnahme war dagegen bei den HF_LL-, HF_NZ-Genotypen niedriger als bei FV. Weiters unterschieden sich auch die HF_LL- und die HF_HL-Kühe signifikant in diesen Parametern. Auf die CH₄-Produktion pro kg Energie-korrigierter (ECM)-Leistung hatte der Genotyp dagegen keinen Einfluss. Mit zunehmendem Kraftfutteranteil in der Ration stiegen Gesamtfutteraufnahme und ECM-Leistung an, während die Grundfutteraufnahme zurückging. Ebenso stiegen die tägliche CH₄-Produktion und die CH₄-Produktion pro kg Gesamtfutteraufnahme mit zunehmendem Kraftfutteranteil an, wobei jedoch eine signifikante Genotyp × Kraftfutteranteil-Wechselwirkung festgestellt wurde. Die CH₄-Produktion pro kg ECM-Leistung nahm dagegen mit steigendem Kraftfutteranteil in der Ration ab. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts weisen auf Unterschiede in der CH₄-Produktion zwischen Milchkühe-Genotypen hin, was züchterisches Potential für die Reduktion von CH₄-Emissionen erkennen lässt. Die Gründe für die Unterschiede zwischen den Genotypen sollen im Zuge von weiteren Auswertungen noch genauer untersucht werden. Die Steigerung des Kraftfutteranteils in der Ration führt zu einem Rückgang der CH₄-Emissionen pro kg ECM-Leistung. Gleichzeitig steigen jedoch die täglichen CH₄-Emissionen an, weshalb eine Anhebung des Kraftfutteranteils nur dann einen positiven Effekt auf den Klimawandel hat, wenn gleichzeitig die Tierbestände reduziert werden.

Schlagwörter: Methanemissionen, Genotyp, Kraftfutteranteil, Futteraufnahme, Milchleistung

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Institut für Tier, Technik und Umwelt, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

² Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

* Beide Erstautoren, Ansprechpartner: Dr. Georg Terler, email: georg.terler@raumberg-gumpenstein.at

Summary

Besides other sectors, agriculture should also contribute to the reduction of effects of global warming. As methane emissions from enteric fermentation of ruminants account for the majority of agricultural greenhouse gas emissions, it is necessary to research for mitigation strategies in this area. Therefore, a research project at AREC Raumberg-Gumpenstein aimed at studying the effect of genotype and concentrates proportion in the ration on methane emissions of Austrian dairy cows. 52 dairy cows of four different genotypes (Simmental – FV, Holstein Friesian_high yielding – HF_HL, Holstein Friesian_longevity – HF_LL, Holstein_New Zealand – HF_NZ) were chosen for this trial and fed rations with different concentrates proportion. Methane production as well as feed intake and milk yield of these cows was recorded for two days in respiration chambers. Feed intake and milk yield did not differ between genotypes. Daily CH₄ production and CH₄ production per kg forage intake and per kg total feed intake was lower in HF_LL and HF_NZ genotypes compared to FV. Furthermore, a significant difference was also found between HF_LL and HF_HL cows regarding these parameters. However, genotype did not influence CH₄ production per kg energy-corrected milk (ECM) yield. Total feed intake and ECM yield rose and forage intake decreased with increasing concentrates proportion in the ration. Furthermore, daily CH₄ production and CH₄ production per kg total feed intake also increased with rising concentrates proportion. However, a significant interaction of genotype and concentrates proportion was found for these parameters. In contrast, CH₄ production per kg ECM yield declined with increasing concentrates proportion. The results of this research project show differences in methane production between genotypes, which indicates a potential for reduction of CH₄ emissions by breeding measures. The reasons for these differences between genotypes will be studied more in detail by doing additional analyses. The increase of concentrates proportion in the ration results in a decrease of methane emissions per kg ECM yield. However, daily CH₄ emissions increased with rising concentrates proportion. Thus, increasing the use of concentrates has a positive effect on climate change only, if number of cows is reduced simultaneously.

Keywords: methane emissions, genotype, concentrates proportion, feed intake, milk yield

Einleitung

Die fortschreitende Klimaerwärmung erfordert die möglichst rasche Umsetzung von Maßnahmen, um die Auswirkungen des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Neben anderen Sektoren trägt auch die Landwirtschaft zum Treibhauseffekt bei, welcher für die Erwärmung des Erdklimas verantwortlich ist. Daher ist auch die Landwirtschaft gefordert, durch geeignete Maßnahmen die Treibhausgas (THG)-Emissionen zu reduzieren. Diese Maßnahmen sollten sowohl auf direkte als auch auf indirekte THG-Emissionen abzielen. Direkte THG-Emissionen entstehen unmittelbar in der Landwirtschaft. Dazu zählen die Verdauung in Wiederkäuermägen, die Düngung landwirtschaftlicher Böden, das Wirtschaftsdüngermanagement sowie der Energieeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft (UMWELTBUNDESAMT 2020). Indirekte, landwirtschaftliche THG-Emissionen werden anderen Sektoren (z.B. Verkehr) zugeordnet, haben ihre Ursache jedoch in der Landwirtschaft (z.B. Transport von Futtermitteln). Der Anteil der direkten, landwirtschaftlichen THG-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen beträgt in Österreich rund 10 %. Rund die Hälfte davon ist auf Methanemissionen aus der Verdauung in Wiederkäuermägen zurückzuführen (UMWELTBUNDESAMT 2020).

