

## **Verwertung, Verluste und Optimierung beim Einsatz des Futters vom Grünland**

M. Kreuzer

ETH-Zürich, Departement Agrar- und Lebensmittelwissenschaften, Tierernährung, Universitätstraße 2, CH-8092 Zürich; Email: michael.kreuzer@inw.agrl.ethz.ch

### **Einleitung**

Die Steigerung der Verwertung bzw. die Verminderung der Verluste beim Einsatz des Futters vom Grünland an landwirtschaftlich genutzte Wiederkäuer stellt eine Schlüsselgröße zur effizienten Nutzung von Grünland als Ressource für die Milch- und Fleischherzeugung dar. Im vorliegenden Beitrag werden Grundlagen dazu vorgestellt und daraus einige Empfehlungen abgeleitet. Die Verlustarten im Tier umfassen vor allem Stickstoff (N) und Energie, wobei eine der Energieverlustquellen, das Methan, weitaus größere Bedeutung als potentes Treibhausgas hat (23-faches Potential im Vergleich zu Kohlendioxid) denn als Energieverlustquelle. Spätestens seit die FAO die Treibhausgaswirkung der Wiederkäuer dem Verkehr gegenübergestellt hat (Steinfeld et al., 2006), ist dies heftigst in Diskussion. Die Verluste im und um das Tier lassen sich zwar nicht grundsätzlich verhindern, aber doch minimieren. Die Auswirkungen unnötiger N-Verluste haben zwei Komponenten: generell tragen sie zu einer Belastung der Nutzflächen bei und fördern langfristig die Auswaschung von N-Verbindungen. Im speziellen sind aber einige N-Verbindungen, nämlich diejenigen, die im Urin der Tiere vorkommen, besonders leicht flüchtig. Sie können nach Umwandlung durch Mikroorganismen in Wirtschaftsdünger und Boden entweder in gasförmiger (als Ammoniak und Stickoxide) oder flüssiger Form (Nitrat) unerwünschte Emissionen verursachen. Die Minderung vor allem der gasförmigen N-Emissionen ist ein aktuelles Ziel, und einige Länder haben bereits auf politischer Ebene Lösungen verlangt (Niederlande) oder sind dabei (EU und Schweiz). Bei Weideführung mehr als bei den anderen Fütterungsweisen sind die Emissionen der Stickoxide (230-fach höheres Treibhausgaspotenzial als Kohlendioxid) von den Harnflecken ein Problem (van den Pol-van Dasselaar et al., 2008), dem man z.B. in Neuseeland zunehmend mit der Ausbringung eines Nitrifikationshemmers (Dicyanamid; z.B. Smith et al., 2008) zu Leibe rückt. Es ist klar, dass eine Fütterung, welche die N-Konzentration im Harn und auch die Harn-N-Menge steigert, wie es bei Fütterung zu hoher N-Mengen der Fall ist, hier besonders ungünstig ist. Auf weitere Verlustarten wie z.B. die Ausscheidung von Spurenelementen und Schwermetallen soll in diesem Beitrag nicht näher eingegangen werden. Futter vom Grünland stellt eine der natürlichsten Formen der Fütterung des Wiederkäuers dar. Durch jahrzehntelange Selektion der Tiere ist es trotz gleichzeitiger intensiver Weiterentwicklung der Futterpflanzen allerdings nicht ganz gelungen, mit dem steigenden Bedarf der Tiere an Energie und nutzbarem Rohprotein Schritt mit der gestiegenen Milchbildung und dem Wachstum der Tiere zu halten. Mögliche Lösungsansätze für dieses Dilemma zu beschreiben, ist ebenfalls ein Anliegen des vorliegenden Beitrags.

