

## Wissenschaftlicher Schlussbericht zuhanden des BAFU und des BLW für das Projekt:

### Technische Massnahmen und deren Potential zur Reduktion der Treibhausgase Methan und Lachgas aus der Schweizer Tierhaltung

Zeitraum: 1. November 2008 – 10. Februar 2012

#### a) Darstellung der Forschungsarbeiten

##### A) In vitro Untersuchung zur Evaluierung von potentiell methanhemmenden Pflanzeninhaltsstoffen

In einem ersten Schritt wurde eine *in vitro* Untersuchung mit dem Hohenheimer Gastest (HGT; Abbildung 1) durchgeführt, um das erste *in vivo*-Experiment mit Mastrindern vorzubereiten. Mit diesem System konnte nämlich eine Auswahl an effektiv Methan hemmenden Substanzen aus einer Vielzahl möglicher Futterzusätze getroffen werden. Getestet wurden insgesamt 12 Substanzen: Tannine (CT), Saponine (SA), die beiden mittellangkettig gesättigten Fettsäuren Laurin- ( $C_{12}$ ) und Myristinsäure ( $C_{14}$ ), Samen der Süsslupine, ganze gemahlene Luzerne, Ackerbohne, Hopfendolden, Traubentrester, Knoblauchgranulat, Maca („Andenradieschen“), sowie extrudierte Leinsamen. Die Dosierungen wurden so gewählt, wie sie auch *in vivo* eingesetzt werden könnten. Getestet wurden diese Substanzen in unterschiedlichen Dosierungen mit einer für Mastrinder typischen Ration bestehend aus, bezogen auf die Trockensubstanz, 85% Maissilage und 15% Kraftfutter (Sojaextraktionsschrot und Weizen im Verhältnis von 1:1).

Im HGT-System wurden die Proben in 6 experimentellen Durchgängen mit 30 ml Pansensaft / Pufferlösung (1:2; v:v) für 24 h inkubiert (n=6). Anschliessend wurde die Gasentwicklung gemessen, die Gaszusammensetzung analysiert, der pH-Wert und die Ammoniakkonzentration bestimmt, die Anzahl an Bakterien und Protozoen gezählt und die flüchtigen Fettsäuren analysiert.

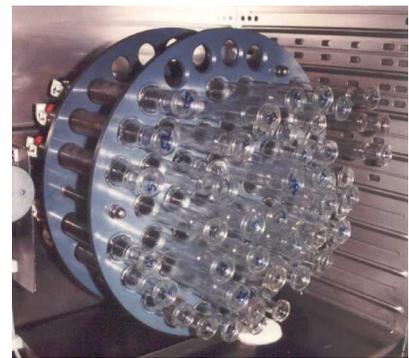


Abb. 1: Hohenheimer Gastest

Varianten, welche im HGT über 24 h inkubiert wurden:

- 200 mg Trockensubstanz (TS) Basisration (Kontrolle)
- 200 mg TS Basisration + CT (2.5% der TS)
- 200 mg TS Basisration + CT (5.0% der TS)
- 200 mg TS Basisration + SA (0.05% der TS)
- 200 mg TS Basisration + SA (0.25% der TS)
- 200 mg TS Basisration +  $C_{12}/C_{14}$  (je 2.5% der TS)
- 200 mg TS Basisration +  $C_{14}$  (5% der TS)
- 140 mg TS Basisration + 60 mg TS weisse Süsslupine (Samen; 30% der TS)
- 140 mg TS Basisration + 60 mg TS Luzernegrünmehl (30% der TS)
- 140 mg TS Basisration + 60 mg TS Ackerbohne (30% der TS)
- 185 mg TS Basisration + 15 mg TS Hopfendolden (7.5% in der TS)
- 170 mg TS Basisration + 30 mg TS Hopfendolden (15% in der TS)
- 185 mg TS Basisration + 15 mg TS Traubentrester
- 170 mg TS Basisration + 30 mg TS Traubentrester
- 185 mg TS Basisration + 15 mg TS Knoblauchgranulat
- 170 mg TS Basisration + 30 mg TS Knoblauchgranulat
- 185 mg TS Basisration + 15 mg TS Maca
- 170 mg TS Basisration + 30 mg TS Maca
- 200 mg TS Basisration + 20 mg TS extrudierte Leinsamen (10% der TS)
- 200 mg TS Basisration + 40 mg TS extrudierte Leinsamen (20% der TS)

## B) Evaluierung der Methanemissionen von Mastrindern sowie der Wirkung des Einsatzes von methanhemmenden Substanzen

In diesem Experiment wurden insgesamt 36 Mastmuni (Braunvieh  $\times$  Limousin) in 6 Gruppen zu je 6 Tieren eingesetzt. Im April 2009 begann die erste Versuchsphase mit einem mittleren Lebendgewicht von etwa 110 kg. Es wurden zwei Basisrationen getestet, welche die häufigsten in der Schweiz verfütterten Mastrationentypen für Mastmuni repräsentierten: eine Ration auf Basis von Maissilage (angestrebter Tageszuwachs: 1300 g) sowie eine Ration auf Basis von Grassilage (angestrebter Tageszuwachs: 1100 g). Entsprechend dem Eiweiss- und Energiebedarf der Tiere wurde das Grundfutter mit Krafftutter basierend auf Getreide und Sojaextraktionsschrot ergänzt.

Zusätzlich zu den beiden Grundrationen wurde der Maissilageration der anderen vier Mastgruppen jeweils ein anderer Futterzusatzstoff zugelegt, welcher in das Krafftutter pelletiert wurde. Es handelte sich hierbei um Knoblauchpulver, Maca (eine hochandinische Pflanze), weisse Süßlupinen und Tanninextrakt (aus der Rinde von *Acacia mearnsii*). Die Zusätze wurden aufgrund ihres bekannten oder angenommenen Gehalts an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen und auf Basis der Ergebnisse der vorangegangenen *in vitro*-Untersuchungen ausgewählt (Kapitel A; Staerfl et al., 2010, J. Anim. Feed Sci. 19, 651–664). Die Dosierung der Zusätze wurde so gewählt, dass über die gesamte Mastperiode eine gleichbleibende prozentuale Aufnahme möglichst gut gewährleistet wurde.

Während der gesamten Mastperiode wurden die Tiere in Gruppen in einem Boxenlaufstall gehalten, wo mittels Respondertechnik der Zugang zu individuellen Futtertrögen gewährleistet war. Die Tiere wurden im Abstand von 4 Wochen gewogen. Ferner wurde der tatsächliche individuelle Futterverzehr mittels Ein- und Rückwaage des Futters zweimal wöchentlich bestimmt.

Innerhalb der etwa 12-monatigen Mastdauer, erfolgten pro Tier drei intensive Messperioden (mit einem Lebendgewicht von ca. 125 kg, 300 kg und 450 kg), während denen die Tiere für jeweils 8 Tage in Einzelanbindung gehalten wurden (Abbildung 2). In diesem Zeitraum wurde die gesamte Futteraufnahme sowie die Menge an Exkrementen (Kot und Urin nicht getrennt) erfasst und beprobt. Zudem erfolgte in diesen 8 Tagen die Gaswechsellmessung in den Respirationsskammern (Abbildung 3) für  $2 \times 22$  h.



**Abb. 2:** Einzelanbindung im Stoffwechselstall



**Abb. 3:** Respirationsskammern

Bei der Respirationssmessung wurde laufend die verbrauchte Menge an Sauerstoff sowie die abgegebene Menge an Kohlendioxid und Methan ermittelt. Alle Futter-, Futterrückwaage- und Exkrementproben wurden im Labor auf ihren Gehalt an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS), Rohasche (RA), Stickstoff (N), Bruttoenergie (BE) und neutrale Detergentienfaser (NDF) analysiert.

Die Muni wurden zwischen Dezember 2009 und Februar 2010 mit einem Lebendgewicht von 525-550 kg geschlachtet, wobei neben dem Schlachtkörpergewicht (Schlachtausbeute) auch Daten zur Schlachtkörperqualität subjektiv nach CH-TAX erhoben wurden. Am Schlachthof wurden zudem Pansensaftproben aus dem Pansen sowie Fettproben aus dem Nierenfett und Unterhautfett im Schulterbereich genommen. Dies diente der Erhebung von Pansenfunktionsparametern (z.B. Ammoniakgehalt, Mikrobenpopulation) sowie der Untersuchung möglicher Auswirkungen der Futterzusätze auf die Fettqualität der Schlachtkörper.

*C) Nährstoffgehalte und in vitro-Messung des Methanemissionspotenzials aus der Gülle des Mastmuniexperiments mit Schweiz-typischen resp. potenziell methansenkenden Rationen*

Mit den gesammelten Exkrementen aus dem Mastmuniversuch wurde ein Güllelagerungsversuch durchgeführt. Hierfür wurde die Gülle in 300 ml Inkubationsflaschen während 15 Wochen bei 14°C sowie 27°C nach der vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) empfohlenen Methode für verschiedene Klimazonen inkubiert. Einmal wöchentlich wurde mittels eines Gaschromatographen die Gaszusammensetzung – speziell der Methangehalt – bestimmt. Um realitätsnahe Bedingungen zu schaffen (z.B. natürliche Schwimmschichtbildung), wurden die Flaschen offen inkubiert. Lediglich 24 h vor der eigentlichen Gasmessung, die 1 x pro Woche stattfand, wurden die Flaschen mit einem Deckel mit Gummiseptum verschlossen, um die genaue Gasentwicklung während 24 h zu ermitteln.

