

Wissenschaftlicher Zwischenbericht 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 2009 – 31. Oktober 2010

a) Darstellung der Forschungsarbeiten im zweiten Projektjahr

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

In diesem Experiment wurden insgesamt 36 Mastmuni (Braunvieh × 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 Kraftfutter basierend auf Getreide und Sojaextraktionschrot ergänzt.

Zusätzlich zu den beiden Grundrationen wurde der Maissilageration der anderen vier Mastgruppen jeweils ein anderer Futterzusatzstoff zugelegt, welcher in das Kraftfutter 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 (Staerfl et al., 2010, J. Sci. Feed Anim. im Druck (siehe hinten)). Die Dosierung der Zusätze wurde so gewählt, dass über die gesamte Mastperiode eine gleichbleibende 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 (Lebendgewicht ca. 125 kg, 300 kg und 450 kg), während denen die Tiere für jeweils 8 Tage in Einzelanbindung gehalten wurden (Abbildung 1). 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 Gaswechselformung in den Respirationsskammern (Abbildung 2) für 2 × 22 h.



Abb. 1: Einzelanbindung im Stoffwechselstall



Abb. 2: Respirationsskammern

Bei der Respirationmessung 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.

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

Mit den gesammelten Exkrementen aus dem Mastmuniversuch wurde ein Güllelagerungsversuch durchgeführt. Die Nährstoffzusammensetzung liegt bereits aus Projektteil A (siehe oben) vor. Hierfür wurde die Gülle in Inkubationsflaschen während 15 Wochen bei 14°C sowie 24°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 wurden die Flaschen mit einem Deckel mit Gummiseptum verschlossen, um die genaue Gasentwicklung während 24 h zu ermitteln.

Aus den Daten des Güllelagerungsversuches sollen das maximale Methanbildungspotential B_0 , die Methanrate aus der Gülle (MCF), sowie die Menge an Volatile Solids (VS) bestimmt werden, um diese Werte mit den nicht landesspezifischen IPCC Versäumniswerten zu vergleichen.

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

Für die Güllebenprobung wurden Schweizer Milchviehbetriebe 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 88 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) und „Nicht-Silo-Betriebe“ (keine Silagefütterung) sowie ihrer durchschnittlichen Jahresmilchleistung pro Kuh (<7000 Liter, 7000-8000 Liter, >8000 Liter).

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 kann. 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 (SHL) 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

Nährstoffzusammensetzung hin untersucht. Es wurden die Gehalte an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS), Rohasche (RA), Stickstoff (N), Bruttoenergie (BE) und Ammoniak-Stickstoff (NH₃-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, Effect of inoculum substrate ratio on methane yield and production rate from straw. Biol. Waste 28, 247-255) 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 sollen wiederum das maximale Methanbildungspotential B₀, die Methanrate aus der Gülle (MCF), sowie die Menge an Volatile Solids (VS) bestimmt werden, um diese Werte mit den nicht landesspezifischen IPCC Versäumniswerten zu vergleichen.

Wichtigste Resultate des zweiten Projektjahres

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

Der Mastuniversuch selbst sowie alle analytischen Arbeiten sind abgeschlossen. Auch die statistischen Auswertungen aus diesem *in vivo*-Experiment wurden bereits durchgeführt. Teilergebnisse wurden zudem bereits im Zwischenbericht 2009 dargestellt.

Abbildung 3 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

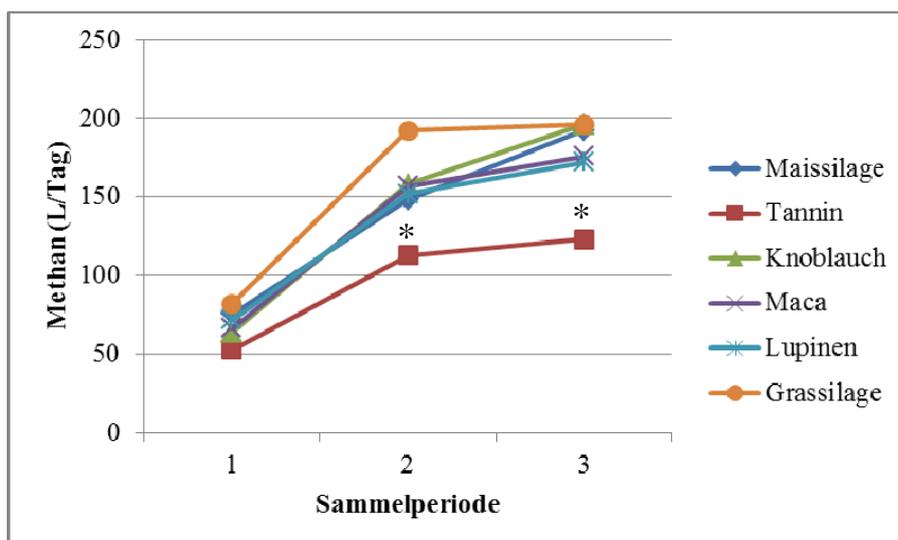


Abb. 3: Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Entwicklung der Methanemission (L/Tag) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; * signifikant verschieden von Maissilage ohne Zusatz).

