

# 23. HÜLSENBERGER GESPRÄCHE 2010

## **Wiederkäuerernährung**

wesentliche Grundlage für Tiergesundheit, Ressourcenschonung sowie Umwelt- und Klimaschutz



23. Hülsenberger Gespräche 2010  
*der H. Wilhelm Schaumann Stiftung*



**Hülsenberger  
Gespräche  
2010**



## Wiederkäuerernährung

– wesentliche Grundlage für Tiergesundheit, Ressourcenschonung sowie Umwelt- und Klimaschutz –

### Inhaltsverzeichnis

Begrüßung. . . . .	W. WEISTHOFF	7
<b>1. Entwicklungen der Wiederkäuerernährung</b>		
1.1 Wiederkäuer – Integraler Bestandteil der zukünftigen globalen . . . . . Ernährungssicherung und des Klimaschutzes Diskussion	G. FLACHOWSKY	10
1.2 Strategien der Rinderzucht unter Berücksichtigung . . . . . von Ressourcen- und Umweltschutz Diskussion	H. SWALVE	31
1.3 Ökonomische und ökologische Aspekte der Nutzung . . . . . von Biomasse durch den Wiederkäuer Diskussion	A. HEISSENHUBER	47
<b>2. Gastrointestinale Interaktion Mikrobiota und Wirt</b>		
2.1 Microbial ecology of the rumen: impact on nutrition and the environment. . . . . Diskussion	J. WALLACE	59
2.2 Utilization of endproducts of rumen fermentation for intermediary processes . . . . . Diskussion	M.S. ALLEN	70
2.3 Biochemical rumen functions: facts and modelling. . . . . Diskussion	J. DIJKSTRA	79
2.4 Undesirable substances in ruminant nutrition. . . . . – The bright and dark side of the rumen – Diskussion	S. DAENICKE	94

<b>3. Verdauung und Stoffwechselgrenzen</b>	
3.1 Resorption von Energieträgern: Qualität vs Quantität .....	G. GÄBEL 105
Diskussion	
3.2 Verzehrregulation .....	W. LANGHANS 121
Diskussion	
3.3 Störungen im Energiestoffwechsel im Zyklus der Reproduktion .....	J. REHAGE 138
bei Milchkühen	
Diskussion	
3.4 Ernährung und Immunsystem .....	B. KASPERS 151
Diskussion	
<b>Ernährung und Gesundheit beim Menschen .....</b>	<b>H.G. JOOST 159</b>
<b>4. Ökonomie und Effizienz der Wiederkäuerhaltung</b>	
4.1 Effiziente Ressourcennutzung – Konsequenzen und Perspektiven .....	K.H. SÜDEKUM 163
für die Futterbewertung	
Diskussion	
4.2 Stoffbilanzen von Futterbausystemen für die Milcherzeugung .....	F. TAUBE 176
Diskussion	
4.3 Entwicklungsperspektiven für Milchviehbetriebe .....	U. LATACZ-LOHMANN 188
Diskussion	
Zusammenfassung .....	G. BREVES 201
Schlusswort .....	E. KALM 204
Teilnehmer der HÜLSENBERGER GESPRÄCHE 2010 .....	205

## Begrüßung zu den »23. Hülsenberger Gesprächen 2010«



Sehr geehrte Herren Seiller, sehr geehrte Damen und Herren,

im Namen des Kuratoriums und des Vorstandes der H. Wilhelm Schaumann Stiftung begrüße ich Sie recht herzlich zu den 23. Hülsenberger Gesprächen in Lübeck. Wir freuen uns, dass Sie unserer Einladung so zahlreich gefolgt sind.

Mit dem diesjährigen Generalthema „Wiederkäuerernährung – wesentliche Grundlage für Tiergesundheit, Ressourcenschonung sowie Umwelt und Klimaschutz“ möchten wir uns während der diesjährigen Hülsenberger Gesprächen mit dem Wiederkäuer beschäftigen.

Einleitend in dieser Thematik möchte ich den Physiker und Nobelpreisträger Albert Einstein zitieren: „Ein Umdenken ist notwendig, wenn die Menschheit überleben will“.

Weltweit werden auf der Erde nach vorliegenden Zahlen der USDA mehr als 987 Mio. Rinder gehalten, mehr als 25 % aller Rinder, ca. 280 Mio. Tiere, davon in Indien. Es folgen Brasilien mit 179 Mio. Tieren, China mit 105 Mio. Tieren und die USA, Argentinien und Kolumbien. In der europäischen Union beträgt der Rinderbestand 88 Mio. Tiere. Nach Frankreich ist die Bundesrepublik Deutschland mit fast 13 Mio. Tieren der zweitgrößte Rinderhalter in diesem Wirtschaftsraum.

Die weltweiten Tierbestände unterliegen stetigen Veränderungen, die von den ökonomischen, sozialen und ökologischen Rahmenbedingungen abhängig

sind. Unterschiedliche Haltungs- und Nutzungssysteme bestimmen die Produktion in den einzelnen Regionen.

Eine extensive Rinderhaltung durch Nomaden in den Steppenregionen Afrikas oder Asiens, die mehr oder weniger intensive Weidewirtschaft in Neuseeland oder Südamerika oder hocheffiziente Stallhaltungssysteme in Europa oder Nordamerika sollen als Beispiel für unterschiedliche Produktionssysteme genannt werden.

Auch die Rindviehhaltung muss eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts unterstützen: Die Sicherung der Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung mit tierischem Protein in Form von Milch oder Fleisch. Und damit, zurückkommend auf das obige Zitat, einen Beitrag zum Überleben der Menschheit leisten.

Heutigen Angaben zufolge wird sich der Bedarf der Weltbevölkerung an tierischem Eiweiß bis zum Jahre 2050 verdoppeln. Dabei ist diese Aufgabe unter dem Komplex Produktionssteigerung – Ressourceneffizienz – Klimaschutz – Tiergerechtigkeit – Verbraucherakzeptanz und Biodiversität zu betrachten. Diese Aufzählung von Schlagworten zeigt uns, dass nicht nur einzelne Faktoren, sondern eine Vielzahl von Fragestellungen beantwortet werden müssen, um diese Herausforderungen zu erfüllen. Das beschriebene Umdenken muss auch zwischen den einzelnen betroffenen Disziplinen stattfinden. Es ist zukünftig nicht nur das Ergebnis des einzelnen Forschungsvorhabens, sondern das interdisziplinäre

Zusammenarbeiten und Netzwerkdenken wichtig, damit vorhandenes Wissen im Hinblick auf das gemeinsame Ziel genutzt wird.

Zurückkommend auf das Generalthema der diesjährigen Hülsenberger Gespräche möchten wir in Vorträgen und Diskussionsbeiträgen die dargestellte Tagungsthematik aus unterschiedlichen Blickwinkeln bearbeiten.

Im ersten Tagungsblock soll die Bedeutung des Wiederkäuers bei der Ernährungssicherung und Klimaschutz dargestellt werden. Dabei wird auch die Rolle der Tierzucht betrachtet und bestimmt. Im Rahmen dieser Diskussion wird immer wieder die Rolle des Wiederkäuers als Klimakiller diskutiert.

Aktuellen Untersuchungen der FAO zufolge werden durch die Rinderhaltung 4 % der Klimaemissionen durch die Methanproduktion verursacht. In der Bundesrepublik Deutschland beträgt der Methan-Anteil an der Produktion von Treibhausgasen nur 1,3 %. Jeder Wiederkäuer produziert 70 - 80 Kubikmeter Methan je Jahr. Bedingt durch den unproduktiven Erhaltungsbedarf liegen große Unterschiede zwischen den einzelnen Leistungsniveaus vor. Während eine Kuh mit einer täglichen Milchleistung von 10 kg 40 g Methan je Liter Milch produziert, reduziert sich dieser Anteil auf weniger als 15 g Methan je Liter bei einer Tagesleistung von 40 kg. Gleichzeitig kann eine Kuh mit einer täglichen Milchleistung von 35-kg im Hinblick auf den Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Äquivalent mit einem Mittelklasse-Pkw mit einer jährlichen Fahrleistung von 22.000 km verglichen werden. Letztendlich stellt sich aber auch die Frage, inwiefern die Ökonomie der Milch- und Fleischproduktion durch derartige Rahmenbedingungen beeinflusst wird.

Die Fakten veranschaulichen, dass für die zukünftige Betrachtung dieser Thematik neben einer intensiven Diskussion um Leistungsvermögen und Effizienz in der Milch- und Fleischproduktion grundlegende Kenntnisse der Verdauung eines Wiederkäuers notwendig sind. Im zweiten Tagungsblock werden daher die mikrobiologische Abbauvorgänge, die Absorption und intermediäre Verwertung dieser durch Mikroben produzierten Stoffwechselprodukte dargestellt wer-

den. Zugleich soll auch versucht werden, derartige Verdauungsvorgänge als mathematisches Modell zu beschreiben.

Im Rahmen der mikrobiellen Abbauvorgänge ist auch die Rolle des Pansens bei Detoxifikationsprozessen von ausschlaggebender Bedeutung, wenn in den verschiedensten Futtersystemen unterschiedliche Futtergrundlagen mit unterschiedlichen Hygienestatus betrachtet werden.

Der dritte Themenblock ist mit dem Schwerpunktthema Verdauung und Stoffwechselgrenzen betitelt. Neben der Frage nach der maximalen Absorptionsleistung des Verdauungstraktes und beeinflussenden Faktoren der Verzehrsregulation sollen aber auch Zusammenhänge zwischen der Ernährung, Fruchtbarkeit und dem Immunsystem geklärt werden. Während eine unzureichende Fruchtbarkeit monetär sehr gut bewertet werden kann, sind Zusammenhänge zwischen der Ernährung und dem Immunsystem wenig bearbeitet worden und daher schwierig zu bewerten.

Im letzten Tagungsblock soll abschließend diskutiert werden, ob im Hinblick auf eine verbesserte Effizienz der Wiederkäuerhaltung die aktuelle Futterbewertung verändert werden muss. Weitergehende Fragen zu Stoffbilanzen und ökonomischen Bewertungen von konventioneller und ökologischer Milchproduktion unter Berücksichtigung der Methanproduktion runden dieses umfassende Thema ab.

Sehr geehrte Damen und Herren,

mit den Herausforderungen des landwirtschaftlichen Umfeldes haben sich auch die wissenschaftlichen Fragestellungen in der Landwirtschaft verändert. Mit den diesjährigen Hülsenberger Gesprächen wird ein neues Thema mit dem Ziel, einer effizienten, klimaschonenden Lebensmittelproduktion am Beispiel des Wiederkäuers, diskutiert.

Auch wenn in der Landwirtschaft in den vergangenen Jahren ein gewaltiger Strukturwandel stattgefunden hat und zukünftig auch stattfinden wird, ist die H. Wilhelm Schaumann Stiftung ihren Prinzipien in der mehr als 40-jährigen Geschichte treu geblieben.

Neben der gemeinnützigen Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in den Tierwissenschaften ist insbesondere die Ausrichtung von agrarwissenschaftlichen Fachtagungen, wie den Hülsenberger Gesprächen, ein Diskussionsforum, welches Ihnen, sehr geehrte Gäste, die Möglichkeit eröffnet, aktuelle Themen gemeinsam mit Ihren Kolleginnen und Kollegen zu diskutieren.

Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle den Herren Charles Antoine und Olivier Seiller, die es mit viel persönlichem und finanziellem Engagement ermöglichen, dass die vom Stiftungsgründer, Herrn H. Wilhelm Schaumann, ins Leben gerufene Stiftung ihre in der Satzung festgelegten Ziele weiterführen kann.

Sehr geehrte Damen und Herren,  
wir hoffen, dass unsere Referenten Ihnen in Wort und Bild ein ausreichendes Diskussionspotential zur Verfügung stellen. Daher möchten wir an dieser Stelle auch darauf hinweisen, dass die Arbeit der H. Wilhelm Schaumann Stiftung ihre Aufgabe auch darin sieht, einem intensiven und interdisziplinären Meinungsaustausch zwischen den einzelnen Fachrichtungen zu führen. Wo kann man eine bessere Diskussionsatmosphäre finden als bei den Hülsenberger Gesprächen? Wir möchten Sie, sehr verehrte Damen und Herren, auffordern, diese Hülsenberger Gespräche zu intensiven Diskussionen zu nutzen.

Bei den Referenten möchten wir uns bereits jetzt für Ihre Ausführungen bedanken.

Bevor ich nun Herrn Professor Dr. Schwerin für die Moderation des ersten Tagungsblockes das Wort erteile, möchte ich uns allen einen erfolgreichen Verlauf der 23. Hülsenberger Gespräche wünschen.

Vielen Dank.

# Wiederkäuer – Integraler Bestandteil der zukünftigen globalen Ernährungssicherung und des Klimaschutzes



## 1 Einleitung

Als Wiederkäuer (Ruminantia) werden Tiere, wie Rinder, Büffel, Schafe und Ziegen bezeichnet, die zur Unterordnung der Paarhufer gehören und deren Verdauungssystem durch einen mehrhöhligen Magen mit intensiver mikrobieller Besiedlung im Vormagenbereich gekennzeichnet ist.

Die Domestikation der wichtigsten Wiederkäuerarten erfolgte vor etwa 10 000 Jahren im Nahen Osten (Rinder) und in Westasien (Kleinwiederkäuer wie Schafe und Ziegen). Dadurch wurde ein wesentlicher Beitrag zum Sesshaft-Werden des Menschen geleistet, denn die Lebensmittellbereitstellung hing nicht mehr vom zufälligen Jagderfolg ab, sondern wurde planbar. Neben Milch und Fleisch lieferten bzw. liefern die Wiederkäuer auch andere wichtige Dinge für den Menschen, wie z.B. Knochen für Jagdgeräte, Kleidung, Dünger und Heizmaterial und sie sind auch gegenwärtig noch eine wichtige Zugkraft (Feldbestellung, Transporte u.a.). Damit haben sie nicht nur eine herausragende Bedeutung für die Bereitstellung von Lebensmitteln tierischer Herkunft, sondern auch für die Erzeugung pflanzlicher Rohstoffe. Wiederkäuer stellen und stellen in verschiedenen Regionen eine bedeutsame Einkommensquelle sowie eine "Versicherung" für die Familie sowie einen Indikator für Wohlstand und Reichtum dar. In verschiedenen Regionen waren bzw. sind sie auch noch gegenwärtig Kult- und/oder Opfertiere. Diese Aufzählung belegt die große kulturhistorische Bedeutung der Wiederkäuer für den Menschen.

Von den Wiederkäuern kommt dem Rind eine besondere Wertschätzung zu. Auf Grund der Größe und Stärke gilt bei vielen Volksgruppen das männliche Rind (Stier, Bulle) als Symbol der Unabhängigkeit, der Wildheit und Stärke, der Überlegenheit, des Schutzes, der reinen ungezügelter Energie und der Zeugungskraft (Conrad 1973; Rifkin 1992).

Nicht grundlos hat sich Göttervater Zeus in einen Stier verwandelt und die schöne Europa von Phönizien nach Kreta entführt und als rückverwandelter Zeus mit ihr dann drei Söhne gezeugt. Gegenwärtig würde sich der Göttervater wohl schämen, wenn er wüsste, dass seine Stärke als Stier auf der griechischen Euro-Münze "missbraucht" wird (Abb. 1).



Abbildung 1: Griechische 2-Euro-Münze mit Zeus (Stier) und Europa

Auch in anderen antiken Darstellungen, sowohl bei den Ägyptern als auch bei den Griechen und Römern und weiteren Völkern spielen kräftige männliche Rinder eine wichtige Rolle. Erinnerung sei nur an

den prächtigen Stierkopf im kleinen Palast von Knossos (Kreta; 1550-1500 v.u.Z.) oder an die Darstellung des starken Bullen im Senatsgebäude auf dem Forum Romanum (Abb. 2), die dem Ernährungserlass des Kaisers Trajan (98 – 117) gewidmet ist. Da den Römern in dieser Periode der größten Ausdehnung des Reiches die Soldaten drohten auszuziehen, garantierte Trajan im Erlass eine unentgeltliche Ernährung für Kinder und Jugendliche. Neben dem Rind dienten auch Schaf und Schwein als Symbolfiguren, was nicht für eine vegetarische oder gar vegane Ernährungsform der Römer spricht.

Weibliche Rinder (Kühe) gelten als Inbegriff von Geduld und Sanftmütigkeit. Sie verkörpern Nahrung und sind Ernährerin. Bodenständigkeit, Gelassenheit, Reinheit sowie die Kraft der Milde und Güte sind weitere Tugenden, die mit der Kuh in Verbindung gebracht werden (Conrad 1973, Rifkin 1992). Bei diesen Eigenschaften verwundert es auch nicht, dass die Kuh von der Antike, z.B. in verschiedenen ägyptischen Grabmalereien bis zur Jetztzeit, z.B. in einem Porträt im Bundeskanzleramt, dargestellt ist.

Nach Rifkin (1992) diene die Kuh dem Menschen auch als Mittel, die Welt zu definieren und aktiv zu gestalten. Der Autor spricht von "Rinderkulturen", die die ökologischen, ökonomischen und politischen



Abbildung 2: "Trajan"-Bulle

Entwicklungen ganzer Gesellschaften in Indien und Afrika beeinflussten und noch beeinflussen. Für Europa und Nordamerika spricht er von Rinder Gesellschaften, denen er eine zentrale Rolle bei der Gestaltung und Entwicklung des "Westens" zukommen lässt.

Wiederkäuer waren bereits in der Antike eine begehrte Kriegsbeute. So lässt Homer seinen Helden Nestor über einen Beutezug auf Kreta u.a. berichten: "Ungeheuer war damals die Beute. 50 Herden von Rindern, Schafe und Ziegen".

Eine besondere Wertschätzung erfährt die Kuh im Hinduismus. Nach Ghandi ist "das charakteristische Merkmal des Hinduismus die Hochachtung, mit der die Kuh behandelt wird.

Die Kuh zu beschützen, scheint eine der bewunderungswerten Äußerungen des menschlichen Fortschrittes zu sein. Für mich ist die Kuh die Verkörperung der gesamten infrahumanen Welt...; die Kuh ist ein Gedicht der Nächstenliebe... Sie zu beschützen, heißt alle stummen Geschöpfe Gottes zu beschützen".

Wiederkäuer haben demnach einen wesentlichen Beitrag sowohl bei der Entstehung der Hochkulturen in der Antike als auch bei der Weiterentwicklung der Zivilisation geleistet, wie selbst Rifkin (1992), eigentlich als Wissenschaftskritiker im Allgemeinen und als Kritiker der "Rinderkultur" im Speziellen bekannt, in seinem "Imperium der Rinder" ausführt.

## 2 Wiederkäuer heute - Pro und Kontra

Nach Angaben der Welternährungsorganisation (FAO 2009b) werden gegenwärtig auf der Erde etwa 1,9 Mrd. Großwiederkäuer (Rinder, Büffel) und etwa 1,8 Mrd. Kleinwiederkäuer (Ziegen, Schafe) gehalten. Weltweit sind z.Z. etwa 600 Mio. Menschen ausschließlich von ihren Wiederkäuerbeständen (weitgehend Subsistenzwirtschaft) anhängig. Durch eine "Global Feed Initiative" (FAO 2009a) will die FAO dazu beitragen, die vielen offenen Probleme dieser Menschen zu lösen und ihnen auch unter den gegenwärtigen Bedingungen eine Existenzgrundlage zu sichern.

Die von den Tieren verzehrten Futtermengen sind vielfach höher als die von den Menschen aufgenommenen Nahrungsmengen, wie Tabelle 1 im Ergebnis einer Kalkulation zeigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass global sowohl Groß- als auch Kleinwiederkäuer deutlich kleiner sind bzw. eine geringere Lebendmasse aufweisen als die in Europa und Nordamerika gehaltenen Tiere. Für ein tropisches Rind wird meist eine Lebendmasse von etwa 250 kg (Tropical Livestock Unit, TLU) unterstellt. Daraus resultieren auch die in Tabelle 1 unterstellten geringen Trockensubstanzaufnahmen, wie z.B. lediglich 8 kg je Rind und Tag. Die deutlich höhere Nahrungsaufnahme der Tiere im Vergleich zum Menschen sollte auch Anlass dafür sein, die pflanzenzüchterischen Maßnahmen, vor allem bezüglich Futterpflanzen, zu intensivieren (s. auch Tab. 9, Flachowsky 2008).

Mensch/Tier	Anzahl (Mrd., FAOstat 2005)	Verbrauch (Verzehr) in Trockensubstanz	
		(kg/Tag)	(Mrd. t/Jahr)
Menschen	6,8	0,5	1,2
Großtiere			
Rinder/Büffel/Pferde/Kamele	1,9	8	5,5
Kleinwiederkäuer	1,8	1	0,7
Schweine	0,95	1	0,35
Geflügel	18,5	0,07	0,45
Verbrauch Futtermittel, gesamt gegenwärtig 2050			7 ≈ 12
Erforderlicher Flächenertrag (bei 1,5 Mrd. ha Ackerfläche und 3,3 Mrd. ha Grasland; t T/ha)	Gegenwärtig 1,3	2050	2,5

Tabelle 1: Erforderliche Nahrungsmengen für Menschen und Tiere sowie notwendiger Flächenertrag (nach FAOstat und eigene Kalkulationen)

Andererseits ist zu berücksichtigen, dass die global verfügbaren Graslandflächen (etwa 3,3 Mrd. ha; FAO 2009b) ausschließlich von Wiederkäuern genutzt werden können. Wiederkäuer verfügen infolge der mikrobiellen Besiedlung der Vormägen über Potentiale (s. Abb. 3), die sie in die Lage versetzen, u.a. Zellwände abzubauen und die Abbauprodukte für den Stoffwechsel nutzbar zu machen. Durch die Verdauungsabläufe in diesem "Biotechnikum" Pansen (s. u.a. Baldwin 1995; Dehority 2003; Flachowsky et al.