Aus den Daten des Güllelagerungsversuches sollten die Methanumwandlungsrate in der Gülle (Methane Conversion Rate; MCF), sowie die Menge an flüchtigen Feststoffen (Volatile Solids; VS) bestimmt werden, um diese Werte mit den nicht landesspezifischen IPCC Versäumniswerten zu vergleichen. Das MCF gibt an, welcher Anteil des maximalen Methanbildungspotentials ( $B_0$ ) unter den gegebenen Güllelagerbedingungen tatsächlich erreicht wird (IPCC 2006). Das maximale Methanbildungspotential wiederum hängt von der Menge an VS ab, d.h. von der Menge an fermentierbarer Substanz in der Gülle (v.a. Kohlenhydrate, Proteine).

*D) Nährstoffgehalte und in vitro-Messung des Methanemissionspotenzials aus Milchviehgülle von Schweizer Betrieben*

Für diese Studie wurden Schweizer Milchviehbetriebe für die Güllebenprobung in Zusammenarbeit mit Frau Dr. Chris Bosshard (ART) sowie den kantonalen landwirtschaftlichen Beratern ausgewählt. Es wurde darauf geachtet, einen möglichst repräsentativen Durchschnitt der in der Schweiz vorkommenden Produktionssysteme zu erhalten. Insgesamt konnten 84 Betriebe in den Kantonen Aargau, Bern, Freiburg, Luzern, Sankt Gallen, Thurgau, Waadt und Zürich für den Versuch gewonnen werden. Der Fragebogen, der auch für die Bachelorarbeit von Vincent Fringeli (s. Zwischenbericht 2009), verwendet wurde, wurde zur Erfassung der Betriebsstrukturen im Vorfeld an die Landwirte verschickt. Eingeteilt wurden die Landwirtschaftsbetriebe anhand des Fütterungssystems in „Silo-Betriebe“ (Silagefütterung erlaubt) und „Nicht-Silo-Betriebe“ (keine Silagefütterung praktiziert oder erlaubt) sowie der durchschnittlichen Jahresmilchleistung pro Kuh (<7000 Liter, 7000-8000 Liter, >8000 Liter). Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Betriebsstruktur.

Die Beprobung (Gülle, Futtermittel) erfolgte einmal im Winter (Februar/März 2010) und einmal im Sommer (Juli/August 2010), so dass sich ein Datenmaterial ergab, mit dem ein Jahresdurchschnitt errechnet werden konnte. Die Gülle wurde nach etwa 30-minütigem Rühren gezogen, um eine möglichst optimale Durchmischung zu erreichen (Unterrühren der Schwimmschicht, Aufmischen der auf den Boden gesunkenen Feststoffe). Für die Güllebenprobung wurden uns von Dr. Menzi (HAFL) Stechlanzen zur Verfügung gestellt, mit denen eine Beprobung über alle Gülleschichten im Behälter möglich ist. Im Anschluss an die Sammlung wurden alle Proben auf ihre Nährstoff-

**Tabelle 1:** Beschreibung der in die Güllesammlung einbezogenen Schweizer Milchviehbetriebe (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen)

Fütterungssystem	Silage			Silofrei		
	<7000	7000-8000	>8000	<7000	7000-8000	>8000
Herdenmilchleistung (kg/Kuh und Jahr)						
Anzahl Betriebe <sup>1</sup>	16	19	16	13	11	9
Betriebsgrösse (ha)	22.8 $\pm$ 3.7	32.2 $\pm$ 3.4	34.0 $\pm$ 3.7	24.4 $\pm$ 4.1	31.1 $\pm$ 3.8	39.6 $\pm$ 4.2
Herdengrösse (Anzahl Kühe)	25.7 $\pm$ 3.9	35.5 $\pm$ 3.6	38.9 $\pm$ 3.9	27.1 $\pm$ 4.4	30.5 $\pm$ 4.1	37.4 $\pm$ 4.6
Milchleistung (kg/Kuh und Jahr)	6305 $\pm$ 94	7732 $\pm$ 88	8647 $\pm$ 97	6538 $\pm$ 10	7490 $\pm$ 11	8444 $\pm$ 132
Kraftfutteranteil (% der Gesamtration)	23.0 $\pm$ 2.4	16.6 $\pm$ 2.2	35.5 $\pm$ 3.1	16.8 $\pm$ 2.7	15.6 $\pm$ 3.6	22.7 $\pm$ 2.9

<sup>1</sup>In diesem Schlussbericht werden die Werte von allen 84 beprobten Betrieben dargestellt. Für den Beitrag, der in der Agrarforschung eingereicht wurde, wurden aus Gründen der balanzierten Gruppenzuteilung Daten von nur 64 Betrieben ausgewertet und beschrieben.

zusammensetzung hin untersucht. Es wurden die Gehalte an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS), Rohasche (RA), Stickstoff (N), Bruttoenergie (BE) und Ammoniak-Stickstoff (NH<sub>3</sub>-N) analysiert. Zusätzlich sollen in der Rohasche der Gülle noch durch GRUDAF Mitglieder (ART) verschiedene Mengen- und Spurenelemente bestimmt werden.

Es wurde je ein Lagerungsversuch mit der Milchviehgülle aus der Winter- und aus der Sommerbeprobung durchgeführt. Hierfür wurde gemäss der Methode von Hashimoto (1989) die Gülle in Inkubationsflaschen, die mit gasundurchlässigen Gummistopfen versehen waren, bei 35° C für die Dauer von 14 Wochen inkubiert. Aus den Daten dieses Güllelagerungsversuches wurden das maximale Methanbildungspotential B<sub>0</sub>, sowie die Menge an Volatile Solids bestimmt, und diese Werte mit den nicht landesspezifischen IPCC Versäumniswerten verglichen.

#### E) Evaluierung der Methanemissionen von Milchkühen bei Grundfutter basierten Rationen

In diesem Experiment wurden verschiedene Grundfütterationen bei Milchkühen untersucht. Im Frühling 2011 wurden Raigrassorten, die sich genetisch in ihrem Zuckergehalt unterschieden, angesät. Es handelte sich hierbei zum einen um die zuckerarme Sorte „Respect“ und zum anderen um die zuckerreiche Sorte „AberMagic“. Beide Raigräser wurden als Belüftungsheu konserviert und als Alleinfutter an die Versuchstiere verfüttert. Als dritte Ration wurde eine auf Maissilage basierende Ration (90.5% Maissilage, 5% Gerstenstroh, 4% Sojaschrot, 0.5% Harnstoff, bezogen auf die TS) eingesetzt. Alle Rationen wurden *ad libitum* verfüttert und durch passende Mineralfuttermischungen ergänzt.

Für den Versuch wurden 6 erstlaktierende Holstein-Kühe eingesetzt, die durchschnittlich 544 kg schwer waren, 20 kg Tagesmilchleistung hatten sowie 112 Tage in der Laktation waren. Als Versuchsdesign wurde ein doppeltes lateinisches Quadrat (3  $\times$  3) in drei Versuchsdurchgängen gewählt. Jeder dieser Versuchsdurchgänge bestand aus 18 Tagen Adaptation an die jeweilige Ration sowie 8 Tagen Sammelperiode. Während der Adaptationsphase wurden die Kühe in einem separaten Laufstall gehalten und hatten freien Zugang zu Wasser und Futter. Zudem erhielten sie täglich 1 h Auslauf im Laufhof. Während der 8 Tage Sammelperiode wurden die Tiere in Einzelanbindung gehalten (Abbildung 4). In diesem Zeitraum wurde die gesamte Futtermenge, die Menge an Kot und Urin (getrennt) sowie die Milchleistung erhoben. Zudem erfolgte in diesen 8 Tagen die Gaswechsellmessung in den Respirationskammern (Abbildung 3) für 2  $\times$  22.5 h.



**Abb. 4:** Einzelanbindung im

Stoffwechselstall

Bei der Respirationmessung wurde laufend die verbrauchte Menge an Sauerstoff sowie die abgegebene Menge an Kohlendioxid und Methan ermittelt. Alle Futter- und Kotproben wurden im Labor auf ihren Gehalt an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS), Rohasche (RA), Stickstoff (N), Bruttoenergie (BE) und neutrale Detergentienfaser (NDF) analysiert. Im Futter wurden zusätzlich noch die Gehalte an Wasser- und Ethanol-löslichen Kohlenhydraten bestimmt. Die Analysen der Milchproben wurden vom Braunviehzuchtverband durchgeführt.

### **Wichtigste Resultate des Projekts**

#### *A) In vitro Untersuchung zur Evaluierung von potentiell methanhemmenden Pflanzeninhaltsstoffen*

Es hat sich gezeigt, dass mit den beiden Knoblauchdosierungen der Anteil an Methan am gesamten Fermentationsgas um 17 respektive um 51% gegenüber der Kontrolle signifikant verringert war. Die totale Menge an Methan war jedoch mit der Saponindosierung nicht signifikant von der Kontrolle verschieden, weil mit dieser Saponinvariante die Fermentationsgasbildung (61 ml/48 h gegenüber 57 ml/48 h bei der Kontrollvariante) erhöht war. Die höhere Dosierung von Knoblauch verringerte die totale Menge an Methan signifikant, während  $C_{12}/C_{14}$  und die Tanninvarianten nur eine numerische Methansenkung zeigten. Bei der höheren Tannindosierung war dies mit einer Hemmung der Fermentationsaktivität (die Menge an Fermentationsgas war um 13% gegenüber der Kontrolle vermindert) zu erklären.