## Stickstoff: Verlustursachen und Verwertungssteigerung

Der Bedarf des Wiederkäuers an stickstoffhaltigen Verbindungen ist komplex zusammengesetzt. Im Stoffwechsel hat der Wiederkäuer weder einen Bedarf an Stickstoff („Rohprotein“) noch an Protein als solchem, sondern lediglich an Aminosäuren. Im Zuge der laufenden Verfeinerung der Bedarfsnormen hat man dem mehr oder weniger Rechnung getragen. Während in Frankreich alle Rationen nach der Menge an stoffwechselverfügbaren Aminosäuren bewertet werden, ist man in Deutschland, Österreich und in der Schweiz immer noch beim nutzbaren Rohprotein (nXP) bzw. beim absorbierbaren Protein am Darm (APD). Dennoch wird für Rationen, bei denen ein Defizit an bestimmten Aminosäuren erwartet wird, auch dieses gelegentlich berechnet und balanciert. Im Pansen selbst hat der Wiederkäuer dagegen zudem einen Bedarf an Stickstoff aus pansenabbaubaren Verbindungen. Dies erklärt sich daraus, dass die Mikroorganismen ihr Protein in der Regel aus Ammoniak und Kohlenstoffskeletten aufbauen. Damit kein unbeabsichtigter Mangel an pansenabbaubaren N-Verbindungen auftritt, wurden in den Bedarfsnormensystemen neue Größen eingeführt (ruminale N-Bilanz, APDN). Welche Bedeutung haben diese Besonderheiten der Wiederkäuerphysiologie für das Futter vom Grünland? Anders als unter tropischen Verhältnissen (Hess et al., 2003b) wird das Futter vom Grünland im europäischen Raum in der Regel nicht limitiert im Gehalt an pansenabbaubaren N-Verbindungen sein, mit Ausnahme vielleicht eines sehr extensiv erzeugten, spät geschnittenen Futters. Das Futter ist im Gegenteil meist reich bis überreich an pansenabbaubaren N-Verbindungen. Ist der Bedarf der Mikroben an solchem Stickstoff gedeckt, fungiert der Rest als Überschuss und trägt zu den Verlusten des Tieres bei. Dabei sind auch grundsätzlich wertvolle Pflanzeiweiße betroffen. Weil diese aber im Grünfutter und in den Grünfutterkonserven (mit Ausnahme derjenigen aus der Heisslufttrocknung) mikrobeverfügbar sind, werden sie zu einem sehr großen Anteil zu Ammoniak abgebaut. Dies führt zu der paradox erscheinenden, für das Futter vom Grünland typischen Situation, dass die Tiere trotz (zu) hohem Rohproteingehalt an nXP-Mangel leiden können. Der Landwirt kann nun auf zweierlei Weise reagieren: den nXP-Mangel durch einen noch höheren N-Überschuss kompensieren oder Futter mit höherem Gehalt an fermentierbarer organischer Substanz (FOS) erzeugen, welches die Bildung von Mikrobenprotein spezifisch fördert. In letzterem Fall kann der Rohproteingehalt des Futters relativ stark reduziert werden. Für das Tier gilt im Übrigen dieselbe Aussage, welche Watson und Wachendorf (2008) für gesamte Landwirtschaftssysteme traf: ein niedriger N-Überschuss zeigt eine hohe N-Effizienz an.

In der gegenwärtigen Situation mit Hochleistungsgräsern und -leguminosen, angestrebtem hohen Ertragsniveau und sehr früher Nutzung (extrem früh bei Kurzrasenweide) erhält man zwar Futter mit hoher Verdaulichkeit und damit hohem FOS-Gehalt, aber mit gleichzeitig überproportional erhöhtem Rohproteingehalt. Der alleinige Einsatz eines solchen Futters fördert die N-Verluste durch das Tier. Zuviel aufgenommenes und im Pansen abgebautes Rohprotein geht praktisch zur Gänze als Harn-N und damit als leichtflüchtige N-Verbindungen verloren. Wie effizient es wäre, im Sinne der Emissionsminderung und damit der N-Effizienzsteigerung Futter vom Grünland mit deutlich niedrigerem Rohproteingehalt zu verfüttern, zeigt Tabelle 1, wobei der Vergleich mit anderen Rationstypen belegt, dass dies in erster Linie ein Effekt des Rohproteingehalt im Futter und nicht des Futtertyps ist (Futter vom Grünland gegenüber anderen Futtermitteln). Zudem wird ersichtlich, dass größere Unterschiede in den N-Verlusten zwischen den zwei gebräuchlichsten Wirtschaftsdüngerlagerformen jeweils wieder zu finden sind.