2003; France und Kebreab 2008; Hobson 1988; van Soest 1994) unterscheiden sich Wiederkäuer wesentlich von Nichtwiederkäuern und Mensch und die oft diskutierte Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier relativiert sich. Dieser mikrobielle Fermentationsraum kann unter Berücksichtigung der weltweit gehaltenen Wiederkäuer auf 150 Mio. m<sup>3</sup> geschätzt werden (Flachowsky et al. 2003). Unter Berücksichtigung dieses Volumens werden jährlich über 2 Mrd. t Zellwandbestandteile abgebaut und für die Erzeugung von Milch und Fleisch genutzt. Das Potential der mikrobiellen Proteinsynthese in den Vormägen der Wiederkäuer wird auf etwa 0,8 Mrd. t pro Jahr geschätzt (Flachowsky et al. 2003). Zu erwähnen sind auch die Möglichkeiten der mikrobiellen B-Vitaminsynthese (s. Abb. 3) sowie das Potential zum Abbau bzw. zur Inaktivierung verschiedener unerwünschter Stoffe (s. Dänicke 2010).

Andererseits soll nicht unerwähnt bleiben, dass bei höheren Milch- oder Wachstumsleistungen ein teilweise ganz erheblicher Kraftfuttereinsatz erforderlich sein kann (s. Tab. 2). Nährstoffökonomisch ist die Proteinerzeugung in der Milch bedeutend günstiger einzuschätzen als im Fleisch der Wiederkäuer (Flachowsky 2002). Einerseits ist der Energie- und Nähr-

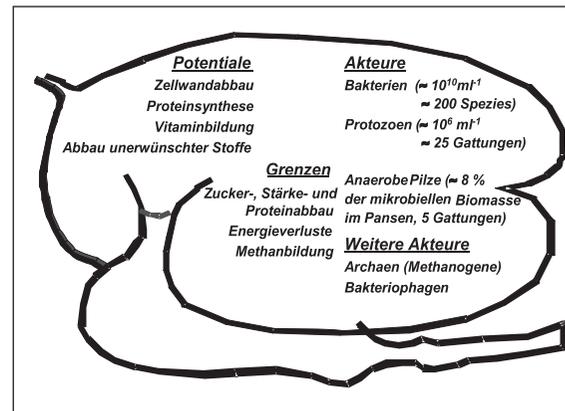


Abbildung 3: Potentiale, Grenzen und ausgewählte Akteure im Pansen

stoffaufwand für die Proteinsynthese und die Abgabe mit der Milch deutlich geringer als der Proteinansatz im Körper, der im ständigen Wechsel von anabolen und katabolen Prozessen erfolgt (Bergner und Hoffmann 1996, Simon 1989). Andererseits ist nahezu das gesamte mit der Milch ausgeschiedene Protein essbar, während im Schlachtkörper der Anteil essbares Protein zwischen 50 und 60% variiert (Tab. 2). Tabelle 2 zeigt auch Angaben für Nichtwiederkäuer. Dabei fällt auf, dass beim Geflügel die je kg Lebendmasse erzeugte Menge an essbarem Protein in Abhängigkeit vom unterstellten Leistungsniveau deutlich höher ist als bei den Großtieren.

Diesen und weiteren “Pro-Wiederkäuer-Argumenten” werden vor allem in Verbindung mit der Klimawandel-Diskussion “Kontra-Argumente” entgegengestellt. Erstaunlich ist dabei, dass die umfangreichste Sammlung von kritischen Gegenargumenten in jüngster Zeit von der FAO (Steinfeld et al. 2006) in dem Werk “Livestock’s Long Shadow” erfolgte. Eigentlich war die FAO ursprünglich von den Vereinten Nationen (UN) mit dem Auftrag versehen worden, u.a. die Bedingungen für die Tierhaltung in den

Tropen/Subtropen und vor allem das Leben der von der Tierhaltung abhängigen Menschen zu verbessern. In “Livestock’s Long Shadow” erfolgt – ausgehend von einer oberflächlichen Literaturliteraturauswertung und verschiedenen Fehleinschätzungen (z.B. werden 18% der globalen Treibhausgasemissionen den Wiederkäuern zugeordnet) eine kritische Bewertung der Wiederkäuer (s. Flachowsky 2010; Mitloehner 2010). Diese “Image-schädigende Negativargumentation” dürfte in der sehr Drittmittelabhängigen Forschung auch dazu führen, dass kaum noch Sponsoren bereit sein werden, dringend benötigte Mittel für entsprechende Forschungsprojekte bereit zu stellen.

Die zunehmende Kritik an der Ausarbeitung führte dazu, dass die FAO “zurückruderte” und kürzlich mit der Publikation “The State of Food and Agriculture – Livestock in the Balance” (FAO 2009b) verschiedene Korrekturen und Klarstellungen vornahm. “The Global Feed Initiative” (FAO 2009a) und “Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector” (FAO 2010) sind ebenfalls in diese Korrekturbemühungen einzuordnen.

Eiweißquelle (Lebendmasse)	Leistung je Tag	Kennzahlen der Futteraufnahme		Essbare Fraktion (%)	Proteingehalt in der essbaren Fraktion (g/kg Frischmasse)	Essbares Protein	
		Höhe (kg T/Tag)	Grundfutter/ Kraftfutter- Verhältnis (auf T-Basis, %)			g/Tag	g/kg LM
Milchkuh (650 kg)	10 kg Milch	12	90/10	95	34	323	0,5
	20 kg Milch	16	75/25			646	1,0
	40 kg Milch	25	50/50			1292	2,0
Milchziege (60 kg)	2 kg Milch	2	80/20	95	36	68	1,1
	5 kg Milch	2,5	50/50			170	2,8
Mastrind (350 kg)	500 g LMZ <sup>1)</sup>	6,5	95/5	50	190	48	0,14
	1000 g LMZ	7	85/15			95	0,27
	1500 g LMZ	7,5	70/30			143	0,41
Mastschwein (80 kg)	500 g LMZ	1,8	20/80	60	150	45	0,55
	700 g LMZ	2	10/90			63	0,8
	900 g LMZ	2,2	0/100			81	1,0
Mastküken (1,5 kg)	40 g LMZ	0,07	10/90	60	200	4,8	3,2
	60 g LMZ	0,08	0/100			7,2	4,8
Legehennen (1,8 kg)	50 % LL <sup>2)</sup>	0,10	20/80	95	120	3,6	2,0
	70 % LL	0,11	10/90			5,1	2,8
	90 % LL	0,12	0/100			6,6	3,7

<sup>1)</sup> Lebendmassezunahme <sup>2)</sup> Legeleistung

Tabelle 2: Produktion von essbarem Protein tierischer Herkunft mit verschiedenen Tierarten/-kategorien in Abhängigkeit von der Leistungshöhe (nach Flachowsky 2002)

### 3 Beiträge zur globalen Ernährungssicherung

“Eckpunkte” der gegenwärtigen globalen Ernährungssituation sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Es kann eingeschätzt werden, dass das sog. Millennium-Ziel – Halbierung der global Hungernden auf etwa 400 Mio. Menschen bis 2015 - nicht erreicht werden kann, sondern die Anzahl hungernder Menschen sogar auf etwa 1 Mrd. ansteigen wird. Jüngste Aktivitäten, wie z.B. die Welternährungs-Konferenz in Rom, die Global Feed Initiative der FAO, verschiedene Publikationen zur Einschätzung und zur Verbesserung der Ernährungslage (z.B. FAO 2009b; IAASTD 2008; Koning et al., 2008; SCAR 2008; The Royal Society 2009; World Bank 2008) sind Ausdruck der Situation und deuten teilweise mutige Lösungsansätze an. Strategisch werden dabei der Pflanzen- und Tierzucht als langfristige und nachhaltige Maßnahmen besondere Aufmerksamkeit gewidmet (s. Tab. 9 und 10).

Im Zusammenhang mit Ressourcenverbrauch und Emissionen wird auch häufig die Frage gestellt, ob der Mensch überhaupt Lebensmittel tierischer Herkunft benötigt oder ob eine Ernährung mit Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft nicht ausreicht (z.B. Aiking et al. 2006). Die am häufigsten gegebene Antwort lautet “eigentlich ja, aber...”

- Lebensmittel tierischer Herkunft tragen zu einer ausgeglichenen Ernährung bei (z.B. Aminosäuren, Spurennährstoffe u.a.), die vor allem für Kinder und Jugendliche sowie Schwangere und Stillende bedeutungsvoll ist
- sie haben einen hohen Genusswert
- sie gelten in verschiedenen Regionen als Ausdruck des sozialen Status (z.B. bestehen enge Bezie-

hungen zwischen Einkommen und Verzehr an Lebensmitteln tierischer Herkunft; Keyzer et al. 2005) bzw. des Beherrschens/Nachahmens des “westlichen Lebensstils”.

Neben der hohen Proteinqualität sind auch der hohe Gehalt und die gute Verfügbarkeit verschiedener Mengen- und Spurenelemente sowie Vitamine und der Gehalt an den als wertvoll eingeschätzten konjugierten Linolsäuren (CLA; z.B. c9t11C18:2; Kraft et al. 2003, 2008) in von Wiederkäuern stammenden Lebensmitteln zu erwähnen.

Der Proteinbedarf des Erwachsenen wird mit 0,75 – 1g/kg Lebendmasse bzw. etwa 60g/ Tag (bei etwa 70 kg Lebendmasse) angegeben; für eine ausgeglichene Ernährung sollten etwa 1/3 bzw. etwa 20 g Protein tierischer Herkunft je Tag verfügbar sein (Jackson 2007, Rand et al. 2003, Waterlow 1999). Diese Proteinmenge wird gegenwärtig etwa “im Mittel” verzehrt (23,9g/Einwohner und Tag, FAO 2009b), die Streuung zwischen verschiedenen Regionen bzw. Ländern ist jedoch unvorstellbar groß, wie in Tabelle 4 an ausgewählten Beispielen gezeigt wird. Von den gegenwärtig im Mittel verzehrten Proteinnmengen tierischer Herkunft stammen annähernd 50% von Wiederkäuern bzw. davon hergestellten Produkten (FAO 2009b).

Obwohl die Erdbevölkerung bis 2050 voraussichtlich um weniger als 40% ansteigen wird, ist nahezu eine Verdoppelung des Verbrauches an Lebensmitteln tierischer Herkunft zu erwarten (s. Tab. 5). Dieser überproportional hohe Anstieg resultiert aus zunehmendem Einkommen in verschiedenen Regionen, erhöhtem Verbrauch in vielen Schwellen-

Ungenügende Nahrungsbereitstellung (Energiedefizit)	≈ 850 Mio. Menschen (davon 820 Mio. in Entwicklungsländern, 25 % aller Kinder < 5 Jahre)
Mangel an Aminosäuren und Mikronährstoffen (vor allem Eisen, Jod, Vitamin A, B <sub>12</sub> )	2,2 Mrd. Menschen
Übergewichtig	≈ 1,6 Mrd. Menschen, darunter 22 Mio. Kinder < 5 Jahre
Adipositas (Fettleibigkeit)	≈ 400 Mio. Menschen

Tabelle 3: Gegenwärtige Ernährungssituation (nach WHO 2008)

bzw. Entwicklungsländern (s. Tab. 4) und dem nur unwesentlichen Rückgang des Verbrauches in "Hoch-Verzehrs-Ländern".

	Minimum	Maximum
Milch (kg/Kopf/Jahr)	3,5 (Burundi)	367,7 (Schweden)
Fleisch (kg/Kopf/Jahr)	3,1 (Bangladesh)	125,6 (USA)
Protein tierischer Herkunft (g/Kopf/Tag)	1,7 (Burundi)	69,0 (USA)

Tabelle 4: Extremwerte der gegenwärtigen Versorgung mit Lebensmitteln und Protein tierischer Herkunft (nach FAO 2009b)

Bei Unterstellung der in Tabelle 5 gezeigten Werte werden je Einwohner dann etwa 52 kg Fleisch (wo bei es sich vermutlich um Schlachtkörperleer- bzw. Zweihälftenmasse handeln dürfte; Peters et al. 2010) und 116 kg Milch (vergl. mit Angaben in Tab. 4) verfügbar sein.

In diesem Zusammenhang wird auch häufig die Frage gestellt, was können wir uns überhaupt (noch) leisten? Wozu reichen die verfügbaren Ressourcen? Bei derartigen Kalkulationen wird offensichtlich, dass sowohl der Pflanzenenertrag als auch die Leistungshöhe der Nutztiere wesentlichen Einfluss auf den Flächenbedarf haben (Tab. 6).

Höherer Verzehr an Protein tierischer Herkunft, höhere Proteinmengen aus Fleisch sowie geringe

	gegenwärtig	2050	Anstieg in % (zu gegenwärtig)
Menschen auf der Erde (Mrd.)	6,5	9,0	138
Fleischproduktion (Mio t) <sup>1</sup>	229	465	203
Milchproduktion (Mio t)	580	1043	180

Tabelle 5: Herausforderungen für die Tierproduktion oder Livestock's long shadow (Steinfeld et al. 2006)

Erträge bzw. Leistungen bedingen einen höheren Flächenbedarf als ein niedrigerer Proteinverzehr, mehr Milch statt Fleisch und höhere Erträge bzw. Leistungen der Tiere (Tab. 6).

Tabelle 6: Einflussfaktoren auf den Flächenbedarf bei der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft je Einwohner und Jahr (m<sup>2</sup>; Flachowsky, 2009)

Verzehr an essbarem Protein tier. Herkunft, g/Tag:	10		20		40		60	
	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	A	B	A	B	A	B
Ertrags- bzw. Leistungsniveau								
Proportion Fleisch <sup>3)</sup> ; Milch-Protein, in %								
70 : 30	260	105	520	210	1050	420	1560	630
50 : 50	225	95	450	190	900	380	1350	570
30 : 70	190	85	380	170	760	340	1140	510

- <sup>1)</sup> Leistungsniveau A: 4 t Trockenmasse (T) Getreide, 10 t T Grundfutter/ha; 15 kg Milch/Tag; Lebendmassezunahme beim Mastrind, 600 g; Schwein, 400 g; Geflügel: 30 g/Tag  
<sup>2)</sup> Leistungsniveau B: 8 t T Getreide, 15 t T Grundfutter/ha; 30 kg Milch/Tag; Lebendmassezunahme beim Mastrind: 1 200 g; Schwein: 800 g, 60 g/Tag  
<sup>3)</sup> Proportion zwischen Protein von Mastrind, Schwein und Geflügel (in %): 15 : 60 : 25

#### 4 Carbon Footprints (CF)

Umweltwirkungen der Landwirtschaft und vor allem der Tierproduktion haben in den zurückliegenden Jahren eine erhöhte öffentliche Aufmerksamkeit erfahren. Während ursprünglich den Stickstoff- und

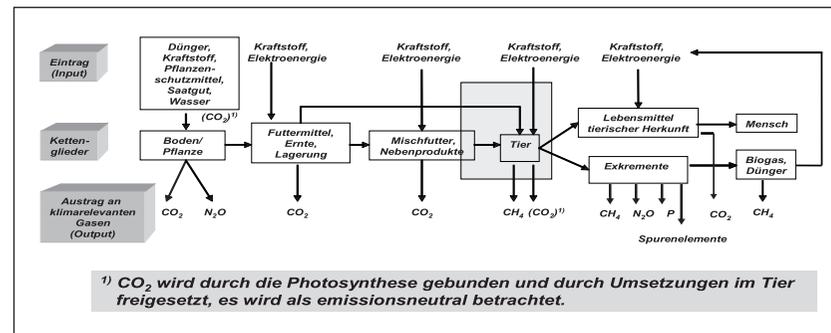


Abbildung 4: Wesentliche Elemente des Nahrungskettengliedes bzw. -netzwerkes „Lebensmittel tierischer Herkunft“ sowie ausgewählte Einträge von Ressourcen und verschiedene Austräge

Tabelle 7: Kalkulation der Emissionen je Milchkuh und Jahr  
(Parameter: Lebendmasse: 650 kg, Milchleistung 8000 kg/Jahr, 1 Kalb/Jahr; nach Dämmgen und Hänel 2008)

Emissionsquelle	Emissionen (kg/Kuh und Jahr)		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Düngerproduktion	210	5,5	1,1
Futtererzeugung	83		1,2
Transport, Behandlung	43		
Pansenfermentation		119	
Fermentation bei Güllelagerung		19	0,9
Emissionen aus Boden, Lagerung, Wasser		-1	1,8
Gesamt	336	143	5
CO <sub>2</sub> -Äquivalente (kg/Kuh und Jahr) (g/kg Milch) <sup>1)</sup>	5200 650		
CO <sub>2</sub> -Äquivalente der einzelnen Emissionen (kg/Kuh)	336	3290	1500
(% der Gesamtemission)	6	65	29

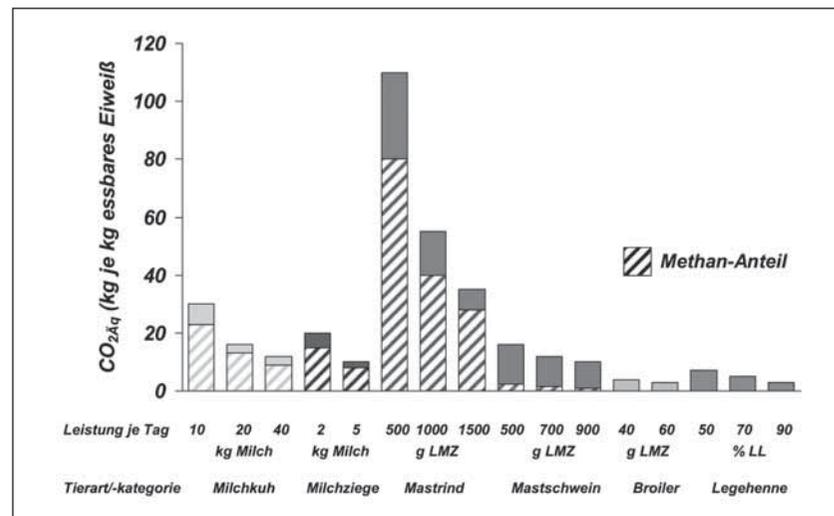
<sup>1)</sup> ohne Junggründeraufzucht und Kalb

Phosphorausscheidungen sowie verschiedenen Spurenelementen (z.B. Cu, Zn) Aufmerksamkeit gewidmet wurde und Reduzierungsmaßnahmen eingeleitet wurden, erlangten in jüngster Vergangenheit gasförmige Emissionen mit Treibhauspotential großes Interesse. Dazu gehören vor allem die Gase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), wobei zu

berücksichtigen ist, dass das Treibhauspotential von Methan etwa 23x und das von Lachgas fast 300x so hoch eingeschätzt wird wie das von CO<sub>2</sub> (IPCC 2006). Die CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwerte, auch als CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke, Carbon Footprints (CF), Ökobilanzen oder Life-Cycle-Assessments bezeichnet, stellen die Summe aller klimarelevanten Emissionen bei der Erzeugung eines Produktes unter Berücksichtigung der Treibhauspotentiale der einzelnen Gase dar. Die CF werden für die verschiedenen Produkte unter Berücksichtigung der Emissionen entlang der Nahrungskette (Wertschöpfungskette; Abb. 4) kalkuliert. Da diese Thematik intensiv diskutiert wird, soll nachfolgend etwas näher auf Zusammenhänge zum Wiederkäuer eingegangen werden.

Emissionen aus dem Pflanzenbau sowie bei Ernte, Transport, Lagerung, Aufbereitung, Tierhaltung, aus dem Verdauungstrakt der Tiere und beim Exkrementmanagement werden bei der Kalkulation von CF für Lebensmittel tierischer Herkunft in der agrarischen Primärproduktion berücksichtigt (Defra 2006; Flachowsky und Hachenberg, 2009, Peters et al. 2010). Emissionen bei der Verarbeitung, beim Transport, im Handel und bei der Zubereitung der Lebensmittel

Abbildung 5: Carbon Footprints (kg CO<sub>2,Äq</sub>) je kg essbares Protein in Abhängigkeit von Tierart/-kategorie und Leistungshöhe



im Haushalt bleiben bei den hier vorgenommenen Kalkulationen unberücksichtigt. Durch die Footprints wird eine Sensibilisierung von Erzeugern und Verbrauchern bezüglich der Umweltrelevanz eines Produktes und des Ressourceneinsatzes angestrebt.

In Tabelle 7 wird exemplarisch die Kalkulation von CF für eine Milchkuh bzw. je kg Milch vorgenommen. Dabei fällt auf, dass etwa 2/3 des CF auf Methan entfällt, vor allem resultierend aus der Methanbildung im Pansen und dem Treibhauspotential des Gases. Unter mitteleuropäischen Fütterungsbedingungen ist davon auszugehen, dass je kg Futterrockensubstanzaufnahme (etwa je 50% Grundfutter und Konzentrat) 15-20g Methan (etwa 6-8% der Bruttoenergie des Futters) vom Wiederkäuer emittiert werden.

Beim Vergleich der Footprints verschiedener Proteinquellen tierischer Herkunft (Abb. 5) in Abhängigkeit von Tierart/-kategorie und Leistungshöhe zeigt sich, dass Protein aus Rindfleisch die höchsten CF aufweist, gefolgt von Protein aus Milch und Schweinefleisch. Für Geflügelprodukte wurden die geringsten Werte ermittelt. Der auf Methan entfallende Anteil des CF ist bei Wiederkäuerprotein beachtlich hoch (schraffierte Fläche in den Säulen in Abb. 5). Ohne Berücksichtigung von Methan wären die CF des Milchproteins durchaus mit den Werten für Protein aus Eiern und Geflügelfleisch vergleichbar.