Da sich die pH-Werte im Inkubationsmedium durch die Zusatzstoffe nicht signifikant gegenüber der Kontrolle veränderten, waren die Lebensbedingungen für die Pansenmikroben aus dieser Sicht gut. Eine solch starke Pufferung, wie sie im HGT vorkommen, kann jedoch auch einen Effekt der Substanzen, z.B. eine mögliche pH-Wert Senkung, verschleiern. Die Bakterien- und Protozoenpopulationen waren in keiner Variante von der Kontrolle verschieden, während beim Ammoniakgehalt deutliche Unterschiede erkennbar waren. So wurde mit den höheren Dosierungen an Lupinen und Luzerne sowie mit den Leinsamenvarianten höhere Ammoniakkonzentrationen im Inkubationsmedium gefunden, was nicht erwünscht ist, da dies im Tier zu einer höheren Urin-N-Ausscheidung führt, was zu erhöhten Ammoniakemissionen aus dem Hofdünger führen kann.

Aufgrund der im HGT gefundenen Ergebnisse und aufgrund von Überlegungen der Praktikabilität wurden für den *in vivo* Versuch die Varianten Knoblauch (als sehr stark hemmender Futterzusatz), Tannine (als methanhemmende Substanz mit viel versprechenden Effekten auf den Ammoniakverlust aus der Gülle – aus der Literatur bekannt), Maca (als zudem potentiell fruchtbarkeitssteigernde Pflanze mit einer mittleren Methanbildung), sowie Lupinen (in der Schweiz kultivierbare tanninhaltige, proteinreiche Futterpflanze) ausgewählt.

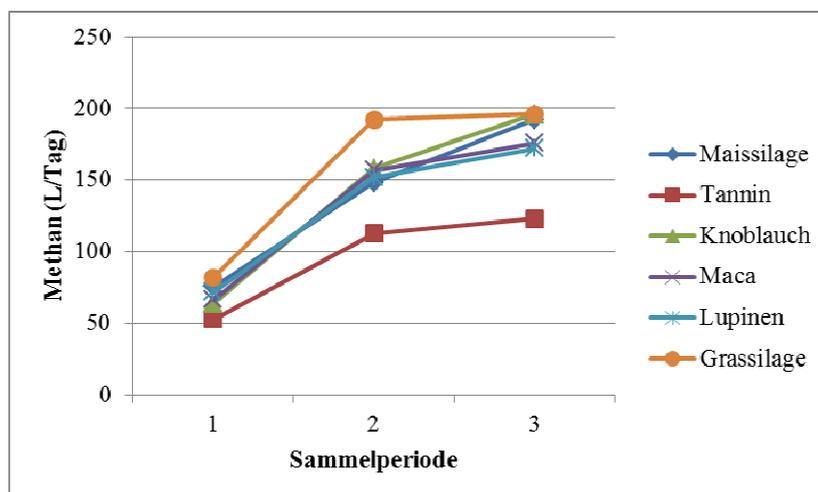
**Tabelle 2.** Auswirkungen der getesteten Futterzusätze auf die Methanbildung, die Mikroben und ausgewählte Fermentationsparameter während 24 h Inkubation (n=6); sortiert nach ml Methan pro ml Fermentationsgas.

	Dosis (%TS)	Totale Gas- menge (ml)	CH <sub>4</sub> (ml)	CH <sub>4</sub> /Ge- samtgas (v:v)	Protozoen (10 <sup>6</sup> /ml)	Bakterien (10 <sup>9</sup> /ml)	Ammoniak (mmol/l)	pH- Wert
Kontrolle	-	57.2bc	8.35abc	0.146ab	26.1ab	5.05ab	13.9de	7.01ab
Lupinen	30	66.3ab	10.1a	0.153a	27.4ab	5.41ab	21.2a	7.00ab
Luzerne	15	57.7abc	8.68abc	0.151ab	25.5ab	4.64ab	17.6d	7.04ab
Lupinen	15	63.1ab	9.20abc	0.146ab	33.0a	4.71ab	17.2d	6.99ab
Hopfen	15	57.6abc	8.39abc	0.145ab	20.4ab	5.24ab	17.1d	6.97b
CT	+5	49.6c	7.11c	0.144ab	21.3ab	4.94ab	11.8e	7.04ab
Traubentrester	15	58.3abc	8.34abc	0.143ab	22.3ab	5.74ab	16.2bcde	7.03ab
Leinsamen	+20	69.3ab	9.89ab	0.143ab	20.7ab	4.87ab	19.7ab	7.00ab
SA	+0.25	60.7abc	8.66abc	0.142ab	28.7ab	5.06ab	15.1de	6.98ab
Maca	15	60.2abc	8.50abc	0.142ab	31.2a	6.09a	16.4bcd	6.94b
Maca	7.5	63.9ab	9.29abc	0.142ab	24.1ab	5.77ab	16.9d	6.96b
Traubentrester	7.5	58.4abc	8.31abc	0.142ab	27.5ab	5.37ab	16.1bcde	7.04ab
C <sub>14</sub>	+5	61.9ab	8.69abc	0.141ab	27.4ab	5.12ab	15.9cde	6.96b
Leinsamen	+10	62.9ab	8.92abc	0.141ab	24.5ab	4.74ab	20.2ab	7.03ab
Luzerne	30	59.3abc	8.36abc	0.141ab	24.2ab	4.15b	19.3ab	7.08ab
CT	+2.5	56.1bc	7.88bc	0.140ab	28.0ab	5.21ab	13.0e	7.04ab
Hopfen	7.5	66.2ab	8.43abc	0.140ab	31.7a	4.32ab	16.6d	7.03ab
C <sub>12</sub> /C <sub>14</sub>	+2.5/2.5	55.7bc	7.67c	0.137ab	12.4b	5.45ab	12.7e	7.12a
SA	+0.05	61.8ab	8.23abc	0.133bc	28.3ab	4.59ab	13.8cde	6.98ab
Knoblauch	7.5	59.1abc	7.15c	0.121c	28.0ab	5.45ab	14.8cde	6.95b
Knoblauch	15	57.8abc	4.18d	0.072d	38.5a	5.82ab	13.7de	6.99ab
<i>P</i> -Wert		<.0001	<.0001	<.0001	0.0074	0.0242	<.0001	0.0025
SEM		2.33	0.411	0.0037	3.60	0.360	0.88	0.028

Werte ohne gleichen Buchstaben innerhalb Variable sind signifikant voneinander verschieden (P < 0.05).

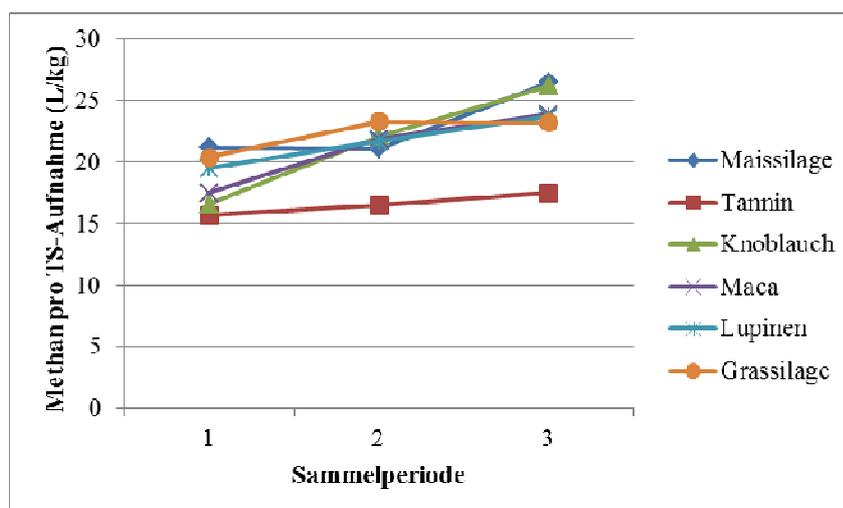
### *B) Evaluierung der Methanemissionen von Mastrindern sowie der Wirkung des Einsatzes von methanhemmenden Substanzen*

Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Methanemission über die drei Sammelperioden in Abhängigkeit von der Grundration und den zugelegten Zusatzstoffen. Grassilage (als Modell für Mastverfahren auf Basis Weide, Grassilage und/oder Heu) führte demnach in allen drei Messperioden zu den höchsten absoluten Methanmengen pro Tier und Tag im Vergleich zu allen Maissilagerationen (Modell für typische Intensivmast in der Schweiz), wobei dieser Effekt vor allem in der 2. Sammelperiode sehr deutlich ist. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass eine extensivere Mast auf Basis von Grasprodukten tendenziell zu den höheren Methanemissionen führt als eine intensivere Mast. Die natürlichen Zusätze Knoblauch, Maca und Lupinen führten in keinem der drei Durchgänge zu einer signifikant verringerten Methanausscheidung gegenüber der reinen Maissilageration. Hingegen zeigte die Zulage von Tanninextrakt aus der Rinde einer Akazienart (natürliches Handelsprodukt) in allen drei Sammelperioden eine deutliche Methansenkung gegenüber der Maisvariante ohne Zusatz (P<0.05 in Periode 2 und 3) von bis zu 36%.



