

Abschlussbericht Lemongras

Projektleitung: Dr. Thomas Guggenberger

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Abschlussbericht Lemongras

Akronym: Lemongras

Wirkung einer Gabe von 100 g Zitronengras auf die Methan (CH₄)-Konzentration in der Atemluft von Maststieren

Effect of 100 g lemongrass as feed supplement on methane concentration in the respiratory air of beef cattle

Projektleitung:

Dr. Thomas Guggenberger
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Projektmitarbeiter:

Dr. Georg Terler, Daniel Eingang,
Dipl.-Ing. Stefanie Gappmaier
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

Projektpartner:

Mag. Norbert Marcher, Marcher Fleischwerke
Kasernengasse 12, A-9524 Villach
office-villach@marcher.at

Dr. Stefan Rosenkranz, Firma smaXtec
Belgiergasse 3, A-8020 Graz
info@smaXtec.com

Christian Schrammel
A-2625 Schwarzau am Steinfeld

Projektlaufzeit: 2020 – 2021

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Landwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

raumberg-gumpenstein.at

Für den Inhalt verantwortlich: Die AutorInnen

Korrespondierender Autor: Dr. Thomas Guggenberger,

email: thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Fotonachweis: HBLFA Raumberg-Gumpenstein/Dr. Guggenberger

Gestaltung: Alexandra Eckhart

Alle Rechte vorbehalten

Irdning-Donnersbachtal 2021

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Summary	6
Einleitung	7
Stand des Wissens	7
Maßnahmen zur Reduktion von Methanemissionen aus der Wiederkäuerverdauung.....	8
Futterzusätze und ihre Wirkung.....	8
Methoden	10
BK Cows Menu.....	10
Beschreibung landwirtschaftlicher Betrieb.....	11
Versuchsbeschreibung.....	11
Messtechnik	16
CH ₄ -Messung der Atemluft.....	16
Ablauf der Messung.....	19
Aufbereitung der CH ₄ -Messungen.....	19
Dynamische Messung im Pansen.....	20
<i>In vitro</i> -Tastversuch der Gasbildung.....	21
Statistische Auswertung.....	22
Ergebnisse	23
Ration und Nährstoffversorgung der Mastrinder.....	23
Futteraufnahme, Energie- und Proteinkonzentration.....	23
Rechnerischer Anteil von Zitronengras.....	24
CH ₄ -Konzentration in der Atemluft.....	24
Messungen mit den smaXtec-Sensoren.....	26
<i>In vitro</i> -Tastversuch.....	29
Zusammenfassung und Diskussion	29
Forschungsbedarf	31
Danksagung	32
Literatur	32
Abbildungsverzeichnis	34
Tabellenverzeichnis	35

Wirkung einer Gabe von 100 g Zitronengras auf die Methan (CH₄)-Konzentration in der Atemluft von Masttieren

Effect of 100 g lemongras as feed supplement on methane concentration in the respiratory air of beef cattle

Kurzfassung

Zitronengras, dieses natürliche Futter enthält über 6 % kondensierte Tannine, kann nach vorliegenden Studien aus Mexiko die Methanemissionen von Rindern senken. Auf Initiative der Marcher Fleischwerke wurde dieser mögliche Effekt unter österreichischen Bedingungen (hohe Anteile an Maissilage in der Ration, gute Futterstruktur, Ergänzung mit Getreide und Rapsextraktionsschrot) in einem Feldversuch getestet. Für die Untersuchung standen acht Mastboxen mit je sechs Tieren auf dem Praxisbetrieb Schrammel zur Verfügung. Je zwei vergleichbare, benachbarte Boxen bildeten eine Gruppe wobei die Tiere (männliche Rinder, Ø 450 kg Lebendgewicht, Ø Tageszunahmen 1.350 Gramm) in einer Box zusätzlich mit 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag gefüttert wurden. Diese Menge bedeutet je nach Alter einen Rationsanteil zwischen 1,7 und 1,2 %. In vier Messperioden von je drei Wochen wurde jede Box so zweimal mit und zweimal ohne Zitronengras gefüttert. Am Ende jeder Messperiode wurde die Konzentration von Methan (CH₄) in der Atemluft der Rinder gemessen. Dazu wurde der Messsensor Laser Methan mini (LMm) der Tokyo Gas Engineering Solution verwendet. Zusätzlich wurden 16 Tiere mit Pansenboli (PH Plus, Classic Plus) der Firma smaXtec ausgestattet. Diese Sensoren informieren über die Vorgänge im Pansen und geben Auskunft über Aktivität und Tränkeverhalten. Alle verwendeten Futtermittel wurden chemisch auf ihre Inhaltsstoffe und den Futterwert untersucht.

Unter Anwendung der statistischen Methode „Allgemeines lineares Modell“ wurden aus den Rohdaten folgende Ergebnisse gewonnen:

- Die Fütterung von 100 Gramm Zitronengras reduziert die CH₄-Emissionen in der Atemluft im Mittel um 14,6 %. Die Schwankungsbreite in den Wiederholungen liegt zwischen 7,8 und 23,4 %. Die Gruppen unterschieden sich hoch signifikant.
- Ein negativer Einfluss auf die Prozesse im Pansen ist bei dieser Zitronengrasmenge unwahrscheinlich. Alle Ergebnisse der Pansenboli sind im Verlauf typisch und unterschieden sich statistisch nicht.

Der aus der Literatur bekannte methanreduzierende Effekt einer Fütterung von Zitronengras konnte auch unter österreichischen Bedingungen bestätigt werden.

Summary

Lemongrass: this natural feed contains more than 6 % condensed tannins, and can reduce methane emissions from cattle, according to existing studies from Mexico. On the initiative of the Marcher Fleischwerke, this possible effect was field-tested under Austrian conditions (high proportions of maize silage in the ration, good feed structure, supplemented with cereals and rapeseed meal). Eight stalls with six animals each were available for examination at the Schrammel test farm. Two comparable adjacent stalls formed a group whereby the animals (male cattle, 450 kg live weight, daily increases of 1,350 grams on average) in one stall were fed with an addition of 100 grams of lemongrass per animal per day. This quantity represents a ration ratio of between 1.7 and 1.2%, depending on age. In four three-week periods, each stall was fed twice with and twice without lemongrass. At the end of each period, the concentration of methane (CH_4) in the breath of cattle was measured. The measuring sensor Laser Methane mini (LMm) from the Tokyo Gas Engineering Solution was used for this purpose. In addition, 16 animals were equipped with ruminal boluses (PH Plus, Classic Plus) from smaXtec. These sensors detect processes in the rumen and provide information about activity and drinking behavior. All feeds used have been chemically tested for their ingredients and feed value.

Using the general linear model, the following results were obtained from the raw data:

Feeding 100 grams of lemongrass reduces CH_4 emissions in the breath by an average of 14.6%. The range of variations in the repeats were between 7.8 and 23.4%. The groups differed quite significantly.

There is unlikely to be a negative influence on the processes in the rumen at this amount of lemongrass. All results of the ruminal boluses are typical over this course of time and differences were not statistically significant.

The known methane-reducing effect of feeding lemongrass from the literature could also be confirmed under Austrian conditions.

Einleitung

Gasförmige Emissionen sind ein natürlicher Teil der Stoffwechselaktivität von Bakterien und Protozoen. Die entstehenden Gase sind für Bakteriengruppen spezifisch und wirken unterschiedlich auf den Organismus und die Umwelt. Wiederkäuer sind evolutionär auf eine Symbiose mit Pansen- und Darmbakterien ausgelegt und könnten ohne deren Hilfe nicht die komplexen Kohlenhydrate von Pflanzen nutzen. Besonders der Abbau von stabilen Zellwänden benötigt eine Gruppe von Bakterien, die bei ihren Aktivitäten aus den OH-Verbindungen der Kohlenhydrate Wasserstoff (H) abspalten. Ein Teil davon verbindet sich mit Kohlendioxid (CO₂) zum Methan (CH₄), das über das Maul oder den Enddarm entweicht. Biogenes CH₄ ist ein geruchloses Gas mit geringer Dichte, das im direkten Umfeld des Tieres keinen Schaden anrichtet. In höheren Konzentrationen ist es brennbar und wird deshalb zur Energieerzeugung in Biogasanlagen verwendet. Steigt CH₄ in die Atmosphäre auf, trägt es dort wegen seiner Wirksamkeit als bedeutendes Treibhausgas zur globalen Klimaerwärmung bei.

Im Sog der weltweiten Bevölkerungsentwicklung, diese hat sich in den letzten 100 Jahren etwa vervierfacht, ist auch die globale Herde an Wiederkäuern stark angewachsen und steht deshalb heute im globalen Maßstab zu Recht in der öffentlichen Debatte. Der Treiber ist aber nicht das Einzeltier selbst, sondern der vom Menschen geschaffene Gesamtbestand. Dieser hat sich in verschiedenen Ländern völlig unterschiedlich entwickelt, in Österreich nimmt der Rinderbestand in der langfristigen Beobachtung ab. Da eine Stabilisierung der globalen Bevölkerungsdichte nicht absehbar ist, muss die Wachstumsbeziehung zur globalen Wiederkäuerzahl aus der Notwendigkeit des Klimaschutzes ebenso abgeschwächt werden wie die Beziehung zwischen dem Wirtschaftswachstum und der Verwendung von fossiler Energie. Praktisch bedeutet dies zumindest die Deckelung einer global zulässigen CH₄-Emissionsmenge aus der Landwirtschaft, die nur durch die Veränderung der Herdengröße oder durch alternative (technische oder biogene) Lösungen erfolgen kann.

Stand des Wissens

Um eine Reduktion der Methanemissionen aus den mikrobiellen Verdauungsprozessen im Pansen zu erreichen, muss zunächst geklärt werden, wie Methan entsteht. Das Pansenökosystem setzt sich aus vielen verschiedenen Arten von Mikroorganismen zusammen. Grob lassen sich diese in drei Gruppen zusammenfassen: Bakterien, Archaeobakterien sowie Protozoen und Pilze (BRADE und DISTL 2015a). Für den Prozess der Methanbildung sind vor allem Archaeobakterien und Protozoen von Bedeutung. Archaeobakterien produzieren als Stoffwechselprodukt Methan und leben in enger Symbiose mit Protozoen (BRADE und DISTL 2015b). Protozoen fördern den Protein- und Zellwandabbau im Pansen und tragen daher zur Verdauung von schwer abbaubaren Futterbestandteilen bei. Allerdings reduzieren Protozoen auch die Effizienz der Fütterung, da sie einerseits hochwertiges Bakterienprotein verbrauchen (Protein- bzw. Stickstoffverlust) und andererseits durch ihre Symbiose mit Archaeobakterien die Methanproduktion ankurbeln (BRADE und DISTL 2015a). Methanreduzierende Maßnahmen zielen daher auch auf die Reduktion von Protozoen ab.

Maßnahmen zur Reduktion von Methanemissionen aus der Wiederkäuerverdauung

In einer aktuellen Übersichtsarbeit führen BEAUCHEMIN et al. (2020) folgende drei Bereiche an, in welchen methanreduzierende Maßnahmen gesetzt werden können:

- Management und Zucht
- Fütterung
- Veränderung der Mikrobenzusammensetzung und der Verdauungsvorgänge im Pansen

Im Bereich Management und Zucht kann die Steigerung der Produktivität und der Effizienz zu geringeren Methanemissionen pro Einheit erzeugtem Produkt beitragen. Weiters gibt es auch internationale Bestrebungen zur Entwicklung von Zuchtwerten für das Merkmal Methanproduktion (BRADE und DISTL 2015b, BEAUCHEMIN et al. 2020). Gesamtheitlich gesehen können auch eine Reduzierung der Tierverluste und eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Wiederkäuern zur Verringerung der Methanemissionen bei gleichbleibender Produktionsleistung beitragen (BRADE und DISTL 2015b). Damit dieser Effekt eintritt, muss jedoch gleichzeitig der Gesamtbestand an Wiederkäuern zurückgehen.

Im Bereich der Fütterung kann durch Erhöhung des Stärkegehalts und Senkung des Fasergehalts in der Ration eine Reduktion der Methanemissionen erreicht werden (BRADE und DISTL 2015b). Möglich ist dies durch eine Erhöhung des Maissilage- und/oder Kraftfutteranteils der Ration oder durch eine verbesserte Grundfutterqualität (JAYASUNDARA et al. 2016, BEAUCHEMIN et al. 2020). Eine weitere Möglichkeit stellt der Einsatz von Futterfetten dar (BRADE und DISTL 2015b, JAYASUNDARA et al. 2016, BEAUCHEMIN et al. 2020).