**Tab. 1:** Gasförmige N-Emissionen (% des Ausgangs-N) bei der 7-wöchigen Lagerung des Wirtschaftsdüngers von unterschiedlich gefütterten Kühen (nach Külling et al., 2001 und 2003)

Experiment	Ration	Vollgülle	Mist & Jauche
1	Gras, 21,3% XP	26,4	34,0
	Gras, 11,3% XP	17,1 (-35%)	18,3 (-46%)
2	Silage-Kraftfutter, 17,5% XP	23,7	34,9
	Silage-Kraftfutter, 14,7% XP	18,0 (-24%)	28,1 (-19%)
	Silage-Kraftfutter, 12,4% XP	10,7 (-55%)	15,7 (-55%)

Es stellt sich die Frage, ob sich die N-Verwertung durch den vermehrten Einsatz von Futterleguminosen steigern lässt. Eine Kombination von Futtergräsern und -leguminosen im Anbau erwies sich als vorteilhaft für den Ertrag (Helgadottir et al., 2008; Lüscher et al., 2008), und gleichzeitig lässt sich mit dieser Strategie der notwendige Einsatz an fossiler Energie vermindern, die bei der Herstellung von Mineral-N-Dünger verbraucht wird. Im Sinne der N-Verwertungssteigerung im Tier erwies sich die Verfütterung von Weißklee und Rotklee zu Weidelgras jedoch als enttäuschend (van Dorland et al., 2007), dies wohl insbesondere, weil das Leguminosenprotein mindestens so hoch pansenabbaubar ist wie dasjenige des Grases (Givens and Rulquin, 2004). Für praktische Verhältnisse erschwerend kommt noch hinzu, dass das Gras, anderes als in der genannten Studie von van Dorland et al. (2007), häufig sogar noch deutlich geringere Rohproteingehalte aufweisen wird als die Leguminosen.

Im Falle eines Aufenthalts auf einer höher gelegenen Alp ist die N-Verwertung durch Milchkühe gegenüber dem Tal bei vergleichbarem Rohproteingehalt des Weidefutters noch ungünstiger. Hier ist es das Tier, das dafür verantwortlich ist, welches aufgrund der Umstände (sauerstoffarme Luft, raues Klima, unebenes Gelände) einen gewissen Einbruch in der Milchleistung erfährt, der über das Weniger an Milchprotein-N bei gleichem N-Verzehr zu deutlich geringeren N-Verwertungsfaktoren führt (Christen et al., 1996). Dennoch bleibt die N-Verwertung für Milchbildung selbst in hohen Lagen sehr deutlich über derjenigen für Muskelfleischansatz von geweideten oder auf Basis von, ausschließlich mit Grünfuttermitteln gefütterten Tiere. Für gealpte Tiere wurde dies in Gotsch et al. (2004) zusammengestellt. Demnach beträgt die N-Verwertung bei Weidemast nur ein Drittel oder weniger als bei der Milcherzeugung, und wenn als Bezugsgröße essbares Protein (Milchprotein, Fleischprotein) gewählt wird, sinkt die Verwertung für die Mast noch einmal um 40%. Tabelle 2 zeigt auch sehr deutlich, dass der N-reichere zweite Aufwuchs schlechter als der N-ärmere erste Aufwuchs verwertet wurde, was vom Rohprotein her allerdings ein Alp spezifisches Phänomen gewesen sein dürfte.

**Tab. 2:** N-Verwertung (Milch-N oder N in den Zunahmen in % der N-Aufnahme) von verschiedenen Nutztierkategorien auf einer hochgelegenen, intensiv bewirtschafteten Alp und auf einer extensiv bewirtschafteten Alp (adaptiert nach Gotsch et al., 2004)

Nutztierkategorie	Aufwuchs	N-Aufnahme (g/Tag)	Harn-N (g/Tag)	N-Verwertung (%)
Milchkühe	1. früh	328	164	32
	1. spät	385	150	23
	2. früh	550	272	16
Mutterkühe & Kälber (Angus)	1. mittel	370	184	9
	2. früh	517	308	5
Mutterkühe & Kälber (Scottish Highland)	intensive Alp	333	203	6
	extensive Alp	280	145	6