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%.

Betrachtet man die Methanemissionen pro kg verzehrtem Futter (Trockensubstanz; Abbildung 4) zeigt sich für die Tanninvariante ein ähnliches Bild. Auch hier konnten verglichen mit der reinen Maissilageration besonders in den Sammelperioden 2 und 3 deutlich tiefere Werte gefunden werden. Die Unterschiede zwischen den beiden Grundrationen Maissilage und Grassilage bezogen auf Methan pro kg TS-Verzehr sind 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.

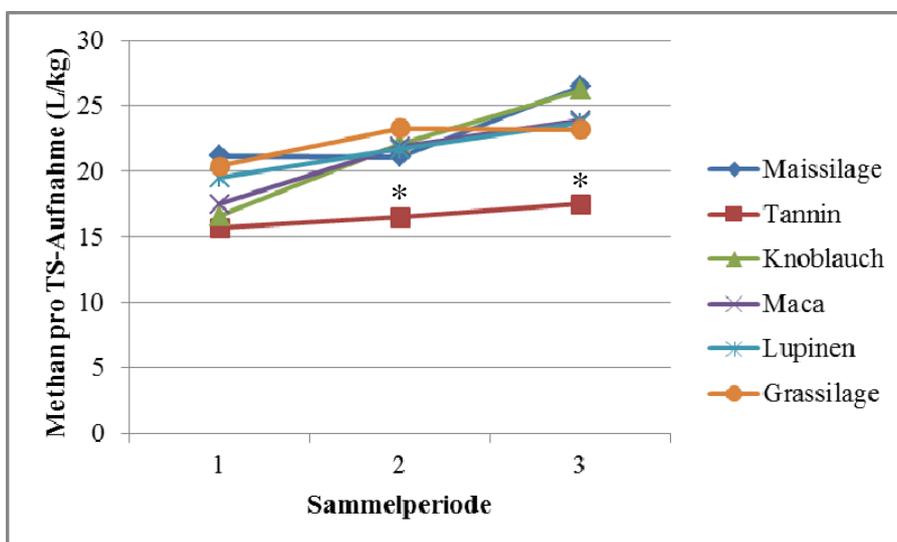


Abb. 4: Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Entwicklung der Methanemission pro kg TS-Verzehr (L/Tag) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; * signifikant verschieden von Maissilage ohne Zusatz).

Hingegen zeigt sich, dass die Methanemissionen pro kg verdauter NDF bei den mit Grassilage gefütterten Muni in allen Sammelperioden signifikant geringer sind (verglichen mit allen anderen Maissilagerationen; Abbildung 5). Als faserreiches Grundfutter weist Grassilage deutlich höhere NDF-Werte auf, so dass in Folge dessen auch die NDF-Aufnahme besonders deutlich erhöht war. Hingegen lag die Methanrate pro kg verdauter NDF 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.

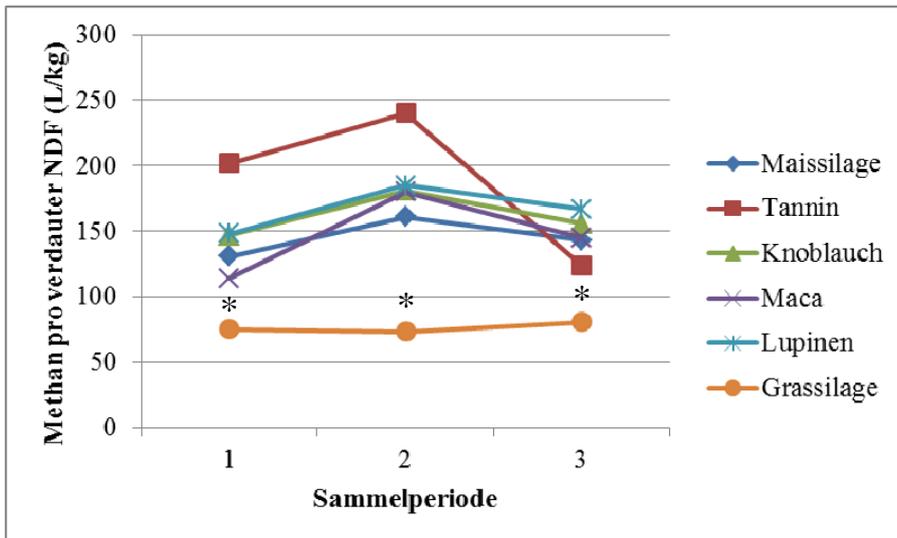


Abb. 5: Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Entwicklung der Methanemission pro kg TS-Verzehr (L/Tag) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; * signifikant verschieden von allen Maissilagevarianten).