Die Mikrobenzusammensetzung 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 2015b). Mittlerweile sind zahlreiche methanreduzierende Futterzusätze bekannt. Dazu 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. sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, Hefen, Algen) (BRADE und DISTL 2015b, JAYASUNDARA et al. 2016, BEAUCHEMIN et al. 2020).

Futterzusätze und ihre Wirkung

Die Wirkung von methanreduzierenden Futterzusätzen beruht meistens auf einer Hemmung der Stoffwechselwege von Archaeobakterien und Protozoen. Damit Archaeobakterien Methan bilden können, benötigen sie Wasserstoff (H_2). Ein Ansatz der Methanreduktion ist daher, Substanzen im Pansen anzureichern, die ebenfalls H_2 binden können. Dazu gehören beispielsweise natürliche Stoffwechselprodukte des Pansens (z.B. Propionat), aber auch anorganische Futterzusätze, wie zum Beispiel Nitrat (BEAUCHEMIN et al. 2020). Ein weiterer Ansatz besteht darin, Futtermittel mit einem hohen Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (z.B.

Tannine, Saponine) zu verfüttern. Saponine bilden Komplexe in Zellmembranen von Protozoen, welche zu deren Absterben führen. Tannine bilden Komplexe mit Proteinen und reduzieren somit die Proteinabbaubarkeit und die Verfügbarkeit von Protein für die Mikroorganismen im Pansen (GOEL und MAKKAR 2012). Die Gruppe der Tannine umfasst zahlreiche verschiedene Substanzen, wobei zwischen hydrolysierten und kondensierten Tanninen unterschieden werden kann, welche sich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise unterscheiden. Während hydrolysierte Tannine das Wachstum von methanbildenden Mikroorganismen hemmen, reduzieren kondensierte Tannine die Abbaubarkeit von Faserbestandteilen des Futters (GOEL und MAKKAR 2012, HRISTOV et al. 2013, MIN et al. 2020).

Neben der Wirkungsweise unterscheidet sich auch das Ausmaß der Methanreduktion wesentlich zwischen verschiedenen Tanninen (BEAUCHEMIN et al. 2020, FAGUNDES et al. 2021). ROCA-FERNÁNDEZ et al. (2020) untersuchten Rationen aus 50 % Gras und 50 % Leguminosen. Die Leguminosen unterschieden sich dabei in ihrem Gehalt an kondensierten Tanninen (2,3 bis 147,7 g/kg Trockenmasse (TM)). Der methanreduzierende Effekt nahm mit steigendem Tanningehalt der Leguminosen zu. Die Verfütterung der Leguminose mit dem höchsten Tanningehalt führte jedoch zu einem hochsignifikanten Rückgang der Verdaulichkeit der Ration. NIDERKORN et al. (2020) ergänzten je 20 g/kg TM Esparsettenpeletts, Haselnussschalen und eine Mischung aus beiden und fanden ebenfalls unterschiedliche Effekte auf die Methanproduktion, wobei allerdings in allen drei Fällen im Vergleich zu einer Basisration deutlich niedrigere Werte festgestellt wurden. Auch durch den Einsatz eines Akazienextrakts (enthält kondensierte Tannine) wurde ein deutlicher Rückgang der Methanemissionen von Masttieren erreicht, ohne dass die Leistung der Tiere wesentlich zurückging. Einzig die Verdaulichkeit der Neutral-Detergentien-Faser (NDF) des Futters nahm signifikant ab (STAERFL et al. 2012). Die Einmischung eines Quebrachobaum-Extrakts (enthält kondensierte Tannine) in eine Mastochsenration hatte dagegen keinen methanreduzierenden Effekt (EBERT et al. 2017). In den Versuchen von ABOAGYE et al. (2018) und ABOAGYE et al. (2019) führte die Einmischung von 1,5 bis 2,0 % eines Extrakts mit hohem Gehalt an hydrolysiertem Tannin in die Ration von Mastkalbinnen ebenfalls zu keinem signifikanten Rückgang der Methanemissionen pro Tag und pro kg TM-Aufnahme. Bei Verwendung von 1,5 % einer Mischung aus hydrolysierten und kondensierten Tanninen wurde dagegen ein deutlicher methanreduzierender Effekt festgestellt (ABOAGYE et al. 2018). In 2 Versuchen von VÁZQUEZ-CARILLO et al. (2020) wurde Zitronengras (60 g kondensierte Tannine/kg TM) an Mastrinder verfüttert. Im ersten Versuch erhielt jedes Mastrind (~ 390 kg Lebendgewicht) 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag. Im zweiten Versuch wurde das Zitronengras mit einem Anteil von 2 %, 3 % bzw. 4 % zugemischt und den Mastrindern (~ 500 kg Lebendgewicht) in der Ration verfüttert. In beiden Versuchen ergab sich eine signifikante methanreduzierende Wirkung von Zitronengras.

Material und Methoden

BK Cows Menu

Burger King International (BK) hat Zitronengras, aus einer Arbeit einer Forschungsgruppe der Fakultät für Veterinärmedizin und Nutztierforschung, der Freien Universität Mexiko, ausgewählt (VÁZQUEZ-CARILLO et al. 2020) um einen strategischen Entwicklungs- und Vermarktungsprozess mit dem Namen „Burger King Cows Menu“ medial zu positionieren (BK 2020). BK empfiehlt dabei den Produzenten die Zugabe von 100 g getrocknetem, zerkleinertem Zitronengras pro Tier und Tag und erwartet dadurch, gestützt auf die Forschungsergebnisse aus Mexiko, eine deutliche Reduktion der CH₄-Emissionen. Die Mastrinder (Charolais x Brown Swiss) wurden, wie bereits beschrieben, in zwei unterschiedlichen Versuchsansätzen eingesetzt. Versuch 1 wurde mit rund 390 kg schweren Mastrindern mit einer Ration aus 80,6 % Kraftfutter und 19,4 % sehr faserreichem Grundfutter (Luzerneheu und Haferstroh) durchgeführt. In diesem Versuch wurde nicht nur Zitronengras (*Cymbopogon citratus*), sondern auch Kamille (*Matricaria chamomilla*) und Schmuckkörnchen (*Cosmos bipinnatus*) untersucht. Alle Gruppen erhielten eine konstante Menge des Futterzusatzes. In Versuch 2 wurde nur mehr Zitronengras, es hatte im Versuch 1 die stärkste Wirkung, verwendet. Die zugesetzte Menge betrug nun 2 %, 3 % bzw. 4 % der Ration. Die Gesamtration wurde geändert, wobei der Anteil an faserreichem Grundfutter auf 30,1 % gesteigert wurde.

Die CH₄-Messungen wurden mit 4 Tieren in einem lateinischen Quadrat und einer Versuchsdauer von 21 Tagen in einer Respirationsskammer vorgenommen. In beiden Versuchen waren alle Produktions- und Emissionsdaten vorhanden. Deshalb konnten die Wissenschaftler für CH₄ sowohl die Fracht als auch die Emissionsmenge pro kg Trockenmasseaufnahme bzw. pro kg Tageszunahme berechnen. In Versuch 1 senkte das Zitronengras die CH₄-Fracht pro Tag um 16,4 % bzw. die CH₄-Emissionen pro kg TM um 33,0 %. Die CH₄-Emissionen pro kg Tageszunahme konnten um 22 % gesenkt werden. In Versuch zwei senkte die Zugabe von 2 %, 3 %, 4 % an Zitronengras die CH₄-Fracht pro Tag um 26,0 %, 26,3 %, 15,3 %. Die CH₄-Emissionen pro kg TM sanken um 12,0 %, 15,5 % und 0,5 %, jene pro kg Tageszunahme um 21,0 %, 18,9 % bzw. 13,4 %. Für die spätere Interpretation muss festgehalten werden, dass wegen der unterschiedlichen Messmethoden am ehesten die Fracht als Vergleichswert herangezogen werden kann. Der Erwartungswert für eine Reduktion der CH₄-Emissionen liegt damit zwischen 16,4 % (Fracht Versuch 1) und 26,0 % (Fracht Gruppe 2 %, Versuch 2).

Aus der Sicht einer europäischen Forschungseinrichtung kann die Versuchsanstellung methodisch und technisch als normgemäß bewertet werden. Die insgesamt kurze Versuchsdauer und die geringe Anzahl an Tieren sind typisch für die aufwendigen Untersuchungen gasförmiger Emissionen in Respirationsskammern.

BK selber hat den vorerst beobachteten Effekt und die Empfehlung zur Fütterung von 100 g Zitronengras pro Tier und Tag über die globalen Handelspartner in die ganze Welt verteilt. In Österreich haben die Marcher Fleischwerke in Villach die Idee aufgegriffen und gemeinsam mit der HBLFA Raumberg-Gumpenstein eine Wiederholung des Experimentes unter österreichischen Bedingungen um-

gesetzt. Da die Messung von Einzeltieren in den Respirationskammern in Raumberg-Gumpenstein nur für 4 Tage pro Jahr erlaubt ist, kann hier kein lateinisches Quadrat angesetzt werden. Das gewählte Versuchsdesign wurde deshalb auf einem landwirtschaftlichen Betrieb als Feldversuch durchgeführt.

Beschreibung landwirtschaftlicher Betrieb

Der Betrieb der Familie Schrammel, 2625 Schwarzau am Steinfeld, Österreich, liegt am Rande der Ostalpen auf einer Seehöhe von 330 Meter über dem Meer. Klimatisch erreicht der Standort eine mittlere Jahrestemperatur von 8,6°C und einen mittleren Jahresniederschlag von 600 mm. Das Steinfeld ist eine große, fast flache Schotterablagerung in der südlichen Region des Wiener Beckens und hat sich in der Riß-Kaltzeit gebildet (Abbildung 1). In durchschnittlichen Jahren erreicht der Betrieb sehr gute pflanzenbauliche Erträge, allerdings ist der Standort auch dürrgefährdet.

Die Familie Schrammel bewirtschaftet 90 ha Betriebsfläche mit einem Anteil von 16 % Dauergrünland (3 - 5 Schnitte pro Jahr), 27 % Silomais, 33 % Feldfutter, 16 % Getreide und 8 % Luzerne. Auf dem Betrieb werden derzeit 65 Milchkühe mit ihrer Nachzucht, sowie 120 Maststiere gehalten. Die mittlere Herdenleistung der Milchproduktion beträgt 9.800 kg Milch/Kuh und Jahr. Die Mastleistung der Maststiere liegt im mehrjährigen Schnitt bei 1.300 Gramm Zuwachs pro Tier und Tag.

Versuchsbeschreibung

Der Maststall aus dem Jahr 2015 wurde in einer in Österreich weit verbreiteten Bauform errichtet. Die Hülle ist eine Holz-Beton-Konstruktion, die von einem frei tragenden Dach überspannt wird. Links und rechts des befahrbaren Futter-



Abbildung 1: Lage des Betriebes

Abbildung 2: Grundriss des Maststalles

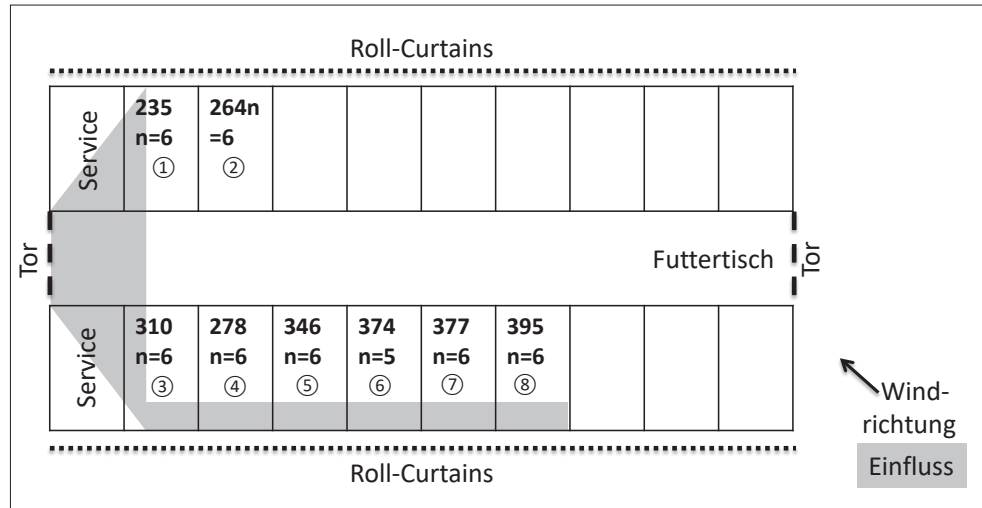


Abbildung 3: Innenaufnahme im Aufzuchtstall



Abbildung 4: Innenaufnahme im Maststall



tisches befinden sich Mastboxen mit Spaltenböden. Jede Box wurde für 6 Masttiere geplant. Der Fressplatz ist mit einem Fanggitter zur Fixierung der Tiere ausgestattet. Der Futtertisch kann stirnseitig auf jeder Seite mit einem Sektionaltor geschlossen werden. Entlang der Mastboxen regeln Roll-Curtains

die Frischluftzufuhr. Dank der verhältnismäßig großen Gebäudehülle und der seitlichen Lüftungsmöglichkeit hatte der Stall während der Versuchsdauer ein günstiges Stallklima mit ausreichend kühler, frischer Luft. Eine ähnliche Form weist der Aufzuchtstall auf (*Abbildung 2, 3 und 4*).