Abgesehen von der Erzeugung von N-armen Grünfütter oder Grünfütterkonserven durch Minimierung oder Verzicht auf die mineralische N-Düngung, verbunden mit massiven Ertragseinbußen (Hoppe et al., 1996), lässt sich eine deutliche Steigerung der N-Verwertung durch Milchkühe und Mastrinder vor allem durch Ergänzungsfütterung zu Weide, Grassilage und/oder Heufütterung erzielen. Da, wie oben ausgeführt, vor allem ein Mangel an FOS die Ursache des Problems ist, wären dort Getreide, Maissilage (Valk, 1994), Zuckerrübenschnitzel o.ä. von Interesse. Berry et al. (2001) konnte die N-Verwertung (% Milch-N am aufgenommenen Futter-N) von gealpten Kühen mit 4 kg einer Mischung aus Mais und Weizenstärke, also einem sehr N-armen Beifütter, von 23% auf 35% steigern. Neben den Kosten ist ein Problem einer solchen Beifütterung aber die Grundfütterverdrängung, die in dem genannten Beispiel (Berry et al., 2001) besonders hoch war. Sehr interessant könnten auch „zucker“-reiche Gräserarten sein, wenn sie einen ausreichend hohen Ertrag haben und am besten noch N-limitiert sind. Unter anderen setzt das Institute of Grassland and Environmental Research in Wales stark auf eine solche Strategie (vgl. z.B. Western Livestock Journal, Ausgabe vom 13.11.2006). Tannine in Futtermitteln können Futterproteine unter den pH-Bedingungen des Pansens so binden, dass dieses Eiweiß nicht abgebaut wird. Im sauren Bereich des Labmagens lösen sich diese Bindungen wieder. Aus diesem Grund führt der Einsatz von tanninhaltigen Futterpflanzen (Scharenberg et al., 2007) und von zugegebenen Tanninextrakten zu einer Umverteilung vom Harn-N zum Kot-N. Dies senkte das N-Emissionsrisiko, verbesserte aber in den genannten Studien dagegen die N-Verwertung im Tier kaum, obwohl es auch Hinweise auf eine bessere Aminosäurenversorgung im Stoffwechsel so gefütterter Wiederkäuer gibt (Waghorn et al., 1994; Scharenberg et al., 2007). Beispiele für tanninhaltige Futterpflanzen, die auch in Mitteleuropa gedeihen, sind Eparsette und Hornklee. Beide haben allerdings ein begrenztes Ertragspotenzial. Neben Tanninextrakten sind auch saponinhaltige Extrakte, wenn auch auf komplexere Weise, in der Lage, die Bildung von Ammoniak aus dem Futterprotein und damit den Harn-N zu senken (vgl. z.B. Wang et al., 1997).

Schließlich ist noch die strategische Supplementierung von den, die Leistung limitierenden Aminosäuren in pansengeschützter Form entweder als reine Aminosäuren oder als Protein eine interessante Möglichkeit zur Steigerung von Leistung und N-Verwertung bei Rationen mit schon eher geringem Rohproteingehalt (Kröber et al., 2000). Diese Strategie, bei der es an sich wenig Menge an Supplementierung braucht, reduziert gleichzeitig die gasförmigen Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger, wirkt aber nur, wenn wirklich die Aminosäuren und nicht z.B. die Energie limitierend sind (vgl. Berry et al., 2001). Zuviel verabreichte Aminosäuren werden nämlich, selbst wenn sie im Stoffwechsel ankommen, ebenfalls zu Harn-N abgebaut.

Ein wertvolles, bislang wenig genutztes Hilfskriterium zur Abschätzung von N-Effizienz und potentiellen N-Emissionen von Kühen ist mit dem fast flächendeckend erhobenen Milchharnstoffgehalt gegeben, da dieser eng mit der Harn-N-Ausscheidung korreliert (Kröber et al., 2000; van Duinkerken et al., 2005).

### **Energie und Methan: Verlustursachen und Verwertungssteigerung**

Die Energieverwertung im Stoffwechsel von Wiederkäuern verläuft parallel zur Verdaulichkeit des Futters. Dies bedeutet, dass ein höher verdauliches Grundfütter nicht nur mehr energiehaltige Bausteine in den Stoffwechsel schleust, sondern diese auch noch besser verwertet werden können. Der Futterbauforschung ist dieser Zusammenhang seit langem bekannt, so dass man inzwischen in Kunstwiesen bei einem Stadium der Qualität angelangt ist, wo in jungem Stadium in der Energiekonzentration die Grenze zum Kraftfütter erreicht ist. Studien der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Nutztier (ALP) in der Schweiz haben zwar etwas Entwarnung gegeben, in dem eine reine Grünfütterung solcher Bestände doch nur an den Rand der Pansenacidose führt und sie wohl selten auslöst (Graf et al., 2005), aber zunehmende Vorsicht ist dennoch an-

gesagt, insbesondere bei einer sehr frühen Nutzung der Bestände. Andererseits gibt es eine Reihe von Arten und Sorten an Futterpflanzen, bei denen eine bessere Energieverwertung durch strategische Steigerung der Verdaulichkeit durchaus noch möglich wäre. Zu beachten ist, dass dabei parallel auf nicht allzu hohe N-Gehalte zu achten ist, denn selbst die Entsorgung dieses N-Überschusses über Leber und Niere kostet extra Energie.