Methan (CH₄) hat eine deutlich höhere Klimawirksamkeit als Kohlendioxid (CO₂). Bei den offiziellen Klimabilanzierungen wird meist eine 100-jährige Betrachtung des globalen Erwärmungspotentials (Global Warming Potential 100 – GWP100) angewandt. Bislang wurde bei dieser Betrachtungsweise für CH₄ eine 25-fache Klimawirksamkeit im Vergleich zu CO₂ unterstellt (IPCC 2007, UMWELTBUNDESAMT 2020). Aufgrund neuerer, wissenschaftlicher Erkenntnisse wurde dieser Umrechnungsfaktor auf 28 nach oben korrigiert (IPCC 2013). Bei einer detaillierteren Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels wird auch berücksichtigt, dass die natürliche THG-Bindungskapazität der Ozeane und der Land-Biomasse mit zunehmender Klimaerwärmung abnimmt (carbon climate feedback). Bei Miteinbeziehung dieser Zusammenhänge ergibt sich für CH₄ eine 34-fache Klimawirksamkeit im Vergleich zu CO₂. Werden diese neueren Umrechnungsfaktoren bei der Klimabilanzierung eingesetzt, so erhöht sich naturgemäß der Anteil des CH₄ an den gesamten THG-Emissionen. Neben dem GWP100 werden jedoch auch andere Betrachtungszeiträume für die Auswirkungen des Klimawandels diskutiert und verwendet. Aufgrund sehr unterschiedlicher Lebensdauern der THG in der Atmosphäre ergeben sich je nach Betrachtungszeitraum unterschiedliche Umrechnungsfaktoren für die THG. Das CO₂ hat eine Lebensdauer in der Atmosphäre, welche weit über den im GWP100 betrachteten Zeitraum hinausgeht, während die Lebensdauer von CH₄ mit 12,4 Jahren vergleichsweise kurz ist (IPCC 2013, GUGGENBERGER et al. 2020). Wird nun ein 500-jähriger Betrachtungszeitraum für das globale Erwärmungspotential verwendet (GWP500), so wird ein größerer Teil der Wirkung des CO₂ erfasst. Daher weist CH₄ bei dieser Betrachtungsweise eine nur rund 8-mal höhere Klimawirksamkeit auf als CO₂ (IPCC 2007, GUGGENBERGER et al. 2020), wodurch der Anteil der landwirtschaftlichen an den gesamten THG-Emissionen deutlich niedriger wäre. Andererseits werden auch häufig 20 Jahre als Betrachtungszeitraum für das globale Erwärmungspotential (GWP20) herangezogen. Diese Betrachtungsweise zeigt auf, in welchen Bereichen rasche Effekte bei der Reduktion der Auswirkungen des Klimawandels erzielbar sind. Verwendet man diesen Betrachtungszeitraum, so liegt der Umrechnungsfaktor für CH₄ bei 84 (IPCC 2013, GUGGENBERGER et al. 2020), da in diesem Fall ein noch kleinerer Teil der Wirkung von CO₂-Emissionen berücksichtigt wird als beim GWP100. Das hat zur Folge, dass der Anteil der Landwirtschaft an den gesamten THG-Emissionen bei Verwendung des GWP20 deutlich höher ausfällt als beim GWP100.

Die oben beschriebenen Betrachtungsweisen mögen einen Einfluss auf die Bedeutung von CH₄-Emissionen in Klimabilanzen haben. Außer Streit steht jedoch, dass auch die weltweiten CH₄-Emissionen reduziert werden müssen, womit auch die Landwirtschaft, und im speziellen die Viehwirtschaft, gefordert ist. Eine Reduktion von CH₄-Emissionen aus der Verdauung von Wiederkäuern kann durch die Reduktion der Tierzahl, durch Maßnahmen in Management, Zucht und Fütterung sowie durch die Veränderung der Mikrobienzusammensetzung und der Verdauungsvorgänge im Pansen erzielt werden (BEAUCHEMIN et al. 2020). Managementmaßnahmen umfassen die Steigerung der Produktivität und der Effizienz (geringere CH₄-Emissionen pro Einheit erzeugtem Produkt), Verringerung von Tierverlusten und Erhöhung der Nutzungsdauer. Weiters gibt es derzeit internationale Bestrebungen zur Entwicklung von Zuchtwerten für das Merkmal CH₄-Produktion (BRADE und DISTL 2015, BEAUCHEMIN et al. 2020). Im Bereich der Fütterung kann durch Erhöhung des Stärkegehalts und Senkung des Fasergehalts der Ration (Erhöhung Maissilage- oder Kraftfutteranteil, Erhöhung der Grundfutterqualität) oder durch Zufütterung von Futterfetten eine Reduktion der CH₄-Emissionen erreicht werden (BRADE und DISTL 2015, JAYASUNDARA et al. 2016, BEAUCHEMIN et al. 2020). Die Mikrobienzusammensetzung und die Verdauungsvorgänge im Pansen können einerseits durch Impfung des Wirtstieres und Defaunation (Entfernung von Protozoen aus dem Pansen) oder andererseits durch den Einsatz von Futterzusätzen beeinflusst werden (BRADE und DISTL 2015). Zu den CH₄-reduzierenden Futterzusätzen zählen unter anderem chemische Inhibitoren (z.B. 3-Nitrooxypropanol), anorganische Futterzusätze (z.B. Nitrat), antibiotisch wirksame Substanzen (z.B. Monensin), organische Säuren (z.B.

Propionsäure-Vorstufen) und natürliche Extrakte (z.B. Tannin- oder Saponin-haltige Pflanzen, Hefen, Algen) (BRADE und DISTL 2015, JAYASUNDARA et al. 2016, BEAUCHEMIN et al. 2020). In der Folge wird nur auf den Einfluss der Zucht und des Kraftfutteranteils der Ration auf die CH₄-Produktion von Rindern eingegangen, da dies die Fragestellung des vorliegenden Projektes war.