Um sicherzustellen, dass alle ausgewählten Masttiere den vollen Versuchsplan erfüllen können, wurden aus den vorhandenen Tieren jene Boxen ausgewählt, die zu Versuchsbeginn im Schnitt jünger als 400 Tage waren. Die zwei Boxen mit den jüngsten Tieren (235 bzw. 264 Tagen) lagen in *Abbildung 2* auf der linken Stallseite, alle anderen auf der rechten. Jede Box war mit 6 männlichen Maststieren, bevorzugt der Rasse Fleckvieh, bestückt. In Box 6 fehlte ein Tier, das schon vor dem Versuch ausgefallen war. Das Gewicht der Tiere konnte in diesem Stall nicht gewogen werden, aber wegen der langjährigen Erfahrung im System und einer konstant hohen Zuwachsleistung von durchschnittlich 1.350 g/Tier und Tag konnte eine Reihe von Parametern über mathematische Funktionen unterstellt werden. Die Grundlagen dafür sind die von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie herausgegebenen Bedarfsnormen (GfE 1995, 1999), die Gruber Tabelle (LfL 2020) sowie eigene Arbeiten der HBLFA (STEINWIDDER et al. 2006). Den einzelnen Tieren wurde mit dieser Methode für jeden Versuchstag ein geschätztes Lebendgewicht (kg), eine geschätzte Futteraufnahme (kg Trockenmasse TM) sowie ein geschätzter Bedarf an umsetzbarer Energie (MJ ME) und Protein (g Rohprotein RP) zugeordnet. Die verwendeten Modelle wurden bei jeder Wiederholung noch einmal durch die Wiegung der vorgelegten Futtermenge justiert. Diese Wiegung

Tabelle 1: Futtermittel und Nährstoffkonzentrationen

Futtermittel	Mischungsverhältnis		Weender-Nährstoffe und Gerüstsubstanzen											Energie	
			FM	RP	RFE	RFA	RA	NFE	OM	NDF	ADF	ADL	NFC	ME	NEL
	% FM	% TM	g/kg TM											MJ / kg TM	
Maissilage	62,3	52,2	362	89	27	251	59	574	941	501	273	33	325	10,25	6,12
Biertrebersilage	11,1	6,5	251	284	94	175	53	394	947	554	267	78	14	12,51	7,59
Grassilage	8,9	5,3	260	166	32	281	110	411	890	481	316	32	211	9,86	5,85
Rapsextraktionsschrot	5,3	11,0	890	399	25	131	77	368	923	319	221	107	180	11,99	7,31
Körnermais	4,4	9,1	880	106	45	26	17	806	983	120	30	6	712	13,26	8,39
Gerste	4,4	9,1	880	124	27	57	27	765	973	216	63	12	606	12,84	8,08
Gerstenstroh	2,7	5,3	850	45	12	435	60	448	940	785	455	18	98	6,62	3,65
Mineralstoffe	0,8	1,6	900												
TMR ¹	100	100	432	141	32	202	69	554	931	430	233	38	326	10,72	6,49
TMR ²			432	139	34	218	77	532	923	461	263	42	289	10,84	6,56

¹ Rechnerisches Ergebnis der Einzelkomponenten

² Mittelwert der chemische Analyse der fertig gemischten TMR

Frischmasse (FM), Trockenmasse (TM), Rohprotein (RP), Rohfett (RFE), Rohfaser (RFA), Rohasche (RA), N-freie Extraktstoffe (NFE), Organische Masse (OM), Neutral-Detergentien-Faser (NDF), Säure-Detergentien-Faser (ADF), Lignin (ADL), Nicht-Faser-Kohlenhydrate (NFC), Umsetzbare Energie (ME), Netto Energie Laktation (NEL), Totalmischung (TMR)

Abbildung 5: Erstellung der Totalmischung



Abbildung 6: Grassilage, eine in Österreich typische Komponente in der Rinderfütterung



wurde über das Wiegesystem des fahrbaren Futtermischwagens vorgenommen. Die Futterreste wurden manuell gewogen.

Zu Beginn des Versuches am 21.9.2020 wurde von allen Einzelfuttermitteln eine Probe entnommen und im chemischen Labor der HBLFA der Trockenmassegehalt, die Weender Inhaltstoffe, die Gerüstsubstanzen und der Energiegehalt (*in vitro*-Methode ELOS) untersucht (*Tabelle 1*). Für jedes Futtermittel ist der Mischungsanteil bekannt, weshalb aus den Einzelfuttermitteln die Nährstoffkonzentration der Mischung errechnet werden kann. Bei jeder Wiederholung wurde zusätzlich aus der vorgelegten Totalmischung eine Probe gezogen und ebenso wie die Einzelfuttermittel untersucht. In den zwei letzten Zeilen der *Tabelle 1* stehen die

Tabelle 2: Inhaltstoffe und Energie von Zitronengras

Futtermittel	Weender Nährstoffe und Gerüstsubstanzen											Energie		Kondensierte Tannine
	FM	RP	RFE	RFA	RA	NFE	OM	NDF	ADF	ADL	NFC	ME	NEL	
	g/kg TM											MJ/kg TM		g/kg TM
Zitronengras	912	75	30	328	75	492	925	654	347	52	166	8,59	4,96	>60

addierten Ergebnisse der Einzelkomponenten der Ration den Mittelwerten der Mischproben gegenüber. Die Abweichungen sind gering.

Die Ration im vorliegenden Versuch weicht in der Zusammensetzung der Einzelkomponenten sehr stark von der beschriebenen Referenzration ab. Der hohe Getreideanteil der Referenzration wird von den Versuchstieren in Mexiko nur deshalb vertragen, weil gleichzeitig sehr strukturreiches Futter gefüttert wurde. Die Ration im vorliegenden Versuch hat durch den hohen Anteil an Maissilage und den Grassilageanteil bereits ein sehr ausgewogenes Nährstoffverhältnis und eine für Wiederkäuer ausreichende Struktur. Der Anteil an Kraftfutter beträgt rund 31 %. Das ermöglicht eine für den Pansen schonende Fütterung, da der pH-Wert nur geringe Schwankungen erfährt. Die Versuchsration ist energieärmer und strukturreicher als die Ration des Referenzversuches.

Das für den Versuch notwendige Zitronengras wurde von der Firma Natural Origins, Lozanne, Frankreich bezogen. Das Produkt ist schonend getrocknet, kurz gehäckselt und abgesackt. Es ist in seinem Rohfasergehalt und Futterwert mit Raufutter in einem späteren Reifestadium (siehe *Tabelle 2*) vergleichbar. Der garantierte Tanningehalt (Condensed Tannins) entspricht dem Referenzversuch von VÁZQUEZ-CARILLO et al. (2020) (60,7 g/kg TM). Als Häcksellänge wurde 1 cm angegeben, die Prüfung mehrerer Stichproben ergab tatsächlich eine Länge von 0,9 cm. Zitronengras ist eine sehr ertragreiche Kulturpflanze der tropischen und subtropischen Regionen der Welt. Zitronengras, es verträgt keinen Frost, wird dort auf ackerfähigen Flächen angebaut. Die Plantagen können bis zu 8 Jahre genutzt werden. Bei vier Ernten pro Jahr können bis zu 20 Tonnen TM/ha an qualitativ hochwertigem Zitronengras erzeugt werden. Das derzeit in kleinen Mengen nach Europa importierte Zitronengras dient der Extraktion der Wirkstoffe oder es wird als Würz- und Genussmittel verwendet. Um es wirtschaftlich in der Rindermast zu nutzen, müssen die Preise noch um den Faktor 10 sinken. Das ist bei einer organisierten Produktions- und Handelskette denkbar.

Bei konstanter *ad libitum*-Fütterung der Ration aus *Tabelle 1* wurde einzelnen Boxen zwischen 21.09.2020 und 11.12.2020 nach dem Plan in *Tabelle 3* eine Gabe von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag verabreicht. Je zwei benachbarte Boxen bildeten dabei eine Gruppe, die wechselweise einmal mit und einmal ohne Zitronengras gefüttert wurde. Es ergeben sich bei vier Messperioden zwei vollständige Wiederholungen mit einem Abstand von sechs Wochen. Weil die Messdauer, diese wird noch näher beschrieben, für eine vollständige Messung aller Tiere rund 6 Stunden beträgt und in dieser Zeit auch der natürliche Zyklus der Verdauung voranschreitet, wurde die Messreihenfolge zwischen den Wiederholungen umgedreht. Das bedeutet, dass in der 1. Wiederholung von den jüngsten zu den ältesten Tieren gemessen wurde und in der 2. Wiederholung von den

Tabelle 3: Versuchsaufbau

	Fütterung von 100 g Zitronengras pro Tier und Tag			
	1. Wiederholung		2. Wiederholung	
	Messperiode			
	1	2	3	4
Box	21.09-09.10	10.10-30.10	31.10-20.11	21.11-11.12
①	mit	ohne	mit	ohne
②	ohne	mit	ohne	mit
③	mit	ohne	mit	ohne
④	ohne	mit	ohne	mit
⑤	mit	ohne	mit	ohne
⑥	ohne	mit	ohne	mit
⑦	mit	ohne	mit	ohne
⑧	ohne	mit	ohne	mit
Reihenfolge	①→⑧	①→⑧	⑧→①	⑧→①

ältesten zu den jüngsten. Diese Maßnahme stellt sicher, dass sich ein möglicher Einfluss der Messreihenfolge der Einzeltiere im Gesamtversuch ausgleichen kann.

Messtechnik

CH₄-Messung der Atemluft

Aus rechtlichen Gründen sind in der Respirationenkammer der HBLFA Raumberg-Gumpenstein pro Einzeltier nur sehr kurze Messintervalle möglich. Ein Versuch mit Wiederholungen kann deshalb nicht durchgeführt werden. Das bedeutet, dass für die Messung der CH₄-Emissionen eine alternative Technik genutzt werden musste. Auf Basis der Erkenntnisse von SORG et al. (2017, 2018) wurde das tragbare Messgerät *Laser methane mini SA 3C32A-BE* (LMm) der Firma Tokyo Gas Engineering Solution ausgewählt. Dieses Gerät ist der Nachfolger des Messgerätes *Laser methane detector* (LMD) des gleichen Unternehmens mit dem eine Reihe von Referenzmessungen zu anderen CH₄-Messsystemen durchgeführt wurden. Die Messungen unter Laborbedingungen haben hohe Korrelationen zu geschlossenen Systemen (Respirationenkammer) ergeben.

Die Messung mit dem LMm beruht auf der Anregung von CH₄-Molekülen durch einen hochenergetischen, grünen Laser der Klasse 3R und dessen Rückstrahlung (Albedo) von Oberflächen. Die Chance auf CH₄-Moleküle zu treffen hängt mit der Lauflänge des Impulses zusammen, weshalb die Messeinheit „ppm m“ lautet. Ein ppm (part per million) entspricht einem Gramm pro Tonne. Der Zusatz m drückt die Lauflänge des Signales aus. Der LMm liefert im aktiven Einsatz zwei Messwerte pro Sekunde. Diese hohe Dichte an Messungen führt dazu, dass beim gewählten Messzeitraum von 5 Minuten pro Tier am Ende ein ganzes Spektrum an Messwerten vorliegt. Dieses Spektrum gibt Auskunft über die CH₄-Konzentration in der Atemluft. Die absolute Fracht kann nicht bestimmt werden, allerdings steht der Konzentrationswert in der Atemluft bei gleichem Messzeitpunkt in hoher Korrelation zur Fracht.