Eine Reihe von frühen Studien zur Methansenkung hatte die Reduzierung des damit verbundenen Energieverlustes zum Ziel; dies lange bevor erkannt wurde, dass Methan ein wichtiges Treibhausgas ist. Inzwischen hat sich das Bild gewandelt. Man nimmt sogar eine etwas schlechtere Energieverwertung der Tiere in Kauf, z.B. durch eine leichte Beeinträchtigung der Verdaulichkeit, wenn nur der Methanausstoß wirklich gesenkt wird. Es gibt eine Reihe von Übersichtsarbeiten, die zur Methansenkung entweder voll auf Leistungssteigerung setzen, um damit die Emissionen je Einheit Milch oder Fleisch zu senken (z.B. Flachowsky und Brade, 2007), oder die eher auf direkte Effekte setzen (zusammengefasst in Kreuzer und Soliva, 2008). Der erste Ansatz ist für eine grundfutterbetonte Fütterung nicht geeignet (ausser wenn eine unnötig schlechte Leistung gesteigert wird), aber er ist auch in einer Gesamtanalyse dann fragwürdig, wenn wegen des Fokus auf Hochleistung bei der Milch die Langlebigkeit der Tiere sinkt, anteilmäßig mehr Aufzuchtrinder gebraucht werden und zur Deckung des Fleischbedarfs zunehmend auf extensiv gemästete Kälber aus Mutterkuhhaltung gesetzt werden muss (vgl. Berechnungen von Rosenberger et al., 2004; in deren Berechnung wurde allerdings das höhere relative Methanbildungsniveau von Zweinutzungsrindern gegenüber reinen Milchrasen nicht einbezogen). In eine ähnliche Richtung gehen Bestrebungen, eine Methansenkung zu erreichen, indem man Graswachstum und -nutzung durch Modellierung optimiert (z.B. Alcock und Hegarty, 2006). Durch die höhere Verdaulichkeit des Futters sinkt zwar proportional der Anteil der Energieverluste aus dem Methan, aber die Wahrscheinlichkeit ist groß, dass das höhere Nährstoffangebot der Weide durch eine höhere Tierdichte kompensiert wird und insgesamt eher mehr Methan je Hektar freigesetzt wird.

Grundsätzlich ist ja das Futter vom Grünland im Verruf, zu besonders hohen Methanemissionen zu führen. Dies liegt daran, dass es reich an fermentierbarer Faser ist und Faserkohlenhydrate ein höheres Methanbildungspotenzial als Stärke und Zucker haben. Dies ist der Grund warum häufig als erste und effizienteste Maßnahme auf die Steigerung des Krafftutteranteils in der Ration hingewiesen wird. Davon abgesehen, dass hier zunächst auch eine Gesamttreibhausgasbilanz mit Einbezug der vermehrten fossilen Energie zur Bereitstellung der Krafftutterkomponenten zu erstellen wäre, ist der Zusammenhang aber nicht linear. Das IPCC (2006) geht sogar so weit, dass nur zwischen Rationen mit mehr oder weniger als 90% Krafftutter für Wiederkäuer unterschieden wird, also Rationen, wie sie in Mitteleuropa kaum zu finden sind. Dennoch vermindert sich die Emission je Einheit FOS oder NEL etwas mit zunehmendem Krafftuttereinsatz, jedoch erfolgt eine teilweise Kompensation dieses Rückgangs durch eine vermehrte Methanemission aus der mit dem Einsatz von Krafftutter erzeugten Gülle (Tab. 3).