Studien zum Einfluss der Rasse oder des Genotyps auf die CH₄-Emissionen liegen bislang kaum vor. Die Ergebnisse der bereits durchgeführten Versuche deuten jedoch darauf hin, dass Unterschiede zwischen den Rassen gering sind (MÜNGER und KREUZER 2008, UDDIN et al. 2020). Deutlich mehr Forschung wird im Hinblick auf die Entwicklung von Zuchtwerten für die CH₄-Produktion betrieben. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die CH₄-Produktion eine mittlere Erbllichkeit aufweist und somit eine Reduktion von CH₄-Emissionen durch züchterische Maßnahmen möglich ist (PICKERING et al. 2015). Die Herausforderung liegt eher darin Leistungsprüfungsdaten für eine große Zahl an Tieren zu generieren, anhand welcher der Zuchtwert für die CH₄-Produktion geschätzt werden kann. Da die Messung der CH₄-Produktion von vielen Tieren schwierig ist, wird derzeit intensiv nach Hilfsgrößen (Proxies) gesucht, welche für die Schätzung der CH₄-Produktion herangezogen werden können. Vielversprechende Hilfsgrößen sind laut NEGUSSIE et al. (2017) das Lebendgewicht, die Milchleistung sowie die Fettsäuren-Zusammensetzung und das MIR-Spektrum der Milch. Diese Merkmale weisen eine mittlere bis hohe Korrelation zur CH₄-Produktion auf und sind einfach und billig zu erheben.

Die Erhöhung des Kraftfutteranteils führte in vorangegangenen Untersuchungen zu einem Anstieg der täglichen CH₄-Emissionen pro Tier, was auf eine steigende Futteraufnahme zurückzuführen war (HINDRICHSEN et al. 2006, MUÑOZ et al. 2015). Bezogen auf die Trockenmasse (TM)-Aufnahme und die Milchleistung ging die CH₄-Produktion jedoch zurück, was durch den geringeren Gehalt an Neutral-Detergentien-Faser (NDF) in der Ration zu erklären ist (HINDRICHSEN et al. 2006, AGUERRE et al. 2011, VAN GASTELEN et al. 2019, BEAUCHEMIN et al. 2020). Im Gegensatz dazu fanden MUÑOZ et al. (2015) bei Weidefütterung keinen Einfluss des Kraftfutteranteils auf die CH₄-Emissionen pro kg TM und pro kg Milchleistung. Allerdings unterschieden sich die eingesetzten Kraftfutteranteile wesentlich zwischen den Studien. Während HINDRICHSEN et al. (2006) und AGUERRE et al. (2011) bis zu 50 bzw. 53 % Kraftfutter einsetzten, lag im Versuch von MUÑOZ et al. (2015) der maximale Kraftfutteranteil bei nur rund 23 %. Das würde darauf hindeuten, dass ein positiver Einfluss des Kraftfutteranteils erst bei sehr hohen Kraftfuttermengen zu erwarten ist.

Im Rahmen des umfassenden Milcheffizienz-Projektes an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurden erstmals in Österreich experimentelle Messungen der CH₄-Produktion von Milchkühen in Respirationskammern durchgeführt. Ziel dieses Forschungsprojektes war, den Einfluss von Genotyp und Kraftfütterniveau in der Ration auf die CH₄-Produktion von österreichischen Milchkühen zu untersuchen. Ergänzend dazu wurden auch die Futteraufnahme und die Milchleistung der Tiere während der Respirationsmessungen erfasst. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes verfasst Frau Ramona Hotschnig ihre Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die ersten Ergebnisse ihrer Auswertungen und liefert erstmals experimentelle Daten zur CH₄-Produktion von Milchkühen unter österreichischen Produktionsbedingungen. Detailliertere Ergebnisse zu weiterführenden Auswertungen werden zu einem späteren Zeitpunkt in der Masterarbeit von Frau Hotschnig veröffentlicht.

Material und Methoden

Tiere und Fütterung

Für die Messungen der CH₄-Produktion in den Respirationskammern wurden 52 Milchkühe aus dem Forschungsprojekt „Milcheffizienz“ (GRUBER 2013) verwendet. In diesem

Projekt wurde zwischen vier verschiedenen Genotypen unterschieden (Fleckvieh – FV, Holstein_Hochleistung – HF_HL, Holstein_Lebensleistung – HF_LL und Holstein_Neuseeland – HF_NZ). Einen Überblick über die verwendeten Versuchstiere gibt *Tabelle 1*.

Tabelle 1: Überblick über die im Versuch verwendeten Milchkühe verschiedener Genotypen

	FV	HF_HL	HF_LL	HF_NZ
Anzahl	14	13	10	15
Ø Lebendgewicht, kg	693	679	600	618
Ø Laktationszahl	3,0	2,6	3,5	4,3
Ø Laktationstage zu Messbeginn	168	194	153	201

FV = Fleckvieh; HF_HL = Holstein_Hochleistung; HF_LL = Holstein_Lebensleistung; HF_NZ = Holstein_Neuseeland

Die Tiere wurden vor und nach den Respirationsmessungen im modernen Laufstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein gehalten. Das verabreichte Futter setzte sich aus einer Grundfuttermischung (40 % Grassilage, 30 % Heu und 30 % Maissilage auf TM-Basis) und einer Kraftfuttermischung (25 % Körnermais, 24 % Gerste, 8 % Weizen, 8 % Trockenschnitzel, 5 % Weizenkleie, 15 % Sojaextraktionsschrot HP, 15 % Rapsextraktionsschrot) zusammen. Die verabreichte Kraftfuttermenge richtete sich einerseits nach dem Versuchsansatz im Forschungsprojekt „Milcheffizienz“ und andererseits nach dem Laktationsstadium der Tiere. In den Respirationskammern wurde das Kraftfutter in mindestens 4 Teilgaben verabreicht, wobei die maximale Menge von 2 kg pro Teilgabe nicht überschritten wurde. Die durchschnittlichen Nährstoffgehalte der Grund- und Kraftfuttermischung sind in *Tabelle 2* dargestellt.