Im praktischen Einsatz zeigt sich, dass die wahre Herausforderung einer Feldmessung nicht die Messtechnik zur Bestimmung der CH_4 -Konzentration in der Mess-Atmosphäre ist, sondern deren Konstanz. Im Vorfeld des Versuches wurden über mehrere Wochen Testmessungen an Einzeltieren unter sich laufend verändernden Umgebungsbedingungen durchgeführt. Diese Aktivitäten zeigen, dass der gemessene Wert als absolute Größe weit über die Varianz der Effekte hinaus schwankt. Die Unterschiede zwischen den immer gleichen Tieren blieben aber weitgehend erhalten. Die mobile Messung mit dem LMm sollte deshalb nicht zur Bestimmung von absoluten Methanemissionen herangezogen werden. Messungen die „*ceteris paribus*“ gemacht werden, dürfen aber die Messdifferenz zwischen den untersuchten Gruppen analysieren. Folgende Maßnahmen begünstigen den Erfolg der Messung einer Versuchsgruppe mit dem LMm:

- Geringe Grundbelastung der Mess-Atmosphäre: Muss ein Stall aus wetterbedingten Gründen (Kälteeinbruch, Starkwind, ...) geschlossen werden, steigt die Konzentration aller gasförmigen Emissionen im Stall rasch an. Diese angereicherte Mess-Atmosphäre verändert das Messspektrum insofern, als dass absolut betrachtet höhere Werte gemessen werden und sich die Bedeutung der Messbereiche am Rande des Spektrums abschwächt. Sie messen hier im Verhältnis zur Mitte des Spektrums geringere Minima bzw. Maxima. Eine hohe Grundbelastung dämpft die Breite des Spektrums, weshalb zur Messung möglichst Zeitpunkte gewählt werden sollen, die eine gute Grundbelüftung des Stalles unter windstillen Verhältnissen ermöglicht. Schöne Frühlings- und Herbsttage bieten dafür gute Grundvoraussetzungen.
- Windstille Messverhältnisse: CH_4 hat etwa die halbe Dichte der Umgebungsluft und wird deshalb immer relativ rasch nach oben entweichen. Diese Eigenschaft wird durch zusätzliche Luftbewegungen weiter negativ beeinflusst. Solche Bewegungen können auch dazu führen, dass sich die CH_4 -Glocke, die sich im Bereich der Rinderköpfe bildet, rasch mit der Umgebungsluft verwirbelt. Für die Messung sollten deshalb alle Tiere im näheren Bereich der Gruppe fixiert werden und keine anderen Bewegungen im Messbereich stattfinden. Idealerweise wird eine bestehende Zwangsbelüftung abgeschaltet, ein störender Fremdluftzutritt von außen verhindert und der gesamte Messzyklus bei möglicher Ruhe im Messsystem abgehalten. Der Messtechniker soll alleine im Stall sein und sich nur langsam bewegen. Jeder Gruppe muss die Chance zum Aufbau einer CH_4 -Glocke gegeben werden, was vor der Messung eine Mindestwartezeit von 5 Minuten mit sich bringt.
- Kompakte, fixierte Gruppe: Auch wenn wir Einzeltiere messen, kann uns am Ende doch nur die Wirkung der gesamten Gruppe interessieren. Einzeltiere unterscheiden sich selbstverständlich in ihren individuellen Emissionen, aber diese sind mit dem LMm nicht scharf zu messen, weil sich nebenstehende Tiere in der CH_4 -Glocke gegenseitig beeinflussen. Wichtig ist deshalb, Tiere entweder wirklich einzeln oder wie in diesem Fall in kompakten Gruppen zu messen. Am Versuchsbetrieb können alle Tiere einer Gruppe am Fressplatz mit geringem Abstand fixiert werden. Alle Tiere bilden so eine Summenwirkung. Diese Aussage konnte im Versuch auch statistisch abgesichert werden.

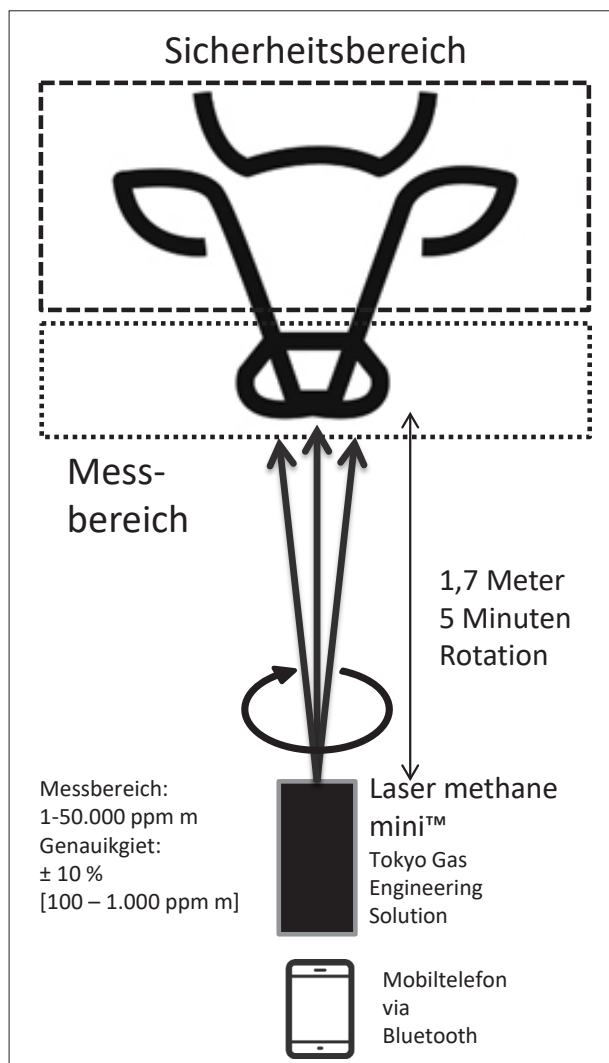
Abbildung 7: Aussehen und Beschreibung des LMm



Gas	Methan (CH ₄) und Methangasgemische (Erdgas oder ähnliche)
Messbereich	1 bis 50.000 ppm m
Genauigkeit	± 10 % im Messbereich
	zwischen 100 und 1.000 ppm m
Messgeschwindigkeit	0,1 Sekunden
Messdistanz	0,5 bis 30 Meter
Umgebungsbedingungen	-17 bis +50° Celsius
Laser	Class 3R

Firmenkontakt: Pergam-Suisse AG, Birmensdorferstr. 125, 8003 Zürich, Schweiz
 email: info@pergam-suisse.ch | www.pergam-suisse.ch

Abbildung 8: Messanordnung



Ablauf der Messung

Für die Messung sitzt der Techniker dem Rind mit einem Abstand von 1,7 Metern so gegenüber, dass sich das Flotzmaul des Rindes auf gleicher Höhe wie der LMm befindet und der Winkel zwischen dem Maul und dem Laserstrahl einen Wert von 90° einnimmt. Der Techniker benötigt eine für die lange Messdauer von 5 Minuten geeignete Sitzgelegenheit in der er das Messgerät mit seinen Händen, gleichsam einer kardanischen Aufhängung, vor sich hält und in langsam rotierender Bewegung ständig dem Maul des Tieres folgt. Es ist von höchster Bedeutung, dass sich der Techniker der Wirkung des Lasers der Klasse 3R bewusst ist! Die Laserstrahlung liegt in einem für das Auge potenziell gefährlichen Wellenlängenbereich, weshalb der Kopf des Tieres ganz bewusst in einen Mess- und in einen Sicherheitsbereich zu trennen ist. Eine feste Montage des Gerätes könnte dazu führen, dass das Licht, wenn auch nur kurzzeitig, in das Auge des Tieres eintritt. Die manuelle Bedienung ist die sicherste Methode zur Erreichung des maximalen Schutzes des Tieres.

Wenn der Messtechniker mit der notwendigen Ruhe zu Werke geht, zeigen die Mastrinder wenig Scheu vor der für sie ungewohnten Situation. Sie sehen zwar die Lichtquelle des grünen Lasers am Gerät, können aber den Messpunkt am Flotzmaul selber nicht sehen. Hier ist die Augenordnung eines Wiederkäuers hilfreich. Da die Augen auf der Seite des Schädels liegen, ist die Schärfe des Blickes nach vorne nicht besonders hoch.

Aufbereitung der CH_4 -Messungen

Bei jeder Messung liefert der LMm rund 600 Einzelwerte (5 Minuten x 60 Sekunden x 2 Werte pro Sekunde), die einen breiten Messbereich abdecken. Die Gründe für die Variabilität sind der natürliche Atemzyklus der Tiere, die Emissionsdynamik des Pansens, die Mess-Atmosphäre, die Messung und die Versuchsfrage. *Abbildung 9* zeigt die rechtsschiefe Verteilung der über 100.000 Einzelmessungen. Die Schiefe und Wölbung weichen weit von der Normalverteilung ab, weshalb

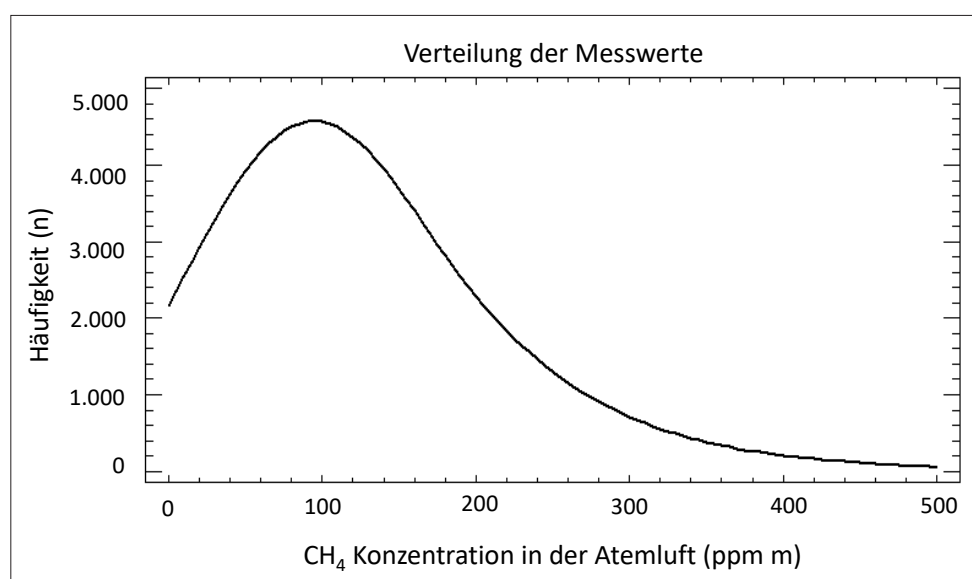


Abbildung 9: Verteilung aller Einzelmessungen

für den Gruppenvergleich des Gesamtdatensatzes eine Winkeltransformation vorgenommen werden muss. Um die lokale Wirkung der Versuchsfrage innerhalb der Variabilität der Messung zu untersuchen, wurde der Datensatz jedes Tieres in maßgebliche Größen einer deskriptiven Statistik umgewandelt. Letztlich können folgende Bereiche des Messsignals untersucht werden:

- 4 Quartile zur Prüfung der Beziehung entlang der aufsteigenden Werte.
- 2 Randbereiche mit einer Breite von 5 % zur Prüfung von Minima und Maxima.
- Ein Mittelwert zur Bewertung der Gesamtbeziehung.