**Tab. 3:** Methanemissionen (Liter pro kg T-Aufnahme) von Milchkühen mit einer Leistung von 20 kg Milch/Tag und aus ihrer 14 Wochen lang gelagerten Gülle bei Einsatz einer gemischten Ration (Grundfutter mittlerer Qualität:Krafftutter, 1:1) oder einer reinen Grundfutterration (hohe Grundfutterqualität) (nach Hindrichsen et al., 2006)

Grundfutter: Krafftutter	1:1	1:0
Methanemission der Kuh	29,6	36,2
Methan aus der Gülle*	4,5	2,5
Methan gesamt	34,1	38,7

\*Methanwert bezogen auf die täglich von der Kuh ausgeschiedene Exkrementmenge, welche dann 14 Wochen gelagert wurde

Der Grünlandnutzungstyp (Van den Pol-van Dasselaar et al., 2008) wie auch der Einsatz von Futterleguminosen zu Gras (van Dorland et al., 2007) scheinen keine wesentlichen Auswirkungen auf die Methanemissionen zu haben. Wie zur Steigerung der N-Effizienz könnte aber die Supplementierung von Weidetieren bzw. von Tieren, die vor allem auf Basis des Futters vom Grünland versorgt werden, nützlich sein. Mit Pflanzen oder Extrakten, welche durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe gekennzeichnet sind, könnte somit sogar ein Ko-Benefit mit der N-Emissionsminderung erreicht werden, weil sich dieselben Substanzengruppen als wirksam erwiesen haben. Für tanninhaltige Futterleguminosen wurde dies erstmals von Woodward et al. (2001) aufgezeigt, für Tanninextrakte von Carulla et al. (2005) und für saponinreiche Futterpflanzen von Hess et al. (2003a, 2004) zuerst in vitro und dann in vivo. Allerdings ist eine Methan senkende Wirkung nicht in jedem Fall gegeben und es sind jeweils relativ hohe Dosierungen nötig. Kreuzer und Soliva (2008) fassten weitere, Erfolg versprechende Supplementierungsmaßnahmen zur Methansenkung zusammen.

### **Schlussfolgerungen zum optimalen Einsatz des Futters vom Grünland**

Zur Steigerung der N-Verwertung und zur Methansenkung beim Wiederkäuer im Falle eines vorwiegenden Einsatzes des Futters vom Grünland stehen somit eine Reihe von Möglichkeiten offen, welche allerdings ökonomisch erst dann interessant werden, wenn der dabei wahrscheinlich entstehende Einkommensverlust direkt oder indirekt ausgeglichen wird. Dies kann z.B. darin bestehen, dass Anreize geschaffen werden, besonders emissionsarm zu füttern, oder auch dass eine emissionssträchtige Tierhaltung besteuert wird (vgl. Vorbereitung einer Methansteuer in Neuseeland). Im Sinne der Optimierung von N-Verwertung und Methansenkung besonders interessant sind gegenwärtig wohl bestimmte natürliche, in geringen Mengen im Futter wirksame Substanzen, wie sie auch in Grünfütterpflanzen für gemäßigte Klimate vorkommen. Weitere Studien müssten allerdings vor allem Kosten-Nutzenrechnungen einschließen. Die Weidebeifütterung zum Energieausgleich ist sicherlich die effizienteste Maßnahme zur spezifischen Steigerung der N-Verwertung in Milch- und Fleischerzeugung. Welchen letztendlichen Effekt zuckerreichere Gräserarten haben werden, ist noch unklar.

Auch der Genotyp des Tieres darf bei Effizienzüberlegungen nicht ausser Acht gelassen werden. Bei vorwiegendem Einsatz des Futters vom Grünland weisen zwar Kühe mit unangepasst hoher Leistung theoretisch eine hohe N- und Energieverwertung auf, aber da ihr Bedarf nicht gedeckt ist, sind Gesundheit und Langlebigkeit dieser Tiere nicht gewährleistet und die Gesamtbilanz einschließlich möglichen Leistungseinbrüchen durch Krankheiten und vermehrter Remontierung fällt eher schlechter aus. Um den Gedanken aus der Einleitung noch einmal aufzugreifen, ist es also am Erfolg versprechendsten, die Genetik der Tiere dem Leistungsvermögen des Grünlands anzupassen (Thomet und Kunz, 2008). Die Möglichkeit der Selektion von Kuhgenotypen mit besonders niedrigen Methan- und N-Emissionen bei unveränderter Fütterung wird zur Zeit in Ozeanien intensiv erforscht, eigene Studien dazu fielen aber eher ernüchternd aus (Münger und Kreuzer, 2008).

### **Literatur**

ALCOCK, D. & HEGARTY, R.S. (2006): Effects of pasture improvement on productivity, gross margin and methane emissions of a grazing sheep enterprise. In: Soliva, C.R., Takahashi, J. & Kreuzer, M. (eds.): Greenhouse Gases and Animal Agriculture: An Update. Elsevier International Congress Series 1293, Amsterdam, The Netherlands, 103-105.