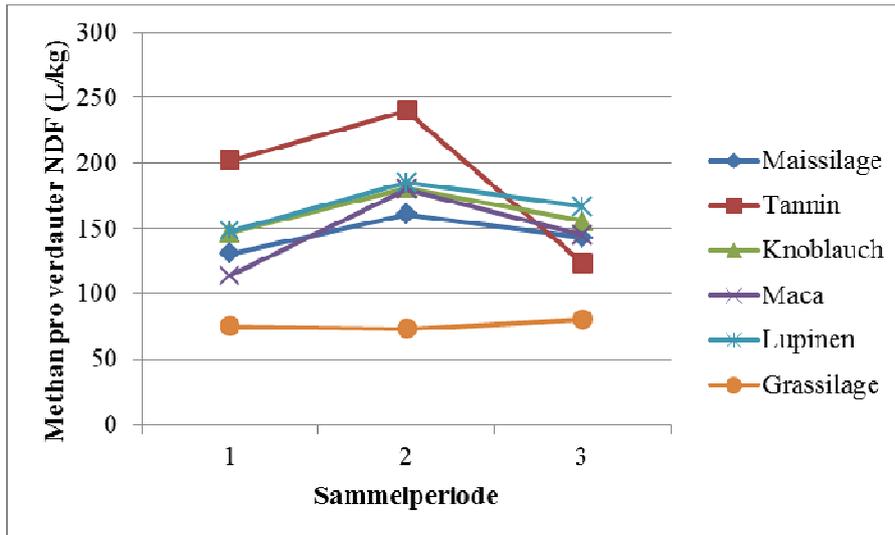
**Abb. 5:** Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Entwicklung der Methanemission (L/Tag) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; \* signifikant verschieden von Maissilage ohne Zusatz).

Betrachtet man die Methanemissionen pro kg verzehrtem Futter (Trockensubstanz; Abbildung 6) zeigt sich für die Tanninvariante ein ähnliches Bild. Auch hier konnten verglichen mit der reinen Maissilage ration besonders in den Sammelperioden 2 und 3 deutlich tiefere Werte gefunden werden. Die Unterschiede zwischen den beiden Grundrationen Maisilage und Grassilage bezogen auf Methan pro kg TS-Verzehr waren deutlich geringer als in der Darstellung der absoluten Werte. Erklärt werden kann dies mit dem signifikant höheren TS-Verzehr der mit Grassilage gefütterten Tiere vor allem in den beiden letzten Sammelperioden.



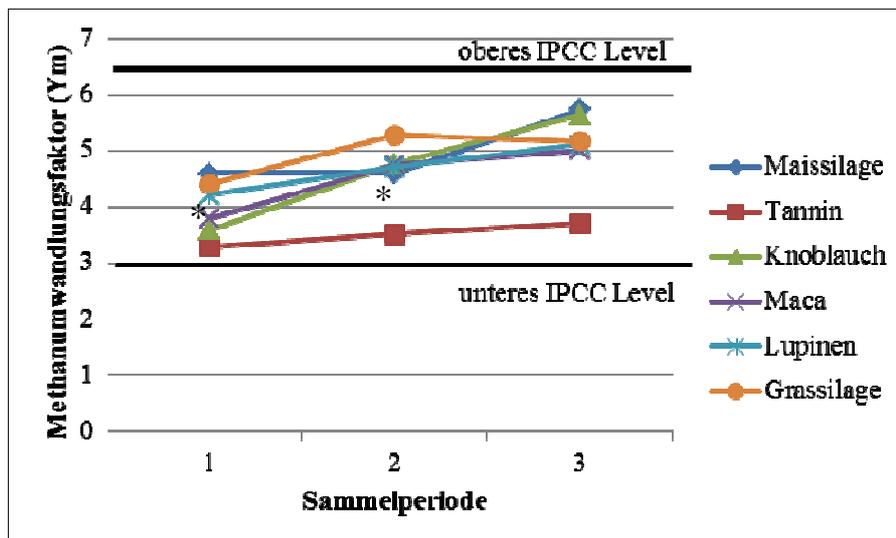
**Abb. 6:** Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Entwicklung der Methanemission pro kg TS-Verzehr (L/Tag) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; \* signifikant verschieden von Maissilage ohne Zusatz).

Hingegen zeigte sich, dass die Methanemissionen pro kg verdauter NDF bei den mit Grassilage gefütterten Muni in allen Sammelperioden signifikant geringer waren (verglichen mit allen anderen Maissilage rationen; Abbildung 7). Als faserreiches Grundfutter weist Grassilage deutlich höhere NDF-Werte auf, so dass in Folge dessen auch die NDF-Aufnahme besonders deutlich erhöht war. Die Methanrate pro kg verdauter NDF lag dagegen in den ersten beiden Messperioden in der Tanningruppe über der der reinen Maissilagegruppe. Diese Ergebnisse stimmen auch mit der aus der Literatur bekannten leicht negativen Beeinflussung der Faserverdauung durch Tannine überein.



**Abb. 7:** Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Entwicklung der Methanemission pro kg TS-Verzehr (L/Tag) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; \* signifikant verschieden von allen Maissilagevarianten).

Von der IPCC werden sogenannte Versäumniswerte für die Festlegung des Methanumwandlungsfaktor oder der Methanrate ( $Y_m$ ) angegeben.  $Y_m$  ist der Anteil der Futterenergie in Methanenergie umgewandelt wird. Für Rinder, deren Ration weniger als 90% Kraftfutter enthält, liegt dieser Pauschalwert bei  $6.5\% \pm 1.0\%$ . Für die anderen Rationen, die in der Schweiz nicht vorkommen, wird ein  $Y_m$  von  $3.0\% \pm 1.0\%$  angesetzt. Die Daten aus dem Mastmuniversuch belegen, dass das tatsächliche  $Y_m$  für alle Rationstypen und Zusätze unter dem von der IPCC angegeben oberen Wert liegt (Abbildung 8), und damit die Methanemission überschätzt wird. Mit dem Tanninzusatz war es sogar möglich, durchwegs in der Nähe des unteren  $Y_m$ -Werts des IPCC zu bleiben.

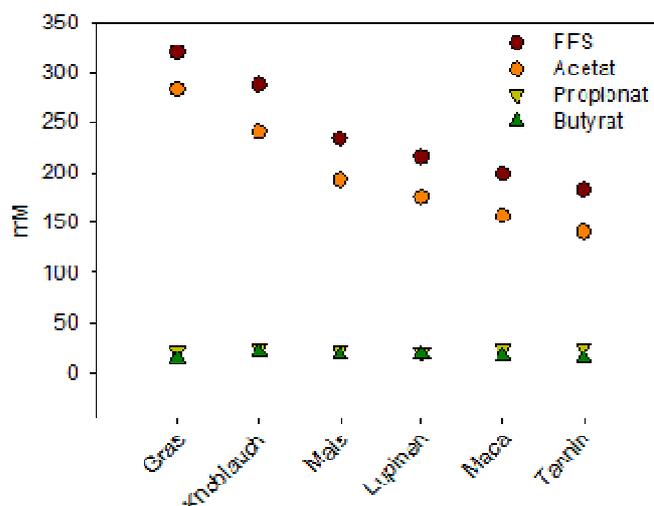


**Abb. 8:** Einfluss von Ration und Zusätzen auf den Methanumwandlungsfaktor ( $Y_m$ ) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; \* signifikant verschieden von Maissilage ohne Zusatz).

Generell stiegen die absoluten Methanmengen sowie Methan pro kg TS-Aufnahme mit zunehmender Mastdauer an, was z.T. mit der höheren Futterraufnahme der Tiere bei einem höheren Lebendgewicht zu erklären ist. Ferner konnte gezeigt werden, dass der zugesetzte Tanninextrakt auch nach einer Fütterungsdauer von etwa 10 Monaten die Methanemissionen deutlich senken kann. Somit muss keine Adaptation der Pansenmikroben auf diesen Zusatz befürchtet werden. Für die Schweiz könnte sehr bedeutsam sein, dass die Methanrate, die vom IPCC angesetzt wird, generell zu hoch zu sein scheint. McCaughey et al. (1997) zeigten in einer Studie mit grasenden Tieren (ca. 350 kg Lebendgewicht) ebenfalls  $Y_m$  Werte von  $4.5 \pm 1.5\%$ . Während der Mastendperiode wurden hingegen  $Y_m$  Werte von  $5.3 - 8.2\%$  gefunden (Kirkpatrick et al., 1997, Gordon et al., 1999). Ansonsten gibt es allerdings kaum Studien, die bisher die Methanemissionen bei wachsenden Rindern genauer untersucht haben.

Der Tageszuwachs war mit beiden Rationentypen höher als erwartet, aber es wurde dennoch ein um durchschnittlich 110 g geringerer Tageszuwachs für die Grassilage gemast realisiert. Innerhalb der Maissilagegruppen beeinflusste sogar der stark methansenkende Zusatz Tannin den Tageszuwachs nicht signifikant negativ. Allerdings muss die niedrigere NDF-Verdaulichkeit innerhalb dieser Gruppe berücksichtigt werden und numerisch war die Leistung doch leicht reduziert.

Bei der Auswertung der Pansensaftparameter zeigte sich, dass beispielsweise die gesamte Menge an flüchtigen Fettsäuren (FFS) (Abbildung 9) und dabei speziell auch die Essigsäure (Acetat) in der Grassilagegruppe am höchsten war. Auch Bakterien, insbesondere einige faserabbauende Bakterien wurden im Vergleich zur Maissilageration in höheren Konzentrationen gefunden. Dies passt zu der höheren NDF-Verdaulichkeit in der Grassilagegruppe. Hingegen führte der Zusatz von Tanninen im Vergleich zur nicht-supplementierten Maissilageration zu einer nicht-signifikanten Verminderung der FFS und der Essigsäure. Als Grund hierfür kann wiederum die reduzierte NDF-Verdaulichkeit bei diesen Tieren angeführt werden. Die (faserabbauenden) Bakterien traten in dieser Gruppe auch in den geringsten Konzentrationen auf. Im Vergleich zur nicht-supplementierten Maissilageration war dies jedoch nicht signifikant, was zum Teil auf die hohe Streuung zwischen den Tieren zurückzuführen ist. Die Propion- und Buttersäurekonzentrationen im Pansensaft unterschieden sich jedoch innerhalb der einzelnen Varianten nicht. Die Werte für den pH Wert (im Mittel 6.5) und die Ammoniakkonzentration im Pansensaft (im Mittel 17.8 mmol/l) lagen im normalen Bereich und unterschieden sich zwischen den Fütterungsgruppen nicht. Zudem zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Anzahl und Populationszusammensetzung der Protozoen.