Dynamische Messungen im Pansen

Die Besiedelung des Pansens mit Bakterien und Protozoen ist ein natürlicher Prozess der eng mit dem Futterangebot verbunden ist. Grundsätzlich sind von den verschiedenen Arten, die auf unterschiedliche Futtermittelkomponenten spezialisiert sind, immer alle notwendigen Arten vorhanden. Deren Häufigkeit korreliert in hohem Grad mit dem Arbeitsauftrag, den sie durch die Fütterung

Abbildung 10: Messboli der Firma smaXtec



smaXtec Classic Bolus SX.2

Sensoren:

- Temperatursensor
- kinematischer Beschleunigungssensor
- Funksensor zur Datenübermittlung

Messprofil:

- Gesamtmessdauer: bis zu 4 Jahre
- Zeitliche Auflösung: 10 Minuten
- Interner Messwertspeicher: 6 Tage
- Relative Messgenauigkeit der Temperaturmessung: $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$

Ableitbare Managementinformationen für Milchkühe:

- Früherkennung von Erkrankungen
- Brunsterkennung
- Abkalbealarm
- Überwachung der Fütterung (Messung der Wiederkauaktivität, Kontrolle der Wasseraufnahme)
- Alarm bei Hitzestress

Firmenkontakt: smaXtec | Belgiergasse 3 | 8020 Graz, Österreich
info@smaXtec.com | <https://smaxtec.com>

smaXtec pH Plus Bolus

Ähnlich wie smaXtec Classic Bolus SX.2 aber mit folgenden Ergänzungen:

+ Sensoren:

- pH-Sensor

Messprofil:

- Gesamtmessdauer des pH-Sensors: 150 Tage
- Interner Messwertspeicher: 50 Tage
- Genauigkeit der pH-Messung: bis zum 90. Messtag $\pm 0,02$ danach $0,04$

Zusätzliche Managementinformationen für Milchkühe:

- Bewertung der Fütterung mit dem Blick auf mögliche subakute Pansenazidosen (SARA)

erhalten. Greifen wir mit Futterzusätzen in dieses natürliche Gefüge ein, muss uns bewusst sein, dass wir damit auch die natürlichen Prozesse stören können. Der mögliche Einfluss der Zugabe von Zitronengras auf die Bedingungen im Pansen wird im Feldversuch durch den Einsatz von Messboli der Firma smaXtec untersucht. Diese Boli werden über das Maul mit einem Führungswerkzeug direkt in den Schlund eingegeben. Von dort rutschen die Boli in den Pansen, wo sie ob ihres Gewichtes im Netzmagen liegenbleiben. Die Messboli, wie in *Abbildung 10* beschrieben, wurden in der Untersuchung eingesetzt.

Die Daten der smaXtec-Boli werden laufend über eine Funkverbindung an den Datendienst des Unternehmens übermittelt und können von dort in aufbereiteter Form über ein Dashboard ausgelesen werden. Dieser Zugriff auf die eigenen Daten ist ein echtes Service für wissenschaftliche Experimente, weil mögliche Wirkungen in Echtzeit geprüft werden können und die Ernte der Daten sehr einfach ist. Im Versuch wurden 16 Messboli verwendet. Ein Tier jeder Box wurde mit dem Sensor „Classic SX.2“, ein anderes mit dem Sensor „pH Plus“ bestückt. Die Auswahl der Tiere erfolgte zufällig. Die Eingabe der Boli wurde etwas verspätet in der laufenden ersten Messperiode vorgenommen, weil für diese Untersuchung eine neue Generation der Technologie eingesetzt wurde. Wissenschaftlern auf der ganzen Welt kann diese Technologie für das Versuchswesen mit Wiederkäuern empfohlen werden. Es ist unkompliziert, günstig und liefert eine große Dichte an Messwerten für eigene statistische Bewertungen.

In vitro-Tastversuch der Gasbildung

Parallel zum Feldversuch wurde eine kleine Menge an Zitronengras fein gemahlen und mit der *in vitro*-Methode des Hohenheimer Futterwerttests (HFT) auf seine Gasbildung untersucht (*Abbildung 11*). Die Untersuchung wurde in einem Durchgang angesetzt, der aus 54 Messkolben bestand. Kolben 1 bis 6 bildeten dabei



Abbildung 11: Hohenheimer Futterwerttest

die unbeeinflusste Referenzgasbildung des Pansensaftes ab. In den restlichen Proben wurde ein gleitender Übergang zwischen dem Heustandard des HFTs und dem Zitronengras untersucht. Folgende Austauschstufen wurden untersucht: 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 100 %.

Statistische Auswertung

Für die Bewertung der Beziehung zwischen den Klassen und den abhängigen Parametern wurde das Programm Statgraphics Centurion XV verwendet. Für den Gruppenvergleich wurde ein Allgemeines Lineares Modell (GLM), Typ III verwendet, welches in mehreren Konfigurationen zur Anwendung gelangte. Innerhalb des GLMs wurde eine Varianzanalyse, eine Residuen-Analyse sowie ein Mehrfach-Mittelwertvergleich (LSD) verwendet. Die Prüfung auf Normalverteilung der CH₄-Werte zeigte eine rechtsschiefe Datenlage, die durch eine Winkeltransformation behoben wurde. Die smaXtec-Daten waren normalverteilt.

Bewertung der CH₄-Konzentration in der Atemluft mit dem LMM

$$Y_{ij} = \mu + Z_i + MP_j + Z_i \times MP_j + \varepsilon_{ij}$$

wobei

y_{ij} = Beobachtungswert der abhängigen Variable → Minima, Maxima, Mittel, 1. Quartil, 2. Quartil, 3. Quartil, 4. Quartil

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

Z_i = fixer Effekt der Fütterung (mit/ohne Zitronengras)

MP_j = fixer Effekt der Messperiode (1 bis 4)

$Z_i \times MP_j$ = Wechselwirkung aus Fütterung und Messperiode

ε_{ij} = Nicht erklärter Rest der Streuung

Bewertung der Daten aus den smaXtec Boli

$$Y_{ijk} = \mu + Z_i + MP_j + S_k + Z_i \times S_k + \varepsilon_{ijk}$$

wobei

y_{ijk} = Beobachtungswert der abhängigen Variable → pH-Wert im Pansen, Temperatur im Pansen ohne Tränkephase

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

Z_i = fixer Effekt der Fütterung (mit/ohne Zitronengras)

MP_j = fixer Effekt der Messperiode (1 bis 4)

S_k = fixer Effekt der Stunde (1 bis 24)

$Z_i \times S_k$ = Wechselwirkung aus Fütterung und Stunde

ε_{ijk} = Nicht erklärter Rest der Streuung

Ergebnisse

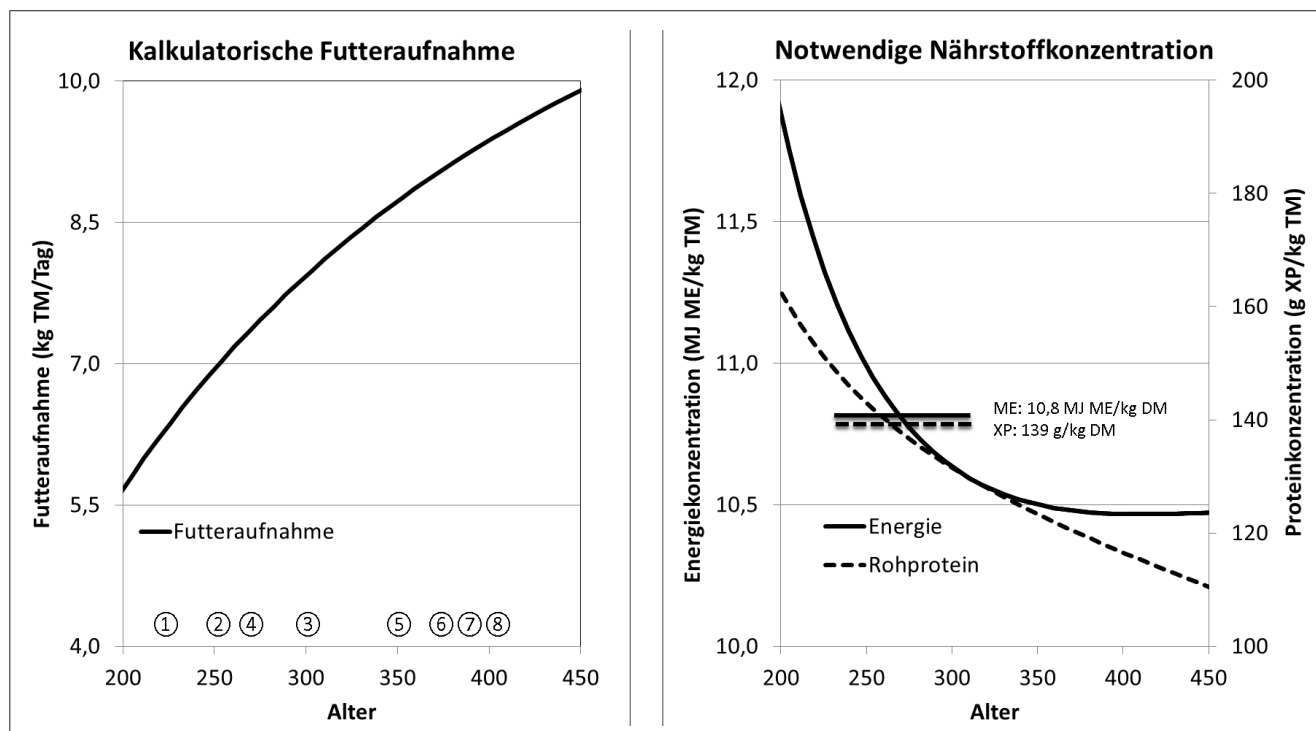
Ration und Nährstoffversorgung der Mastrinder

Futteraufnahme, Energie- und Proteinkonzentration

Abbildung 12 zeigt die polynomialen Verläufe der kalkulatorischen Futteraufnahme in Abhängigkeit zum Lebensalter bei einem Mastverlauf mit einer mittleren Tageszunahme von 1.350 Gramm. Die linke Abbildung enthält zusätzlich einen Hinweis auf das Lebensalter der einzelnen Gruppen zu Versuchsbeginn. Gemeinsam spannen diese einen Zeitraum von 158 Tagen auf. Die jüngste Gruppe hatte zu Versuchsbeginn ein kalkulatorisches Gewicht von rund 293 kg Lebendgewicht, die älteste Gruppe zu Versuchsende von 607 kg. Damit deckte der Feldversuch die zweite Masthälfte in der in Österreich üblichen Stiermast gut ab. Die Futteraufnahme stieg in diesem Zeitraum konstant an und wir können davon ausgehen, dass die jüngste Gruppe zu Versuchsbeginn im Mittel geschätzte 5,5 - 6,0 kg Trockenmasse und die älteste Gruppe zu Versuchsende geschätzte 8,5 - 9,0 kg Trockenmasse aufgenommen hat. Diese Abschätzung ist zwar nicht grundsätzlich notwendig, um die Messergebnisse der Sensoren zu interpretieren, allerdings wird klar, dass mit zunehmendem Lebendgewicht die konstante Menge von 100 g Zitronengras einen immer kleiner werdenden Anteil in der Ration ausmachte.

Die für ein gutes Wachstum optimale Nährstoffkonzentration an Energie und Protein wird im rechten Teil der *Abbildung 12* dargestellt. Zwischen dem 250. und 400. Lebenstag nimmt der Anspruch an die Nährstoffkonzentration im Futter ab. Rinder über 300 kg Lebendgewicht haben schon eine so große Futteraufnahmekapazität, dass die Summe des Nährstoffbedarfes zunehmend immer weniger von

Abbildung 12: Futteraufnahme und notwendige Nährstoffkonzentration in der Mastrinderfütterung



der Konzentration abhängt. Die in *Tabelle 1* ermittelte Energiekonzentration von 10,8 MJ ME/kg TM bzw. die Proteinkonzentration von 139 g/kg TM liegen wegen der einphasigen Fütterung als Konstante im dynamischen Verlauf und decken den Nährstoffanspruch ab dem 250. Lebenstag ab. Die untersuchten Mastrinder sind also in ihrer freien Nährstoffversorgung nicht limitiert.

Rechnerischer Anteil von Zitronengras in der Ration

Eine konstante Menge von 100 g Zitronengras verdünnt sich, wie in *Tabelle 4* dargestellt, im Verlauf der Untersuchung wegen der immer weiter steigenden Futteraufnahme der einzelnen Gruppen. Bedeuten 100 g Zitronengras zu Versuchsbeginn in der jüngsten Gruppe einen Anteil von 1,70 % in der Ration so sinkt dieser Wert bis zur letzten Messperiode auf einen Anteil von 1,14 %. Die eingesetzte Menge liegt im Vergleich zur Arbeit von VÁZQUEZ-CARILLO (2020) zwischen dem Versuch 1 und der Gruppe 2 % in Versuch 2.

Tabelle 4: Rechnerischer Anteil an Zitronengras in der Gesamtration

	Rechnerischer Anteil des Zitronengrases (%) ¹ in der Gesamtration			
	Messperiode			
	1	2	3	4
Box	21.09-09.10	10.10-30.10	31.10-20.11	21.11-11.12
①	1,70	-	1,50	-
②	-	1,47	-	1,35
③	1,39		1,29	
④	-	1,43	-	1,31
⑤	1,30	-	1,22	-
⑥	-	1,21	-	1,16
⑦	1,24	-	1,18	-
⑧	-	1,19	-	1,14

¹ bei einer konstanten Gabe von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag

CH₄-Konzentration in der Atemluft

Die Anwendung des beschriebenen statistischen Modells mit den zwei Klassen Fütterung und Messperiode führt zu den Ergebnissen in *Tabelle 5*.