- BERRY, N.R., JEWELL, P.L., SUTTER, F., EDWARDS, P.J. & KREUZER, M. (2001): Effect of concentrate on nitrogen turnover and excretion of P, K, Na, Ca and Mg in lactating cows rotationally grazed at high altitude. *Livestock Production Science* 71, 261-275.
- CARULLA, J.E., KREUZER, M., MACHMÜLLER, A. & HESS, H.-D. (2005): Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 56, 961-970.
- CHRISTEN, R.E., KUNZ, P.L., LANGHANS, W., LEUENBERGER, H., SUTTER, F. & KREUZER, M. (1996): Productivity, requirements and efficiency of feed and nitrogen utilization of grass-fed early-lactating cows exposed to high Alpine conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 76 22-35.
- FLACHOWSKY, G. & BRADE, W. (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* 79 417-465.
- Givens, D.I. & Rulquin, H. (2004): Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. *Animal Feed Science and Technology* 114, 1-18.
- GRAF, C.M., KREUZER, M. & DOHME, F. (2005): Effects of supplemental hay and corn silage versus full-time grazing on ruminal pH and chewing activity of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, 711-725.
- GOTSCH, N., FLURY, C., KREUZER, M., RIEDER, P., HEINIMANN, H.R., MAYER, A.C. & WETTSTEIN, H.-R. (2004): Land- und Forstwirtschaft im Alpenraum – Zukunft im Wandel. *Schriftenreihe Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft im Alpenraum*. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel KG, Kiel, Deutschland, Bd. 8, 305 S.
- HELGADOTTÍR, A., CONNOLLY, J., COLLINS, R., FOTHERGILL, M., KREUZER, M., LÜSCHER, A., PORQUEDDU, C., SEBASTIÀ, M.T., WACHENDORF, M., BROPHY, C., FINN, J., KIRWAN, L. & NYFELER, D. (2008): The benefits of sward diversity for cultivated grasslands. Proc. 22<sup>nd</sup> Gen. Meet. EGF on Biodiversity and Animal Feed. Future Challenges for Grassland Production (Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsson-Linde, N. Spörndly, E., eds). *Grassland Science in Europe* 13, 39-51.
- HESS, H.-D., KREUZER, M., DÍAZ, T.E., LASCANO, C.E., CARULLA, J.E., SOLIVA, C.R. & MACHMÜLLER, A. (2003a): Saponin rich tropical fruits affect fermentation and methanogenesis in faunated and defaunated rumen fluid. *Animal Feed Science and Technology* 109, 79-94.
- HESS, H.-D., MONSALVE, L.M., LASCANO, C.E., CARULLA, J.E., DÍAZ, T.E. & KREUZER, M. (2003b): Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on *in vitro* ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 703-713.
- HESS, H.-D., BEURET, R., LÖTSCHER, M., HINDRICHSEN, I.K., MACHMÜLLER, A., CARULLA, J.E., LASCANO, C.E. & KREUZER, M. (2004): Ruminal fermentation, methanogenesis and nitrogen utilisation of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. *Animal Science* 79, 177-189.
- HINDRICHSEN, I.K., WETTSTEIN, H.-R., MACHMÜLLER, A. & KREUZER, M. (2006): Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 150-161.
- HOPPE, T., WEISSBACH, F., SCHLICHTING, M.C., SCHMIDT, L. & SMIDT, D. (1996): Milchviehweidewirtschaft bei Verzicht auf Stickstoffdüngung. *Züchtungskunde* 68, 131-146
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): Guidelines for National Greenhouse Inventories. Vol. 4. Agriculture, Forestry and other Land Use. Ch. 10. Emissions from Livestock and Manure Management pp 10.1–10.87
- KREUZER, M. & SOLIVA, C.R. (2008): Nutrition: Key to methane mitigation in ruminants. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 17, 168-171
- KRÖBER, T.F., KÜLLING, D.R., MENZI, H., SUTTER, F. & KREUZER, M. (2000): Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission from slurry. *Journal of Dairy Science* 83, 2941-2951.
- KÜLLING, D.R., MENZI, H., KRÖBER, T.F., NEFTEL, A., SUTTER, F., LISCHER, P. & KREUZER, M. (2001): Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *Journal of Agricultural Science* 137, 235-250.
- KÜLLING, D.R., MENZI, H., SUTTER, F., LISCHER, P. & KREUZER, M. (2003). Ammonia, nitrous oxide and methane emissions from differently stored dairy manure derived from grass- and hay-based rations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65, 13-22.