Zur Verbesserung des "Umweltimages" erfolgten in den zurückliegenden Jahren umfangreiche Aktivitäten zur Reduzierung der Methanbildung im Pansen (z.B. Beauchemin et al 2008, Flachowsky und Brade 2007, Jouany 2008, Tamminga et al. 2007), auf die u.a. auch in den Beiträgen von Wallace (2010) und Dijkstra (2010) eingegangen wird. Dabei kann in allgemeine und spezifische Fütterungsmaßnahmen zur Reduzierung der Methanbildung im Pansen unterschieden werden. Zu den allgemeinen Maßnahmen zählen u.a.:

- Höhere Leistungen der Tiere, Reduzierung der Tierzahlen (vor allem in den Tropen und Subtropen)
- Reduzierung der Aufzuchtdauer der Jungtiere, län-

- gere Nutzungsdauer der Kühe bzw. Milchziegen
- Verbesserung der Tiergesundheit, weniger Tierverluste
- Noch präzisere Ermittlung des Energie- und Nährstoffbedarfes der Tiere
- Möglichst exakte Bedarfsdeckung in Abhängigkeit von Tierart/-kategorie, Leistungshöhe und weiteren Einflussfaktoren (Überschüsse vermeiden)
- Optimale Fütterungstechnik, Tierhaltung und Exkrementmanagement (z.B. Methanbildungspotential der Exkremente/Gülle in Biogasanlagen nutzen).

Höhere Leistungen und konsequenterweise weniger Tiere sind aus globaler Sicht die wirksamste Maßnahme zu erhöhter Ressourceneffizienz und weniger Emissionen. In einer kürzlich vorgenommenen Kalkulation (FAO 2010) wurden für Europa und Nordamerika etwa 1,3; für das subsaharische Afrika jedoch 7,5 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente je kg Milch kalkuliert. Der hohe Wert resultiert vor allem aus den geringen Milchleistungen und der faserreichen Fütterung der Kühe.

In Tabelle 8 sind ausgewählte spezifische Fütterungsmaßnahmen, deren Bedeutung für Mitteleuropa und eine Einschätzung des zur Thematik erforderlichen Forschungsbedarfes dargestellt. Erfreulicherweise hat sich die H. W. Schaumann Stiftung der Forschungsförderung auf diesem Gebiet bereits angenommen. Erste Ergebnisse werden im Rahmen der die Tagung begleitenden Posterausstellung gezeigt (z. B. Kötting et al. 2010).

Bei allen Bemühungen um eine Reduzierung der Methanemission darf jedoch nicht vergessen werden, dass das Gas als unvermeidbares Nebenprodukt der anaeroben Fermentation im Pansen entsteht und dass in Übereinstimmung mit Kreuzer (2009) Wundereffekte durch die Fütterung nicht zu erwarten sind. Nach Kreuzer (2009) ist eine Reduktion der Methanemissionen um 10-20% bereits ein erstrebenswertes Ziel. Seitdem die Methanbildung im Pansen erkannt wurde (Tappeiner 1884), bemühen sich die Tierernährer primär aus Gründen einer effektiveren

Maßnahme	Bedeutung für Mitteleuropa	Einschätzung des Forschungsbedarfes
Kraftfutterreiche (zellwandarme, stärkereiche) Rationsgestaltung	Weitgehend ausgeschöpft	~
Einsatz von Futterfetten bzw. Fettsäuren bzw. Ölsaaten	Weitgehend ausgeschöpft	(↑)
Einsatz von Futterzusatzstoffen		
• Halogenverbindungen	In EU nicht erlaubt	~
• Ionophore (z. B. Monensin)	In EU nicht erlaubt	↑
• Einsatz Wasserstoffbindender Substanzen mit Energielieferung für Wiederkäuer (z. B. Fumarsäure, Acrylsäure)	z. Z. keine Bedeutung	↑↑
• Einsatz von phylogenen Zusatzstoffen bzw. Futterpflanzen mit diesen Substanzen (z. B. Tannine, Saponine)	z. Z. keine Bedeutung	↑↑
• Weitere Zusatzstoffe, wie Hefen, Enzyme u. a.	z. Z. keine Bedeutung	↑

Tabelle 8: Fütterungsmaßnahmen zur Reduzierung der Methanbildung, praktische Bedeutung und Einschätzung des Forschungsbedarfes

Energie- bzw. Futternutzung um die Reduzierung der Methan-bedingten Energieverluste.

Neben dem Methan kommt wegen des hohen Treibhausfaktors dem Lachgas eine besondere Bedeutung zu (s. Tab. 7). Tiere scheiden selbst kein Lachgas aus. Die Umsetzungen bei der Exkrementlagerung sowie im Boden können in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren zu unterschiedlich hoher Lachgasbildung führen. Neben den Bedingungen im Boden (z.B. Bodenart, Feuchte, pH, Temperatur) haben N-Quelle bzw. Geschwindigkeit der  $\text{NH}_3$ -Bildung und N-Menge je Fläche wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Lachgasbildung (Jungkunst et al. 2006, Roelandt et al 2005, Wrage et al. 2001). Für die Tierernährung resultiert daraus die Forderung nach bedarfsgerechter N-Versorgung, Minimierung der N-Ausscheidungen und langsamer  $\text{NH}_3$ -Bildung in den Exkrementen bzw. im Boden (Flachowsky und Lebzién 2007).

Der Vergleich der CF für Lebensmittel tierischer Herkunft nach verschiedenen Autoren weist deutliche

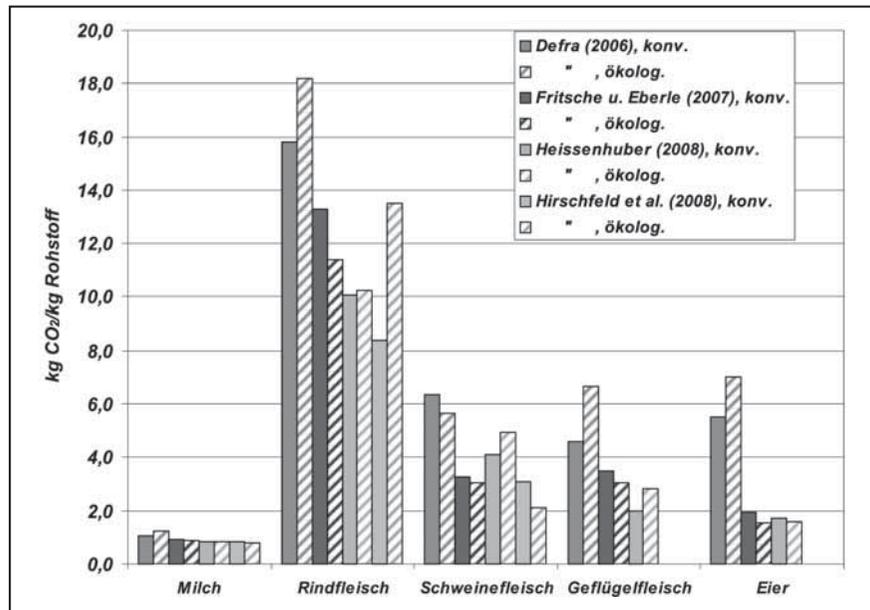


Abbildung 6: CO<sub>2</sub>-Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft aus herkömmlicher oder ökologischer Erzeugung nach verschiedenen Autoren

Schwankungen auf. Beispielsweise variieren die CF für Rindfleisch zwischen 8 und 18 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kg (Abb. 6).

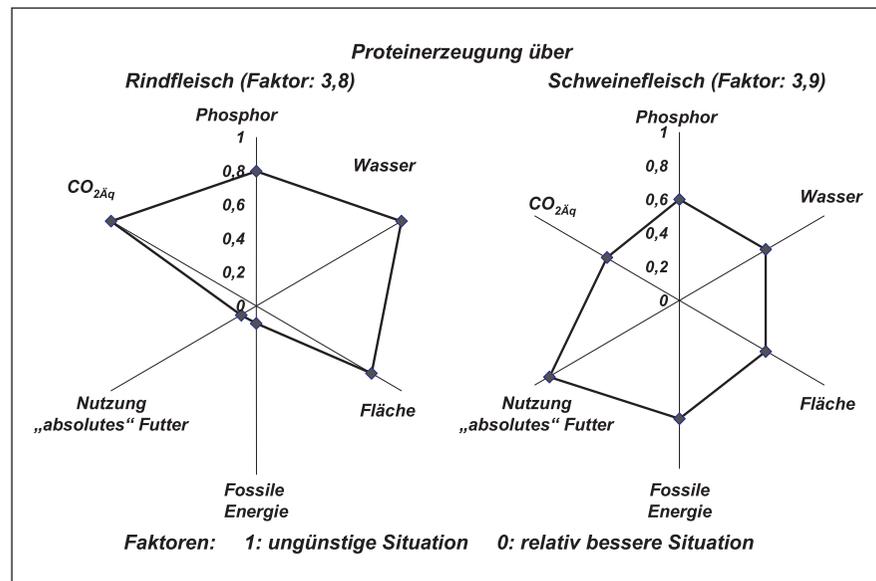
Die Ursachen für diese Schwankungen sind u.a. in unterschiedlichen Ausgangsdaten, verschiedenen Systemgrenzen, unterschiedlichen Bezugsbasen (Peters et al. 2010) und weiteren Einflussfaktoren zu suchen. Vor der Kennzeichnung von Produkten mit CF, den Vergleich und die Bewertung/„Verurteilung“ von Produkten auf der Basis der CF sind weitere experimentelle Arbeiten und Abstimmungen zwischen den auf diesem Gebiet tätigen Gruppen bzw. Wissenschaftlern erforderlich, wie z.B. (s. auch Flachowsky und Hachenberg 2009):

- Weitere Quantifizierung der Emissionen entlang der Nahrungskette (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- Standardisierung der angewandten Methoden
- Klare Definition der verwendeten Systemgrenzen
- Verbesserung der Kenntnisse über Reduktionspotentiale und Anwendung der Reduktionsmöglichkeiten.

## 5 Offene Fragen und Forschungsbedarf

Trotz der oben angesprochenen Schwachstellen und der vielen offenen Fragen erfolgt gegenwärtig in der Öffentlichkeit eine meist einseitige, monokausale Be-/Verurteilung verschiedener Produkte oder Produktionsverfahren mit Wiederkäuern, vor allem unter Berücksichtigung der Carbon Footprints. In Diskussionen wird häufig die Frage gestellt, welche Auswirkungen ein teilweiser oder vollständiger Fleischverzicht (vor allem Rindfleisch) auf die Emission klimarelevanter Gase bzw. das Weltklima hätte. Dabei steht außer Frage, dass unter unseren Bedingungen eine Verminderung der Aufnahme an Lebensmitteln tierischer Herkunft und ein sorgfältiger Umgang mit diesen Lebensmitteln wünschenswert sind. Die Auswirkungen auf das Klima dürften jedoch im „Grundrauschen“ dieser relativ unsicheren Werte untergehen. Global ist gegenwärtig mit Emissionen von etwa 45 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr zu rechnen. Auf Deutschland entfällt etwa 1 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äq., der Landwirtschaft werden in Deutschland 10-15% der

Abbildung 7: Vorschlag zur „komplexen Bewertung“ der Proteinerzeugung durch Rind- bzw. Schweinefleisch unter Berücksichtigung ausgewählter Kriterien



Gesamtemissionen (100-150 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) zugeordnet (Isermeyer et al. 2008), global wird dieser Anteil mit ≈ 32% angegeben (Steinfeld et al 2006). Bei absolutem Fleischverzicht in Deutschland und bei Unterstellung, dass etwa 20% der aus der Landwirtschaft stammenden Emissionen der Fleischerzeugung zuzuordnen sind, entsprechen diese 20% 20-30 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. etwa 0,05% der globalen Emissionen.

Eine komplexe Bewertung derartiger multifaktorieller Zusammenhänge, wie sie die globale Ernährungssicherung und ihre Vernetzung mit Ressourceneffizienz und Umweltwirkungen darstellt, erscheint demnach dringend erforderlich. In Abbildung 7 werden in einem einfachen Beispiel (Rindfleisch versus Schweinefleisch) unter Berücksichtigung begrenzt verfügbarer Ressourcen (Fläche, Wasser, fossile Energie, Phosphor), "absolutem" Tierfutter (Grünland) und von Umweltwirkungen (CF, Landschaftspflege) die Auswirkungen einer komplexen Bewertung gezeigt. In derartigen Ansätzen, die nur in Abstimmung zwischen verschiedenen Fachdisziplinen erfolgreich bearbeitet werden können, wird erheblicher Forschungsbedarf gesehen.

Durch Pflanzen- und Tierzucht kann den globalen Herausforderungen, wie effektive Nutzung begrenzt verfügbarer Ressourcen, minimale Ausscheidungen von Stoffen mit umwelt- und klimarelevanter Wirkung und Bereitstellung ausreichender Mengen qua-

Tabelle 9: Verfügbare Ressourcen und mögliche Potentiale für die Pflanzenzüchtung

Sonnenenergie	~
Stickstoff, Kohlendioxid (N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> )	~↑
Fläche	↓
Wasser	↓
Fossile Energie	↓
Mineralische Pflanzennährstoffe (z.B. P)	↓
Variation im genetischen Pool	↑

(↑ Anstieg, ↓ Abfall, ~ kein wesentlicher Einfluss)

litativ hochwertiger Lebensmittel, nachhaltig Rechnung getragen werden.

In Tabelle 9 sind begrenzt verfügbare Ressourcen, wie Fläche, Wasser, fossile Energie und verschiedene Rohstoffe sowie nahezu unbegrenzt verfügbare Ressourcen, wie Sonnenenergie, Kohlendioxid und Stickstoff, zusammengestellt. Unbegrenzt erscheinen auch mögliche Kombinationen im Genpool der Pflanzen, um optimale Varianten zur effektiven Nutzung der begrenzt verfügbaren Ressourcen (low input varieties) unter Ausnutzung der unbegrenzt verfügbaren Ressourcen (z.B. höhere Effizienz der Photosynthese, N-Fixierung aus der Atmosphäre, Nutzung der erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre als Pflanzennährstoff) zu ermöglichen (The Royal Society 2009). Für Wiederkäuer ist die Umsetzung der oben zusammengestellten Erwartungen auf dem Grasland (widerstandsfähig gegen Trockenstress, geringer Wasser- und Nährstoffbedarf u.a.) besonders bedeutungsvoll, da diese Flächen nahezu ausschließlich von Wiederkäuern genutzt werden.

Tabelle 10: Wünsche an die Tierzucht für eine effektivere Futterkonvertierung und verminderte Emissionen

Verbesserung der Relation zwischen Erhaltungs- und Leistungsbedarf
- Höhere Futteraufnahme
- Verminderter Erhaltungsbedarf
- Höhere Verdaulichkeit, verbesserte Absorption
- Geringere Energie- und Nährstoffverluste im Verdauungstrakt
Verminderung des Energie-/Nährstoffbedarfs für Proteinsynthese; effektivere anabole Prozesse
Geringerer Gehalt an Energie/Nährstoffen im Schlachtkörper bzw. in Milch/Eiern, die nicht unbedingt „erwünscht“ sind (z.B. Fette, Laktose)
Stabilere Gesundheit, geringere Tierverluste

Aus der Sicht einer effektiven Futterkonvertierung in Lebensmittel tierischer Herkunft und minimaler Ausscheidungen können an die Tierzucht die in Tabelle 10 zusammengestellten "Wünsche" formuliert werden. Der Verbesserung der Relation zwischen Erhaltungs- und Leistungsbedarf der Tiere unter Berücksichtigung der physiologischen Möglichkeiten und der Tiergesundheit kommt dabei eine erstrangige Bedeutung zu. Dabei ist klar, dass derartige und weitere Herausforderungen (Tab. 10) nicht kurzfristig zu bewältigen sind (EFSA 2010, Niemann und Kues 2007).

Unter Berücksichtigung dieser Wünsche bzw. Erwartungen steht vor der Tierernährung u.a. die Aufgabe, einerseits die ernährungsphysiologische und Sicherheitsbewertung der "neuen" Futterpflanzen vorzunehmen und andererseits den Energie- und Nährstoffbedarf der "veränderten" Tiere abzuleiten und die Qualität und Sicherheit der Lebensmittel tierischer Herkunft zu bewerten (Abb. 8).

Tabelle 8: Fütterungsmaßnahmen zur Reduzierung der Abbildung 8: Herausforderung: Tierernährung zwischen Pflanzen- und Tierzucht



### Schlussfolgerungen

Wiederkäuer stellen etwa 80% der Biomasse der vom Menschen gehaltenen Tiere dar. Sie verzehren auch etwa 80% der insgesamt von den Nutztieren jährlich aufgenommenen phytogenen Biomasse (Tab. 1).

Wiederkäuer hatten und haben wesentliche Bedeutung für die Entwicklung der Menschheit und liefern neben Lebensmitteln in Form von Milch und Fleisch auch Zugkraft, Kleidung, Dünger, Heizmaterial, sind Einkommens- und Versicherungsquelle sowie Opfer- und Kulttiere.

Im Gegensatz zu Nichtwiederkäuern sind Wiederkäuer infolge der mikrobiellen Besiedlung der Vormägen in der Lage aus zellwandreichen Futtermitteln, Milch und Fleisch zu erzeugen. Gegenwärtig stammen etwa 50% des von Menschen verzehrten Proteins tierischer Herkunft von Wiederkäuern.

Bei der mikrobiellen Fermentation im Pansen wird Methan gebildet, das infolge seines hohen Treibhauspotentials ( $23 \times \text{CO}_2$ ) bei Lebensmitteln von Wiederkäuern, vor allem bei Fleisch, zu deutlich höheren Carbon Footprints als bei Nichtwiederkäuerprodukten führt. Neben der Ausschöpfung von Reduzierungspotentialen ist eine komplexe Bewertung der Lebensmittelerzeugung dringend notwendig.

Langfristig können Pflanzen- und Tierzucht als Grundlagen einer effektiven Nutzung begrenzt ver-

fügbarer Ressourcen angesehen werden. Durch entsprechende Forschungsförderung sind die Voraussetzungen für einen optimalen Beitrag der Wiederkäuer zur globalen Ernährungssicherung und der Minimierung der Emissionen weiter zu verbessern.

### Literaturverzeichnis

Aiking, H., de Boer, J., Vereijken, J. (2006): Sustainable protein production and consumption: Pigs or Peas? In Environment & Policy, Vol 45, Springer Dordrecht, 226 S.

Baldwin, R.L. (1995): Modelling ruminant digestion and metabolism. Chapman & Hall Ltd. London, UK

Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'Mara, F., McAllister, T.A. (2008): Nutritional management for enteric methane abatement: A review. Austral. J. Exp. Agricult. 48, 21-27

Bergner, H., Hoffmann, L. (1996): Bioenergetik und Stoffproduktion landwirtschaftlicher Nutztiere. Harwood Academic Publishers, Singapore, 382 S.

Conrad, J.,R. (1973): The horn and the sword, Westport, Conn.

Dänicke, S. (2010): Bedeutung der Mikrobiota und die Beseitigung von antinutritiven und toxischen Substanzen. Proc. 23. Hülsenberger Gespräche, Lübeck, 02.-04.06.2010 (im Druck)

Defra (2006): Determining the environmental burdens and resource use in the production of agriculture and horticulture commodities. Main Report Defra Research Project ISO205, Bedford: Cranfield University and Defra, 97 S., Available on [www.silsoe.cranfield.ac.uk](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk) and [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk)

Dehority, B.A. (2003): Rumen microbiology. Nottingham Univ. Press, 372 S.

Dijkstra, J. (2010) Vormagenfunktionen inkl. Methanogenese – Modellierung für den Stoffwechsel. Proc. 23. Hülsenberger Gespräche, Lübeck, 02.-04.06.2010 (im Druck)

EFSA (2010): Guidance for the risk assessment of genetically modified animals and derived food and feed, Draft version, Parma, May 2010 (in Vorbereitung)

FAO (2009a): Global Feed Initiative. FAO-Meeting Rome, Oct. 2009, Arbeitspapier

FAO (2009b): The state of food and agriculture – Livestock in the balance. FAO Rome, 164 S.

FAO (2010): Greenhouse Gas Emissions from the dairy sector. A Life Cycle Assessment. FAO Rome, 94 S.