**Abb. 9:** Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft von Mastmuni (n=6)

Die Analyseergebnisse des Nierenfetts lassen auf keine Beeinflussung der Fettzusammensetzung durch die verschiedenen Zusätze zur Maissilage schliessen. Wie zu erwarten war, konnten jedoch mehr für die menschliche Ernährung wertvolle ungesättigte Fettsäuren in den Proben der Grassilage gefütterten Tiere im Vergleich zur denen mit Maissilage gefunden werden. Zudem wurde bei den mit Knoblauch gefütterten Tieren im Fleisch organische Schwefelverbindungen, wie sie auch in Knoblauch vorkommen, nachgewiesen, weshalb das Fleisch dieser Tiere einen starken Geruch aufwies.

*C) Nährstoffgehalte und in vitro-Messung des Methanemissionspotenzials aus der Gülle des Mastmuniexperiments mit Schweiz-typischen resp. potenziell methansenkenden Rationen*

In Tabelle 3 sind die Nährstoffgehalte der Munigülle dargestellt. Bei den Gehalten an OS und BE zeigten sich lediglich signifikante Unterschiede zwischen den Maisrationen und der Grasration. Die geringeren Gehalte in der Grasration sind auf die höhere Verdaulichkeit der Grasration im Vergleich zur Mairation zurückzuführen. Die Gülle der mit Tanninen gefütterten Munis wies signifikant niedrigere Werte bei RA und NH<sub>3</sub>-N auf. Aufgrund der Beeinträchtigung der Faserverdaulichkeit durch Tannine enthielt diese Gülle signifikant höhere Gehalte an NDF.

Die täglich ausgeschiedene Menge an flüchtigen Feststoffen (volatile solids; VS) unterschied sich nicht zwischen den Fütterungsgruppen. Die im Versuch ermittelten Werte liegen nahe beim IPCC Standardwert von 2.6 kg/Tier und Tag für VS in Westeuropa.

**Tabelle 3.** Nährstoffgehalte der Munigülle (g/kg TS)

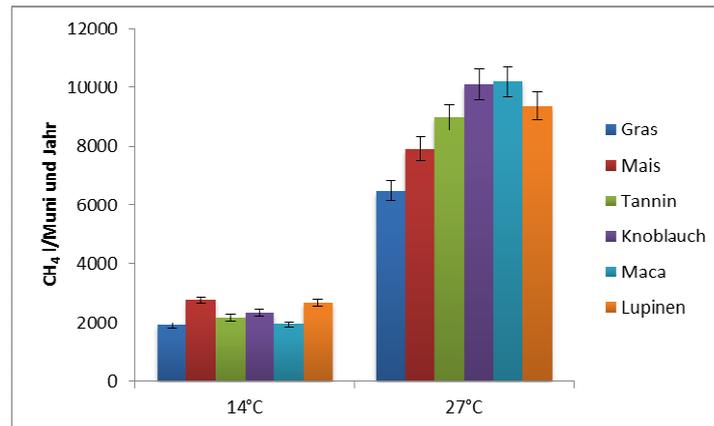
Ration	Gras	Kontrolle	Tannin	Knoblauch	Maca	Lupinen	SEM†	P-Wert
OS	776b	876a	904a	884a	874a	887a	4.4	<0.001
RA	224a	123b	96c	116b	126b	113b	4.4	<0.001
N	29.5	27.8	30.7	30.0	28.5	25.1	0.21	0.444
NH <sub>3</sub> -N	10.0ab	11.5ab	4.6c	9.6b	15.3a	11.0ab	1.42	<0.001
NDF	391c	587b	672a	582b	585b	621b	11.9	<0.001
BE (MJ/kg TS)	17.8b	18.6a	18.9a	18.8a	18.4a	18.7a	1.69	0.001
VS (kg/Tag)	2.51	2.47	2.61	2.63	2.58	2.53	0.077	0.692

a,b,c Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant verschieden (Tukey; P<0.05)

†Standardfehler des Mittels

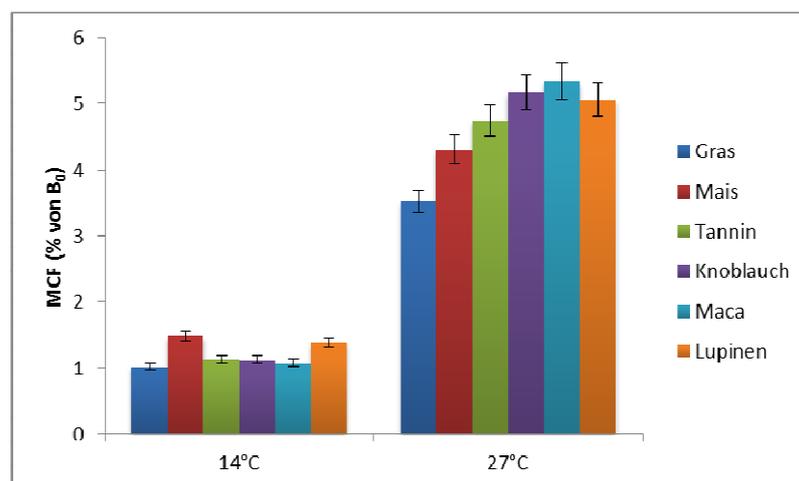
Bisher wurde in Versuchen teils gezeigt, dass Futterzusätze (z.B. Fett), welche die Methanemissionen aufgrund einer geringeren Verdaulichkeit senken, die Methanemissionen aus der Gülle erhöhen, da mehr vergärbare Substanzen in der Gülle vorhanden sind. Dies konnte jedoch im vorliegenden Versuch nicht gezeigt werden (Abbildung 10). Der Zusatz von Tanninen führte zu keiner erhöhten Methanemission aus der Gülle. Es konnte allerdings beobachtet werden, dass aus der Gülle der Tiere, die mit Grassilage gefüttert wurden, d.h. der Gülle, welche die geringste Menge an Faser enthielt, numerisch weniger Methan emittiert wurde, während diese Tiere *in vivo* die höchsten Methanemissionen aufwiesen. Die Methanemissionen aus Gülle, welche bei 14°C inkubiert wurde, erscheinen vernachlässigbar. Dies deckt sich auch mit Literaturangaben, welche Methanemissionen aus Gülle in kalten Klimazonen als sehr gering einstufen.

Vom IPCC wird für das maximale Methanbildungspotential B<sub>0</sub> aus Munigülle der Standardwert 180 l CH<sub>4</sub>/kg VS angenommen. Um die aus der Gülle emittierten Mengen an Methan in Abhängigkeit der jährlichen Durchschnittstemperatur zu schätzen, gibt das IPCC (2006) für die Güllelagerung bei



**Abb.10:** Jährliche Methanemissionen aus Munigülle, welche bei 14°C und 27°C inkubiert wurde

14°C einen MCF von 15% und für 27°C 48% von B<sub>0</sub> an. Im vorliegenden Versuch (Abbildung 11) betrug MCF bei 14°C maximal etwa 2% und bei 27°C zwischen 4% und 6% von B<sub>0</sub>. Somit kann angenommen werden, dass die Methanemissionen aus Munigülle vom IPCC überschätzt werden. Die hier ermittelten MCF liegen im Bereich der bereits in vorhergehenden Versuchen mit Milchviehgülle gefundene Werten (z.B. Klevenhusen et al., 2010)



**Abb. 11:** MCF aus Munigülle, welche bei 14°C und 27°C inkubiert wurde

#### D) Nährstoffgehalte und in vitro-Messung des Methanemissionspotenzials aus Milchviehgülle von Schweizer Betrieben

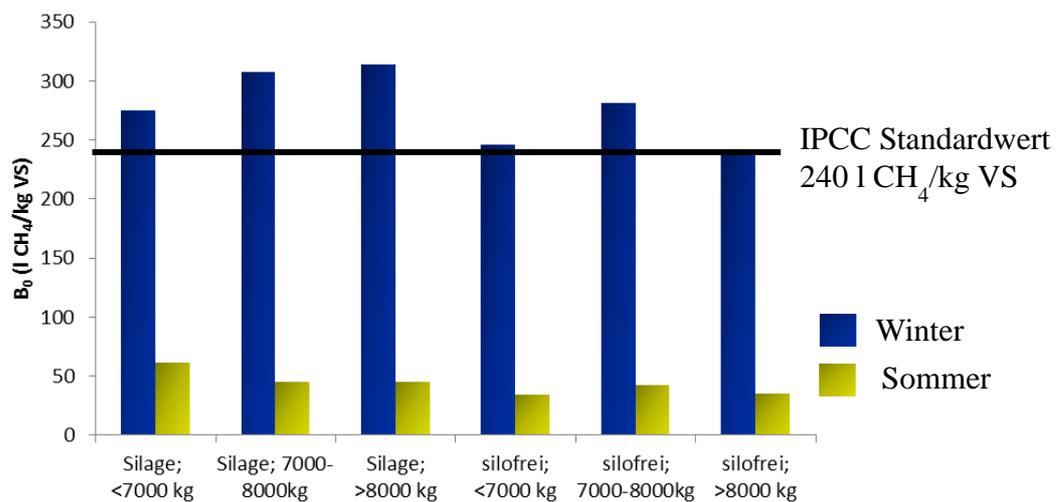
Die im Februar/März 2010 entnommene Gülle war Wintergülle, die bereits mind. 3 Monate gelagert war, während es sich bei der Sommergülle um teils sehr frische, meist durch Niederschläge stark verdünnte Gülle handelte. Bei den Betrieben mit Silagefütterung wurde ganzjährig die gleiche Ration verfüttert. Hingegen stellten fast alle „Nicht-Silo-Betriebe“ ihre Fütterung im Sommer auf Gras um, wodurch Veränderungen in der Nährstoffzusammensetzung von Ration und Gülle zwischen Sommer- und Winterbeprobung bei diesen Betrieben zu erwarten waren. Generell waren die saisonalen Unterschiede in der Nährstoffzusammensetzung (Tabelle 4) der Futtermationen bei Silagebetrieben geringer als bei silofreien Betrieben. Der höhere N-Gehalt silofreier Rationen im Sommer resultiert vermutlich aus den typischerweise erhöhten Proteingehalten in frischem Gras im