Von der IPCC werden sogenannte Versäumniswerte für die Festlegung des Methanumwandlungsfaktor oder der Methanrate (Y_m) angegeben. Er beschreibt, welcher 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 6), 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.

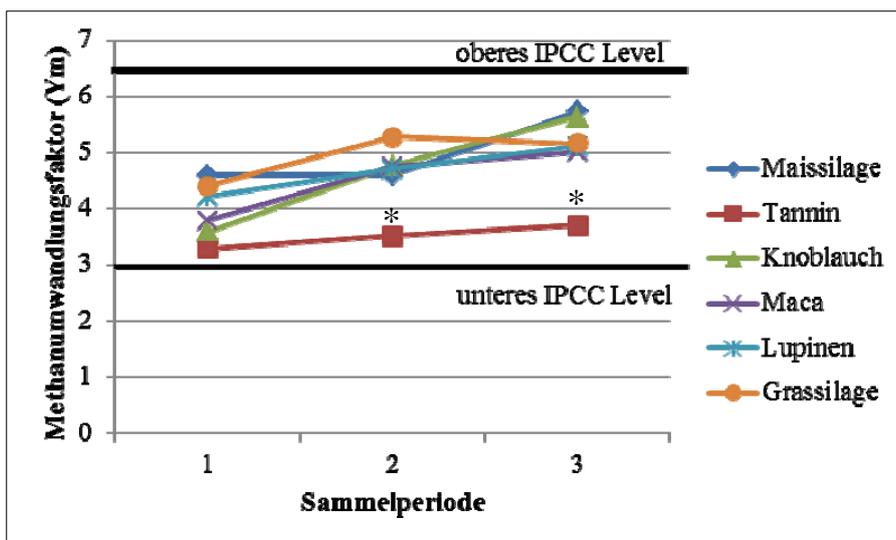


Abb. 6: Einfluss von Ration und Zusätzen auf den Methanumwandlungsfaktor (Y_m) von wachsenden Mastmuni während der Mastperiode (Sammelperiode 1: n=4; Sammelperiode 2 und 3: n=6; * signifikant verschieden von Maissilage ohne Zusatz).

Generell stiegen die absoluten Methanmengen sowie Methan pro kg TS-Aufnahme mit zunehmender Mastdauer an, was mit der höheren Futteraufnahme 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, allerdings ist das Ergebnis der Emissionen aus der Gülle abzuwarten, um eine endgültige Schlussfolgerung für die Munimast geben zu können.

Der Tageszuwachs war mit beiden Rationentypen höher als erwartet, aber die Differenz mit niedrigeren Werten für die Grassilagemast konnte realisiert werden (Daten hier nicht gezeigt). Innerhalb der Maissilagegruppen hatte sogar der stark methansenkende Zusatz Tannin keinen signifikant negativen Einfluss auf den Tageszuwachs. Allerdings muss die niedrigere NDF-Verdaulichkeit innerhalb dieser Gruppe berücksichtigt werden und numerisch war die Leistung doch leicht reduziert.

Bei der ersten Auswertung der Pansensaftparameter (Abbildung 7) zeigte sich, dass beispielsweise die gesamte Menge an flüchtigen Fettsäuren (FFS) und dabei speziell auch die Essigsäure in der Grassilagegruppe am höchsten war, hingegen der Zusatz von Tanninen zu einer Verminderung führte. Als Grund hierfür kann wiederum die reduzierte NDF-Verdaulichkeit bei diesen Tieren angeführt werden. Die Propion- und Buttersäurekonzentrationen im Pansensaft unterschieden sich jedoch innerhalb der einzelnen Varianten nicht. Zusätzliche Pansensaftparameter (z.B. pH Wert, Ammoniakkonzentration) sowie die nähere Charakterisierung der Pansenmikroben mittels PCR sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