Flachowsky, G.(2002): Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin. J. Appl. Anim. Res. 22, 1-24

Flachowsky, G.(2008): What do animal nutritionists expect from plant breeding? Outlook on Agricult. 37, 95-103

- Flachowsky, G.(2009): Unsere zukünftige Ernährung unter besonderer Berücksichtigung von Lebensmitteln tierischer Herkunft – Was können wir uns (noch) leisten? *Mühle + Mischfutter* 146, 771-776 und 799-802
- Flachowsky, G.(2010): Globale Ernährungssicherung: Land in Sicht? *NovoArgumente* 105/03 04 2010, 64-68
- Flachowsky, G., Brade, W., (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emission bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* 79, 417-465
- Flachowsky, G., Hachenberg, S. (2009): CO<sub>2</sub>-Footprints for food of animal origin – Present stage and open questions. *J. Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 4, 190-198
- Flachowsky, G., Lebzien, P. (2007) Lebensmittel liefernde Tiere und Treibhausgase – Möglichkeiten der Tierernährung zur Emissionsminderung. *Übers. Tierernährung* 35, 191-231
- Flachowsky, G., Lebzien, P., Strobel, E.(2003): “Biotechnikum” Pansen – Potenziale und Grenzen. *Züchtungskunde* 75, 46-65
- Fritsche, R., Eberle, U. (2007): Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln, Arbeitspapier, Öko-Institut e.V. Darmstadt, 13S.
- France, J., Kebreab E., (2008): Mathematical modelling in animal nutrition. CAB International, Wallingford and Cambridge; 574 S.
- Heissenhuber, A. (2007): Ökonomische Aspekte einer energieeffizienten Landwirtschaft. *KTBL-Vortragstagung. 08./09.04.2008, Fulda, KTBL-Schrift* 463, 42-53
- Hobson, P.N. (1988): The rumen microbial ecosystem. Elsevier Sci. Publishers LDT, Barking, England
- IAASTD (2008): International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development: Executive summary of the synthesis report, 2008: "Agriculture at a crossroad: Global summary for decision makers", [agassessment.org](http://agassessment.org).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006): *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*
- Isermeyer, F., Otte, A., Christen, O., Froberg, K., Hartung, J., Kirschke, D., Schmitz, M., Sundrum, A.(2008). Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik, Gutachten. *Berichte über Landwirtschaft, SH* 116, 198 S.
- Jackson, A.A. (2007): Protein. In J. Mann and S. Truswell (Eds.): *Essentials in human nutrition*. 3<sup>rd</sup> ed., Oxford Univ. Press, 53-72
- Jouany, J.-P. (2008): Enteric methane production by ruminants and its control. In: Andrieu, A. and Wilde, D. (eds.) *Gut efficiency: The key ingredient in ruminants*. Wageningen Academic Publ., 35-59
- Jungkunst, H.F., Freibauer, A., Neufeldt, H., Bareth, G., (2006): Nitrous oxide emissions from agriculture land use in Germany – a synthesis of available annual field data. *J. Plant Nutr. and Soil Sci.* 169, 341-351
- Keyzer, M.A., Merbis, M.D., Pavel, L.F.P.W., van Westenbeck, C.F.A.(2005): Diets shift towards meat and the effects on cereal use: Can we feed the animals in 2030? *Ecological Economics* 55, 187-202
- Koning, N.B.J., van Ittersum, M.K., Bexx, G.A., van Boekl, M.A.S., Brandenburg, W.A., van den Broek, J.A., Goudriaan, J., van Hofwegen, G., Jongeneel, R.A., Schiere, J.B., Smies, M. (2008): Long term global availability of food: continued abundance or new scarcity. *NJAS* 55-3, 229-281
- Kötting, N., Meyer, U., Hachenberg, S., Flachowsky, G., Dänicke, S. (2010) Auswirkungen einer Fumarsäurezulage auf die Leistung und die Tiergesundheit von Mastbullen. Poster anlässlich der 23. Hülsenberger Gespräche, Lübeck, 02.-04.06.2010
- Kraft, J., Collomb, M., Möckel, P., Sieber, R., Jahreis, G. (2003): Differences in CLA isomer distribution of cows milk lipids. *Lipids* 38, 657-664
- Kraft, J., Kramer, J.K.G., Schöne, F., Chambers, J.R., Jahreis, G. (2008): Extensive analysis of long chain polyunsaturated fatty acids, CLA, trans-18:1 isomers, and plasmalogenic lipids in different retail beef type. *J. Agr. Food Chem.* 56, 4775-4782
- Kreuzer, M.(2009): Methansenkung: Eine neue Aufgabe für die Tierernährung. *Schriftenreihe Inst. Nutztierwissensch. ETH Zürich, Bd. 32*, 113-121
- Mitloehner, F.(2010) Eating less meat and dairy products won't have major impact on global warming. *Pres. 239<sup>th</sup> Nat. Meeting of the American Chem. Soc., San Francisco, 22<sup>nd</sup> March 2010*
- Niemann, H., Kues, W. (2007): Transgenic farm animals: An update. *Reprod. Fertil. Develop.* 19, 762-770
- Pimentel, D. (1980): *Food, energy, and the future of society*. Boulder, Colo.
- Peters, G.M., Rowley, H.S., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M.D., Schulz, M. (2010): Read meat production in Australia. Life cycle assessment and comparisons with overseas studies. *Environ. Sci. Technol.* 44, 1327-1332
- Rand, W.M., Pellet, P.L., Young, V.R. (2003): Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 77, 109-127
- Rifkin, J.(1992): *Das Imperium der Rinder*. Campus Verlag Frankfurt/New York, 277 S.
- Roelandt, C., van Wesemael, B., Rounsevell, M. (2005): Estimation annual N<sub>2</sub>O-emissions from agricultural soils in temperate climates. *Global Change Biol.* 11, 1701-1711
- SCAR (EU Commission – Standing Committee on Agricultural Research; 2008): *New challenges for agricultural research: Climate change, food security, rural development, agricultural knowledge systems*. The 2<sup>nd</sup> SCAR Foresight Exercise, Brussels, Dec. 2008, 112 S.
- Simon, O. (1989). Metabolism of protein and amino acids. In: H.-D. Bock, B.O. Eggum, A.G. Low, O. Simon and T. Zebrowska (eds.) *Protein Metabolism in Farm Animals. Evaluation, Digestion, Absorption and Metabolism*. Oxford Univ. Press and Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin; 273-366
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C., (2006). *Livestock's long shadow*. Environmental issues and options. *FAO, Rome*, 406 S.

- Tamminga, S., Bannink, K., Dijkstra, J., Zorn, R. (2007): Feeding strategy to reduce methane loss in cattle. Animal Sci. Group, Wageningen, UR, Rep. 34; 44 S.
- Van Soest, P.J. (1994): Nutritional ecology of the ruminant. Cornell Univ. Press (2<sup>nd</sup> ed.) 476 S.
- Tappeiner, H. (1884) Zeitschrift für Biologie 20, 52; zit. nach O. Kellner (1916): Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere, Verlagsbuchhandlung P. Parey, 7. Aufl., S. 93
- The Royal Society (2009): Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. RS Policy document 11/09, issued Oct. 2009, RS 1608. ISBN: 978-0-85403-784-1, 64 S.
- Wallace, J. (2010): Chances for improvement in the efficiency of microbial yield through feeding. Proc. 23. Hülsenberger Gespräche, Lübeck, 02.-04.06.2010 (im Druck)
- Waterlow, J.C. (1999): The mysteries of nitrogen balance. Nutr. Res. Rev. 12, 25-54
- World Bank (2008): "World development report 2008: Agriculture for development", econ.worldbank.org.
- Wrage, N., Velthof, G.L., van Beusichem, M.L., Oenema, O. (2001): Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. Soil Biology Biochem. 33, 1723-1732

## Diskussion



ABEL, GÖTTINGEN

Wir haben gehört, dass Methan das am häufigsten zitierte Problem der Wiederkäuer ist, und nun haben wir auch gehört, dass Stickstoff vielleicht ein viel größeres Problem darstellen könnte. Wenn man das Ganze jetzt mehr auf Stickstoff bezieht, haben wir dann eine gewisse Entlastung auf dem Methansektor oder wird die Sache insgesamt noch schlimmer für die Beurteilung der Umwelt und die der Wiederkäuer.

ANTWORT

Die Problematik des Lachgases ist deutlich komplizierter als wir das annehmen. Es gibt sehr viele Einflussgrößen. Die Masse der Bildung erfolgt nicht unbedingt in der Gülle, sondern auf dem Boden in Abhängigkeit von der Stickstoffquelle. Je schneller Ammoniak entsteht, aus Harnstoffverbindungen deutlich schneller als aus Harnsäure und deutlich schneller als proteingebundener Stickstoff, umso größer ist die Chance oder die Gefahr der Lachgasbildung. Der pH-Wert und vor allem auch die Temperatur scheinen ganz bedeutsam zu sein. Es scheint so zu sein, dass zunächst Ammoniak entsteht und wenn das länger anhält, dann auch die bakterielle Umwandlung in Lachgas erfolgt. Soweit ich das verfolgt habe, gibt es keine klaren, keine linearen Zusammenhänge mit der N-Düngung. Formal vermutet man so etwas. Lachgasbildung ist wirklich jedes Jahr anders und viele Leute sagen, sie trauen einfach ihren Messwerten nicht. Es gibt eine Darstellung aus einem EU-Projekt, bei der bei 80 kg

N-Düngung pro Hektar eine deutlich höhere Lachgasbildung als bei 250 kg gefunden wurde. Dann gab es aber einen Extremwert mit 17 kg Lachgas auf dem Hektar, das etwa 5 t CO<sub>2</sub> - Äquivalente entsprach. Da wird alles anders, was wir bisher gelernt haben. Wenn wir das auf 50 dt Getreide verteilt, dann kommen ja schon 100 kg CO<sub>2</sub> auf einen Doppelzentner Getreide. Ein anderer Vergleich: Auch Insider sagen, sie schätzen, dass etwa 1/3 der Lachgasmessungen überhaupt nicht publiziert werden, weil die Leute einfach ihren Werten nicht glauben. Diese sind zu wenig belastungsfähig, ich will jetzt nicht Kritik üben, weil das wohl der Trend der Zeit ist. Auch diese Food Prints, Vergleich ökologisch - herkömmlich, wir hatten es ja gesehen an der Darstellung, das wird ja gern gemacht, auch an ökologisch orientierten Instituten wird diese Auswertungsmethode vorangetrieben. Das kann alles ganz anders werden, wenn wir exakte Lachgaswerte haben. Was ist mit den Geilstellen von den Rindern auf der Weide? Was ist mit dem, wenn die Tiere im Winter draußen gehalten werden, wenn sie an Schweine und auch Mastrinder denken, ist das ja ein großes Potential, wo Lachgas vorhanden ist. Keiner kennt Messungen. Ich sehe das auch als das größte Problem bei der Erarbeitung leistungsfähiger Footprints an. Ob das nun 15, 20 oder 25 g Methan pro kg Futter Trockensubstanz sind, führt zu keiner hohen Variation. Die Kollegen in USA arbeiten mit 18 - 19 g pro kg Trockenmasse, die Neuseeländer mit 22 g, das ist ja alles "peanuts" im Vergleich zu der Unsicherheit bei Lachgas. Es muss berücksichtigt

werden, dass die Messungen nicht ganz einfach sind und dass das ganze Jahr über gemessen werden muss. Punktmessungen haben keinen Sinn.

CERMAK, LEIPZIG

Auf einer ihrer Folien hatten sie mehrere Ziele genannt, u. a. die Intensivierung der Laktationsleistung, gleichzeitig eine verlängerte Nutzungsdauer. Nach allem was wir bisher wissen, sind das ja zwei Ziele, die sich widersprechen. Je höher die Leistung, desto kürzer ist die Nutzungsdauer. Wo sollten denn die Prioritäten gesetzt werden? Laktationsleistung langsam erhöhen oder langfristig schauen, dass die Lebensleistung erhöht wird. Vielleicht mit einer etwas niedrigeren Laktationsleistung.

ANTWORT

Vielen Dank Herr Cermak. Das ist wirklich ein wichtiges Thema, und ich wurde schon oft angeregt, die Tierzüchter, Tierernährer, Ökonomen sollten sich zusammensetzen und diese Dinge einmal diskutieren. Wenn ich reine Dosis-Wirkungs-Effekte betrachte, also Milchleistung und Methan, dann habe ich einen kurvenmäßigen Abfall pro Liter Milch, je höher die Leistung umso besser. Wir haben aber auch Kalkulationen gemacht, wo wir gesagt haben, wir lassen jetzt die Kühe einmal 6, 8, 12.000 kg Milch erzeugen und sagen aber, diese Kühe sollen z. B. für 5.000 Menschen Lebensmittel erzeugen, aber nicht nur Milch, sondern auch Fleisch. Wenn ich das Fleisch in diese Überlegungen mit einbeziehe, dass ich auch sage, ich produziere 10 oder 12 kg Rindfleisch, dann sieht das Ganze ganz anders aus. Wenn ich das Fleisch mitbringe, dann reicht es zu 8.000 kg und wenn ich Remontierungswerte, wie sie in Ostdeutschland üblich sind, 40 % und mehr, wenn ich das mit einbeziehe, dann sieht das anders aus. Dann wird nämlich ab 10000 bis 12.000 kg, pro Einwohner die CO<sub>2</sub>-Emission etwas umgänglicher. Ich hatte eine komplexe Betrachtung angemahnt, wir dürfen nicht nur monokausal denken, sondern müssen auch das Umfeld mit bedenken. Was wollen wir in Gebirgslagen etc. ohne Mutterkühe machen, wohl wissend, dass die sozusagen eigentlich die

größten Umweltsünder sind, Doppelveredelung ist eben sehr aufwendig. Und was machen wir mit dem Gras? Das ist der andere Punkt. So etwa bei 9.000 kg pro Einwohner, der Milch und Fleisch essen will, von Selbsterzeugten. Wie ist es dann in Südafrika oder Südamerika, wo ganz andere Produktionssysteme vorherrschen. Wir müssen immer den gesamten Komplex betrachten und nicht einzelne Produktionsrichtungen herausgreifen.

BAHRS, HOHENHEIM

Vielen Dank für die sehr substantiierte und ich denke kommunikative, plakativ dargestellte Form, was klimarelevante Gase im Rahmen der Rindfleischhaltung bedeuten. Ich frage mich bei diesen Darstellungen immer, betrachten wir das System Kuh überhaupt richtig, wenn es um klimarelevante Gase geht. Ich denke, die meisten hier im Raum wissen, dass das an sich ja nicht angemessen ist. Dass das in der Öffentlichkeit ja so am besten zu verkaufen ist, aber eigentlich nicht passt, und ich denke, dass zeigen die jüngsten Ergebnisse des Kollegen Butterbach-Bahl und seine Kollegen auch, die im Rahmen ihrer Analysen in der inneren Mongolei festgestellt haben, dass, wenn ich die Rinder auf diesen Weiden nicht halten würde, dann würde die Klimabilanz ganz anders aussehen, sprich die Böden würden so viel klimarelevante Gase freisetzen, wie es eigentlich auch nicht wünschenswert wäre. Müssen wir nicht eigentlich mit ganz anderen Zahlen arbeiten, die sich automatisch ergeben würden, wenn ich ein System darstellen würde, anstatt die Kuh.

ANTWORT

Absolute Zustimmung. Zunächst noch einmal Lob und Dank an die Schaumann-Stiftung, denn, was wir hier betreiben, ist ja schon so ein bisschen, dass wir versuchen, interdisziplinär die Fragen anzugehen. Dass wir auch neue Gedanken mit reinbringen, aber was in der inneren Mongolei gemessen wurde, mein Gott, das sind relativ tierschwache Regionen, die aber auch diese Frostsituationen haben, dort trat ja vieles auf, was sie jetzt gesagt haben. Ich kann ihnen da nur

zustimmen. Wir müssen dringend mehr Daten haben, belastbare Daten. Na gut, im Winter haben sie die ja nicht gemessen, das war es ja zu kalt. Aber eine gewisse Zeit haben die auch da gemessen. Und wenn wir wirklich erst einmal dazu kommen, dass auch alles publiziert wird, dann wird eine Basis geschaffen, und das Problem Lachgas besser eingeordnet. Also es geht alles in die Richtung, was sie gesagt haben. Wir können eine monokausale Verurteilung des Rindes aufgrund des Methans nicht zulassen. Das war auch ein Ziel bzw. die Botschaft meines Beitrages. Wir versuchen den gesamten Komplex mit einzubinden, denn das Rind ist nun nach wie vor auch global vorhanden, wir dürfen diese 10 % Subsistenzfarmer nicht vergessen, die müssen wir auch mitnehmen. Wir können nicht monokausal denken, wir müssen uns zusammensetzen und mit Züchtern, Ernährern und Umweltkollegen daran arbeiten, dass wirklich belastungsfähigere Daten zur Verfügung stehen.

SCHENKEL, HOHENHEIM

Vielen Dank für die sehr schöne Darstellung des CO<sub>2</sub>-Footprints in der Produktionskette. Nun hat ja der Einzelhandel und haben die Schlachtereien den CO<sub>2</sub>-Food Print auch entdeckt. Das heißt, für die Schlachtkette, die Zubereitung, gibt es Angaben darüber, wie viel entfällt von dem dargestellten nutzbaren Protein noch zusätzlich auf die Zubereitung in Relation, zu dem was bei der Produktion anfällt. Andere Frage: Im Lifecycle Assessment werden ja neben den klimawirksamen Gasen auch noch andere Dinge erfasst. Eutrophierung, Versäuerung u.s.w.. Wenn wir jetzt nur das Rindfleisch betrachten, wie viel entfällt bei einer Gesamtsummierung auf die klimawirksamen Gase und wie viel auf diese anderen Faktoren? Ob man das etwas abschätzen kann?

ANTWORT

Vielleicht zur ersten Frage. Mir sind an sich derartige Berechnungen aus der Milchstrecke bekannt, die großen Milchkonzerne, z.B. Fonterra, deklarieren ihre Produkte. Auch Tesco hat Berechnungen bis zum Haushalt mit Kühlung und Erhitzung in der

Mikrowelle. Es ist im Prinzip so, dass im Mittel der Auswertungen, die bisher vorgenommen werden wurden, zwischen 75% und 85 % auf die agrarische Primärproduktion entfallen. Das andere z.B. Transport, Lagerung und Verarbeitung im Haushalt, das sind dann erste Werte. Ich glaube die Verarbeitung hat wohl einen Anteil von 10 - 12 % nach deren Angaben. Ob das so stimmt und wie groß die Datenbasis ist, kann ich nicht beurteilen. Auf den Haushalt entfallen etwa noch 4 %. Für Milch gibt es derartige Berechnungen. Für Fleisch haben die Neuseeländer interessante Arbeiten gemacht, aber dort gibt es noch methodische Probleme. Die haben erst einmal versucht, zu definieren, was ist denn überhaupt Fleisch. Die Studien zeigen, dass Fleisch nicht gleich Fleisch ist. Geflügel-, Schweine-, Lamm-, und Rindfleisch sind bekannt und hier sind klare Zugehörigkeiten zu erstellen. Es gibt eine japanische Arbeit zu den Mutterkühen, dort wurden Mutterkühe untersucht, und man hat wirklich Fleisch und Knochen getrennt. Da kommen dann beim Kilo Fleisch Zahlen von bis 18 kg, es wurden werte von 36 kg CO<sub>2</sub> pro Kilo Fleisch aus der Mutterkuhhaltung mit den Kälbern beschrieben.

Die zweite Frage, da muss ich passen. Das ist auch wieder diese komplexe Betrachtung, was ist da und wie kann es zugeordnet werden.

Es gibt ja an unseren Universitäten sehr gute Leute, die sich mit dem Problem Lachgas auskennen. Es gab ein größeres EU-Projekt, das von Deutschland koordiniert wurde. Frau Waage in Göttingen hat dazu einen hervorragenden Überblick, die Dinge sind jedoch ziemlich kompliziert und lassen sich nicht so einfach lösen. Hier ist noch Potential für die Forschungen in der Zukunft. Es ist sicher ein interessantes Problem, aber wir haben nicht nur die Monobetrachtung zu machen.

EDER, GIESSEN

Ein kurzer Kommentar zur Frage, ob wir in der humanen Ernährung wirklich tierische Produkte brauchen. Du hast ja gesagt, es gibt durchaus Ernährungswissenschaftler, die der Meinung sind, man könnte

auch gänzlich ohne tierische Produkte auskommen. Jetzt würde ich aber, als jemand, der auch lange Zeit mit humaner Ernährung zu tun hat, das doch etwas differenziert betrachten. Ich glaube, man sollte gar nicht unbedingt so sehr das tierische Eiweiß immer in den Vordergrund stellen, weil wir ja alle in den Industrieländern mit Eiweiß recht gut versorgt sind. Bei den Entwicklungsländern ist das natürlich eine andere Sache. Aber man darf natürlich auch nicht Inhaltsstoffe wie z. B. Calcium aus dem Auge verlieren. Und da sind natürlich die Milch und die Milchprodukte die wichtigsten Lieferanten. Wir wissen, wir haben in Deutschland ein Riesenproblem mit der Calciumunterversorgung, die Osteoporose ist ein Riesenproblem. Wir dürfen nicht vergessen, wir haben weltweit etwa 2 Mrd. Menschen mit Eisenunterversorgung, richtiggehendem Eisenmangel und dies trifft auch auf die Industrieländer durchaus zu, wenn man an junge Frauen denkt, wenn man an Schwangere denkt. Man muss an die Bioverfügbarkeit von Spurenelementen denken und da schneiden die tierischen Produkte natürlich viel besser ab. Meine Meinung ist eindeutig. Vegetarische Ernährung ohne Supplementierung wird nicht gehen. Die Alternative wäre einfach, wenn wir sagen, wir wollen uns keine tierischen Produkte mehr leisten aus den besagten Problemen, dann müssen wir uns vegetarisch ernähren, dann aber natürlich zusätzlich alles supplementieren, das wäre die Alternative, so ähnlich wie wir es beim Schwein machen mit kristallinen Aminosäuren.

ANTWORT

Dass es nicht so herübergekommen ist, bitte ich zu entschuldigen. Es gibt ja Beispiele, die das machen, sich veganisch ernähren, aber die Sicherheit in der dritten Welt ist fraglich. Mit Supplementieren bekommt man das nicht so leicht hin, man kommt nicht an die Leute ran. Das läuft mit Nahrung einschließlich tierischer Produkte am besten und die Erhöhung der Fleisch- und Milchproduktion zeigt den notwendigen Bedarf. Da haben wir ja die 20 g, einigen wir uns sicher, dass das nun ein ganz guter Wert ist, aber der geht eben von 1, 60, 80 g und die 60-, 80-g-Leute

wollen nicht unbedingt weniger essen, aber die 1-, 2-g-Leute wollen mehr essen. Daraus resultiert dieser Anstieg, auch für die Weltbevölkerung ist dies das Problem.

EDER, GIESSEN

Mir war es nur mal wichtig, darauf hinzuweisen, das ist eine Debatte, die sehr in der Öffentlichkeit geführt wird und wo immer dargestellt wird, wir brauchen eigentlich gar keine Tierproduktion, wir brauchen gar keine tierischen Produkte. Dem können wir als Ernährungsphysiologen so nicht zustimmen. Das war noch mal meine Botschaft.

ANTWORT

Da kann man Einstein zitieren oder sonst etwas. Es gibt ja Leute, die sich veganisch ernähren, auch Marathonläufer.

EDER, GIESSEN

Ja aber doch mit gewissen Problemen!

SPIEKERS, GRUB

Herr Flachowsky, Sie hatten zum Schluss angesprochen, dass man mehr forschen sollte. Wir hatten bei uns mal kalkuliert, wie viel Geld denn für Forschung ausgegeben wird im Bereich der Landwirtschaft. Mein Präsident kam da auf 1,7 % des Brutto-Produktionswertes, aber es wird ja 3 % generell gefordert. Haben wir insgesamt, ich sage es mal so, wie es ist,

müssen wir uns da nicht in diesem Bereich besser verkaufen, um mal klar zu machen, was das ist und welcher Bedarf eigentlich auch im Vergleich zu anderen Bereichen besteht.