Tabelle 2: Durchschnittlicher Nährstoffgehalt des im Versuch eingesetzten Grund- und Kraftfutters

	Grundfutter	Kraftfutter
Trockenmasse (TM), g/kg FM	394,6	892,5
Rohprotein (XP), g/kg TM	146,2	204,4
Rohfett (XL), g/kg TM	29,0	25,7
Rohfaser (XF), g/kg TM	265,8	72,4
Rohasche (XA), g/kg TM	101,8	42,5
Organische Masse (OM), g/kg TM	898,2	957,5
Neutral-Detergentien-Faser (NDF), g/kg TM	490,6	226,6
Säure-Detergentien-Faser (ADF), g/kg TM	324,9	103,9
Säure-Detergentien-Lignin (ADL), g/kg TM	40,7	23,1
Nicht-Faserkohlenhydrate (NFC), g/kg TM	232,4	513,4
Umsetzbare Energie (ME), MJ/kg TM	9,85	12,55
Nettoenergie Laktation (NEL), g/kg TM	5,86	7,28

Ablauf der Respirationsmessungen

Die Messung der CH₄-Emissionen der Milchkühe wurde in den Respirationskammern der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Die beiden baugleichen Respirationskammern sind luftdichte Anlagen, welche jeweils durch ein kontrolliertes Lüftungssystem belüftet wurden. Luft aus dem Inneren der Kammern („Kammerluft“) wurde durch eine Vakuumpumpe stetig abgepumpt. Frische Luft konnte entlang eines Druckgradienten in die Kammer nachströmen, welcher durch einen leichten Unterdruck in den Kammern verursacht wurde. Das Volumen der aus der Kammer abgepumpten Luft und die darin enthaltene CH₄-Konzentration wurden alle 12 Minuten gemessen (Volumenstrommesser: Flügelradstromsensor ZS25, Höntzsch, Waiblingen, Deutschland; Gasmessgerät: Photoacoustic Gas Monitor Innova 1412i, LumaSense, Frankfurt/Main, Deutschland). Weiters wurde die Kammerluft durch eine Klimaanlage stetig auf 20 °C und 60 % relative Luft-

feuchtigkeit konditioniert. Vor Beginn der Untersuchungen wurde die Dichtheit der Kammern mit Hilfe eines Gaswiederfindungstests geprüft und eine Kalibrierung des Volumenstrommessers und des Gasmessgeräts durchgeführt.

Jede im Versuch verwendete Kuh wurde maximal einmal pro Jahr für maximal 4 Tage in den Respirationskammern gehalten. Die Kühe wurden jeweils montags um 08:00 in die Respirationskammern eingestallt und anschließend bis mittwochs 04:30 an die neue Umwelt gewöhnt. Unmittelbar anschließend begann die 2-tägige Versuchsphase, in der alle Messdaten erhoben wurden. Nach Ende der Versuchsphase am Freitag wurden die Kühe wieder ausgestallt. Zweimal täglich (05:30 und 16:00 Uhr) betrat ein Mitarbeiter die Respirationskammern, um die Kühe zu füttern und zu melken und das Wohlbefinden der Kühe zu überprüfen. Vor dem Ein- und nach dem Ausstallen wurde das Lebendgewicht der Kühe ermittelt. Während der Versuchsphase in den Respirationskammern wurde, neben der CH₄-Produktion, auch die tägliche Grund- und Kraftfutteraufnahme sowie die Milchleistung erhoben. Weiters wurden auch Milchproben entnommen und an das Qualitätslabor St. Michael des LKV Steiermark zur Untersuchung der Milchinhaltsstoffe geschickt.

Aufbereitung und statistische Auswertung der Daten

Vor der statistischen Auswertung wurden die Daten von Volumen- und Gasmessgerät auf Standardtemperatur, -luftfeuchtigkeit und -luftdruck korrigiert. Weiters wurden alle erhobenen Daten mit dem Programm Statgraphics Centurion XVII auf Plausibilität geprüft. Während der Fütterungs- und Melkzeiten kam es durch die Öffnung der Kammertüren zu einem unkontrollierten Zustrom von Frischluft, der die Messungen störte. Die Messwerte während dieser Zeiten wurden daher mit Hilfe des oben genannten Programms korrigiert. Um unvermeidliche Gasverluste während des gesamten Messprozesses berücksichtigen zu können, wurden zudem die produzierten Gasmengen mit Hilfe der Gaswiederfindungsrate korrigiert. Die Gaswiederfindungsrate wurde vor Beginn des Versuchs für jede Respirationskammer separat erhoben.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 9.4 und der Prozedur MIXED. Im Modell wurden der Genotyp (fixe Variable: FV, HF_HL, HF_LL, HF_NZ), der Kraftfutteranteil in der Ration (Regressionsvariable - linearer und quadratischer Effekt), die Laktationsnummer (fixe Variable: 1, 2-3, >3), der Laktationstag, die Gesamtfutteraufnahme (jeweils Regressionsvariablen) und die Wechselwirkung Genotyp × Kraftfutteranteil verwendet. Weiters wurden der Messdurchgang, der Messtag während eines Messdurchgangs und die Kammernummer als zufällige Effekte berücksichtigt. Für die Auswertung der Grund- und Gesamtfutteraufnahme wurde die Gesamtfutteraufnahme aus dem Modell entfernt, da ansonsten die statistische Auswertung nicht möglich gewesen wäre. Ein signifikanter Einfluss eines Modellfaktors wurde angenommen, wenn der p-Wert unter 0,05 lag. Der paarweise Mittelwert-Vergleich wurde mit Hilfe des Tukey-Tests durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Futteraufnahme und Milchproduktion

Die höchste tägliche Gesamtfutteraufnahme (17,8 kg TM) und Energie-korrigierte Milch (ECM)-Leistung (25,3 kg) wurde beim Genotyp HF_HL festgestellt (*Tabelle 3*). Allerdings war der Unterschied zu allen anderen Genotypen, wie auch bei der Grund- und Kraftfutteraufnahme sowie bei den Milchinhaltsstoffen (Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff), nicht signifikant. In diese Auswertung gingen jedoch jeweils nur zwei Tage pro Tier ein. Für die Erstellung des Zwischenberichts des Forschungsprojekts „Milcheffizienz“ wurde dagegen der Unterschied zwischen diesen Genotypen in der Laktationsleistung aus-

Tabelle 3: Einfluss von Genotyp und Kraftfutteranteil in der Ration auf Futteraufnahme, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe von Milchkühen