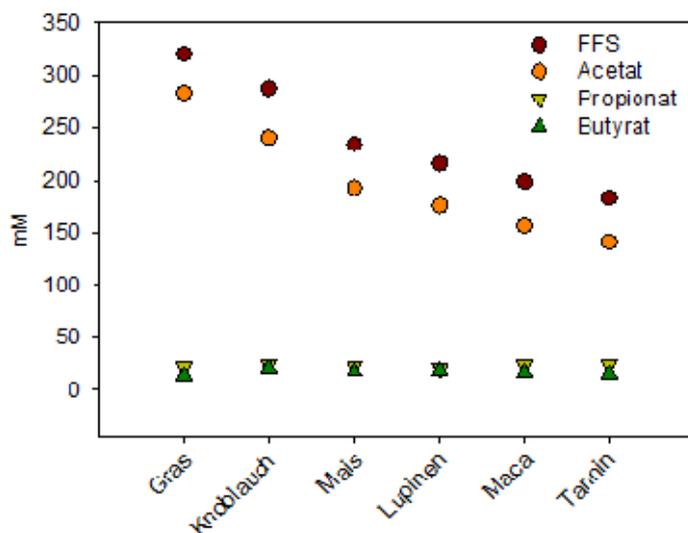


Abb. 7: Einfluss von Ration und Zusätzen auf die Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft von Mastmuni (n=6)

Die Laboranalysen der Fettproben von den am Schlachthof entnommenen Fettgeweben der Mastmuni werden in Kürze abgeschlossen sein. Die bisherigen Ergebnisse des Nierenfetts lassen auf keine Beeinflussung der Fettzusammensetzung durch die verschiedenen Zusätze zur Maissilage schließen. Wie zu erwarten war, konnten jedoch mehr wertvolle ungesättigte Fettsäuren in den Proben der Grassilage gefütterten Tiere im Vergleich zur denen mit Maissilage gefunden werden.

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

Die Analyse der Fermentationsgase der Gülleproben aus dem Mastmuniversuch dauert zum momentanen Zeitpunkt noch an. Bisher lässt sich lediglich sagen, dass die Inkubation bei einer Temperatur von 14°C zu deutlich geringeren Methanwerten führt als bei 24°C. Dies entspricht auch den Erwartungen gemäss den IPCC-Werten.

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

Wie bereits im Zwischenbericht 2009 erwähnt, konnte auch im Fall der Güllebeprobung auf Schweizer Milchviehbetrieben der Fragebogen von den Landwirten selbständig ausgefüllt werden. Er lieferte in erster Linie Hintergrundinformationen zu den Produktionssystemen und Gülletechnologien, die teilweise in unserem Projekt genutzt werden können. Von grösserem Interesse dürften die Angaben sein, welche auch zur Erstellung der Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF) benötigt werden.

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.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse dieses Versuchs ist momentan noch nicht abgeschlossen.

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 ermöglicht die Beprobung sowohl im Winter als auch im Sommer Rückschlüsse auf jahreszeitliche Unterschiede bedingt durch Fütterung und landwirtschaftliche Aktivitäten.

Grössere Abweichungen bezogen auf den Projektbescrieb

Der Projektbeginn erfolgte aus logistischen Gründen mit dem Mastrinderversuch und der Hofdüngerbeprobung anstelle des Milchkuhversuchs. Aufgrund technischer Probleme ist keine Messung von Lachgas aus den Gülleproben möglich.

Ausblick 2011

Der noch ausstehende Milchkuhversuch wird im Sommer 2011 auf der ETH Versuchsstation Chamau durchgeführt. Dies ist erst dann möglich, weil die zu testenden Rationen auf Basis verschiedener, für die Schweiz relevanter Grundfuttermittel noch die Aussaat und Ernte benötigt. Nach Abschluss aller Analysen und Auswertungen werden Schlussbericht, Publikationen und die Dissertationsschrift erstellt werden. Durch den späten Beginn des Milchkuhversuchs wird es wohl nicht möglich sein, das Projekt bereits in allen Teilen am Ende des nächsten und dritten Berichtsjahres komplett beendet zu haben. Daraus entstehen aber keine zusätzlichen Projektkosten.

b) Publikationen / Kongressbeiträge, welche bislang im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgten

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 and 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.

Weitere Publikationen zu Ergebnissen aus dem Güllelagerungsversuch sind in Vorbereitung.

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; liegt diesem Bericht bei).

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: Staerfl, S.M., Kreuzer, M. und Soliva, C.R. (Abdruck als Abstract liegt diesem Bericht bei).

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 and Carla R. Soliva. (Abdruck als Abstract liegt diesem Bericht bei).

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 sind Sabrina M. Staerfl, Michael Kreuzer and Carla R. Soliva. (Abdruck als Abstract liegt diesem Bericht bei).

Beitrag für die Jahrestagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie vom 15.-17. März 2011 wurde eingereicht (liegt diesem Bericht bei). Dieser Beitrag trägt den Titel: 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 and Carla R. Soliva. (Abdruck des eingereichten Abstract für den Abdruck in den Proceedings of the Society of Nutrition Physiology liegt diesem Bericht bei).

Zürich, den 15. November 2010

Prof. Dr. Michael Kreuzer

Beilagen: Kongressbeiträge (5)
 Journal-Publikation (1)