**Tabelle 4:** Chemische Zusammensetzung (g/kg TS) und Bruttoenergiegehalt (MJ/kg TS) der Rationen und Gällen im Winter (w) und Sommer (s)

Fütterungssystem		Silage			Silofrei			SEM	P-Werte			
Herdenmilchleistung (kg/Kuh und Jahr)		<7000	7000-8000	>8000	<7000	7000-8000	>8000		Fütterungssystem (F)	Milchleistung (M)	F×M	Jahreszeit
Rationen												
Asche	w	85.4	82.2	84.5	83.3	89.8	96.8	4.27	0.043	0.21	0.14	0.002
	s	85.5	80.9	84.5	104	119	112	4.57	0.039	0.32	0.16	
Total N	w	22.5	25.5	23.6	22.7	22.7	24.5	1.34	0.41	0.52	0.31	0.004
	s	23.6	25.0	23.6	22.8	27.8	31.7	1.43	0.021	0.66	0.41	
Bruttoenergie	w	18.0	18.2	18.2	17.9	17.9	17.8	0.14	0.014	0.57	0.24	0.12
	s	18.0	18.2	18.2	17.9	17.6	17.6	0.15	0.010	0.50	0.26	
Gülle												
TS (g/kg Frischsubstanz)	w	4.61	4.30	4.38	4.33	5.53	4.58	0.814	0.89	0.79	0.33	<0.001
	s	2.21	2.13	1.91	1.68	2.33	2.29	0.491	0.92	0.81	0.46	
Asche	w	337	341	275	330	282	324	33.7	0.77	0.48	0.14	0.88
	s	343	347	275	330	270	309	36.2	0.74	0.51	0.10	
Total N	w	68.2	70.9	52.3	70.3	52.3	54.1	9.44	0.44	0.14	0.28	0.61
	s	70.9	70.2	52.7	70.3	48.6	52.9	10.20	0.40	0.11	0.39	
NH <sub>3</sub> -N	w	47.8	53.3	32.8	43.3	28.3	36.5	8.98	0.17	0.37	0.14	0.77
	s	50.9	53.2	32.8	43.3	26.9	33.7	9.75	0.14	0.30	0.20	
C:N	w	6.78	6.20	7.65	7.35	8.55	6.66	0.824	0.31	0.96	0.08	0.95
	s	6.54	6.26	7.65	7.35	8.39	6.55	0.886	0.24	0.86	0.13	
Bruttoenergie	w	15.9	15.5	16.5	15.7	16.3	15.9	0.54	0.95	0.72	0.20	0.74
	s	15.9	15.3	16.5	15.7	15.8	15.7	0.58	0.87	0.75	0.15	
VS (kg/Tag)	w	5.85	5.91	5.96	5.83	5.55	5.68	0.046	0.019	0.45	0.14	0.001
	s	5.79	5.88	5.93	5.73	5.87	5.78	0.049	0.015	0.41	0.15	

Vergleich zur Silagefütterung. Zusätzlich war der Rohaschegehalt bei silofreien Betrieben signifikant erhöht, möglicherweise wegen einer höheren Verschmutzung beim Einbringen des frischen Grases, hingegen der BE-Gehalt signifikant tiefer als bei Silagebetrieben. Lediglich der saisonale TS-Gehalt der Gülle unterschied sich, wohingegen keine Unterschiede bei der sonstigen Nährstoffzusammensetzung gefunden wurden.

Die saisonalen Gehalte an VS unterscheiden sich signifikant. Vom IPCC (2006) wird als Standardwert für VS bei Milchkühen in West Europa 5.1 kg/Tag angegeben. Die Werte aus dem vorliegenden Versuch übersteigen den Standardwert um bis zu 900 g/Tag.



**Abb. 12:** Maximales Methanbildungspotential von Schweizer Milchviehgülle

In Abbildung 12 ist das nach Inkubation von Schweizer Milchviehgülle bei 35°C ermittelte maximale Methanbildungspotential  $B_0$  dargestellt. Die Proben der Wintergülle erreichten  $B_0$  Werte, die bis maximal 30% über dem IPCC (2006) Standardwert von 240  $l\ CH_4/kg\ VS$  ( $\pm 15\%$ ) für Milchviehgülle in Westeuropa liegen. Allerdings zeigten sich bei der Sommergülle extrem tiefe  $B_0$  Werte. Mögliche Gründe hierfür könnten sein, dass aufgrund der starken Regenfälle in den Tagen und Wochen vor der Probennahme die Gülle sehr stark verdünnt war. Da Gülle im Sommer häufiger ausgebracht wird, konnte sich möglicherweise auch keine stabile Mikrobenpopulation etablieren. Ferner besteht die Möglichkeit, dass durch die höheren Temperaturen im Sommer bereits eine Vorgärung im Güllelager stattgefunden hat, wodurch weniger fermentierbare Substanzen zur Verfügung stünden. Für Folgestudien wäre es deshalb zu überlegen, ob mit Proben von frischer Gülle das maximale Methanbildungspotential bestimmt werden sollte.

Um einen wirklich repräsentativen Überblick über die ganze Schweiz zu erhalten, wäre sicherlich eine Beprobung von wesentlich mehr Betrieben in allen Kantonen erforderlich. Im vorliegenden Experiment sollten lediglich grundlegende Werte ermittelt und mit den IPCC-Werten verglichen werden. Hierfür bot die Auswahl der Betriebe in den Kantonen mit der höchsten Milchproduktionsmenge der Schweiz einen ersten Anhaltspunkt. Zudem ermöglichte die Beprobung sowohl im Winter als auch im Sommer Rückschlüsse auf jahreszeitliche Unterschiede bedingt durch Fütterung und landwirtschaftliche Aktivitäten. Im vorliegenden Versuch konnte jedoch kein Einfluss von Fütterungssystem oder Milchleistung auf die Methanemissionen aus Gülle gefunden werden.

### E) Evaluierung der Methanemissionen von Milchkühen bei Grundfutter basierten Rationen

Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war im zuckerreichen Heu fast doppelt so hoch wie im zuckerarmen Heu. Da das zuckerarme Gras jedoch in einem früheren Vegetationsstadium geerntet wurde, wies dieses einen deutlich höheren Rohproteingehalt (25% vs. 16%) auf.

Die TS-Aufnahme unterschied sich nicht zwischen den Fütterungsgruppen. Bedingt durch den höheren Rohproteingehalt im zuckerarmen Heu, nahmen diese Tiere auch signifikant mehr Rohprotein auf. Die Faseraufnahme und -verdaulichkeit waren in den beiden Heurationen gleich, aber signifikant höher als bei der Maisration. Der energiekorrigierte Milchertrag war bei Fütterung des zuckerarmen Heus signifikant erhöht verglichen mit den anderen Rationen. Es konnten keine Unterschiede in der Milchzusammensetzung festgestellt werden. Allerdings war der Milchwassergehalt aufgrund der Überversorgung mit Protein bei den Kühen, die zuckerarmes Heu erhielten, signifikant höher.

Im Versuch zeigte sich, dass die Kühe, die mit zuckerreichem Heu gefüttert wurden, total (g/Tag) signifikant weniger Methan emittierten (Abbildung 13). Überraschenderweise zeigten die mit Mais gefütterten Tiere die höchsten Methanemissionen, obwohl bisher angenommen wurde, dass Stärke einen Methan senkenden Effekt hat. Betrachtet man  $\text{CH}_4$  in Relation zur TS-Aufnahme (Abbildung 14) oder der Milchleistung, konnte keine Methan senkende Wirkung des zuckerreichen Heus im Vergleich zum zuckerarmen Heu gefunden werden. Offensichtlich kann nicht generell von einer Methan senkenden Wirkung durch einen höheren Zuckergehalt gesprochen werden. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang wohl der Einfluss auf den Pansen pH und somit auf die Mikrobenpopulation im Pansen, denn insbesondere die methanbildenden Mikroorganismen werden bei einem Pansen pH von  $<5.8$  stark gehemmt. Der Pansen pH-Wert könnte bei Fütterung von Schweizer Heu allgemein schon relativ niedrig liegen (Dohme-Meier et al. 2011) und bei Fütterung von zuckerreichem Gras im Vergleich zu zuckerarmem Gras zeitweise noch gesenkt werden.