Folgende Interpretation können zu den zwei Klassen vorgenommen werden:

- Fütterung von Zitronengras: Entlang der aufsteigenden Parameter der deskriptiven Beschreibung spannen Minima und Maxima der Gruppe mit Zitronengras einen Bereich zwischen 56,2 und 299,8 ppm m auf. In der Gruppe ohne Zitronengras wird mit dem Bereich von 69,1 bis 322,5 ppm m bei allen Parametern ein höheres Niveau erreicht. Die absolute Differenz zwischen den beiden Fütterungsgruppen nimmt entlang des Spektrums langsam von 13,0 auf 22,7 ppm m zu, wobei die Fütterung von Zitronengras immer zu geringeren Werten führt. Die beiden Gruppen unterscheiden sich über 95 % des Messprofils hoch signifikant. Nur die Maxima lassen sich in ihrem Unterschied nicht

Tabelle 5: Ergebnisse der statistischen Analyse

Parameter		Zitronengras (Zi)		Messperiode (MPj)				MAE	p-value			R ²
		mit	ohne	1	2	3	4		Z _i	MP _j	Z _i x MP _j	
Methan Konzentration in der Atemluft (CH ₄)												
Minima	ppm m	56,2	69,1	42,3	92,0	36,6	79,6	21,9	0,005	0,000	0,503	43,7
1. Quartil	ppm m	72,0	88,6	58,1	116,5	49,7	96,9	25,6	0,003	0,000	0,511	43,3
2. Quartil	ppm m	89,4	109,0	76,1	143,9	62,8	114,1	29,1	0,002	0,000	0,575	43,7
3. Quartil	ppm m	113,0	135,6	99,5	180,1	80,1	137,5	33,3	0,003	0,000	0,678	44,3
4. Quartil	ppm m	162,2	185,8	146,6	245,8	115,5	188,0	42,1	0,013	0,000	0,831	43,7
Maxima	ppm m	299,8	322,5	276,5	400,3	223,4	344,6	6,9	0,116	0,000	0,653	37,0
Mittelwert	ppm m	109,1	129,7	95,1	171,6	77,0	134,1	32,0	0,004	0,000	0,691	44,2

mehr statistisch absichern. Im Mittel führte die Zugabe von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag zu einer hoch signifikanten Reduktion der CH₄-Emissionen in der Atemluft um 14,6 % (Abbildung 13).

- Einfluss der Messperiode: Die bei der Beschreibung der Messperiode geforderten Messbedingungen konnten im Feldversuch nicht konstant eingehalten werden. Eine Schlechtwetterperiode mit kräftigem Nordwind in der letzten Oktoberwoche und die abgesunkenen Tagestemperaturen im Dezember führten dazu, dass die Roll-Curtains nicht immer gleich weit geöffnet waren und sich deshalb die Gesamtkonzentration im Maststall zwischen den Messperioden unterschieden hat. Besonders die Situation in der 2. Messperiode führte dazu, dass sich diese insgesamt hoch signifikant unterschieden. Dieser Unterschied pflanzt sich auch auf die im Versuchsdesign beschriebene Wiederholung fort. Die Schwankung, die sich durch die verschiedenen Messperioden ergibt, beträgt ein Vielfaches des Einflusses der Fütterungsfrage. Diese Erkenntnis bestätigt, dass es unbedingt notwendig ist, alle Messungen innerhalb einer Messsitzung in möglichst minimaler Zeit durchzuführen.

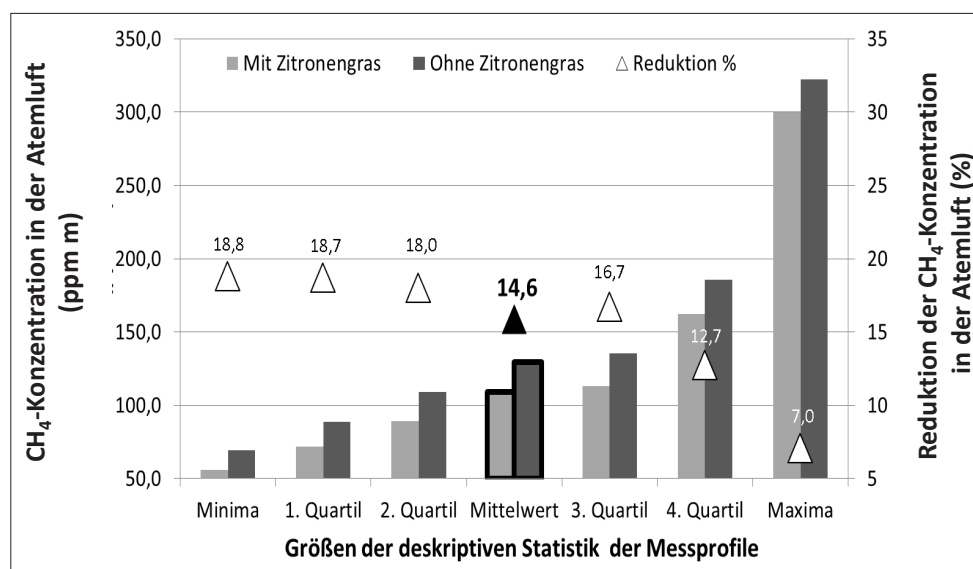
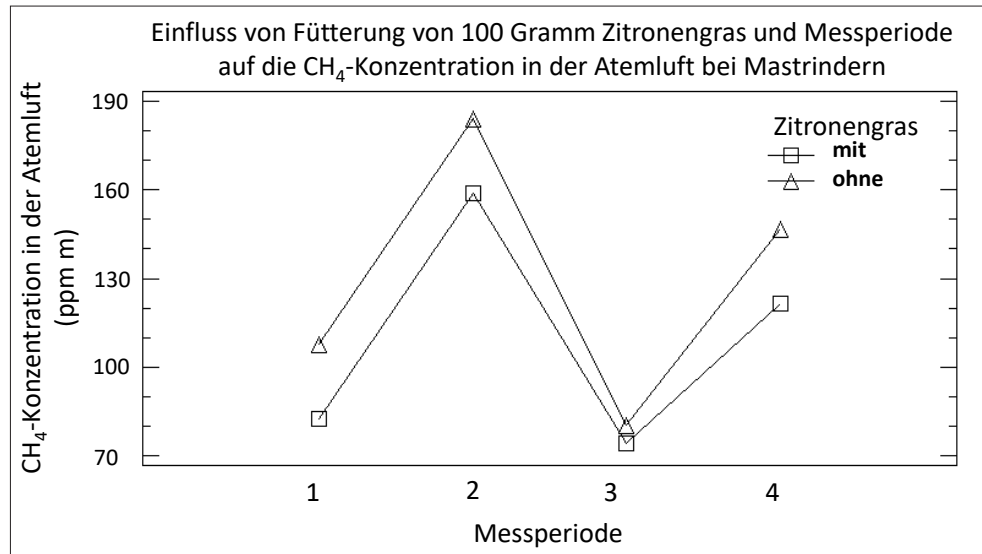


Abbildung 13: Ergebnisse der Fütterung von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag

Abbildung 14: Wechselwirkung der Versuchsfraage mit dem Einfluss der Messperiode



- Wechselwirkung zwischen den Fütterungsgruppen und der Messperiode: Die Wechselwirkung der beiden Klassen ist nicht signifikant. Das bedeutet, dass sich die Ergebnisse der Fütterungsgruppe innerhalb der Messperioden zwar in der Höhe verschieben, aber in sich immer annähernd gleich bleiben. Annähernd deshalb, weil, wie in *Abbildung 14* zu sehen ist, der Abstand zwischen den Fütterungsgruppen nicht bei jeder Messperiode gleich groß ist. Der geringste Abstand von 7,8 % wurde in der Messperiode 3 erzielt. In der Messperiode 1 wurde der maximale Abstand von 23,4 % erzielt.

Messungen mit den smaXtec-Sensoren

Die Anwendung des beschriebenen statistischen Modells mit den drei Klassen *Fütterung*, *Messperiode* und *Stunde* führt zu den Ergebnissen in *Tabelle 6*.

Folgende Interpretation können vorgenommen werden:

- Fütterung von Zitronengras bzw. Messperiode: Die Zugabe von 100 Gramm Zitronengras führte bei den meisten Parametern zu keinem Unterschied im Vergleich zur Gruppe ohne Zugabe. Die einzelnen Messperioden, Periode 1 wurde wegen der fehlenden, zeitlichen Vollständigkeit nicht verwendet,

Tabelle 6: Ergebnisse der statistischen Analyse

Parameter	Zitronengras (Z_j)		Messperiode (MP_j)				Stunde (S_k)	MAE	p-value				R^2	
	mit	ohne	1	2	3	4			Z_j	MP_j	S_k	$Z_{jj} \times S_k$		
Analysen im Pansen (maXtec-Sensor)														
pH		6,47	6,46	-	6,45	6,47	6,49	Abbildung 15	0,028	0,124	0,000	0,000	1,000	86,4
Temperatur	°C	38,93	38,91	-	38,90	38,96	38,90	Abbildung 16	0,047	0,247	0,000	0,000	0,006	80,1
Saufen	n	10,8	9,9	-	-	-	-	Abbildung 18	2,39	0,225	-	0,000	0,760	74,9
Aktivität	[0,100]	7,7	7,1	-	7,7	8,0	7,5	Abbildung 17	0,76	0,002	0,009	0,000	1,000	78,7

zeigen zwar einen signifikanten Unterschied, allerdings ist dieser marginal. Der hohe Erklärungsgrad der Modelle, das Bestimmtheitsmaß R^2 liegt immer über 70 %, ist wohl auf die Wirkung der zeitlichen Dynamik in der Fütterung bzw. Verdauung zurückzuführen.

- Zeitliche Dynamik der Messwerte im Tagesverlauf (Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17 und Abbildung 18): Die täglichen Schwankungen im pH-Wert im Pansen sind Ausdruck der Fress- und Verdauungsdynamik von Wiederkäuern. In der Zeit von Mitternacht bis etwa 6:00 am Morgen ruhen die Versuchstiere, sie fressen in dieser Zeit nicht, nehmen auch kaum Wasser auf und haben einen geringen Aktivitätswert. Darum bleibt die Temperatur im Pansen in diesem Zeitraum konstant, der pH-Wert steigt allerdings langsam an, weil der zugeführte Speichel, dieser ist basisch, die Säuren puffert. Die gebildeten Säuren, diese sind ein bedeutender Teil des Energiestoffwechsels von Rindern,