ANTWORT

Da gibt es sehr viel Forschungsbedarf, aber auch viele Bedenkenträger, die an jeder Kleinigkeit etwas bemängeln müssen. In der ersten Phase müssen die Fakten auf den Tisch, diese werden leider wenig wahrgenommen. Wir haben häufig mit dem Phänomen eines negativen Images zu kämpfen, dies sowohl bei den Politikern als auch bei Leuten, die Geld geben

wollen. Dies fällt schon auf. Ich habe schon häufig Gegenkommentare geschrieben, doch es ist schwer alleine zu kämpfen. Kürzlich fand ich einen Artikel von 15 Leuten über globale Ernährung und da war keine Rede vom Tier dabei und das multipliziert mal X, dieser Zeitschrift. Zeigt einen enormen Verbreitungseffekt. Zu Ihrer Frage mit den Forschungsmitteln, dazu ich habe keine exakten Zahlen. Doch die Kollegen in der Nutztierwissenschaften Tierernährer, Tierzüchter, Tierhalter, Agrartechniker, Agrarökonom könnten sicher einen konkreten Ansatz einschließlich der notwendigen Finanzmittel erarbeiten und zur Diskussion stellen.

STEINHART, HAMBURG

Gerhard, ich habe zwei Punkte. Ich fange mit der einfachen Frage an. Du hast bei den positiven Dingen die CLA erwähnt, die also nur für Wiederkäuer gemacht werden. Das stimmt ja auch, es gibt andere Möglichkeiten auch, aber dann bei den Tieren nur, bei den Wiederkäuern. Ich sehe da einen gewissen Widerspruch, der wirklich Forschungsbedarf fordert. Also wir wissen da noch viel zu wenig. Das ist jetzt genau der Punkt, der mich zu der zweiten Bemerkung führt. Was ich so als Außenstehender ein bisschen vermisse, das ist ein Zusammenführen der verschiedenen Forschungsaktivitäten. Du hast erwähnt, monokausales Denken ist schlecht. Also als Beispiel für monokausales Denken möchte ich anführen CLA und trans-Fettsäuren als einzelnes Beispiel. Die einen sagen ganz toll CLA, die anderen sagen die trans-Fettsäuren sind schlecht. Das man miteinander redet und miteinander etwas macht. Das gibt es, so wie ich das jetzt sehe nicht und genauso meine ich im Bereich der Nahrungskette stelle ich fest, dass eigentlich immer noch so ein bisschen monokausales Denken herrscht. Die einen fummeln nur an Molekülen rum und definieren da immer neue Compartments in den Zellen oder Kernen oder sonst etwas und die anderen haben die Tiere. Wie komme ich aus dem monokausalen, molekularen Bereich in den makromolekularen Bereich hinein, das fehlt mir. Ich glaube, das ist eines der Zukunftsprojekte, das von allen Seiten angegan-

gen werden sollten, die beiden Seiten sollten stärker zusammengeführt werden.

ANTWORT

Beiden Dingen kann ich nur zustimmen, dem Zweiten uneingeschränkt. Ich glaube wir müssen lernen, dass jede dieser trans-Fettsäuren und auch jede dieser CLA ein eigener Stoff ist. Wir sind etwa auf dem Niveau, 10 Substanzen und Vitamine und dann stellt man fest, das sind 20 verschiedene Substanzen mit unterschiedlichen physiologischen Eigenschaften.

DIJKSTRA, WAGENINGEN

Thank you for your talk. You showed us a couple of slides mentioning the importance of further intensification of production. If you look at intensification, you've got problems like using more fertilizer, e. g. in the fields. You have to produce more grass or to use more external feeds, like soy beans from South America. I'm wondering what you're feelings are about ecological farming. So take the other direction, go to the more extensive production side. How do you feel, will that fit in this picture of more environmental friendly animal production?

ANTWORT

Thanks for your question. I think we have to distinguish in conditions in Europe and in the US and the rest of the world. My speech, concerning intensification was for the rest of the world. If I have less than 1,000 kg of milk, I've to do something. Otherwise I can solve the problems up to 2050. Organic farming for my feeling is one way of different intensities. I wouldn't distinguish in intensive and not intensive; this is also a form of agriculture of food production on a certain level of intensity. Maybe of certain amount of external input in form of nitrogen and other things and all the other aspects are not of special interest, for my understanding.

ZEHETMEIER, WEIHENSTEPHAN

Auch ich bedanke mich für den interessanten Vortrag und meine Frage ist ein bisschen in die Zukunft

gerichtet. Sie haben ja schon erklärt, es ist schwierig, Empfehlungen zu geben für die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, wenn man jetzt nur die einzelne Kuh betrachtet, weil man immer sehen muss, was wird der Kuh gefüttert und welche Emissionen fallen hier an. Wie kann man denn dann in Zukunft oder jetzt auch im jetzigen Bereich der Forschung bei diesen Berechnungen von Treibhausgasemissionen klare Aussagen machen. Ist es überhaupt möglich, verschiedene Tierproduktionssysteme zu vergleichen und für diese die Treibhausgasemissionen herausgeben oder sagen, wo evtl. die Unterschiede sind und hier Empfehlungen für die Politik oder auch für die einzelnen Betriebe abzuleiten. Wie können die Emissionen reduziert werden oder muss es in Zukunft so sein, dass wirklich jeder einzelne Betrieb genau bei jedem Punkt genau geschaut wird, was wird gefüttert, auf welcher Fläche, welche Bedingungen. Gibt es da in Zukunft eine Lösung, wie ist Ihre Meinung dazu.

#### ANTWORT

Ich verstehe ihre Ängste oder ihre Nöte, weil sie die Daten für die wissenschaftlichen Arbeiten brauchen. Ich sehe wirklich die Gefahr darin, wenn wir jetzt den Sack zubinden und sagen, das ist jetzt so und alle machen Food Print, was ja so erfolgt, dass dann die Politik die Reaktion ist, naja, warum sollen wir da überhaupt noch forschen, ist ja alles klar. Und das ist ein bisschen meine Angst. Es ist wenig klar, z.B. gerade die Lachgasproblematik, die ich ja wiederholt betont hatte, wenn da 10 kg oder 5 kg Lachgas mehr vom Hektar sind, sind 1/2 oder 3 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent und alles muss man vorher berechnet haben, um zu sagen das ist fest. Das stimmt dann mit einmal nicht mehr. Wenn die Haltung der Tiere dazu kommt, kann sich einiges verändern. Wir müssen klar bei der Ermittlung von Lachgas zwischen Auslaufhaltung und Stallhaltung unterscheiden. Also ich kann wirklich nur sagen, wir können nicht ohne belastbare experimentelle Daten klare Aussagen treffen. Wenn wir uns nur allgemein äußern, besteht die Gefahr, dass wir uns irgendwann korrigieren müssen auf Grund der neuen Fakten. Und da sehe ich die große Gefahr.

Das haben wir auch in der Einrichtung, als wir noch das Ministerium beraten durften in diesem Feld, auch immer wieder gesagt. Wir hatten schon mal Staatssekretär Lindemann soweit, dass er gesagt hat, Food Print nicht mit uns und momentan muss ich feststellen, dass die Wirtschaft, vor allem die Milchfutterindustrie, dies vorantreiben möchte und jeder will eben besser sein. Das Problem dabei ist, es sollte nicht auf einer wackeligen Datenbasis aufgebaut werden! Das ist zu gefährlich, da verurteile ich beim Schlachter das falsche Schwein mal hart gesagt.

Das geht aber nicht. Das müssen wir immer wieder von allen Seiten vermitteln. Wir sollen arbeiten, aber müssen sagen, jetzt kommen wir nicht weiter und da muss eben mal Geld in die Hand genommen werden, um diese Lücken zu schließen. Wir sollten versuchen, an der Reduzierung der N-Ausscheidung zu arbeiten, denn das kann man mit Sicherheit sagen, je weniger N rauskommt, umso geringer ist die Gefahr, dass Lachgas entsteht. Aber alles andere müssen unsere Kollegen der Nachbardisziplinen messen und erarbeiten.

#### SCHWERIN, DUMMERSTORF

Wenn ich Szenarien sehe, Verdopplung der Nahrungsmittelproduktion, Minimierung der Treibhausgasemission etc. dann habe ich manchmal den Eindruck, wir reden über eine Eier-legende Wollmilchsau oder die Quadratur des Kreises. Muss man nicht manchmal auch Prioritäten setzen? Dass man sagt, wir müssen als erstes die Ernährung der Bevölkerung absichern und als zweites uns damit befassen, das ist meine erste Frage: Wie weit sind wir, auch in der Beratung der Politik zu solchen Empfehlungen zu kommen und die zweite Frage: Wie sind die Szenarien um ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent abzuwägen. Gehen eine Einheit Biodiversität oder eine Einheit Wasser, die in Minimum geht. Sie haben sehr schön diese mehrdimensionale Darstellung gebracht mit verschiedenen Richtungskoeffizienten. Wer legt diese wichtigen Koeffizienten fest? Wie viel ist uns eine Tierart oder eine Rasse im Vergleich zu einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent wert? Das ist meine zweite Frage.

#### ANTWORT

Diese Fragen sind nicht ganz ohne. Vielleicht fangen wir mit der letzten einmal an. Die Biodiversität ist eine wichtige Sache und wurde mir bei der angesprochenen Sojabohne eigentlich richtig bewusst. Wenn man mit einmal ein Gen von einer Primel und von irgendeinem Pilz braucht, um das Genom der Sojabohne so zu verändern, dass ganz etwas anderes entsteht, dann wird klar, die Vielfältigkeit dieser Dinge sind bisher nicht beachtet worden. Es wird einem auch bewusst, dass ist alles viel komplexer und wir wissen heute nicht, was wir in 20 oder 50 Jahren mal brauchen, um diesen Wunsch, den ich da gesagt habe, praktisch das ganze Genom so zu gestalten, dass wir eben Ressourcen effizient machen. Also Biodiversität steht ganz vorn bei meiner Einschätzung. Es ist auch, das ist vielleicht jetzt widersprüchlich für manche Leute, für manche Leute ist das altmodisch, aber wenn ich dann das neomodische, die Gentechnik sehe, dann brauche ich das, weil wir darauf zurückgreifen müssen. Das wären so die Dinge, die man in solchen Gruppen diskutieren müsste.

Was die Konsequenz ist mit mehr CO<sub>2</sub> und auch die Auswirkungen auf diese Dinge, wie ich sie angesprochen hatte. Also ich würde das gern im Rahmen von Forschungsprojekten bearbeitet wissen. Die DFG, das BMBF und auch Stiftungen sollten die notwendigen Experimente fördern, und im Rahmen von Netzwerkforschung ließe sich hier etwas sehr gutes entwickeln. Dies wären meine Anregungen dazu. Es sind Prioritäten zu setzen. Der Einzelne kann das nur schwer entscheiden. Das sollte im Rahmen einer Diskussion mit Fachkollegen gemeinsam erarbeitet werden. Im Dialog, auch im Streitgespräch, lassen sich häufig die Dinge besser herausfiltern. Die Ansichten sind unterschiedlich, da werden die Züchter anders als wir und als die Ökonomen sein und da müssen im Konsens machbare Wege gefunden werden. Ich würde meinen, diese wäre eine neue Arbeit für die FAO; nachdem sie die weinende Kuh gesehen haben, das ist schon ein bisschen ein Rückrudern und vielleicht auch ein Versuch, wirklich die Dinge etwas objektiver einzuordnen und nicht mehr mit so handwerklichen Schwächen wie es beim ersten Papier der Fall war.

# Strategien der Rinderzucht unter Berücksichtigung von Ressourcen- und Umweltschutz



## 1 Einleitung

Der Beitrag der Haltung von Rindern zur Emission klimaschädlicher Gase ist offensichtlich, wenn auch in seinem relativen Anteil umstritten. Zukünftig wird in der Zucht von Rindern auch das Thema Ressourcen- und Emissionsschutz immer wichtiger werden bzw. sich überhaupt in der Diskussion um Zuchtziele und züchterische Maßnahmen etablieren. Nach WALL et al. (2009) gibt es grundsätzlich drei züchterische Möglichkeiten zur Vermeidung von Emissionen des Milchrindes:

- Zucht auf verbesserte Effizienz des Tieres (Weniger Emissionen je kg Produkt durch höhere Leistung je Einzeltier)
- Zucht für verbesserte Effizienz des Produktionssystems (Weniger Emissionen durch Verbesserung der funktionalen Merkmale, da beispielsweise eine Verlängerung der Nutzungsdauer eine relative Verkleinerung der "unproduktiven" Aufzucht mit sich bringt)
- Direkte Zucht auf Verringerung von Emissionen (Welche Tiere emittieren weniger?)

Der erste Punkt ist recht offensichtlich und auch schon immer wieder erschöpfend behandelt worden (vgl. FLACHOWSKY und BRADE, 2007). Deshalb soll diese Thematik im Nachfolgenden nur am Rande erwähnt werden. Anzumerken ist jedoch, dass in diesem Fall der glückliche Umstand vorliegt, dass betriebswirtschaftliche Notwendigkeiten (Hohe Leis-

tung des Einzeltieres) in diesem Fall mit dem geforderten Emissionsschutz konform gehen.

Der zweite Punkt, die Verbesserung der Effizienz des Produktionssystems, kann nicht nur im Sinne der Emissionsvermeidung, sondern auch ganz allgemein als Ressourcenschutz interpretiert werden. Geschützt wird zunächst das Tier selbst durch eine Verbesserung der Gesundheit und des Wohlergehens, im Produktionsprozess werden z. B. durch eine Verbesserung der Langlebigkeit Ressourcen dadurch geschützt, dass weniger für die Aufzucht von Remonten eingesetzt werden muss und schließlich werden auch Ressourcen dadurch bewahrt und Emissionen vermieden, indem weniger Tierarzneimittel eingesetzt werden. Mithin verdient dieser Punkt unter der hier abzuhandelnden Fragestellung besondere Beachtung.

Das Themenfeld des dritten Punktes ist bisher von der Tierzuchtwissenschaft erst recht wenig bearbeitet worden. Erste Ansätze liegen jedoch vor und sollen dargestellt werden. Für die nachfolgenden Ausführungen ergibt sich damit als Gliederung zunächst eine Betrachtung der Zucht auf Funktionalität und Gesundheit und danach eine Erörterung der Möglichkeiten der Zucht auf Klimaschutz. Abschließend sind methodische Aspekte der Zucht aufgrund der neuen Möglichkeiten durch die so genannte Genomische Selektion zu diskutieren, sowie Schlussfolgerungen abzuleiten.

## 2 Zucht auf Funktionalität und Gesundheit

Auch heute schon stehen Funktionale Merkmale

und Merkmale der Gesundheit bzw. Krankheitsresistenz im Fokus züchterischer Anstrengungen in Milchrinderzuchtprogrammen. Für die Erfassung bzw. Leistungsprüfung von Krankheitsmerkmalen kann man die Formen der Leistungsprüfung, wie in Abbildung 1 angegeben, gliedern (SWALVE, 2007).

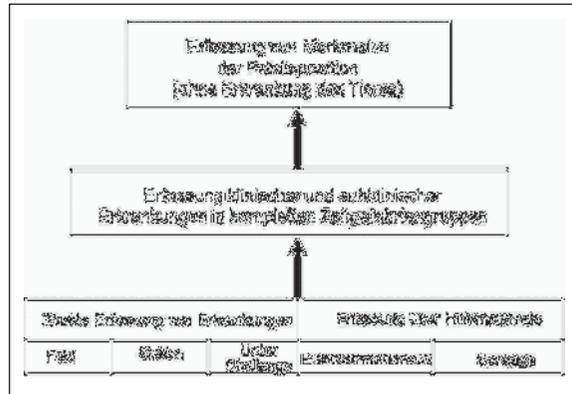


Abbildung 1: Leistungsprüfung für Krankheitsmerkmale nach SWALVE (2007)

Die einfachste Form der Erfassung ist das bloße Sammeln von Daten aus der Feld- bzw. der Stationsprüfung, wobei die Challenge-Umwelt eigentlich schon einen verstärkten Eingriff darstellt. Der wesentliche Grundsatz jeder Leistungsprüfung beim Nutztier ist aber, nicht einfach nur Daten zu sammeln, sondern Festlegungen hinsichtlich der zu prüfenden Zeitfahrtengruppe zu treffen. Die allererste Vorschrift wäre dabei diejenige, dass immer eine vollständige Zeitfahrtengruppe (z. B. Herde) zu einem Zeitpunkt geprüft wird. Nur mit diesem Vorgehen ist eine anschließende statistisch saubere Korrektur der Daten für Umwelteinflüsse möglich. Schließlich wird es nötig sein, Merkmale zu entwickeln, welche eine Aussage über die Prädisposition für eine Krankheit erlauben, ohne dass Erkrankungen schon vorliegen. Dies können z. B. physiologische Marker oder natürlich auch genetische Marker sein.

Beim Thema Leistungsprüfung für Funktionale Merkmale und Merkmale der Gesundheit wird häu-

fig angewendet, dass auf diesem Gebiet gemachte Anstrengungen ohnehin nur einen begrenzten Erfolg haben würden, weil die Heritabilität dieser Merkmale niedrig sei. Hierzu ist zu sagen, dass es die ureigenste Aufgabe des Tierzüchters ist, Merkmale so zu definieren bzw. neu zu schaffen und in möglichst standardisierter Form zu prüfen, dass jeweils die Heritabilität innerhalb der vorgegebenen aber meist weiten biologischen Grenzen maximiert wird.

Im Folgenden seien hinsichtlich der Maximierung der Heritabilität für gemeinhin als niedrig erblich angesehene Merkmale zwei Beispiele genannt. Gerade beim Milchrind ergeben Schätzungen für die Heritabilität der Reproduktionsmerkmale auf der Basis von Besamungsdaten üblicherweise nur sehr niedrige Werte in der Größenordnung von wenigen Prozent. Der gesamte Komplex der Fruchtbarkeit zerfällt physiologisch gesehen in sehr unterschiedliche Teilkomplexe, von denen hier die wichtigsten genannt werden sollen: Nach einer Kalbung können zunächst klinische Störungen der Reproduktionsorgane auftreten, anschließend ist zu fragen, wann überhaupt ein regelmäßiger Zyklus wieder einsetzt, Brunstsymptome können unterschiedlich stark ausgeprägt sein, die Ovulation kann gestört sein, die Befruchtung selbst ist nicht beobachtbar aber von zentraler Bedeutung, danach sollte eine Implantation erfolgen und schließlich sollte die Trächtigkeit auch aufrecht erhalten bleiben. Mit einem herkömmlichen Merkmal wie der Zwischenkalbezeit wird versucht, alle genannten Vorgänge in einem Parameter zusammenzufassen, obschon offensichtlich ist, dass sehr unterschiedliche physiologische Vorgänge und damit wohl auch Gene eine Rolle spielen. Ein Ansatz für neue Merkmale ist es nun, einzelne, physiologisch enger gefasste Merkmale auch einzeln zu erfassen. In Arbeiten aus Schottland und Schweden (ROYAL et al. 2002ab, PETERSSON et al. 2007) wurde ein Ansatz gefahren, durch eine Bestimmung des Progesterongehaltes in der Milch nach der Kalbung den Zeitpunkt des Wiedereinsetzens des Zyklus direkt zu ermitteln. Hierzu sind nicht unbedingt tägliche Bestimmungen, sondern Messungen in einer Frequenz von ein- bis zweimal

wöchentlich erforderlich. Aus der Häufigkeit der Werte über einem bestimmten Grenzwert können dann geeignete metrische Variablen abgeleitet werden. Heritabilitätsschätzungen ergaben Werte in der Größenordnung von 0,10 bis 0,30 je nach Probenfrequenz und Definition des Merkmals. Der Aufwand für Probengewinnung und Laborarbeit – wobei es heute sogar on-farm Analysegeräte gibt – ist natürlich für eine ganze Milchrinderpopulation kaum zu leisten, für eine Subpopulation von Testherden ist es aber ein gangbarer Weg.

Das zweite Beispiel ist die Erhebung von Befunden zu Krankheiten und Aberrationen an der Klaue beim Klauenschnitt. Seit 2002 besteht in der Arbeitsgruppe des Autors eine Zusammenarbeit mit einem professionellen Klauenpfleger, der schon seit dem Jahr 2000 seine gesamte Arbeit und alle Befunde per Hand-Held Computer dokumentiert. Mittlerweile ist die resultierende Datenbank auf 79.000 Befunde von 26.000 Kühen (regelmäßige, mehrfache Klauenpflege je Kuh) angewachsen und die Grundlage für eine Reihe von Untersuchungen gewesen. Insgesamt werden 17 verschiedene Befunde je Gliedmaße dokumentiert, wobei subklinische wie klinische Fälle erfasst werden. Entscheidend ist auch, dass jeweils die gesamte Herde zu einem Zeitpunkt der Klauenpflege unterzogen wird. Dieser Umstand erfüllt somit die wesentliche, oben schon erläuterte Anforderung der Erfassung einer kompletten Zeitfahrtenngruppe. Hinsichtlich der Schätzung der Heritabilität ergeben sich je nach Befund (Krankheit) und Auswertungsmodell Werte in der Größenordnung von 0,10 bis 0,30 (SWALVE et al. 2008). Herkömmlich wird die züchterische Verbesserung des Fundaments nur auf der Basis von Beschreibungen des Exterieurs betrieben. Derartige Phänotypen sind aber vom Zielmerkmal, der direkten Beschreibung des Gesundheitszustands weit entfernt und auch nicht geeignet, zu einem nennenswerten Zuchtfortschritt in der Klauengesundheit beizutragen (KÖNIG und SWALVE 2006). Es kann eingewendet werden, dass trotz der Größe und Aussagefähigkeit des vorhandenen Datenmaterials aus der Klauenpflege keine Verallgemeinerungen getroffen werden

dürfen. Natürlich bedeutet dies Beispiel nicht, dass es möglich wäre, flächendeckend über eine ganze Population ein derartig qualitativ hochwertiges Erfassungssystem zu implementieren. Wiederum gilt aber, dass dies unter engagierter zentraler Anleitung auch mit mehreren Klauenpflegern in einer Testherden-Subpopulation möglich sein müsste.