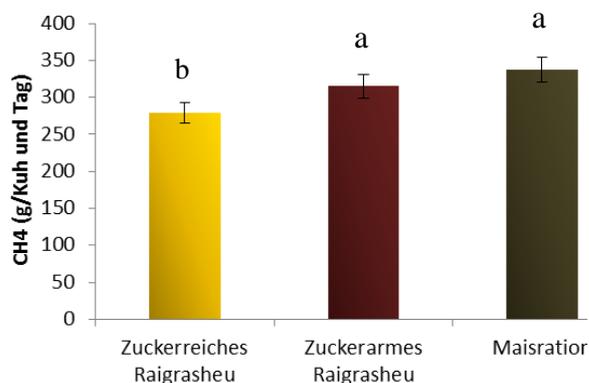


Abb. 13: Totale Methanemissionen bei Milchkühen

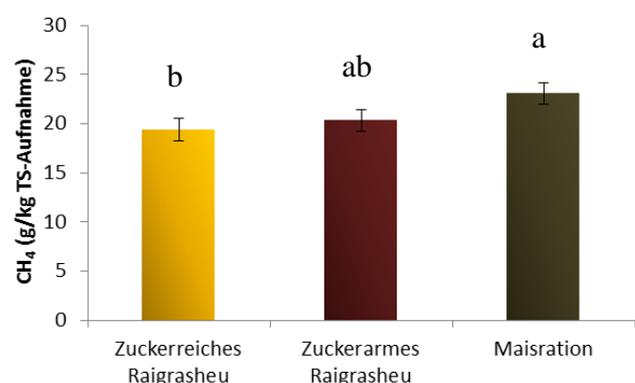
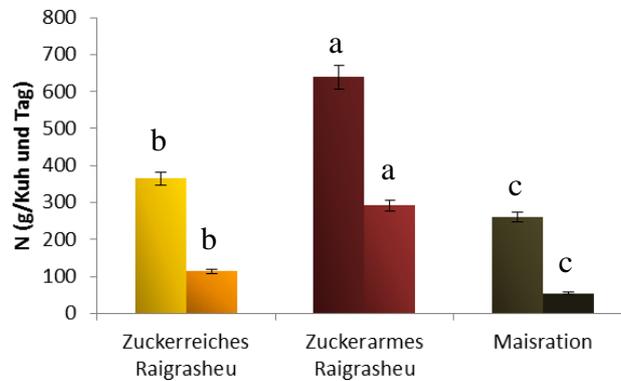


Abb. 14: Methanemission in Relation zur TS-Aufnahme

Die Methanrate  $Y_m$  (Methanenergie in Relation zur aufgenommenen Energie) lag bei den beiden Heurationen (6.3) und bei der Maisration (6.9) innerhalb des Schwankungsbereichs des IPCC Standardwertes von  $6.5 \pm 1.0\%$ .

Zuckerreiche Gräser gelangten hauptsächlich wegen ihrer möglichen positiven Wirkung auf die N-Ausscheidungen in den Fokus der Forschung. Im vorliegenden Versuch wurden deshalb auch die N-Ausscheidungen näher betrachtet. Die N-Ausscheidungen über Kot und Milch veränderten sich durch den Einsatz des zuckerreichen Heus nicht. Allerdings konnte die N-Ausscheidung über den

Urin durch Fütterung von zuckerreichem anstelle von zuckerarmem Heu signifikant gesenkt werden (Abbildung 15), was erwarten lässt, dass mit diesem Futter ein deutlich geringeres N-Emissionspotenzial (Ammoniak, Lachgas, Nitrat) der Gülle gegeben ist. In wieweit dieser Effekt auf den Unterschied im Zuckergehalt zurück zu führen ist, lässt sich nicht mit Gewissheit sagen, da die N-Aufnahme beim zuckerreichen Heu nur etwa halb so hoch war als beim zuckerarmen Heu.



**Abb. 15:** N-Aufnahme und N-Ausscheidung mit dem Urin. Verschiedene Buchstaben innerhalb N-Aufnahme (je 1.Säule) bzw. N-Ausscheidung (je 2.Säule) bezeichnen signifikante Unterschiede.

### Grössere Abweichungen bezogen auf den Projektbescrieb

Der Projektbeginn erfolgte aus logistischen Gründen mit dem Mastrinderversuch und der Hofdüngerbeprobung anstelle des Milchkuhversuchs. Aufgrund technischer Probleme war keine Messung von Lachgas aus den Gülleproben möglich. Allerdings wurden während des Milchviehversuchs Gülleproben gesammelt und es bestünde nun theoretisch noch die Möglichkeit, im Rahmen einer Masterarbeit Lachgasemissionen aus der Gülle des Milchviehversuchs zu bestimmen.

## Schlussfolgerungen

1) Obwohl der Zusatz von Knoblauch *in vitro* eine stark Methan senkende Wirkung zeigte, konnte dies *in vivo* nicht bestätigt werden. Möglicherweise fand eine Adaptation der Pansenmikroben statt.

2) Der Zusatz von Tanninen aus *Acacia mearnsii* zeigte sich bereits in früheren Versuchen (Carulla et al., 2005; Grainger et al., 2009) wirksam im Hinblick auf die Methansenkung. In unserem Fall konnte zusätzlich ein Langzeiteffekt gefunden werden, der über die gesamte Mastdauer anhielt. Zudem konnte kein kompensatorischer Effekt bei den Methanemissionen aus Munigülle festgestellt werden. Wie andere Studien zeigen, in denen kein Effekt gefunden wurde, scheint die Wirksamkeit von Tanninen jedoch spezifisch für bestimmte Herkünfte zu sein. Der hier verwendete Extrakt wurde aus Brasilien importiert, und stammt aus einer Produktion von Tanninen für die Lederherstellung. Dennoch entstünden bei einem Einsatz in der Schweiz Transportkosten und gewisse Treibhausgasemissionen. Es wäre daher wünschenswert, wirksame einheimische Futterpflanzen mit erhöhten Tanningehalten ausfindig zu machen.

3) Im Milchkuhversuch konnte ein gewisses Methan senkendes Potential von zuckerreichem Heu gezeigt werden. Zudem konnte eine deutliche Reduktion der N-Ausscheidung mit dem Urin belegt werden. Damit wurde demonstriert, dass die Ergebnisse aus Simulationen, wie es die neue Modellierungstudie von Ellis et al. (2012) gemacht hat, unbedingt einer *in vivo*-Bestätigung bedürfen. Dort ist man nämlich zu dem Ergebnis gekommen, dass mit zuckerreichem Gras die Methanproduktion bei gleichzeitiger Reduktion der N-Ausscheidungen ansteigen würde. Experimentell sind dennoch weitere Untersuchungen über die Wirkung von wasserlöslichen Kohlenhydraten auf die Pansenfermentation und die Ausscheidungen erforderlich, zumal in der vorliegenden Studie (fast) reine Grundfütterationen verwendet wurden, welche nicht für jedes Produktionssystem geeignet sind.

4) Aus den Ergebnissen des Milchkuhversuches lässt sich schlussfolgern, dass der mittlere IPCC Standardwert für  $Y_m$  offensichtlich nahe am realen Wert liegt. Andere eigene Studien (zusammengefasst in Zeitz et al., eingereicht) kommen jedoch bei typisch Schweizer Rationen zu höheren Werten bei Milchvieh. Die Werte der bisher durchgeführten Milchviehversuche (inkl. des vorliegenden Milchkuhversuchs) bieten bereits eine grosse Datenbasis, welche aber noch durch weitere, differenzierte Studien verfeinert werden könnte.

5) Die Ergebnisse des Muniversuchs zeigen, dass der IPCC Wert für  $Y_m$  bei wachsenden Tieren offensichtlich deutlich überschätzt wird. Obwohl in den IPCC-Richtlinien nicht auf altersspezifische Unterschiede eingegangen wird, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die altersspezifische Entwicklung des Verdauungssystems eine wichtige Rolle spielt. Bisher gibt es lediglich publizierte Studien mit Rotwild (Swainson et al., 2007) und Lämmern (Ulyatt et al., 2005), die auf einen möglichen Alterseffekt hinweisen. Zudem zeigte sich im Muniversuch, dass durch entsprechende Futterzusätze  $Y_m$ -Werte nahe dem unteren IPCC Standardwert von  $3.0 \pm 1.0\%$  erreicht werden können, welcher eigentlich nur für Mastrinder in Feedlots herangezogen wird. Weitere Studien sind erforderlich, insbesondere um einen möglichen Alterseffekt bei wachsenden und ggf. sogar ausgewachsenen Tieren quantifizieren zu können.

6) Aus dem Lagerungsversuch der Schweizer Milchviehgülle lässt sich erkennen, dass der vom IPCC gegebene Standardwert für das maximale Methanbildungspotential  $B_0$  bei der Wintergülle in Abhängigkeit vom Fütterungssystem wohl unterschätzt wird. Bei der Sommergülle zeigte sich jedoch, dass hier  $B_0$  vom IPCC wohl massiv überschätzt wird. Da in den IPCC-Richtlinien spezifische Angaben zur Laborbestimmung von  $B_0$  fehlen (z.B. Lagerdauer, Verwendung frischer oder

bereits gelagerter Gülle, Lagertemperatur), können im Versuch ermittelte Werte nur schwer mit den IPCC Standardwerten verglichen werden. Eine internationale Standardisierung der Methode zur Bestimmung des  $B_0$  ist erstrebenswert und sollte als Wunsch dem IPCC vorgetragen werden.