	GF- Aufnahme kg TM/d	KF- Aufnahme kg TM/d	GES- Aufnahme kg TM/d	Milch kg/d	ECM kg/d	Fett %	Eiweiß %	Laktose %	Harnstoff mg/100 ml
Genotyp									
FV	13,8	3,3	17,1	21,1	21,9	4,52	3,38	4,78	29,0
HF_HL	14,3	3,5	17,8	24,7	25,3	4,43	3,32	4,69	25,8
HF_LL	12,0	3,5	15,3	18,5	17,8	4,19	3,14	4,70	30,5
HF_NZ	12,8	3,3	15,9	17,9	20,7	5,04	3,71	4,72	23,8
Statistik									
p Genotyp	0,080	0,514	0,212	0,163	0,101	0,483	0,137	0,663	0,078
p KF-Anteil linear	0,336	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	0,066	0,137	0,038	0,496
p KF-Anteil quadratisch	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,002	0,089	0,162	0,061	0,486
p Genotyp × KF-Anteil	0,509	0,112	0,782	0,143	0,215	0,825	0,430	0,731	0,167
rSD	0,9	0,1	1,0	0,8	1,1	0,29	0,13	0,11	3,8

GF = Grundfutter; KF = Kraftfutter; GES = Gesamtfutter; ECM = Energie-korrigierte Milch; TM = Trockenmasse; FV = Fleckvieh; HF_HL = Holstein_Hochleistung; HF_LL = Holstein_Lebensleistung; HF_NZ = Holstein_Neuseeland; rSD = Residualstandardabweichung

gewertet (GRUBER et al. 2018). Hierbei wiesen die HF_HL-Kühe die signifikant höchste und die HF_LL-Kühe die signifikant niedrigste ECM-Leistung auf. Die beiden weiteren Genotypen (FV und HF_NZ) lagen dazwischen und unterschieden sich nicht voneinander.

Mit zunehmendem Kraftfutteranteil in der Ration stiegen die Gesamtfutteraufnahme und die ECM-Leistung an, die Grundfutteraufnahme ging jedoch zurück (*Abbildung 1*). Auch im Zwischenbericht des Forschungsprojekts Milcheffizienz stieg die Laktationsleistung mit steigendem Kraftfutteranteil signifikant an (GRUBER et al. 2018). In der aktuellen Auswertung ging die Gesamtfutteraufnahme jedoch ab einem Kraftfutteranteil von 20 % in der Ration leicht zurück. Dieser Umstand ist dadurch zu erklären, dass bei vergleichbarer Kraftfutteraufnahme deutlich unterschiedliche Grundfutteraufnahmen festgestellt wurden. Somit ergab sich bei Kühen mit geringer Grundfutteraufnahme (und damit auch geringer Gesamtfutteraufnahme) ein höherer Kraftfutteranteil in der Ration. Die ECM-Leistung stieg bei den Genotypen HF_HL und HF_LL mit steigendem Kraftfutteranteil in der Ration stärker an als bei den anderen beiden Genotypen, die Wechselwirkung war jedoch nicht signifikant.

Methanproduktion

Hinsichtlich der CH₄-Produktion wurden signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen festgestellt (*Tabelle 4*). Die tägliche CH₄-Produktion sowie die CH₄-Produktion pro kg Grund- bzw. Gesamtfutteraufnahme war beim HF_LL-Genotyp signifikant niedriger als bei den HF_HL- und FV-Kühen. Auch der Genotyp HF_NZ wies in allen drei Parametern signifikant niedrigere Werte auf als FV, zwischen HF_NZ und HF_HL wurden dagegen keine Unterschiede festgestellt. Die CH₄-Produktion pro kg ECM-Leistung unterschied sich nicht zwischen den untersuchten Genotypen. Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen, stellten HYNES et al. (2016) und FERRIS et al. (2020) zwischen Holstein Friesian- und Schwedisches Rotvieh × Holstein Friesian-Kühen keine Unterschiede in der täglichen CH₄-Produktion und der CH₄-Produktion pro kg ECM-Leistung fest.

Die vergleichsweise niedrigen täglichen CH₄-Emissionen der HF_LL- und HF_NZ-Genotypen lassen sich zum Teil durch das geringere Körpergewicht und die etwas geringere Milchleistung dieser Tiere erklären. In der Studie von GARNSWORTHY et al. (2012) mit 215 Milchkühen ging die tägliche CH₄-Produktion je kg Lebendgewicht um 0,13 g und je kg Milchleistung um 1,08 g zurück. Zu Gänze lässt sich der Unterschied in den täglichen

Tabelle 4: Einfluss von Genotyp und Kraftfutteranteil in der Ration auf die Methanproduktion von Milchkühen

	CH ₄ pro Tag g	CH ₄ pro kg GF-Aufnahme g	CH ₄ pro kg GES-Aufnahme g	CH ₄ pro kg ECM g
Genotyp				
Fleckvieh	379 ^c	28,9 ^c	22,6 ^c	18,4
HF_Hochleistung	376 ^{bc}	28,7 ^{bc}	22,2 ^{bc}	16,3
HF_Lebensleistung	295 ^a	22,6 ^a	18,0 ^a	18,5
HF_Neuseeland	335 ^{ab}	25,6 ^{ab}	20,0 ^{ab}	17,2
Statistik				
p Genotyp	0,015	0,034	0,028	0,256
p KF-Anteil linear	0,006	0,006	0,005	0,001
p KF-Anteil quadratisch	0,094	0,292	0,040	0,005
p Genotyp × KF-Anteil	0,017	0,018	0,008	0,124
rSD	9	0,9	0,7	0,9

GF = Grundfutter; GES = Gesamtfutter; ECM = Energie-korrigierte Milch; HF = Holstein Friesian; KF = Kraftfutter; rSD = Residualstandardabweichung

CH₄-Emissionen zwischen diesen beiden Genotypen und FV bzw. HF_HL dadurch jedoch nicht erklären. Weiters bleibt auch offen, worauf die niedrigeren CH₄-Emissionen pro kg Grund- bzw. Gesamtfutteraufnahme der HF_LL- und HF_NZ-Kühe zurückzuführen sind. Ein möglicher Grund könnten eine schlechtere Verdauung des aufgenommenen Futters sein. Um dies zu klären, wird im Zuge der weiteren Auswertung auch die Verdaulichkeit der Ration durch die Versuchstiere analysiert.