Beide Beispiele zeigen, dass bei intensiver Bemühung und unter Verzicht auf einen flächendeckenden Anspruch neue Merkmale im Komplex Funktionalität und Gesundheit “geschaffen” werden können, welche auch den Anforderungen an die Zusammenstellung einer Lernstichprobe aus Individualphänotypen gerecht werden würden, also nicht extrem niedrige Heritabilitäten aufweisen.

### 3 Zucht auf verringerte Emissionen

Nach JONES (2009ab) beträgt die Emission an Methan je Tonne Produkt beim Milchrind 18,9 kg. Diese Angabe befindet sich damit im Einklang mit den Daten, welche FLACHOWSKY und BRADE (2007) für laktierende Kühe als 200 bis 600 g je Tier und Tag angeben. Nach JONES beträgt das totale Global Warming Potential (= CO<sub>2</sub> Äquivalente) für Milchrinder 958 GWP<sub>100</sub> je Tonne Produkt. Für Fleischrinder betragen die entsprechenden Werte 264,5 kg Methan und 14.704 GWP<sub>100</sub> je Tonne Produkt. Legehennen, Broiler und Schweine liegen hinsichtlich ihrer Emissionen zwischen Milch- und Fleischrindern, allerdings hinsichtlich des GWP<sub>100</sub> je Tonne Produkt deutlich höher als Milchrinder. Diese Darstellung mag als etwas zugunsten des Milchrindes “schön gerechnet” ausfallen, da ja berücksichtigt werden sollte, dass das Produkt der Milchrinder, die Milch, nur einen vergleichsweise niedrigen Trockensubstanzanteil enthält. Andererseits wird Vollmilch wenigstens zum Teil auch als solche vermarktet und deshalb können die gemachten Angaben zumindest als Hinweis dienen. Festzuhalten ist, dass bei Bezug auf die Produkteinheit, das Milchrind wesentlich besser abschneidet, als momentan in den Medien verbreitet wird. Für die Fleischrinder ergeben sich naturgemäß sehr ungünstige Werte, da das Produkt der beständig Methan

emittierenden Mutterkuh eben “nur” das eine Kalb je Jahr ist. Andererseits ist einzuwenden, dass von Fleischrindern auch Futter verwertet wird, welches ohne Fleischrinder nur sehr schwer überhaupt einer Verwertung zugeführt werden kann. Hieraus könnte man eine marginale “Berechtigung” der Fleischrinderhaltung ableiten.

JONES (2009ab) führt weiter aus, dass durch die züchterischen Anstrengungen zur Steigerung der Leistung in den Produktionsmerkmalen im Zeitraum 1988 bis 2007 eine Reduktion des  $GWP_{100}$  je Tonne Produkt von – 16 % beim Milchrind zu verzeichnen ist, allerdings sich beim Fleischrind im selben Zeitraum keine Veränderung ergeben hat.

Betrachtet man beispielsweise die Emissionen von  $CH_4$  je Tonne Produkt, so kann züchterisch an zwei Punkten angesetzt werden (CLARK, 2009): Erstens sollte versucht werden, den Ausstoß an  $CH_4$  direkt zu messen und damit einen Phänotyp für konventionelle bzw. molekulare züchterische Maßnahmen zu definieren. Indirekt wäre es zweitens ein weiterer Weg, die so genannte Restfutteraufnahme (Residual feed intake, RFI), grob definiert als Futteraufnahme zusätzlich zum vorausgeschätzten Bedarf für Erhaltung und Leistung zu verringern. Natürlich kann auch versucht werden, beide Maßnahmen zu kombinieren.

Schon GRAVERT (1985) hat gefordert, dass es wichtiger sei, die tatsächliche Futteraufnahme nach Berücksichtigung aller Leistungsbedarfe zu messen, als lediglich die Futteraufnahme zu bestimmen. Die Berechnung des RFI verlangt zunächst aber eine Messung der Futteraufnahme überhaupt, was beim Wiederkäuer naturgemäß nur recht aufwendig möglich ist. Trotz dieser Probleme legten VAN ARENDONK et al. (1991) eine erste größere Studie vor, in der das Merkmal RFI züchterisch analysiert wurde. Die geschätzte Heritabilität für den RFI betrug 0,19. Dies zeigt, dass grundsätzlich substantielle genetische Unterschiede zwischen individuellen laktierenden Rindern bestehen und eine züchterische Veränderung grundsätzlich möglich wäre. Zu größeren züchterischen Anstrengungen, also etwa der Aufnahme des RFI in das Zuchtziel, ist es aber bislang, aufgrund der

Schwierigkeiten zur Bestimmung der Futteraufnahme, nicht gekommen. Mittlerweile liegen aber sogar erste Ergebnisse aus genomweiten Assoziierungsstudien (GWA Studien) vor, welche schon eine Vielzahl von SNP-Effekten für RFI beschreiben (SHERMAN et al., 2010).

Auf der Fleischrinder-Versuchsstation Trangie im Bundesstaat New-South-Wales, Australien, wurde beginnend im Jahre 1992 ein Zuchtversuch mit Angus-Fleischrindern durchgeführt, welcher eine Auf- und Ab-Selektion für RFI beinhaltete (DONOGHUE et al., 2009; ARTHUR und HERD, 2008). Beide Linien sind mittlerweile auch hinsichtlich des RFI deutlich differenziert und wurden von HEGARTY et al. (2007) als Grundlage für einen Versuch zur direkten Messung des Methanausstoßes verwendet. Trotz der Tatsache, dass die direkte Messung des Methan-Ausstoßes einige Probleme bereitete, konnte die Auf/Ab-Population dazu genutzt werden, die Methanemission von jeweils 10 Tieren mit sehr hohem bzw. sehr niedrigem RFI zu vergleichen. Es erfolgte also eine Auswahl von Tieren mit phänotypisch hohem bzw. niedrigem RFI. An diesen konnten auch hoch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Methanproduktion gefunden werden. Insgesamt war der Zusammenhang zwischen RFI und Methanausstoß aber lediglich schwach ausgeprägt (HEGARTY, 2009). Dies deutet darauf hin, dass die direkte Messung der tierindividuellen Methanemission züchterisch erfolgversprechender ist als der indirekte Ansatz über die Messung des RFI.

Wenn also die Futteraufnahme bzw. der RFI lediglich ein Ansatz für züchterische Maßnahmen darstellen, so muss gefragt werden, woher denn tierindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Methanemission rühren können. In einem Versuch aus Neuseeland (BERRY, 2009) unter Nutzung eines  $F_2$ -Designs der Kreuzungen von Holstein x Jersey liegen nunmehr Daten von 677 Tieren mit Methanmessungen vor. Auch sie zeigen deutliche tierindividuelle Unterschiede in der Methanemission. Als mögliche Ursachen werden neben der Futteraufnahme Variationen im Speichelfluß, der Pansenmotilität und tierindividuelle Beeinflussungen der Mikrobenpopulation angegeben.

Auch beim Menschen gibt es mittlerweile Hinweise auf die genetische Determinierung der gastrointestinalen Mikrobiota: TURNBAUGH et al. (2009) fanden in einer Zwillingsstudie Ähnlichkeiten zwischen Zwillingen, welche nicht durch räumliche Nähe (also ähnliche Nahrung) erklärbar waren. Die genannten genetischen Ansätze zur Verringerung der Emissionen sind mithin vielversprechend, verlangen aber nach einer Kombination mit den heutigen Möglichkeiten der Genomischen Selektion, da die ständige Messung von Phänotypen im Sinne einer Leistungsprüfung zu aufwändig wäre.

#### 4 Genomische Selektion beim Rind

MEUWISSEN et al. (2001) beschrieben in ihrer bahnbrechenden Simulationsstudie, dass die effektive Nutzung von populationsweitem Kopplungsungleichgewicht dann für die Tierzucht möglich wird, wenn Genotypisierungen für Punktmutationen über das ganze Genom eines Individuums mit hoher Dichte vorgenommen werden können. Diese Form der Genotypisierung bieten SNP-Arrays (SNP = single nucleotide polymorphism). Auch DEKKERS und HOSPITAL (2002) halten als Schlussfolgerung fest, dass erst diese Form der Genotypisierung der Nutzung von molekularer Information bei quantitativen Merkmalen zum endgültigen Durchbruch verhelfen wird.

SNP sind Punktmutationen (Basenaustausche) auf der DNA und sind im Genom, auch in schon länger intensiv züchterisch bearbeiteten Rassen, relativ häufig. Das Genom des Rindes umfasst ca. 3,3 Mrd. Basenpaare, davon sind ca. 4,6 Mio. auch polymorph und mithin als SNP anzusehen (THE BOVINE HAPMAP CONSORTIUM et al. 2009). Mit der Hilfe von hochdichten SNP-Arrays können derzeit 50.000 SNP und in naher Zukunft wohl noch wesentlich größere Anzahlen (z.B. 800.000 SNP) je Tier in einem Schritt bestimmt werden. Die Typisierungskosten je Genotyp sind damit extrem niedrig und steigen mit der Weiterentwicklung dichter Chips nicht linear, sondern nur degressiv. Durch die gleichmäßige Verteilung der SNP über das Genom lässt sich vorhandenes Kopplungsungleichgewicht weitgehend nutzen. Der prinzi-

pielle Weg für die Implementierung einer auf dieser Technologie basierenden Selektionsmethode lässt sich in folgenden Schritten darstellen:

1. Schätzung der SNP-Effekte in einer Lernstichprobe auf der Basis von SNP-Typisierungen und "sicheren" Phänotypinformationen
2. Verifikation der gefundenen Güte der Schätzung in einer Validierungsstichprobe
3. Verwendung der SNP-Schätzer zur Schätzung von ("genomischen") Zuchtwerten bei Tieren ohne Phänotypinformation
4. Kontinuierliche Neuschätzung der SNP-Effekte und Ausweitung bzw. Neudefinition der Lernstichprobe
5. "Harte" Validierung der genomischen Zuchtwerte bei Tieren, die rein aufgrund genomischer Zuchtwerte selektiert wurden, zu einem späteren Zeitpunkt unter Hinzunahme von Phänotypinformation

Auf die Methoden zur Schätzung der SNP-Effekte soll hier nicht eingegangen werden. Ebenso sei nur erwähnt, dass Schritt 1 und 3 sich auch in einem einzigen Schritt kombinieren lassen, wenn die Allelinformation zu den SNP ausschließlich als Grundlage zur Ableitung einer genomischen Verwandtschaftsmatrix eingesetzt wird, welche dann in einem BLUP-Modell Verwendung findet (One-Step-Methode).

Schritt Eins beinhaltet zunächst eine Auswahl von Tieren, welche die Lern- bzw. Kalibrierungsstichprobe darstellen. In der Milchrinderzucht ist es günstig, wenn hierzu Bullen herangezogen werden, welche sehr sichere Zuchtwerte (Sicherheit der Zuchtwertschätzung > 90 %) aufgrund von Phänotypinformationen (Nachkommen) aufweisen. Dies sollte auch für Merkmale gelten, welche nicht unbedingt sofort zum Zeitpunkt erster Einsatzleistungen von Töchtern schon vollständig erhoben sind (z. B. Langlebigkeit). Derartige Bullen werden deshalb Bullen schon zu rückliegender Geburtsjahre sein, also gegenüber dem aktuellen Jahr mindestens fünf bis sechs Jahre früher geboren sein. Wenn dann die Lernstichprobe nicht

nur einen einzelnen Jahrgang umfassen soll, so ergibt sich als Lernstichprobe ein Zeitraum für die Bullen- geburtsjahrgänge von mindestens sechs bis 12 oder 15 Jahren vor dem aktuellen Jahr.

Eine erste Validierung, die es aber nur beim Übergang von der reinen Nachkommenprüfung zur Genomischen Selektion gibt, findet in Schritt Zwei durch die Einbeziehung der Bullenjahrgänge, welche relativ zum aktuellen Jahr vier bis fünf Jahre früher geboren werden und die somit erste Zuchtwerte aufgrund von Nachkommeninformation aufweisen, durch den Vergleich genomischer Zuchtwerte mit den herkömmlich geschätzten Zuchtwerten statt. Diese Bullen sind als Jungtiere aber noch basierend auf den herkömmlich geschätzten Zuchtwerten der Eltern vorausgewählt worden, weshalb sie nicht als Bullen zur "harten" Validierung angesehen werden können.

Im dritten Schritt werden die zur Wahl stehenden Kandidaten, also z. B. Bullenkälber zur Aufnahme in die Besamungsstation als potentielle Besamungsbullen, direkt auf der Basis ihrer genomischen Zuchtwerte selektiert. Die Kernfrage, die sich jetzt stellt, ist, ob sie einen Testeinsatz zur Erzeugung von Nachkommen zur Gewinnung von Phänotypinformation durchlaufen sollten, oder ob sie ohne eine weitere Prüfung auf der Basis ihrer genomischen Zuchtwerte in einen breiten Besamungseinsatz gehen können. Die Beantwortung dieser Frage ist zentral abhängig von der Höhe der Sicherheit der genomischen Zuchtwertschätzung, bzw. konkreter von der quadrierten Korrelation zwischen genomisch geschätztem und wahren Zuchtwert ( $r^2_{MG}$ ). Auf der Basis der Arbeiten von LANDE und THOMPSON (1990) haben sich insbesondere DAETWYLER et al. (2008) und GODDARD (2008) mit der Ableitung von erwarteten Werten für  $r_{MG}$  befasst.

Mittlerweile ist das in den oben genannten Schritten grundsätzlich erläuterte System schon mehrfach in die Praxis überführt worden. Von VANRADEN et al. (2009) wird die Abhängigkeit der Größe von  $r_{MG}$  von der Größe der Lernstichprobe besonders herausgestellt und es wird aufgerufen, durch Kooperationen neue, immer größere Lernstichproben

zusammenzustellen. Dies führte in Europa zu Gründung des Konsortiums Eurogenomics für die gemeinsame Analyse einer sehr großen Lernstichprobe (DHV, 2010), welche für die Rasse Holstein über 17.000 Bullen mit "sicheren" Zuchtwerten aus den Ländern Deutschland, Frankreich, Niederlande und Dänemark/Schweden (in diesen beiden Ländern wurde die Zuchtwertschätzung für Milchrinder auch schon vor der Genomischen Selektion gemeinsam durchgeführt) umfasst.

Die Ergebnisse der genannten Projekte können an dieser Stelle nicht im Detail diskutiert werden; insgesamt wurden variierend in Abhängigkeit der Größe der Lernstichprobe, des Berechnungsganges für  $r_{MG}$  und dem jeweils betrachteten Merkmal Sicherheiten der genomischen Zuchtwertschätzung in Höhe von 0,50 bis 0,80 erzielt. Für die nachfolgende Betrachtung der Implementierung der Genomischen Selektion in Zuchtprogramme für Milchrinder ist die Sicherheit der Genomischen Selektion zwar von zentraler Bedeutung, in einer Angabe als Bandbreite für  $r_{MG}$  allerdings ausreichend.

In der ersten publizierten Zuchtplanungsrechnung zur Implementierung der Genomischen Selektion beim Milchrind unter Einbeziehung der Kosten zeigte

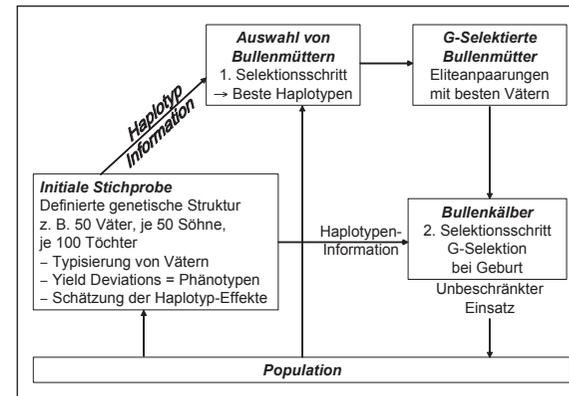


Abbildung 2: Schema des Zuchtprogramms von SCHAEFFER (2006) für die Genomische Selektion beim Milchrind (nach SWALVE und KÖNIG, 2007)

SCHAEFFER (2006), dass ein Zuchtprogramm, welches die Genomische Selektion konsequent verwendet, nicht nur einem herkömmlichen Besamungszuchtprogramm ebenbürtig ist, sondern im Zuchtfortschritt dieses sogar um 100 % übertrifft. Die Konsequenz liegt dabei darin, dass die Jungbullen, welche als Kandidaten rein genomisch selektiert werden, sofort unbegrenzt in der Population eingesetzt werden. Der Ablauf ist in Abbildung 2 (nach SWALVE und KÖNIG 2007) dargestellt.

Die initiale Stichprobe umfasst bei SCHAEFFER (2006) insgesamt 2500 Bullen, die sich auf 50 Bullenväter à 50 Söhne verteilen. Die Schätzung der SNP-Effekte erfolgt nach SCHAEFFER als Schätzung der Haplotypeneffekte benachbarter SNP. Sowohl Bullenmütter als auch alle aus den Eliteanpaarungen anfallenden Bullenkälber werden typisiert. Die Genauigkeit der genomischen Zuchtwerte wird bei SCHAEFFER mit 0,75 angenommen, was quadriert einer Sicherheit von lediglich 0,56 entspricht. Damit befindet sich SCHAEFFER aus heutiger Sicht am unteren Ende der oben genannten Bandbreite. Auch seine zur damaligen Zeit gemachte Annahme, jede SNP-Typisierung würde Kosten in Höhe von 500 kanadische Dollar verursachen, ist aus heutiger Sicht überholt, da die Kosten mittlerweile stark gesunken sind. Trotz dieser Annahme errechnet SCHAEFFER in seiner Modellkalkulation, dass auch die Kosten eines derartigen Zuchtprogramms durch den Wegfall der Wartebullenhaltung lediglich mit rund einem Zehntel der Kosten des herkömmlichen Zuchtprogrammes anzusetzen sind. Mithin ist die seither in der weltweiten Zuchtpraxis beim Milchrind vorhandene Aufregung verständlich, denn doppelter Zuchtfortschritt bei einem Zehntel der Kosten sind sehr starke Argumente für eine völlige Abkehr vom bisherigen Besamungszuchtprogramm basierend auf der Nachkommenprüfung. Für die tatsächliche Umsetzung in die Praxis muss allerdings beachtet werden, dass eine Sicherheit der Zuchtwertschätzung in der Größe von 56 % wohl kaum eine Akzeptanz in der Züchterschaft bzw. auch bei Abnehmern kommerzieller Milchproduktionsbetriebe hätte. Wie schon erwähnt wird es

nötig sein, durch eine Vergrößerung der Lernstichprobe auch höhere Sicherheiten der Zuchtwertschätzung zu erzielen.

Was ist nun das Optimum der Größe der Lernstichprobe? Diese Frage ist verwandt mit der Frage nach einer ausreichenden Größe der Stichprobe für Studien der genomweiten Assoziation. VISSCHER (2008) führt aus, dass zur Aufdeckung von Effekten in der Größenordnung von ca. 0,2 % der Totalvarianz eine Stichprobengröße von ca. 40.000 Individuen nötig ist. GODDARD (2008) sowie HAYES et al. (2009) zeigen, dass genau diese Größenordnung auch erforderlich ist, wenn Phänotypwerte einzelner Individuen für die Lernstichprobe in der Genomischen Selektion herangezogen werden sollen und bei Heritabilitäten von ca. 0,20 bis 0,30 Sicherheiten der genomischen Zuchtwertschätzung von ca. 60 bis 70 % gefordert werden. Durch "sichere" Phänotypwerte, wie sie durch "sichere" Bullenzuchtwerte bereitgestellt werden können, sinkt diese Zahl der nötigen Individuen auf 5000 bis 10.000. Die Abbildungen 3 und 4 erläutern diese Zusammenhänge für Bullenzuchtwerte (Abb. 3) und Individualphänotypen (Abb. 4).

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist, erfüllt die oben erwähnte Lernstichprobe des Eurogenomics-

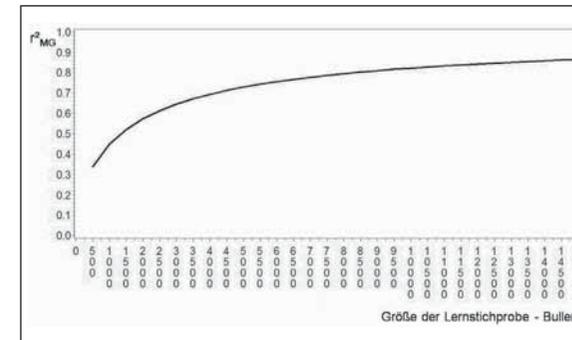


Abbildung 3: Sicherheit der genomischen Zuchtwertschätzung (Quadrierte Korrelation zwischen wahren und genomisch geschätztem Zuchtwert) nach der Formel von GODDARD (2008) in Abhängigkeit von der Größe der Lernstichprobe bestehend aus Bullen mit sicher (90 % Sicherheit) geschätzten Zuchtwerten

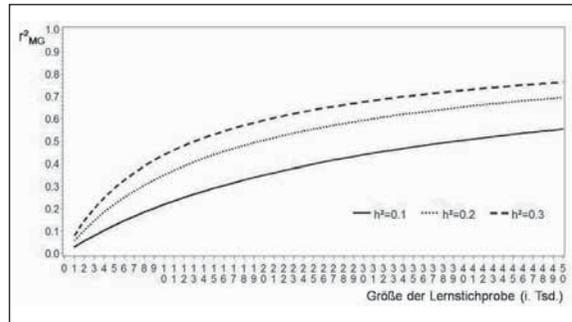


Abbildung 4: Sicherheit der genomischen Zuchtwertschätzung (Quadrierte Korrelation zwischen wahren und genomisch geschätztem Zuchtwert) nach der Formel von GODDARD (2008) in Abhängigkeit von der Größe der Lernstichprobe bestehend aus individuellen Phänotypwerten für Heritabilitäten von 0,10, 0,20 und 0,30

Konsortiums mit einer Größe von 17.000 Bullen die theoretischen Anforderungen vollständig, da die Sicherheit durch eine noch größere Stichprobe gar nicht wesentlich weiter gesteigert werden könnte. Gleichzeitig zeigt Abbildung 3 aber auch, dass kleine Populationen bzw. Rassen der internationalen Milchrinderzucht große Probleme haben, überhaupt eine taugliche Lernstichprobe zusammenzustellen. Wenn beispielsweise nur wenige Hundert Bullen bislang jährlich nachkommengepüft wurden, ist es schwer bzw. fast unmöglich, eine Lernstichprobe von ca. 5000 Bullen oder zumindest 3000 Bullen überhaupt zusammen zu führen.