- LÜSCHER, A., BUCHMANN, N., SCHERER-LORENZEN, M., HUGUENIN-ELIE, O., NYFELER, D., SUTER, M., WEIGELT, A. & FROSSARD, E. (2008) Grundlagen effizienter Raufutterproduktion mit Mischbeständen. Vorliegender Tagungsband.
- MÜNGER, A. & KREUZER, M. (2008): Absence of persistent methane emission differences in three breeds of dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 77-82.
- ROSENBERGER, E., GÖTZ, K.-U., DODENHOFF, J., KROGMEIER, D., EMMERLING, R., LUNTZ, B. & ANZENBERGER, H. (2004). Überprüfung der Zuchtstrategie beim Fleckvieh. <http://www.lfl.bayern.de/itz/rind/09285/index.php>.
- SCHARENBERG, A., ARRIGO, Y., GUTZWILLER, A., WYSS, U., Hess, H.D., KREUZER, M. & DOHME, F. (2007): Effect of feeding dehydrated and ensiled tanniferous sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on nitrogen and mineral digestion and metabolism of lambs. *Archives of Animal Nutrition* 61, 390-409.
- SMITH, L.C., DE KLEIN, C.A.M., MONAGHAN, R.M. & CATTO, W.D. (2008): The effectiveness of dicyanamide in reducing nitrous oxide emissions from a cattle-grazed, winter forage crop in Southland, New Zealand. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48 160-164.
- STEINFELD, H., GERBER, P., WASSENAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M. & DE HAAN, C. (2006): Livestock's Long Shadow. Environmental Issues & Options. FAO, Rome.
- THOMET, P., KUNZ, P. (2008): What type of cow do we need for grassland based milk production? Proc. 22<sup>nd</sup> Gen. Meet. EGF on Biodiversity and Animal Feed. Future Challenges for Grassland Production (Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsdotter-Linde, N. Spörndly, E., eds). *Grassland Science in Europe* 13, 864-866.
- VALK, H. (1994): Effects of partial replacement of herbage by maize silage on N utilization and milk production of dairy cows. *Livestock Production Science*. 40, 241-250.
- VAN DEN POL-VAN DASSELAAR, A., VELLINGA, T.V., JOHANSEN, A. & KENNEDY, E. (2008): To graze or not to graze, that's the question. Proc. 22<sup>nd</sup> Gen. Meet. EGF on Biodiversity and Animal Feed. Future Challenges for Grassland Production (Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsdotter-Linde, N. Spörndly, E., eds). *Grassland Science in Europe* 13, 706716.
- VAN DORLAND, H.A., WETTSTEIN, H.-R., LEUENBERGER, H. & KREUZER, M. (2007): Effect of supplementation of fresh and ensiled clovers to ryegrass on nitrogen loss and methane emission of dairy cows. *Livestock Science* 111, 57-69.
- VAN DUINKERKEN, G., ANDRÉ, G., SMITS, M.C.J., MONTENY, G.J. & ŠEBEK L.B.J. (2005): Effects of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *Journal of Dairy Science* 88, 1099-1112.
- WAGHORN, G., SHELTON, I.D., MCNABB, W.C. & MCCUTCHEON, S.N. (1994): Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. *Journal of Agricultural Science* 123, 109-119.
- WANG, Y., MCALLISTER, T.A., NEWBOLD, C.J., CHEEKE, P.R. & CHENG, K.J. (1997): Effects of *Yucca* extract on fermentation and degradation of saponins in the RUSITEC. *Proceedings of the Western Section, American Society of Animal Science* 48, 149-152.
- WATSON, C.A. & WACHENDORF, M. (2008): Sustainable nutrient management for organic farming systems. Proc. 22<sup>nd</sup> Gen. Meet. EGF on Biodiversity and Animal Feed. Future Challenges for Grassland Production (Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsdotter-Linde, N. Spörndly, E., eds). *Grassland Science in Europe* 13, 519-528.
- WOODWARD, S.L., WAGHORN, G.C., ULYATT, M.J. & LASSEY, K.R. (2001): Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions from ruminants. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 61, 23-26.