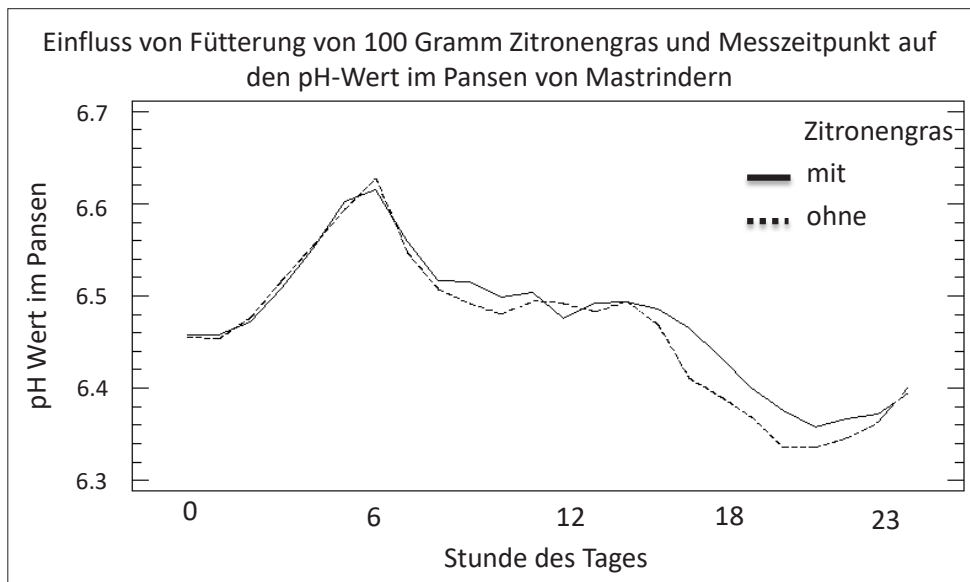


Abbildung 15: pH-Wert im Pansen der Versuchstiere

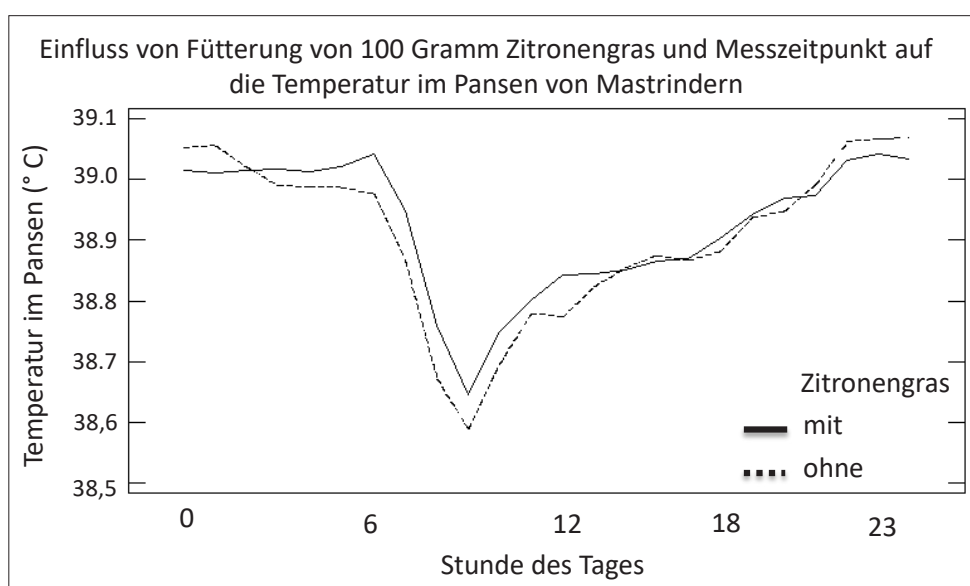


Abbildung 16: Temperatur im Pansen ohne Tränke

werden außerdem resorbiert. Am Morgen und in den Abendstunden ergeben sich, angetrieben durch die Fresszyklen und die Futtervorlage, beim Parameter Aktivität und Wasseraufnahme zwei Peaks. Diese können indirekt auch beim pH-Wert im Pansen beobachtet werden. Dieser fällt mit dem ersten Peak nach 6:00 um rund pH 0,12 ab, bildet dann über den Tag ein Plateau, um nach der zweiten Aktivitätsphase noch einmal um pH 0,12 abzufallen. Die Temperatur im Pansen folgt nicht dem Fütterungszyklus, sondern der Körpertemperatur der Rinder. Die in den Abbildungen dargestellten Verläufe zeigen, dass die Unterschiede der Fütterungsgruppen tatsächlich manchmal nur marginal waren. Die Abbildung zeigt die beschriebene Dynamik stark vergrößert, da die Bereiche der y-Achsen sehr scharf aufgelöst sind.

Abbildung 17: Aktivität der Versuchstiere [0,100]

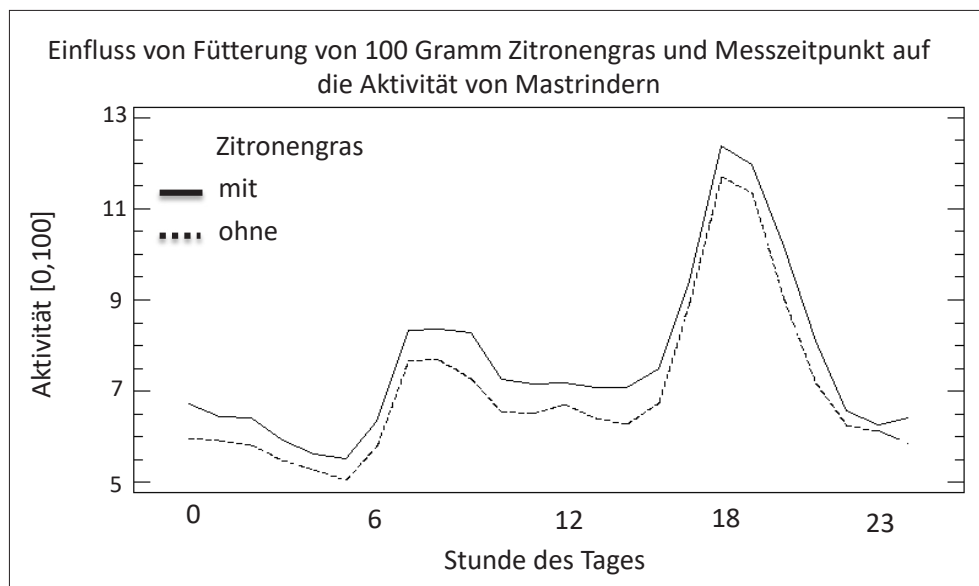
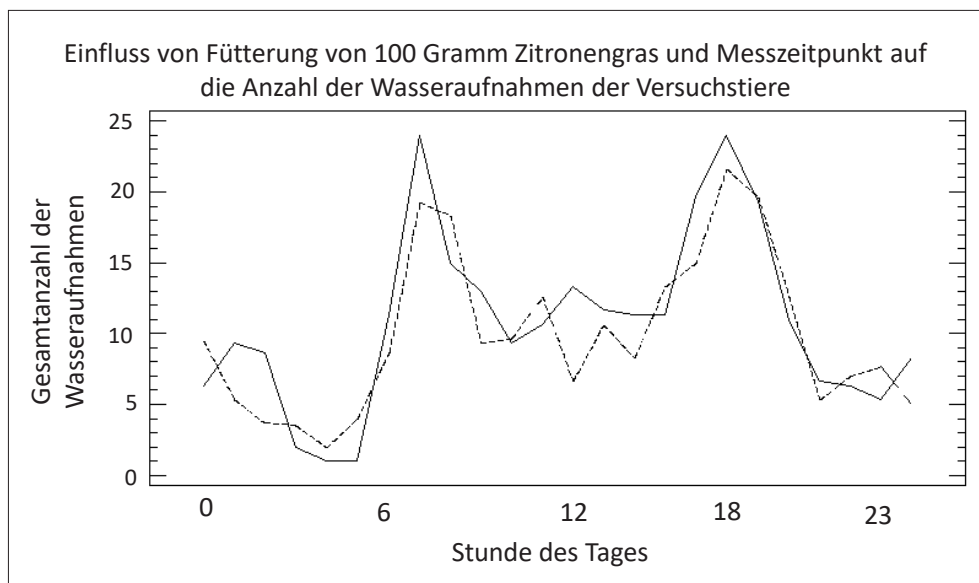


Abbildung 18: Gesamtanzahl der Wasseraufnahmen



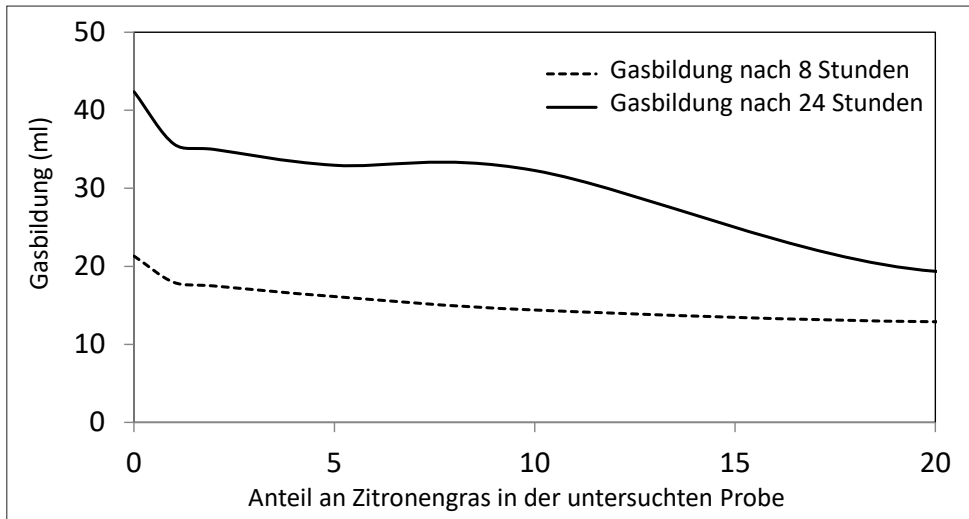


Abbildung 19: Einfluss des Anteils an Zitronengras auf die *in vitro*-Gasbildung

In vitro-Tastversuch

Der *in vitro* Tastversuch zeigt, dass die Gasbildung, ausgehend von der Gasbildung des Heustandards ($GB_8 = 21,4$ ml, $GB_{24} = 42,4$ ml) bei der Zugabe von 1 % Zitronengras deutlich absank ($GB_8 = 17,9$ ml, $GB_{24} = 35,7$). Der Rückgang betrug 15,8 %. Danach sank die Gasbildung weiter ab, wobei sich die Dynamik der beiden Messzeitpunkte unterscheidet. Die Messung nach 8 Stunden flacht immer weiter ab. Die 24 Stunden Messung bildet zuerst ein Plateau und fällt dann stärker ab. In *Abbildung 19* ist diese Entwicklung deutlich zu sehen. Wurde bei der Untersuchung reines Zitronengras verwendet, so ergab GB_8 einen Wert von 4,9 ml und GB_{24} einen Wert von 16,7 ml. Der daraus abgeleitete Energiegehalt lag bei 4,9 MJ ME/kg TM. Das ist dramatisch weniger als die Energiebestimmung mit der ELOS-Methode die einen Energiegehalt von 8,59 MJ ME/kg TM ergab (*Tabelle 2*). Dieses Ergebnis, wenn auch nur als Tastversuch ausgeführt, bestätigt die Aussagen zur Wirkung größerer Mengen an Tannin auf die Mikroben im Pansen des Wiederkäuers.

Zusammenfassung und Diskussion

Methan (CH_4) wirkt als Treibhausgas (THG). Einer der Emissionspfade führt dabei tief in das Innere von Wiederkäuern, die für die Verdauung von strukturreichem Futter eine Symbiose mit Bakterien und Protozoen eingegangen sind. Diese Beziehung ermöglicht Rindern die Produktion von Milch und den Ansatz von Lebendmasse aus schwer verdaulichen, komplexen Kohlenhydraten wie sie von Grünlandflächen oder aus dem Silomaisanbau zur Verfügung stehen. CH_4 entweicht hier als Nebenprodukt der Aufspaltung dieser Kohlenhydrate.

Im Rahmen ihrer Klimaschutz-Gesetzgebung fordert die internationale Staatengemeinschaft einen Rückgang der Gesamtemissionen an THG und verlangt dabei auch von der Landwirtschaft ihren Beitrag. Dieser kann, in Bezug auf die Reduktion von CH_4 -Emissionen von Wiederkäuern nur über zwei Pfade erbracht werden. Der erste, organisatorische und bei weitem mächtigere Pfad ist die Reduktion des Tierbestandes auf ein verträgliches Niveau. Der zweite, technologische Pfad besteht in der Beeinflussung der enterogenen Fermentation im

Pansen der Wiederkäuer. Derzeit sind eine Reihe natürlicher und chemischer Substanzen bekannt, die einen dämpfenden Effekt haben können. Einer dieser Stoffe ist Tannin, der im Zitronengras mit einem Anteil von 6 % vorkommt.