Der Kraftfutteranteil hatte einen signifikanten Einfluss auf die tägliche CH₄-Produktion und die CH₄-Produktion pro kg Grund- bzw. Gesamtfutteraufnahme sowie pro kg ECM-Leistung. Mit zunehmendem Kraftfutteranteil ging die CH₄-Produktion pro kg ECM-Leistung zurück (*Abbildung 1*). Bei Fleckvieh war jedoch zwischen 20 und 30 % Kraftfutteranteil ein leichter Anstieg der CH₄-Produktion pro kg ECM-Leistung zu beobachten. Bei der täglichen CH₄-Produktion und der CH₄-Produktion pro kg Grund- und Gesamtfutteraufnahme wurde eine signifikante Genotyp × Kraftfutteranteil-Wechselwirkung festgestellt. Beim HF_NZ-Genotyp änderte sich die tägliche CH₄-Produktion und die CH₄-Produktion pro kg Gesamtfutteraufnahme mit steigendem Kraftfutteranteil kaum (*Abbildung 1*). Bei allen anderen Genotypen stiegen beide Parameter mit zunehmendem Kraftfutteranteil an, wobei die CH₄-Produktion bei FV weniger stark anstieg als bei den beiden HF-Genotypen. Weiters wurde festgestellt, dass sich die Zunahme der täglichen CH₄-Produktion und der CH₄-Produktion pro kg Gesamtfutteraufnahme mit zunehmendem Kraftfutteranteil abschwächt.

WANG et al. (2020) tauschten in einem Versuch mit trockenstehenden Schafen Kraftfutter zunehmend durch Luzerneheu aus. Ähnlich wie im aktuellen Versuch ging die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme mit zunehmendem Luzerne- und sinkenden Kraftfutteranteil zurück. Im Gegensatz dazu nahm in der Studie von AGUERRE et al. (2011) die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme und pro kg ECM bei steigendem Kraftfuttereinsatz (und vergleichbarer täglicher TM-Aufnahme) signifikant ab. Auch VAN GASTELLEN et al. (2019) und BEAUCHEMIN et al. (2020) kamen in ihren Reviews zum Schluss, dass die Zunahme des Kraftfuttereinsatzes die CH₄-Produktion pro kg Futteraufnahme bzw. pro kg produziertes Produkt reduziert. BEAUCHEMIN et al. (2020) führten das darauf zurück, dass bei Kraftfutter-reicher Fütterung im Pansen mehr Wasserstoff für die Bildung von Propionsäure benötigt wird und somit weniger Wasserstoff für die Bildung von CH₄ zur