7) Die Inkubation von Munigülle zeigte, dass Gras basierte Rationen verglichen mit Kraftfutter reichen oder Mais-basierten Rationen (z.B. auch Klevenhusen et al., 2011) offensichtlich zu recht geringen Methanemissionen aus der Gülle führen. Dies beruht vermutlich darauf, dass bei Faser reichen Rationen (Gras, Heu) ein Grossteil der recht gut verdaulichen Faser bereits im Tier abgebaut wird und nicht mehr für die Methanbildung in der Gülle verfügbar ist. Aus den Ergebnissen des Versuchs lässt sich zudem schlussfolgern, dass MCF vom IPCC massiv überschätzt sein könnte. Gerade bei Temperaturen unter  $14^{\circ}\text{C}$ , welche dem Schweizer Jahresdurchschnitt entsprechen, scheint die Methanemission aus Munigülle vernachlässigbar. Erneut ist die Vorgabe einer einheitlichen Bestimmungsmethode der Methanemissionen aus Gülle angezeigt.

8) Nachdem das IPCC wohl in absehbarer Zeit keine Verfeinerung der Versäumniswerte anstrebt wäre die Einleitung der Einführung und Anerkennung von landesspezifischen Werten in die Budgetierung der Schweiz zu unterstützen, insbesondere wenn man die Schlussfolgerung 5 in die Überlegungen mit einbezieht. Für  $Y_m$  käme man zu einer verfeinerten Einteilung, die über diejenige vom IPCC in Rationen mit mehr oder weniger als 90% Kraftfutter hinausgehen würde. Selbst wenn sich Schweiz weit Über- (Mastrinder; relativ geringe Population in CH) und Unterschätzungen (Mutterkühe; z.T. Milchvieh) zum Teil kompensieren könnten (vgl. Berechnungen von Daniel Bretscher in Zeitz et al., eingereicht), wäre die Anwendung differenzierter Werte anzustreben, weil es damit künftig auch möglich sein könnte, einzelne Betriebe einzuschätzen. Auf diese Weise könnte auch der Einsatz von nachweislich Methan senkenden Massnahmen eingeschätzt und ggf. angerechnet werden. Vor einer Einführung landesspezifischer Berechnungsweisen ist allerdings eine Verbreiterung der Datenbasis in der Mast (Spannbreite von Mutterkuhhaltung bis Intensivmast) und insbesondere in den Emissionen aus der Gülle angezeigt.

## Zitierte Literatur

- Carulla, J.E., Kreuzer, M., Machmüller, A., Hess, H.D., 2005. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Aust. J. Agr. Res.*, 56, 961-970.
- Dohme-Meier, F. Brand, D., Arrigo, Y., Münger, A., 2011. Variierende Gehalte an löslichen Kohlenhydraten im Wiesenfutter und ihr Einfluss auf die Pansenfermentation. In: *Zukunftsträchtige Futtermittel und Zusatzstoffe*. (Kreuzer, M., Lanzini, T., Wanner, M., Bruckmaier, R. und Guidon, D., Hrsg.), ETH Schriftenreihe zur Tierernährung, ETH Zürich, Bd. 34, 41-45 (Abstr.).
- Ellis, J. K., Dijkstra, J., France, J., Parsons, A.J., Edwards, G.R., Rasmussen, S., Kebreab, E., Bannink, A., 2012. Effect of high-sugar grasses on methane emissions simulated using a dynamic model. *J. Dairy Sci.*, 95, 272–285.
- Grainger, C., Clarke, T., Auldist, M.J., Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Waghorn, G.C., Eckard, R.J., 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 89, 241-251.
- Gordon, F.J., Dawson, L.E.R., Ferris, C.P., Stehen, R.W.J., Kilpatrick, D.J., 1999. The influence of wilting and forage additive type on the energy utilisation of grass silage by growing cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 79, 15-27.
- Hashimoto, A.G., 1989, Effect of inoculum substrate ratio on methane yield and production rate from straw. *Biol. Waste* 28, 247-255.
- Hindrichsen, I.K., Wettstein, H.-R., Machmüller, A., Kreuzer, M., 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.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. Chapter 10. Emissions from Livestock and Manure Management. *Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. 10.1-10.87.
- Kirkpatrick, D.E., Steen, R.W.J., Unsworth, E.F., 1997. The effect of differing forage:concentrate ratio and restricted feed intake on the energy and nitrogen utilization by beef cattle. *Livest. Prod. Sci.*, 51, 151-164.
- Klevenhusen, F., Bernasconi, S.M., Kreuzer, M., Soliva, C.R., 2010. Experimental validation of the Intergovernmental Panel on Climate Change default values for ruminant-derived methane and its carbon-isotope signature. *Anim. Prod. Sci.*, 50, 159–167.
- Klevenhusen, F., Kreuzer, M., Soliva, C.R., 2011. Enteric and manure-derived methane and nitrogen emissions as well as metabolic energy losses in cows fed balanced diets based on maize, barley or grass hay. *Animal*, 5, 450-461.
- McCaughy, W.P., Wittenberg, K., Corrigan, D., 1997. Methane production by steers on pasture. *Can. J. Anim. Sci.*, 77, 519-524.

Swainson, N.M., Hoskin, S.O., Clark, H., Lopez-Villabos, N., 2007. The effect of age on methane emissions from young, weaned red deer (*Cervus elaphus*) stags grazing perennial-ryegrass (*Lolium perenne*)-based pasture. *N.Z. J. Agric. Res.*, 50, 407–416.

Ulyatt, M. J., Lassey, K. R., Shelton, I. D., Walker, C. F., 2005. Methane emission from sheep grazing four pastures in late summer in New Zealand. *N.Z. J. Agric. Res.*, 48, 385–390.

**b) Publikationen / Kongressbeiträge, welche im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgten**  
(alle Publikationen liegen als Ausdruck resp. Kopie des eingereichten Manuskriptes bei)

***Publikationen in referierten wissenschaftlichen Journals***

*In vitro* screening of unconventional feeds and various natural supplements for their ruminal methane mitigation potential when included in a maize-silage based diet. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer und Carla R. Soliva. *Journal of Animal and Feed Sciences* 19, 2010, 651–664.

Fatty acid profile and oxidative stability of the perirenal fat of bulls fattened on grass silage and maize silage supplemented with tannins, garlic, maca and lupines. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer, Florian Leiber und Carla R. Soliva. *Meat Science* 89, 2011, 98–104.

Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer, Johanna O. Zeitz und Carla R. Soliva. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148, 2012, 111–120.

Einfluss von Jahreszeit und Fütterungssystem auf die Methanemission aus Schweizer Milchviehgülle im Vergleich mit den Annahmen des IPCC. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Christine Bosshard, Cyril Graf, Johanna O. Zeitz, Michael Kreuzer und Carla R. Soliva (eingereicht bei Agrarforschung).

Swiss diet types for cattle: How accurately are they reflected by the IPCC default values? Autoren: Zeitz, J.O., Soliva, C.R. and Kreuzer, M. (eingereicht bei *Journal of Integrative Environmental Sciences*).

*In vivo* evidence for decreased methane and urinary nitrogen emissions when feeding hay from a high-sugar ryegrass (AberMagic) to dairy cattle. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Sergej L. Amelchanka, Tasja Kälber, Carla R. Soliva, Michael Kreuzer und Johanna O. Zeitz (eingereicht in *Journal of Dairy Science*).

***Beiträge an wissenschaftlichen Kongressen***

Vortrag an der Jahrestagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie vom 9.-11. März 2010: *In vitro* evaluation of various feeds and feed additives for their methane suppressing activity and their effects on ruminal fermentation. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer and Carla R. Soliva. (Abdruck als Abstract in den Proceedings of the Society of Nutrition Physiology).

Poster an der Tagung Landwirtschaftliche und veterinärmedizinische Tierernährungsforschung im Verbund. ETH Zürich, 6.5.2010: Effekte der Zulage von drei pflanzlichen Substanzen zu einer Maissilageration auf die Methanbildung von wachsenden Mastmuni. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer und Carla R. Soliva.

Vortrag am International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition vom 6.-9. September 2010 in Parma, Italien: Plant additives and their effectiveness in mitigating methane emitted by fattening bulls. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer und Carla R. Soliva..

Poster an der Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference vom 3.-8. Oktober 2010 in Banff, Kanada: Evolution of methane formation of bulls supplemented with Acacia tannins, maca or lupines during fattening. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer und Carla R. Soliva..

Vortrag an der Jahrestagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie vom 15.-17. März 2011: Enteric methane emission in relation to growth performance in fattening systems for bulls based on either grass silage or maize silage. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Johanna O. Zeitz, M. Kreuzer und Carla R. Soliva. (Abdruck als Abstract in den Proceedings of the Society of Nutrition Physiology).

Vortrag an der Tagung Zukunftsträchtige Futtermittel und Zusatzstoffe. ETH Zürich, 5.5.2011: Natürliche Futterzusätze in der Rindermast. Autoren: Johanna O. Zeitz, Sabrina M. Staerfl, Florian Leiber, Michael Kreuzer und Carla R. Soliva.

Doktorprüfung von Sabrina M. Stärfel am 10. Februar 2012 zum Thema: Influence of various forage-based feeding systems and supplementation strategies on enteric and slurry-derived methane emissions from fattening bulls and dairy cows (Diss ETH No 20237).

Vortrag für die Jahrestagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie vom 20.-22. März 2012 angenommen. Titel: The effect of high-sugar ryegrass hay, in comparison with a medium-sugar ryegrass hay and maize silage, on enteric methane emissions and nitrogen excretion of dairy cows. Autoren: Sabrina M. Staerfl, Sergej L. Amelchanka, Tasja Kälber, Carla R. Soliva, Michael Kreuzer und Johanna O. Zeitz (Abdruck des eingereichten Abstract wird in den Proceedings of the Society of Nutrition Physiology erfolgen).



Zürich, den 22. Februar 2012

Prof. Dr. Michael Kreuzer

Beilagen:            Kongressbeiträge (7)  
                          Journal-Publikation (6)  
                          Dissertationsschrift (wird nachgereicht)