In Anlehnung an eine Studie der Freien Universität des Staates Mexiko (VÁZQUEZ-CARILLO et al. 2020) empfiehlt das global agierende Unternehmen Burger King derzeit in der Rindermast eine Zugabe von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag und proklamiert als Ergebnis eine Reduktion der CH_4 -Fracht zwischen 15,3 und 26,3 %. Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein (8952 Irdning-Donnersbachtal) hat in Kooperation mit der Firma Marcher Fleischwerke (9524 Villach) und dem praktischen Landwirt Christian Schrammel (2625 Schwarza am Steinfeld) einen Feldversuch durchgeführt, der diese Empfehlung unter österreichischen Bedingungen nachprüfen soll. Für den Feldversuch wurden 47 Masttiere im Gewichtsbereich zwischen 300 und 600 kg in 8 Boxen zu je 6(5) Tieren ausgewählt. Diese Tiere wurden in vier Messperioden zu je drei Wochen bei gleichbleibender Ration abwechselnd mit bzw. ohne Zugabe von Zitronengras gefüttert. Am Ende jeder Messperiode wurde bei jedem Tier mit dem Gerät Laser Methan mini (LMm) der Firma Tokyo Gas Engineering Solution eine Messung des CH_4 -Gehaltes in der Atemluft vorgenommen. Die absoluten Ergebnisse dieser Messungen hängen stark von den Umgebungsbedingungen im Stall und der verwendeten Technik ab. Dieser Beitrag beschreibt deshalb auch den Messvorgang sehr genau. Je zwei Tieren pro Gruppe wurde zusätzlich ein Messboli der Firma smaXtec über das Maul in den Pansen eingegeben. Diese Messsensoren geben laufend Auskunft über den pH-Wert und die Temperatur im Pansen. Zusätzliche kinematische Messungen können zur Aktivitätskontrolle herangezogen werden. Alle Futtermittel wurden chemisch analysiert, für das Zitronengras wurde noch eine eigene dynamische Messreihe mit dem Hohenheimer Futterwerttest durchgeführt. Bei diesem Test wurde die Gasbildung bei unterschiedlichem Anteil von Zitronengras in der Probe geprüft. Alle geplanten Messdaten wurden im Zeitraum zwischen September und Dezember 2020 erfolgreich gesammelt und statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse jeder Einzelmessung von CH_4 mit dem LMm, diese zeigen die CH_4 -Konzentration in der Atemluft, wurden nicht nur als Mittelwert, sondern an den 5 % breiten Rändern und den vier Quartilen geprüft. Es zeigte sich, dass die Gabe von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag über das gesamte Spektrum eine reduzierende Wirkung auf die CH_4 -Konzentration in der Atemluft hatte. Der Effekt lag bei den Quartilen im Bereich zwischen 18,7 % im ersten Quartil und 12,7 % im vierten Quartil. Im Mittel aller Messungen reduzierte die Zugabe von 100 Gramm Zitronengras die CH_4 -Konzentration in der Atemluft um 14,6 %. Das Ergebnis kann aber bei einzelnen Messungen deutlich von diesem Wert abweichen. Die höchste Reduktion wurde mit 23,4 % bei der ersten Messung und die geringste mit 7,8 % bei der dritten Messung erzielt. Die *in vitro* Untersuchung ergab bei einer Zugabe von 1 % Zitronengras ebenfalls eine Reduktion der Gasbildung um 15,8 %.

Sowohl die Reduktion der CH_4 -Konzentration in der Atemluft der Tiere ($\bar{\text{O}}$ 14,6 %, 7,8 % - 23,4 %) als auch der Rückgang der Gasbildung im *in vitro* Versuch (15,8 %) liegen im Referenzbereich (16,4 % - 26,0 %) der Reduktion von CH_4 -Frach-

ten bei VÁZQUEZ-CARILLO et al. (2020). Wie in früheren Untersuchungen mit tanninhaltigen Futterzusätzen (z.B. STAERFL et al. 2012, BEAUCHEMIN et al. 2020 und NIDERKORN et al. 2020) wurde also auch beim Einsatz von Zitronengras ein methanreduzierender Effekt festgestellt. Dieser ist wahrscheinlich auf den hohen Gehalt an kondensierten Tanninen im Zitronengras und der daraus resultierenden, verringerten Pansenabbaubarkeit der Faserbestandteile zurückzuführen (GOEL und MAKKAR 2012). Da Methan im Zuge des Abbaus von Faserbestandteilen im Pansen entsteht, ergibt sich daraus der methanreduzierende Effekt von Zitronengras.

Der gesuchte Effekt kann jedenfalls deutlich erkannt werden und ein breiter Einsatz von Futtermitteln mit hohem Tanningehalt kann dann empfohlen werden, wenn sich: a.) der Reduktionseffekt konstant über eine gesamte Mastperiode bestätigen lässt und b.) die Reduktion der Verdaulichkeit von faserreichen Rationen insgesamt gering bleibt. Der Aufwand für einen Mastplatz in der Rindermast beträgt 36 kg Zitronengras pro Jahr. Die Kosten dafür müssen durch marktwirtschaftliche Maßnahmen oder durch gesellschaftliche Zahlungen abgedeckt werden.

Die statistische Auswertung der Messungen der smaXtec Messboli zeigte im Hinblick auf die Zugabe von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag meist nur marginale Unterschiede. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Zugabe dieser geringen Menge die Verdaulichkeit der Mastration mit einem Energiegehalt von 10,8 MJ ME/kg TM, einem Rohproteingehalt von 139 g/kg TM und einem Rohfasergehalt von 218 g/kg TM nicht herabsetzt. Der zentrale Einflussparameter der täglichen Schwankungen von pH-Wert und Temperatur im Pansen ist der Zeitpunkt in der ständigen Dynamik von Fressen, Wiederkauen und Verdauen. Die Klasse Stunden der statistischen Auswertung bildet den Verlauf dieser Dynamik ebenso gut ab wie die Aktivität der Tiere und die Wasseraufnahme. Der smaXtec-Pansensensor ist ein wirklich gutes Werkzeug zur Beobachtung der Vorgänge im Pansen und kann an Praktiker und andere Forschungsgruppen weiterempfohlen werden.

Forschungsbedarf

- Sollen in Zukunft Futterzusätze wie das Zitronengras zur Reduktion der CH_4 -Frachten der Landwirtschaft herangezogen werden, müssen dazu noch Exaktversuche durchgeführt werden. Unsicherheiten bestehen hier vor allem in der Bewertung des gesamten Produktionszyklus und möglichen, hier nicht beobachtbaren, negativen Wirkungen auf die Produktionsleistung der Tiere.
- Der Forschungsbereich der Mikrobiologie muss intensiv gefördert werden um die komplexen Zusammenhänge im Pansen besser zu verstehen. Nur mit diesem Wissen können gezielte Schritte zur Reduktion von CH_4 -Emissionen in der Landwirtschaft gesetzt werden.
- Die Frage der CH_4 -Emissionen darf nicht bei der Bewertung von Konzentrationen pro Produkteinheit enden, sondern muss als Gesamtfracht (inklusive aller Vorleistungen an Treibhausgasen) verstanden werden. Darüber hinaus muss die Bewertung von Produktionssystemen auf alle Umweltwirkungen ausgedehnt werden.

Danksagung

Wir danken der Firma Marcher Fleischwerke für die Übernahme aller Sachkosten und Frau Stefanie Kohl für die administrative Unterstützung, der Firma smaXtec für die Bereitstellung der Messboli, und der Familie Schrammel für die gewissenhafte Umsetzung der Fütterung.

Literatur

ABOAGYE, I.A., M. OBA, A.R. CASTILLO, K.M. KOENIG, A.D. IWAASA und K.A. BEAUCHEMIN, 2018: Effects of hydrolyzable tannin with or without condensed tannin on methane emissions, nitrogen use, and performance of beef cattle fed a high-forage diet. *J. Anim. Sci.* 96, 5276-5286.

ABOAGYE, I.A., M. OBA, K.M. KOENIG, G.Y. ZHAO und K.A. BEAUCHEMIN, 2019: Use of gallic acid and hydrolyzable tannins to reduce methane emission and nitrogen excretion in beef cattle fed a diet containing alfalfa silage. *J. Anim. Sci.* 97, 2230-2244.

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, 2015a: Das ruminale Mikrobiom des Rindes - Teil 3: Eukaryotische Einzeller – weitere Bestandteile des Pansenmikrobioms. *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* 93.

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

EBERT, P.J., E.A. BAILEY, A.L. SHRECK, J.S. JENNINGS und N.A. COLE, 2017: Effect of condensed tannin extract supplementation on growth performance, nitrogen balance, gas emissions, and energetic losses of beef steers. *J. Anim. Sci.* 95, 1345-1355.

FAGUNDES, G.M., G. BENETEL, M.M. CARRIERO, R.L.M. SOUSA, J.P. MUIR, R.O. MACEDO und I.C.S. BUENO, 2021: Tannin-rich forage as a methane mitigation strategy for cattle and the implications for rumen microbiota. *Anim. Prod. Sci.* 61, 26-37.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuß für Bedarfsnormen), 1995: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 6 Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder. DLG-Verlag Frankfurt (Main).

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuß für Bedarfsnormen), 1999: Empfehlungen zur Proteinversorgung von Aufzuchtkälbern. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 8, 155-164.

GOEL, G. und H.P. MAKKAR, 2012: Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical animal health and production* 44, 729-739.

HRISTOV, A.N., J. OH, J.L. FIRKINS, J. DIJKSTRA, E. KEBREAB, G. WAGHORN, H.P.S. MAKKAR, A.T. ADESOGAN, W. YANG, C. LEE, P.J. GERBER, B. HENDERSON und J.M. TRICARICO, 2013: SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91, 5045-5069.

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.

LfL, 2020: Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 98 S.

MIN, B.R., S. SOLAIMAN, H.M. WALDRIP, D. PARKER, R.W. TODD und D. BRAUER, 2020: Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition* 6, 231-246.

NIDERKORN, V., E. BARBIER, D. MACHEBOEUF, A. TORRENT, I. MUELLER-HARVEY und H. HOSTE, 2020: In vitro rumen fermentation of diets with different types of condensed tannins derived from sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) pellets and hazelnut (*Corylus avellana* L.) pericarps. *Anim. Feed Sci. Technol.* 259, 114357.

ROCA-FERNÁNDEZ, A.I., S.L. DILLARD und K.J. SODER, 2020: Ruminal fermentation and enteric methane production of legumes containing condensed tannins fed in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 103, 7028-7038.

SORG, D., S. MÜHLBACHER, F. ROSNER, B. KUHLA, M. DERNO, S. MEESE, A. SCHWARM, M. KREUZER und H. SWALEA, 2017: The agreement between two next-generation laser methane detectors and respiration chamber facilities in recording methane concentrations in the spent air produced by dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 143, 262-272.

SORG, D., F.D. GARETH, S. MÜHLBACHER, B. KUHLA, H. SWALVE, J. LASSEN, T. STRABEL und M. PSZCZOLA, 2018: Comparison of a laser methane detector with the GreenFeed and two breath analysers for on-farm measurements of methane emissions from dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 153, 285-294.

STAERFL, S.M., J.O. ZEITZ, M. KREUZER und C.R. SOLIVA, 2012: 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. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 148, 111-120.

STEINWIDDER, A., L. GRUBER, T. GUGGENBERGER und J. GASTEINER, 2006: Einfluss der Rohprotein- und Energieversorgung in der Fleckvieh-Jungbullenmast I. Mastleistung: *Züchtungskunde* 78, 136-152.

VÁZQUEZ-CARILLO, M.F., H.D. MONTELONGO PÉREZ, M. GONZÁLEZ-RONQUILLO, und E. CASTILLO-GALLEGOS, 2020: Effects of three herbs on methane emissions from beef cattle. *Animals* 2020, 10, 1671.

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Lage des Betriebes.....	11
Abbildung 2: Grundriss des Maststalles.....	12
Abbildung 3: Innenaufnahme im Aufzuchtstall.....	12
Abbildung 4: Innenaufnahme im Maststall.....	12
Abbildung 5: Erstellung der Totalmischration.....	14
Abbildung 6: Grassilage, eine in Österreich typische Komponente in der Rinderfütterung.....	14
Abbildung 7: Aussehen und Beschreibung des LMM.....	18
Abbildung 8: Messung.....	18
Abbildung 9: Verteilung aller Einzelmessungen.....	19
Abbildung 10: Messboli der Firma smaXtec.....	20
Abbildung 11: Hohenheimer Futterwerttest.....	21
Abbildung 12: Futteraufnahme und notwendige Nährstoffkonzentration in der Mast- rinderfütterung.....	23
Abbildung 13: Ergebnisse der Fütterung von 100 Gramm Zitronengras pro Tier und Tag.....	25
Abbildung 14: Wechselwirkung der Versuchsfrage mit dem Einfluss der Messperiode.....	26
Abbildung 15: pH-Wert im Pansen der Versuchstiere.....	27
Abbildung 16: Temperatur im Pansen ohne Tränke.....	27
Abbildung 17: Aktivität der Versuchstiere [0,100]	28
Abbildung 18: Gesamtanzahl der Wasseraufnahmen.....	28
Abbildung 19: Einfluss des Anteils an Zitronengras auf die <i>in-vitro</i> Gasbildung.....	29

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Futtermittel und Nährstoffkonzentrationen.....	13
Tabelle 2: Inhaltsstoffe und Energie von Zitronengras.....	15
Tabelle 3: Versuchsaufbau.....	16
Tabelle 4: Rechnerischer Anteil an Zitronengras in der Gesamtration.....	24
Tabelle 5: Ergebnisse der statistischen Analyse.....	25
Tabelle 6: Ergebnisse der statistischen Analyse.....	26

Abschlussbericht

Lemongras

Herausgeber:

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein

A-8952 Irdning-Donnersbachtal

Druck, Verlag und © 2021