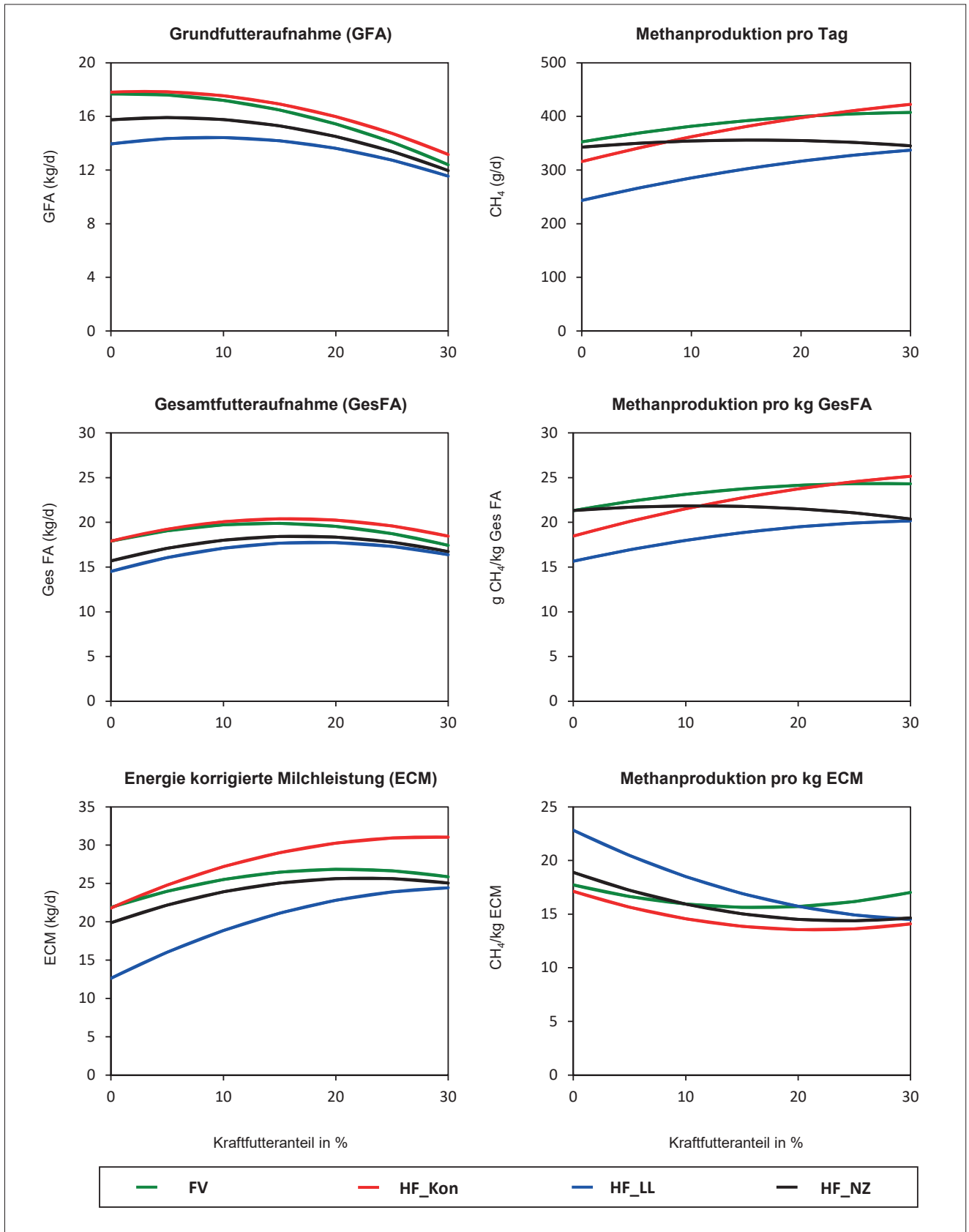


Abbildung 1: Entwicklung von Futtermittelaufnahme, Milchproduktion und Methanproduktion mit steigendem Kraftfutteranteil nach Genotypen (FV = Fleckvieh, HF_HL = Holstein Hochleistung, HF_LL = Holstein Lebensleistung, HF_NZ = Holstein Neuseeland)

Verfügung steht. Allerdings wiesen sie auch darauf hin, dass das CH₄-Reduktionspotential durch Steigerung des Kraftfuttereinsatzes aus Gründen der Stoffwechselfgesundheit der Tiere begrenzt ist. Allerdings zeigen die Ergebnisse der im Review von VAN GASTELEN et al. (2019) herangezogenen Studien kein konsistentes Bild. In ihre Arbeit gingen auch mehrere Studien ein, in denen kein Einfluss des Kraftfutteranteils der Ration auf die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme bzw. pro kg ECM nachgewiesen wurde.

Auch bei Weidehaltung kamen bisherige Studien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen, was die Entwicklung der CH₄-Produktion bei steigendem Kraftfutteranteil in der Ration betrifft. FERRIS et al. (2020) stellten bei 33,1 % Kraftfutteranteil in der Ration eine signifikant niedrigere CH₄-Produktion pro kg ECM fest als bei 17,4 %, die tägliche CH₄-Produktion und die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme wurden jedoch nicht vom Kraftfutterniveau beeinflusst. In der Weide-Studie von MUÑOZ et al. (2015) war die tägliche CH₄-Produktion bei 5 kg höher als bei 1 kg Kraftfuttereinsatz. Die CH₄-Produktion pro kg ECM und pro kg TM-Aufnahme wurden von der eingesetzten Kraftfuttermenge dagegen nicht beeinflusst. In den Untersuchungen von JIAO et al. (2014) und MOATE et al. (2020) gingen dagegen sowohl die CH₄-Produktion pro kg ECM als auch die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme mit zunehmendem Kraftfuttereinsatz bei Weidehaltung zurück. O'NEILL et al. (2011) verglichen die CH₄-Produktion bei Vollweidehaltung und bei Verfütterung einer Maissilage-betonten Totalen Mischration (TMR). Sowohl die tägliche CH₄-Produktion als auch die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme bzw. ECM-Leistung waren in ihrem Versuch bei Vollweidehaltung signifikant niedriger als bei TMR-Fütterung.

Das deutet darauf hin, dass die CH₄-Produktion von Milchkühen nicht nur durch den Kraftfutteranteil sondern auch durch die Grundfutterzusammensetzung bzw. die Grundfutterqualität positiv beeinflusst werden kann. MACOME et al. (2018) verglichen die CH₄-Produktion bei Verfütterung von Grassilagen, die in unterschiedlichen Vegetationsstadien geerntet wurden. Bei Verfütterung der am frühesten geerntete Grassilage (365 g NDF/kg TM) wurde ein deutlicher Rückgang der CH₄-Produktion pro kg ECM festgestellt. Der Einsatz der am spätesten geernteten Grassilage (546 g NDF/kg TM) bewirkte dagegen einen signifikanten Anstieg der CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme. Auch die Reviews von VAN GASTELEN et al. (2019) und BEAUCHEMIN et al. (2020) bestätigen einen reduzierenden Effekt von steigender Grundfutterqualität auf die CH₄-Produktion pro kg TM-Aufnahme bzw. pro kg ECM. Aufgrund der höheren TM-Aufnahme führt jedoch eine steigende Grundfutterqualität, wie auch die Erhöhung des Kraftfutteranteils in der Ration, zu zunehmenden täglichen CH₄-Emissionen. Positiv kann gesehen werden, dass sowohl die Steigerung des Kraftfutteranteils in der Ration als auch die Anhebung der Grundfutterqualität die CH₄-Emissionen pro kg ECM reduzieren. Damit dieser CH₄-reduzierende Effekt wirkt, muss jedoch gleichzeitig darauf geachtet werden, dass die produzierte Milchmenge nicht steigt. Eine Erhöhung des Kraftfuttereinsatzes kann also nur dann die Klimabilanz der Landwirtschaft entlasten, wenn gleichzeitig die Tierzahlen reduziert werden und die Stoffwechselfgesundheit der Tiere langfristig erhalten bleibt. Darüber hinaus gilt es im Auge zu behalten, welche weiteren THG-Emissionen im Zuge der Produktion und des Transports von Kraftfutter entstehen. Denn hinsichtlich des Klimaschutzes ist es wichtig, nicht nur einzelne Teilbereiche der Viehwirtschaft unter die Lupe zu nehmen, sondern das Produktionssystem als Ganzes zu betrachten.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts zeigen, dass der Einsatz von geringen bis mittleren Kraftfuttermengen die CH₄-Emissionen pro kg ECM-Leistung reduziert. Die täglichen CH₄-Emissionen und die CH₄-Emissionen pro kg Gesamtfuttermenge steigen dagegen bei solchen Kraftfuttermengen an, wobei jedoch deutliche Unterschiede zwischen Milchkühen-Genotypen bestehen. Aus Sicht des Klimaschutzes scheint daher eine Steigerung des Kraftfutteranteils in der Ration als alleinige Maßnahme keine wirksame Strategie zu

sein. Zwischen Genotypen bestehen signifikante Unterschiede in den CH₄-Emissionen, was durchaus züchterisches Potential erkennen lässt. Im Zuge weiterer Auswertungen soll jedoch noch geklärt werden, worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind.