Eine Alternative bietet sich in diesem Fall über die Typisierung von Kühen zur Bildung der Lernstichprobe aus Individualphänotypen. Allerdings zeigt Abbildung 4, dass dies nur für Merkmale ab einer Heritabilität von ca. 0,20 gilt. Für sehr niedrig erbliche Merkmale kann über Individualphänotypen kaum eine geeignete Lernstichprobe zu vertretbaren Kosten gebildet werden. Aber auch Kombinationen von Bullen mit sicher geschätzten Zuchtwerten und individuellen Phänotypwerten von Kühen wären möglich. Insgesamt können allerdings Kalibrierungsstichproben aus Individualphänotypen aufgrund der

hohen Kosten je Individuum derzeit kaum als praktikabel bezeichnet werden. Dies wird sich jedoch durch den technologischen Fortschritt in Kürze ändern. Festzuhalten bleibt hinsichtlich der züchterischen Möglichkeiten zur Verringerung der Rinder bedingten Emissionen, dass zur Definition geeigneter Phänotypen Merkmale gefunden werden sollten, welche eine Heritabilität von  $> 0,20$  aufweisen. Hierdurch wäre es möglich, Lernstichproben mit einer Größe von ca. 30.000 Kühen zu bilden, um geeignete Schätzungen der SNP-Effekte für die Genomische Selektion abzuleiten.

## 5 Schlussfolgerungen

Der Ressourcen- und Umweltschutz wird zukünftig eine wesentliche Rolle in der Produktion mit Nutztieren überhaupt und damit auch in der Tierzucht einnehmen. Allerdings gibt es bislang Probleme, die erforderlichen Systeme der Leistungsprüfung zu implementieren, da die endgültige Definition der Phänotypwerte noch unklar ist. Zur Klärung bedarf es kooperative Anstrengungen der Disziplinen Tierernährung, Tierphysiologie und Tierzucht. Klar ist bislang einzig, dass es tierindividuelle, genetisch bedingte Unterschiede hinsichtlich der Produktion von klimaschädlichen Gasen tatsächlich gibt.

Beim Rind, und insbesondere beim Milchrind, kann es über die Wahl der Zuchtmethodik derzeit keinen Zweifel geben: Die Genomische Selektion auf der Basis der Typisierung mit hochdichten SNP-Arrays eröffnet gerade für Merkmale der Funktionalität und Gesundheit sowie neue Merkmale (z. B. Emissionsschutz) hervorragende Möglichkeiten. Die nötigen Phänotypen sollten dabei mittelfristig aus speziellen Testherden stammen, da die flächendeckende Leistungsprüfung eine Ausweitung bzw. Verfeinerung der Merkmalspalette nicht leisten kann.

### Literaturverzeichnis

- ARTHUR, J.P.F. und HERD, R.M. (2008): Residual feed intake in beef cattle. *R. Bras. Tec.* 37 (Suppl.): 269 – 279.
- BERRY, S. (2009): Bovine genetics and methane production: Update on the FJ x B trial. *Animal Variation Workshop "Livestock Breeding for Greenhouse Gas Outcomes"*, Wellington, NZ, 3. – 5. März.  
<http://www.livestockemissions.net/Publications/tabid/63/Default.aspx> (acc. 30.05.2010).
- CLARK, H. (2009): Greenhouse accounting for ruminant emissions and including animal genetic improvement in national accounts. *Animal Variation Workshop "Livestock Breeding for Greenhouse Gas Outcomes"*, Wellington, NZ, 3. – 5. März.  
<http://www.livestockemissions.net/Publications/tabid/63/Default.aspx> (acc. 30.05.2010).
- DAETWYLER, H.D., VILLANUEVA, B. und WOOLLIAMS, J.A. (2008): Accuracy of predicting the genetic risk of disease using a genome-wide approach. *PLoS ONE* 3(10), e3395 doi:10.1371/journal.pone.0003395.
- DHV (2010): Eurogenomics verbessert signifikant die Sicherheit der Genomischen Zuchtwertschätzung. *Pressemitteilung DHV und VIT*, 4. März.
- DEKKERS, J.C.M. und HOSPITAL, F. (2002): The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Nature Reviews Genetics* 3: 22-31.
- DONOGHUE, K., HEGARTY, R.S., HERD, R.M. (2009): Breeding low methane cattle in Australia. *Animal Variation Workshop "Livestock Breeding for Greenhouse Gas Outcomes"*, Wellington, NZ, 3. – 5. März.  
<http://www.livestockemissions.net/Publications/tabid/63/Default.aspx> (acc. 30.05.2010).
- FLACHOWSKY, G. und BRADE, W. (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* 79(6): 417 – 465.
- GODDARD, M.E. (2008): Genomic selection: Prediction of accuracy and maximisation of long term response. *Genetica*. doi: 10.1007/s10709-008-9308-0
- GRAVERT, H.O. (1985): Genetic factors controlling feed efficiency in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 13: 87 – 99.
- HAYES, B.J., DAETWYLER, H.D., BOWMAN, P., MOSER, G., TIER, B., CRUMP, R., KHATKAR, M., RAADSMA, H.W. und GODDARD, M.E. (2009): Accuracy of genomic selection: comparing theory and results. *Proc. 18<sup>th</sup> Conf. AAABG, Barossa Valley, South Australia*, 28. September bis 1. Oktober 2009.
- HEGARTY, R.S. (2009): A genetic basis for a low methane phenotype? Studies with divergent cattle. *Animal Variation Workshop "Livestock Breeding for Greenhouse Gas Outcomes"*, Wellington, NZ, 3. – 5. März.  
<http://www.livestockemissions.net/Publications/tabid/63/Default.aspx> (acc. 30.05.2010).
- HEGARTY, R.S., GOOPY, J.P., HERD, R.M. und MC CORKELL, B. (2007): Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim. Sci.* 85: 1479 – 1486.
- JONES, H. (2009a): The effect of genetic improvement from dairy and other livestock systems. *Vortrag, World Dairy Summit, Konferenz 5 "Tierfütterung und Züchtung"*, Berlin, 23. September.
- JONES, H. (2009b): How are breeders helping to reduce GHG emissions. <http://www.thepoultrysite.com/articles/1299/how-are-breeders-helping-to-reduce-ghg-emissions> (acc. 30.05.2010).
- KÖNIG, S. und SWALVE, H.H. (2006): Modellkalkulationen zu züchterischen Möglichkeiten auf Klauengesundheit beim Milchrind. *Züchtungskunde* 78: 345-356.
- LANDE, R. und THOMPSON, R. (1990): Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. *Genetics* 124: 743 – 753.
- MEUWISSEN, T.H.E., HAYES, B. und GODDARD, M.E. (2001): Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157: 1819-1829.
- PETERSSON, K.J., BERGLUND, B., STRANDBERG, E., GUSTAFSSON, H., FLINT, A.P.F., WOOLLIAMS, J.A. und ROYAL, M.D. (2007): Genetic analysis of postpartum measures of luteal activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90: 427-434.
- ROYAL, M.D., FLINT, A.P.F. und WOOLLIAMS, J.A. (2002a): Genetic and phenotypic relationships among endocrine and traditional fertility traits and production traits in Holstein-Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 958-967.
- ROYAL, M.D., PRYCE, J.E., WOOLLIAMS, J.A. und FLINT, A.P.F. (2002b): The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production and linear Type Traits in Holstein-Friesian Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 85: 3071-3080.
- SCHAEFFER, L.R. (2006): Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 123: 218-223.
- SHERMAN, E.L., NKRUMAH, J.D. und MOORE, S.S. (2010): Whole genome single nucleotide polymorphism associations with feed intake and feed efficiency in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 88: 16 – 22.
- SWALVE, H.H. (2007): Züchterische Möglichkeiten zur Verbesserung der Tiergesundheit. *Züchtungskunde* 80 (1): 5-10.
- SWALVE, H.H. und KÖNIG, S. (2007): Testherden in Zuchtprogrammen für Milchrinder. 1. Mitteilung: Allgemeine Überlegungen. *Züchtungskunde* 79 (4): 429-262
- SWALVE, H.H., ALKHODER, H. und PUL, R. (2008): Estimates of breeding values for sires based on diagnoses recorded at hoof trimming: Relationships with EBV for conformation traits. *Proc. Interbull Meeting, Niagara Falls, NY. Interbull, Uppsala, Sweden; Interbull Bulletin* 38: 87-90.
- THE BOVINE HAPMAP CONSORTIUM (2009): Genome-wide survey of SNP variation uncovers the genetic structure of cattle breeds. *Science* 324: 528.
- VANRADEN, P.M., VAN TASSEL, C.P., WIGGANS, G.R., SONSTEGARD, T.S., SCHNABEL, R.D., TAYLOR, J.F. und SCHENKEL, F.S. (2009): Invited Review: Reliability of genomic predictions for North American Holstein bulls. *J. Dairy Sci.* 92: 16-24.

TURNBAUGH, P.J., HAMADY, M., YATSUNENKO, T., CANTAREL, B., DUNCAN, A., LEY, R.E., SOGIN, M.L., JONES, W.J., ROE, B.A., AFFOURTIT, J.P., EGHOLM, M., HENRISSAT, B., HEATH, A.C., KNIGHT, R. und GORDON, J.I. (2009): A core gut microbiome in obese and lean twins. *Nature* 457: 480 – 485

VAN ARENDONK, J.A.M., NIEUWHOF, G.J., VOS, H. und S. KORVER (1991): Genetic effects of feed efficiency in lactating dairy heifers. *Livest.* 29: 263 – 275.

VISSCHER, P.M. (2008): Sizing up human height variation. *Nature Genetics* 40 (5): 489 – 490.

WALL, E., SIMM, G. und MORAN, D. (2009): Potential role of animal breeding in reducing the environmental impact of dairy systems. Vortrag, World Dairy Summit, Konferenz 5 "Tierfütterung und Züchtung", Berlin, 23. September.

## Diskussion

BREVES, HANNOVER

Herr Swalve, sie haben mit dem Beispiel Selektion auf Reduktion der Emission deutlich gemacht, dass es sich dabei um einen sehr komplexen Ansatz handelt. Und aus meiner Sicht muss man dabei zwischen direkten und indirekten Effekten differenzieren. Ich beurteile alles das, was letztlich über Futteraufnahme, Futtermittelverwertung etc. geht, eigentlich mehr als indirekte Effekte, und das einzige was möglicherweise einen direkten Zusammenhang darstellt, ist die Bedeutung der Genetik des Wirtstieres für die Ausprägung der Flora. Haben sie eine Idee aus Sicht eines Tierzüchters, wie man diese Thematik experimentell bearbeitet werden kann?

ANTWORT

Ich gebe den Ball zurück an den Physiologen und an den Tierernährer, wenn Sie mir sagen, wie ich das vernünftig in einer etwas größeren Serie an Tieren prüfen kann, dann kann ich mir ein Design überlegen, und mögliche Effekte schätzen. Im Moment krankt es glaube ich daran, dass wir diese Grundlagenforschung dringend brauchen, wo das Tier in einer Klimakammer steht. Es müssen Methoden entwickelt werden und wenn ich die australischen/neuseeländischen Veröffentlichungen richtig gelesen haben, dann taucht da immer wieder zwischen den Zeilen auf, wir hatten aber „Schwierigkeiten mit der Technik“. Und so lange das so ist, braucht man auch nicht zu erwarten, dass man beispielsweise hoch signifikante Effekte findet. Wenn das aber lösbar ist,



dann kann man ein Design und Auswertungsmodelle entwickeln und vielleicht ist die Datenerfassung später sogar in Testherden möglich.

STEINHART, HAMBURG

Ich wollte noch einmal anknüpfen an den Vortrag von Herrn Flachowsky, und auch Sie haben erwähnt, eines der schwierigsten Probleme scheint die Messung der Emissionen zu sein, Methan, Lachgas, CO<sub>2</sub>. Jetzt haben Sie Bilder gezeigt, wie das z.B in Australien gemacht wird. Ich bin ja ein Chemiker und habe mir überlegt, was ist denn das für ein Apparat, der dort genutzt wird. Wir hatten früher auch Gasmessungen in Räumen von Hamburger Schulen machen müssen, da waren die Ausdunstungen gefährlich und ich weiß, dass das sehr schwierig war. Ich denke, wenn jetzt Tierproduktion in diesem Zusammenhang Anforderungen an Emissionen und Umweltschutz stellt, dann ist doch eines der ganz wichtigen Aufgaben, dass eine relativ sichere Datenbasis über diese Emissionen zur Verfügung stehen muss. Und wenn ich überlege, wie können relativ genaue Werte erfasst werden, im Batch-Verfahren oder im kontinuierlichen Verfahren, dann habe ich gewisse Zweifel, ob das heute schon möglich ist. Das, was Sie hier gezeigt haben, hat so auf den ersten Blick so ausgesehen, dass diese Gase, an irgendeine Substanz gebunden worden sind und man hat dann im Labor mit der Gaschromatographie gearbeitet. Man könnte z. B. Lachgas natürlich auch aufoxidieren zur salpetrigen Säure. Ich glaube einer der wichtigsten Punkte ist und das haben sie auch

erwähnt, dass man eine saubere Datengewinnung hat hinsichtlich dieser Gase. Ich sehe noch gewisse Probleme bei einer sauberen Datenerfassung. Wie sehen sie das jetzt?

ANTWORT

Ich stimme ihnen völlig zu, und ich denke, ich habe angedeutet, dass die Technologie eigentlich noch nicht weit genug entwickelt ist. Ich habe auch gesagt, ich bin kein Physiologe, ich bin kein Chemiker, und ich weiß nicht, wie diese Apparaturen funktionieren.

Aber irgendwie, wenn man die Veröffentlichungen liest, wird so eine Art Gasprobe entnommen und später analysiert. Es wird gebunden und später analysiert. Das ist so im Groben die Methodik und das ist im Moment nicht ausreichend und daher wären Versuche in Respirationskammern sehr wichtig, damit wir vielleicht auch andere Kenngrößen finden, die man einfacher an größeren Tierzahlen unter Feldbedingungen messen kann. Weiterentwicklung neuer Leistungsprüfungen für „Emissionen“ wäre so ein Gedanke.

RODEHUTSCORD, HOHENHEIM

Ich teile die Einschätzung, dass im Moment Verfahren gesucht und entwickelt werden, um im größeren Stil Daten zu messen, z.Zt. ist es noch zu unsicher. Auch wenn man sich die Publikationen betrachtet, die mit ähnlichen Messungen arbeiten. An größeren Tierzahlen sind die Messungen der Methanemission im Moment noch nicht machbar. Eine Validierung steht dann noch aus und erfordert entsprechende Weiterentwicklungen, um gute und aussagefähige Informationen zubekommen. Es ist zu hoffen! Eine andere Variante, die auch nicht mehr ist als eine Idee, könnte man vielleicht bei Weiterentwicklung der Verfahren zur Quantifizierung der Methanogenen weiter kommen. Denn die müssten ja letztlich irgendwo sein. Meine Frage war jetzt noch einmal, ob ich es richtig verstanden habe. Ist dieser genetische Einfluss auf die Abgabe von Methan wirklich ganz klar nachgewiesen?

ANTWORT

Nein, das kann man so nicht sagen. Ich habe versucht darzustellen, was erreicht wurde. Es ist gelungen, Tiere mit hohem und niedrigem Restfutterverzehr aus ihrer gesamten Untersuchungspopulation herauszusuchen und dann die Methanemission zu vergleichen. Aber es steht beispielsweise nicht in der Veröffentlichung, ob da ein Tier von den Zehn mit niedrigem Restfutterverzehr, ob das überhaupt zur Lowline gehörte. Rein theoretisch könnte es das niedrigste von der Highline sein. Das bedeutet im Moment, das noch alles im Fluss ist, knackig Nachgewiesenes steht noch aus. Die Kollegen zeigen Wege auf, wie man an die Daten herankommen kann.

REINSCH, DUMMERSTORF

Wenn wir über strategische Ausrichtung der Züchtung hinsichtlich Klimaschutz sprechen, müssen wir uns erst einmal Gedanken machen über das Zuchtziel. Da ist es ja so, dass wir in der Tierzucht das Konzept des Gesamtzuchtwerts kennen; dies kommt aus der Pflanzenzucht seit den 30er Jahren. Da werden also die verschiedenen Merkmale, Milchmenge, Eiweißmenge, Fettmenge, Körpergewicht, Nutzungsdauer etc. mit ökonomischen Gewichten versehen und dann wird entsprechend addiert zu einem Gesamtzuchtwert, und dann wird nach dem Gesamtzuchtwert selektiert. Die Schwierigkeit hier ist natürlich, dass wir, wenn wir Klimawirkung beachten wollten, diese gesamte Ausrichtung des Gesamtzuchtwertes neu überdenken müssen. Wir müssten also die entsprechenden ökonomischen Modellrechnungen, die dem Ganzen zugrunde liegen, neu durchführen und dazu müssten wir also wissen, wie bewerten wir monetär ein Kilogramm CO<sub>2</sub>, das ausgestoßen wird, um es dann vergleichbar zu machen mit z. B. einem Kilo Eiweiß, das erzeugt wird. Also die negativen und die positiven Wirkungen müssen gewichtet werden. Das wäre also das Erste, und ich denke, dass uns allein dazu schon die Datenbasis fehlt. Ich kenne auf jeden Fall im Moment keine Rechnungen, die das leisten könnte und wenn ich so probate Abschätzungen für die ganz Welt, wie das ist und aus diesem Food Print

Paper der FAO durchlese, dann sind die so wolkig und so grob, dass ich mir also nicht vorstellen kann, dass man so eine Berechnung überhaupt durchführen kann. Wenn man so etwas hätte, dann müsste man aber auch die bisherigen Merkmale neu bewerten, beispielsweise Körpergröße, die uns eigentlich kaum interessiert oder Lactosegehalt, das hat Herr Flachowsky genannt, oder Nutzungsdauer. Und diese Merkmale würden dann unter Umständen eine ganz andere Bewertung bekommen. Dann können wir uns von den züchterischen Merkmalen erst einmal überlegen, wie viel wir da überhaupt haben. Aber ich denke mal, da sind einfach die grundlegenden Zahlen und Daten, die so eine Aufstellung eines solchen Gesamtzuchtwertes ermöglichen würden, überhaupt nicht vorhanden.

Also da können wir uns dann über einzelne Merkmale lange unterhalten, aber letzten Endes wissen wir überhaupt nicht, wie wir das alles zusammenbauen sollten.

ANTWORT

Ich bin da ganz anderer Ansicht. Ich bin da viel mehr Pragmatiker. Ich sage mir einfach, wenn wir der Ansicht sind, dass es wichtig ist, in eine gewisse Richtung zu züchten, dann machen wir das einfach und ob ich da nun ein klares ökonomisches Gewicht in Euro pro Einheit habe oder nicht habe, das interessiert mich erst einmal wenig, weil, es gibt ja jede Menge Beispiele, wo wir Tierzüchter das im Moment ja auch machen. Beispiel: Was mir als erstes einfällt, was ich immer die Studenten frage. Fleischqualität von Schweinen, bei welchem Großschlachthof wird das bezahlt? Bei keinem. Kümmern wir uns da züchterisch drum? Ja trotzdem. Ist doch ein ganz einfaches Beispiel. So sehe ich das mit dem Klimaschutz auch. Wenn wir der Meinung sind, Klimaschutz ist uns wichtig, ist zukünftig wichtig, dann verwenden wir eben ein hypothetisches, ökonomisches Gewicht, dann können wir das auch ins Zuchtziel aufnehmen. Das ist ja eine Sache, die bei allen möglichen Tierarten Gang und Gäbe ist. Ich meine, in der Pferdezucht gibt es umfangreiche Leistungsprüfungen für Schritt,

Trab und Galopp, aber noch nie hat mir irgendjemand sagen können, ob ein Punkt mehr Schritt, Trab oder Galopp irgendeinen ökonomischen Wert hat. Trotzdem züchten die erfolgreich. Das ist für mich überhaupt kein Argument. Dass wir keine ökonomischen Werte haben. Ich kann auch ohne ökonomische Werte züchten.

REINSCH, DUMMERSTORF

Der springende Punkt ist ja nicht, dass wir das ökonomische Gewicht unbedingt in Euro ausdrücken, sondern wir müssen es in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausdrücken. Wir müssen zumindest sagen, 1 Kilo Körpergewicht weniger, bringt so und so viel CO<sub>2</sub> weniger für das Produktionssystem oder 1 % Mastitisanfälligkeit bringt so und so viel. Euro ist nicht wichtig, aber die relative Gewichtung müssen wir ungefähr kennen und natürlich müssen wir jetzt auch für das eine oder andere Merkmal eine Entscheidung treffen, die von solchen Modellrechnungen vielleicht abweichen im Lichte der erwartenden zukünftigen Entwicklung, die wir vielleicht einfach so einschätzen müssen. Trotzdem kommen wir nicht drum herum wirklich relative Gewichte für die Merkmale zu berechnen. Muss ja nicht in Euro sein, kann ja auch in Kilogramm CO<sub>2</sub> sein.

ANTWORT

Ja, jetzt sind wir eher beieinander. Natürlich sollten wir auch quantifizieren. Was ist der direkte Effekt? Und was ist der Effekt des Systems? Solche Kalkulationen sollten gemacht werden und ich denke, wenn wir uns die weltweite Forschungslandschaft anschauen, vielleicht nicht unbedingt hier in Deutschland, aber durchaus in andern Ländern, an gewissen Instituten, werden derzeit genau diese Arbeiten geleistet. Das werden wir in ein paar Jahren auf dem Tischen haben. Da habe ich keine Sorgen und wenn wir es gleichzeitig schaffen, auf der physiologischen Seite zu arbeiten und wirklich den Phänotyp klar definieren, einfacher messen, so dass wir mit züchterischen Mitteln dann ansetzen können, dann passt in dem Moment alles zusammen.