Literatur

AGUERRE, M.J., M.A. WATTIAUX, J.M. POWELL, G.A. BRODERICK und C. ARNDT, 2011: Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *J. Dairy Sci.* 94, 3081-3093.

BEAUCHEMIN, K.A., E.M. UNGERFELD, R.J. ECKARD und M. WANG, 2020: Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal* 14, s2-s16.

BRADE, W. und O. DISTL, 2015: Das ruminale Mikrobiom des Rindes – Teil 2: Archaeen – Substratspezialisten im Pansenmikrobiom. *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* 93.

FERRIS, C.P., H. JIAO, S. MURRAY, A. GORDON und S. LAIDLAW, 2020: Effect of dairy cow genotype and concentrate feed level on cow performance and enteric methane emissions during grazing. *Agr. Food Sci.* 29, 130-138.

GARNSWORTHY, P.C., J. CRAIGON, J.H. HERNANDEZ-MEDRANO und N. SAUNDERS, 2012: Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. *J. Dairy Sci.* 95, 3181-3189.

GRUBER, L., 2013: Einfluss der Nutzungsrichtung und Lebendmasse von Milchkühen auf die Nährstoffeffizienz, Umweltwirkung und Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion. Projektantrag zum Forschungsprojekt „Milcheffizienz“, HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

GRUBER, L., J. HÄUSLER, A. HAIGER, G. TERLER, A. SCHAUER, M. ROYER und D. EINGANG, 2018: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Leistung sowie Gesundheits- und Fruchtbarkeitsparameter von Milchkühen. *VDLUFA-Schriften* 75, 305-316.

GUGGENBERGER, T., G. TERLER, C. FRITZ, M. HERNDL und F. GRASSAUER, 2020: Fünf Fragen zur Bewertung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in Österreich. Österreichische Fachtagung für Biologische Landwirtschaft, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding-Donnersbachtal, 119-138.

HINDRICHSEN, I.K., H.R. WETTSTEIN, A. MACHMÜLLER und M. KREUZER, 2006: Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 113, 150-161.

HYNES, D.N., S. STERGIADIS, A. GORDON und T. YAN, 2016: Effects of concentrate crude protein content on nutrient digestibility, energy utilization, and methane emissions in lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass. *J. Dairy Sci.* 99, 8858-8866.

IPCC, 2007: AR4 Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC.

IPCC, 2013: AR5 Climate Change 2013: The physical science basis. IPCC.

JAYASUNDARA, S., J.A.D. RANGA NIROSHAN APPUHAMY, E. KEBREAB und C. WAGNER-RIDDLE, 2016: Methane and nitrous oxide emissions from Canadian dairy farms and mitigation options: An updated review. *Can. J. Anim. Sci.* 96, 306-331.

- JIAO, H.P., A.J. DALE, A.F. CARSON, S. MURRAY, A.W. GORDON und C.P. FERRIS, 2014: Effect of concentrate feed level on methane emissions from grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97, 7043-7053.
- MACOME, F.M., W.F. PELLIKAAN, W.H. HENDRIKS, R.D. WARNE, J.T. SCHONEWILLE und J.W. CONE, 2018: *In vitro* gas and methane production in rumen fluid from dairy cows fed grass silages differing in plant maturity, compared to *in vivo* data. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 102, 843-852.
- MOATE, P.J., M.H. DEIGHTON, J. JACOBS, B.E. RIBAU, G.L. MORRIS, M.C. HANNAH, D. MAPLESON, M.S. ISLAM, W.J. WALES und S.R.O. WILLIAMS, 2020: Influence of proportion of wheat in a pasture-based diet on milk yield, methane emissions, methane yield, and ruminal protozoa of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103, 2373-2386.
- MÜNGER, A. und M. KREUZER, 2008: Absence of persistent methane emission differences in three breeds of dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.* 48, 77-82.
- MUÑOZ, C., S. HUBE, J.M. MORALES, T. YAN und E.M. UNGERFELD, 2015: Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livest. Sci.* 175, 37-46.
- NEGUSSIE, E., Y. de HAAS, F. DEHARENG, R.J. DEWHURST, J. DIJKSTRA, N. GENGLER, D.P. MORGAVI, H. SOYEURT, S. VAN GASTELEN, T. YAN und F. BISCARINI, 2017: Invited review: Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. *J. Dairy Sci.* 100, 2433-2453.
- O'NEILL, B.F., M.H. DEIGHTON, B.M. O'LOUGHLIN, F.J. MULLIGAN, T.M. BOLAND, M. O'DONOVAN und E. LEWIS, 2011: Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to spring-calving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *J. Dairy Sci.* 94, 1941-1951.
- PICKERING, N.K., V.H. ODDY, J. BASARAB, K. CAMMACK, B. HAYES, R.S. HEGARTY, J. LASSEN, J.C. McEWAN, S. MILLER und C.S. PINARES-PATIÑO, 2015: Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal* 9, 1431-1440.
- UDDIN, M.E., O.I. SANTANA, K.A. WEIGEL und M.A. WATTIAUX, 2020: Enteric methane, lactation performances, digestibility, and metabolism of nitrogen and energy of Holsteins and Jerseys fed 2 levels of forage fiber from alfalfa silage or corn silage. *J. Dairy Sci.* 103, 6087-6099.
- UMWELTBUNDESAMT, 2020: Klimaschutzbericht 2020. Umweltbundesamt, 184 S.
- VAN GASTELEN, S., J. DIJKSTRA und A. BANNINK, 2019: Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? *J. Dairy Sci.* 102, 6109-6130.
- WANG, C., C. ZHANG, T. YAN, S. CHANG, W. ZHU, M. WANAPAT und F. HOU, 2020: Increasing roughage quality by using alfalfa hay as a substitute for concentrate mitigates CH₄ emissions and urinary N and ammonia excretion from dry ewes. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104, 22-31.