JANKNECHT, WAHLSTEDT

Mir ist aufgefallen, dass bei dem Versuch in Australien enorme Unterschiede in der Futteraufnahme sichtbar wurden. Wenn wir jetzt auf die Wirtschaftlichkeit kommen, enorme Unterschiede in der Aufnahme an Nährstoffen und auch an der Bereitstellung von Nährstoffen, so sind die Kühe unterschiedlich wirtschaftlich bezogen auf diese Komponenten. Wenn man die Unzulänglichkeit in der Methanerausfassung sieht, so finde ich ja alleine schon, dass man überhaupt den Input und das ist ja vielleicht das, wo man das sauber und sicher erfassen kann, arbeiten kann, das andere ist dann vielleicht technisch eine Herausforderung für die Zukunft. Wir müssen erst mal überhaupt dazu kommen, die Futtereffizienz der Kühe zu bestimmen, um das auch entsprechend in der Züchtung zu beachten. Die Einflussfaktoren auf die Futtereffizienz bestimmen und quantifizieren. Ich denke z. B. daran, was jetzt in der Nordostgenetik bei der Bullenmutterselektion entwickelt wurde.

Kann die Futteraufnahme individuell mit berücksichtigt werden. Sehen sie da in Zukunft a) Chancen, was da so flächendeckend zu installieren ist und b) welche Ressourcen braucht man dann, um so etwas überhaupt in die züchterische Arbeit weltweit einfließen zu lassen?

ANTWORT

Sie wissen vielleicht besser als ich, was diese technischen Einrichtungen kosten, um das in Ställen einzubauen. Das verbietet es, daran zu denken, dass man das in wirklich ganz großem Stil machen könnte. Auch da wäre für die Futteraufnahme schon eine indirekte Bestimmung besser als diese direkte Bestimmung, weil die einfach sehr aufwendig ist. Sie haben völlig Recht, Futteraufnahme wäre erst einmal ein Ansatzpunkt und ich wollte noch einen Satz sagen zu diesen extrem unterschiedlichen Futteraufnahmen, die ich gezeigt habe, an den 10 ausgewählten Ochsen. Das lag natürlich daran, weil diese aus den divergenten Linien genommen worden waren. Da findet man dann solche Unterschiede, wenn die normal einfach hingegangen wären zur nächsten Auktion und hätten

sich in Australien Angus gekauft, dann hätten die diese Unterschiede nicht gehabt.

LIND, BONN

Prof. Flachowsky hat ja schon einmal die Hand an die Tierzüchter ausgestreckt und da war auf seiner Folie zu lesen, gentechnisch veränderte Tiere und er hat es auch angesprochen, die Sojapflanze mit dem Primelgen. Wenn ich durch die Regale gehe im Supermarkt, dann steht als erstes auf der Packung, keine gentechnisch veränderten Futtermittel. Sollten wir nicht langsam die Verbraucher mitnehmen und vielleicht uns dieser Fragestellung mal widmen und das vielleicht angehen.

ANTWORT

Sie meinen gentechnisch veränderte Tiere. Der nächste Schritt nach den Futtermitteln. Da habe ich eine kurze Meinung dazu. Wenn wir hier schon keine gesellschaftliche Akzeptanz haben, nur für die gentechnisch veränderten Futtermittel, wie sollen wir sie je für die Tiere bekommen. Das ist auch der Grund, weshalb sich keiner von den Kollegen so richtig ernsthaft darum kümmert, weil es einfach keinen Sinn hat und es gibt ja schon ältere Beispiele, die wunderschön sind. Es gibt diese tollen Phytaseschweine, die gibt es schon seit 20 Jahren und haben die Kollegen aus der Wissenschaft diese bisher vermarkten dürfen? Nein. Und das nicht einmal in Nordamerika. Ich habe da wenig Hoffnung. Ähnlich ist die Situation mit den genveränderten Karpfen.

FLACHOWSKY, BRAUNSCHWEIG

Hülsenberger Gespräche sind für mich eine Plattform der Kommunikation zwischen Tierzüchtern, Tierernährern und Ökonomen. Ich habe Probleme mit einigen Begriffen, die sie verwendet haben. Restfutteraufnahme ist, Tiere fressen Futter und was dann übrig bleibt, das ist Restfutter. So habe ich das immer über 40 Jahre verstanden und jetzt reden sie von einer Restfutteraufnahme. Darf ich noch mal erfragen, was das eigentlich ist?

ANTWORT

Das ist so ein Tierzüchterbegriff. Ich habe ja versucht, das hier zu definieren, aber der Begriff geistert doch ziemlich umfangreich durch die Literatur, deswegen hatte ich mal vorausgesetzt, jeder hätte das schon mal gehört. Es geht darum, dass man berechnet, was braucht das Tier zur Erhaltung, was braucht das Tier für Leistung, gibt es noch andere Quellen, wo es einen Bedarf hätte. Das man das alles berücksichtigt und dann sagt, demgemäß müsste es das und das an Menge fressen, aber es frisst effektiv mehr, also ist da irgendwo Schwund im System und der ist hier deutlich verschieden.

FLACHOWSKY, BRAUNSCHWEIG

Entschuldigung. Woher wissen sie, was das Tier für Erhaltung, noch schlimmer beim Wachsen, was die Leistung ist und das in Versuchen von 15 Tagen. Setzen die Fett an, setzen die Eiweiß an? Wir beschäftigen uns jetzt in einer großen Gruppe im Ausschuss der Bedarfsnorm mit Bedarfswerten für Mastrinder. Da haben wir mittlerweile 40.000 Daten ausgewertet und kommen zu keinem Ergebnis.

Wir sitzen am Freitag wieder. Also das finde ich ja extrem mutig, wie sie rangehen.

ANTWORT

Herr Flachowsky. Ich habe mich da ganz einfach mal auf die Tierernährer verlassen und nicht nur ich, sondern viele Tierzüchter vor mir, die gesagt haben, wir fragen mal die Kollegen von der Tierernährung und was müsste denn das Tier fressen und dann schauen wir mal, was frisst es effektiv und vergleichen das. Das ist ein relativ simpler Ansatz. Es ist einfach Tatsache, natürlich ist mir klar, dass wir bei jedem individuellen Tier nicht exakt aufs Gramm genau sagen können, was hat denn das Tier für einen Bedarf. Herr Flachowsky, das ist vollkommen klar. Es gibt tierindividuelle Unterschiede, die auch sehr groß sein können. Manche Tiere fressen sehr viel, man kann es sich nicht erklären. Ja die Zwillinge, das ist wieder eine andere Geschichte. Man kann es sich nicht erklären, mit dem, was die eigentlich an Bedarf

haben. Und das ist das Phänomen, wo wir Tierzüchter dran sind.

BAHRS, HOHENHEIM

Lieber Herr Flachowsky, ich bin ja so erleichtert, dass sie diese Frage gestellt haben. Ich bin ja nur Ökonom und habe gedacht, muss ich das jetzt wissen oder muss ich das jetzt nicht wissen. Aber ich bin froh, dass ich das jetzt weiß. Meine Frage zielt aber auf etwas anderes ab. Für mich als Ökonom ist immer von Interesse, wie hoch ist die Effizienz und wenn wir jetzt über Ressourcen und Umweltschutz sprechen, dann bedeutet das für mich auch, wie schaffe ich es, ein Ziel zu erreichen, mit möglichst geringen Kosten. Bei Umwelt und Ressourcen sprechen wir dann von klimarelevante Gase, u. a. klimarelevante Gase mit möglichst geringen Kosten zu verringern und die letzten beide Vorträge haben bei mir eine Idee reifen lassen, die ich jetzt ganz gerne in den Raum stellen möchte, die nicht zwingend nur an den Züchter, sondern vielleicht auch an andere gerichtet ist, die mit Tieren zu tun haben und ich hoffe, sie ist nicht zu naiv, wenn dann doch, dann bin ich als Ökonom vielleicht exekutiert. Ist es nicht sinnvoll, wenn wir wissen, wenn wir spezialisierte Mastrassen haben, wir die weiblichen Rinder nicht unbedingt benötigen und wenn wir spezialisierte Milcherzeugungsrasen haben, wir die männlichen Rinder nicht wünschen, zumindest nicht bei denen, von denen wir wissen, dass die für die Züchtung nicht weiter in die Verwertung kommen. Macht es da dann nicht am meisten Sinn, zu sagen, okay, ich versuche das Sexen weiter voranzutreiben, um bei den spezialisierten Mastrassen die weiblichen Rinder zu vermeiden und bei den Hochleistungsrasen in der Milchproduktion die männlichen Rinder so weit wie möglich zu vermeiden. Habe ich damit nicht die höchst mögliche Effizienz mit den geringst möglichen Treibhausgasvermeidungskosten.

ANTWORT

Daran wird ja seit vielen Jahren sehr hart gearbeitet. Und das gesexte Sperma ist jetzt auf einem

Niveau einer gewissen Praxistauglichkeit, allerdings noch nicht so, wie wir es uns wünschen würden, weil es für den einzelnen Betrieb noch eine zu geringe Erfolgsrate bei zu hohen Kosten hat. Für die Organisation ist der Handel mit gesextem Sperma nicht richtig wirtschaftlich. Das ist das Problem. Die Technologie muss verbessert werden, insbesondere auf der Fleischrinderseite. Im Grundsatz haben sie natürlich völlig Recht. Auf der Fleischrinderseite käme ein anderes Problem dazu, dass wir da normalerweise keine künstliche Besamung verwenden, weil das Produktionssystem davon ausgeht, dass die Tiere auf der Weide sind und da können wir nicht jeden Tag Brunstkontrolle realisieren. Deswegen auch kein gesextes Sperma. Es gibt noch zu lösende Probleme, aber seien sie versichert, Herr Bahrs, es arbeiten viele Leute daran, die helfen wollen.

TAUBE, KIEL

Herr Swalve, würden sie mir nicht eigentlich zustimmen, dass die Ansätze, die sie hier gezeigt haben, sehr interessant sind, aber das eigentlich die zentralen Leistungsansätze in der Züchtung, nämlich hohe Milchleistung und möglichst viele Laktationen eigentlich der entscheidende Aspekt sind in Bezug auf die Vermeidung von relevanten Emissionen.

Sie hatten die großen Betriebe in Ost-Deutschland angeführt, wo wir etwa bei 1,9 bis 2,4 Laktationen liegen, und da ist dann bei diesem Food Print, der ja pro kg Milch gerechnet wird, natürlich nicht die Aufzuchtperiode mit drin. Von daher ist doch das eigentlich der entscheidende Punkt, wenn es gelingt, die Nutzungsdauer oder Zahl der Laktationen deutlich zu verbessern, dann glaube ich, dass die Ansätze, die sie hier vorgestellt haben, relativ eine geringere Bedeutung haben. Würden sie da zustimmen.

ANTWORT

Nein. Ich habe das auch nicht ins Spiel gebracht. Das hat Herr Flachowsky vorher ins Spiel gebracht. Ich bin ja der Ansicht und das kann ich auch nachweisen, dass das genetische Vermögen für Langlebigkeit sich zum Beispiel bei der Rasse Holstein in den letzten Jahren tatsächlich verbessert hat, und es gibt sogar einen phänotypisch positiven Trend, der allerdings klein ist. Nichtsdestotrotz gibt es beispielsweise in manchen Regionen in Deutschland Probleme mit der Langlebigkeit. Da müssen wir natürlich weiter dran arbeiten und das habe ich heute in dem Vortrag nicht erwähnt, dieser Merkmalskomplex Nutzungsdauer ist voll im Gesamtzuchtwert enthalten und steht bei den Praktikern in vorderster Front.

# Ökonomische und ökologische Aspekte der Nutzung von Biomasse durch den Wiederkäuer



## 1 Einleitung

Die Wiederkäuer haben für den Menschen primär die Aufgabe, aus Biomasse, die weder als Nahrungsmittel noch als Futtermittel für die Monogaster eingesetzt werden kann, Nahrungsmittel zu erzeugen, teilweise Zugkraft zu leisten sowie organischen Dünger zu liefern. Aus unternehmerischer Sicht ergibt sich aufgrund der Nachfrage nach Fleisch und Milch die Möglichkeit, über die Haltung der Wiederkäuer ein entsprechendes Einkommen zu erwirtschaften. Je nach den gegebenen Rahmenbedingungen, dem Produktionssystem sowie den Preis-Kosten-Verhältnissen lohnt es sich dabei, mehr oder weniger Futtermittel einzusetzen, die auch als Nahrungsmittel bzw. als Futter für Monogaster geeignet wären. In der Milchviehhaltung und Rindermast sind eine Vielzahl an Futtergrundlagen von weidebasierten Systemen mit nahezu ausschließlicher Nutzung von Grünland bis zu Rationen mit Maissilage und Kraftfutter vorzufinden.

Für den Einzelbetrieb besteht die Aufgabe darin, die Frage der bestmöglichen Kombination von Grund- und Kraftfuttermitteln und die Frage nach der optimalen Leistungshöhe bzw. Intensität zu klären.

Mit der positiven Eigenschaft von Wiederkäuern, auch aus relativ geringwertigen Futtermitteln hochwertiger Nahrungsmittel zu erzeugen, ist unweigerlich die Emission von Methan verbunden. Im Zuge der Klimaschutzdebatte spielt dieser Sachverhalt eine wichtige Rolle. Im vorliegenden Beitrag sollen die ge-

nannten Punkte mit ihren Wechselwirkungen näher erörtert werden.

## 2 Entwicklung der Futterflächen

Neben der Nutzung von Grünlandaufwuchs werden in der Wiederkäuerernährung in erheblichem Umfang auch Ackerfuttermittel als Grund- und Kraftfutterkomponenten eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Flächenentwicklung der wichtigsten Grundfutterkomponenten wie Grünlandaufwuchs und Anbau von Feldfrüchten. Dabei ist festzustellen, dass

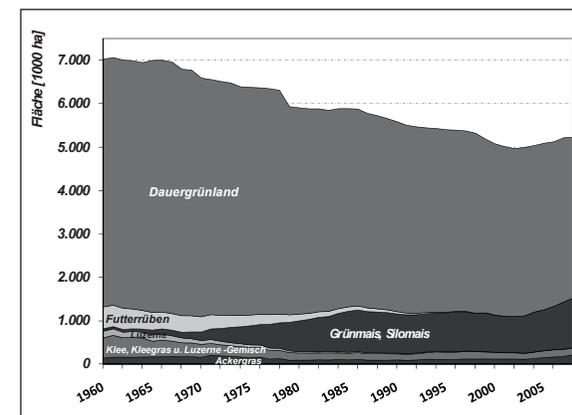


Abbildung 1: Entwicklung der Anbauflächen der wichtigsten Ackerfutterpflanzen und der Grünlandfläche in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) (eigene Darstellung nach Stat. Jahrbuch, versch. Jahrgänge)

Dauergrünland den größten Flächenanteil aufweist, dieser jedoch seit 1960 stetig rückläufig ist. Die Anbaufläche von Silomais steigt kontinuierlich und liegt derzeit in der gesamten Bundesrepublik bei etwa 1,6 Millionen ha. Aus landwirtschaftlicher Sicht war und ist es in der Regel lukrativer, die Fläche als Ackerland zu nutzen.

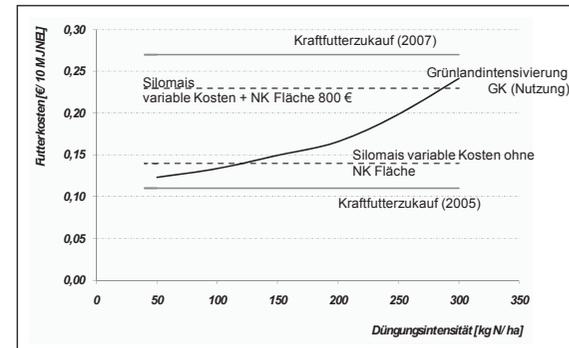
Neben der Umwidmung von Grünland zu Ackerland aus Kostengründen ist der kontinuierliche Anstieg der Milchleistung als ein weiterer Grund für die Freiwerdung und den Rückgang von Dauergrünland zu sehen. Während die Milchleistung von 1960 um durchschnittlich über 100 kg pro Kuh und Jahr auf derzeit etwa 6800 kg pro Kuh und Jahr gestiegen ist, sank die Anzahl der Milchkühe um 28 % auf derzeit 4,2 Millionen Milchkühe. Aufgrund der Quotenregelung blieb die erzeugte Milchmenge konstant. Daraus ergibt sich die Situation, dass für die Grundfütterversorgung der Milchkühe insgesamt weniger Grünland gebraucht wird. Die Ackerfütterfläche weist eine deutliche Umstrukturierung auf. Vor 50 Jahren fand sich noch eine vielfältige Palette von Kulturen, in der Zwischenzeit dominiert der Mais aufgrund seiner Vorteile bezüglich Ertragsleistung, Arbeitsbedarf und Fütterungseigenschaften. In einzelnen Regionen führen aber hohe Maisanteile zu Problemen, wie z.B. Bodenerosion. Diese Probleme sind in jüngster Zeit größer geworden. Die Ausweitung der Maisanbaufläche der letzten Jahre ist nicht mit einer veränderten Wiederkäuerfütterung verbunden, sondern mit der expandierenden Biogasproduktion. Der in diesem Jahr initiierte Erosionsschutzkataster soll dazu beitragen, die Probleme im Erosionsbereich in den Griff zu bekommen.

### 3 Ökonomische Aspekte

Für den Landwirt ergeben sich im Zusammenhang mit der Nutzung von Biomasse über den Wiederkäuer folgende drei Fragen:

- optimale spezielle Intensität
- Minimalkostenkombination
- Optimale Produktionsrichtung

Zu a) Die Frage der optimalen Intensität stellt sich in doppelter Hinsicht, nämlich in der optimalen Intensität der Futtererzeugung und in der optimalen Intensität der Tierfütterung. Die beiden Fragestellungen sind simultan zu betrachten. Generell gilt, die optimale spezielle Intensität ist dann gegeben, wenn die Grenzkosten der Futterbereitstellung gerade noch durch den Grenznutzen der Erzeugung von Milch oder Fleisch abgedeckt sind. In der Grassilageerzeugung steigen die Grenzkosten in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität der Grünlandfläche an (siehe Abbildung 2). Dies wird dadurch begründet, dass mit steigender N-Menge sinkende Grenzerträge zu beobachten sind.



Anmerkungen: NK= Nutzungskosten, GK= Grenzkosten

Abbildung 2: Kosten der Grünlandintensivierung sowie Futterkosten von Silomais und Kraftfutter (LfL, 2010; LfL, 2006, 2007; KTBL, 2008)

Die Wiederkäuerfütterung kann sich jedoch auch bis zu 100 % aus Ackerfutter zusammensetzen. Hier spielen Maissilage und die Ergänzung von Kraftfuttermitteln die wichtigste Rolle. Vor einigen Jahren war die MJ NEL Einheit an Maissilage und Kraftfutter im Vergleich zur Grassilage relativ günstig zu erzeugen bzw. zuzukaufen (siehe Abbildung 2). Dies mag eine Erklärung dafür sein, dass die Grünlandnutzung an Bedeutung verlor. Die Möglichkeit eines günstigen Kraftfuttereinsatzes hat auch dazu beigetragen, dass in Praxisbetrieben niedrige Grundfutterleistungen von unter 2000 kg pro Kuh und Jahr errechnet werden.

Lässt man die derzeitige Situation unter Einfluss der Weltwirtschaftskrise außer acht, so konnte in den letzten Jahren ein Anstieg der Kraftfutter und vor allem auch der Maissilagekosten beobachtet werden. Die Preise von Winterweizen erreichten in Bayern im Jahr 2008 einen Höchststand von etwa 27,7 Ct/ 10 MJ NEL. Daraus müsste sich eine höhere Wertschätzung bzw. eine "intensivere" Nutzung von Grünland ableiten. Die optimale Intensität der Grünlandnutzung bzw. die gerade noch akzeptablen Futterkosten hängen von der Verwertungsmöglichkeit d.h. vom Grenznutzen (= Veredelungswert) ab. Dieser wiederum errechnet sich aus dem Verkaufserlös (z.B. für Milch oder Fleisch) abzüglich der Veredelungskosten. Der Veredelungswert liegt bei der Schaf- und Mutterkuhhaltung am unteren Ende, bei der Milchkuhhaltung am oberen Ende einer Bandbreite. Ein hoher Produktpreis wiederum führt c.p. zu einem hohen Veredelungswert, dieser ermöglicht wiederum den Einsatz von Futtermitteln mit höheren Kosten.

So ist es auch zu erklären, dass Länder mit niedrigen Milchpreisen und relativ hohen Kraftfutterkosten, wie z.B. Neuseeland, nur eine niedrige Milchleistung anstreben. Demgegenüber wird in einem Land mit einer hohen Milchpreis-Kraftfutterpreis-Relation, wie z.B. in den USA, eine hohe Milchleistung realisiert

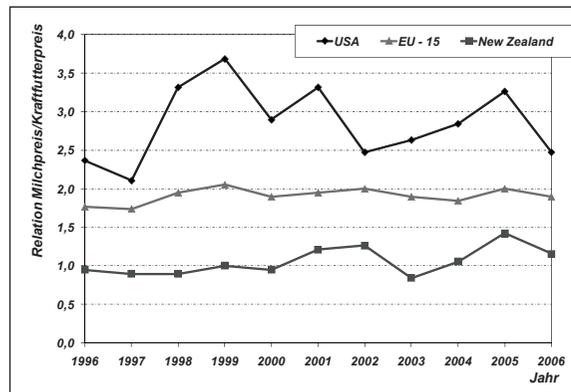


Abbildung 3: Verhältnis von Milch- zu Kraftfutterpreis ausgewählter Länder (Hemme, 2006)

(siehe Abbildung 3). Die Milchleistung in Neuseeland liegt mit 3500 kg pro Kuh und Jahr auf einem relativ niedrigen, in den USA mit 9340 kg auf einem relativ hohen Niveau (FAOStat, 2010).

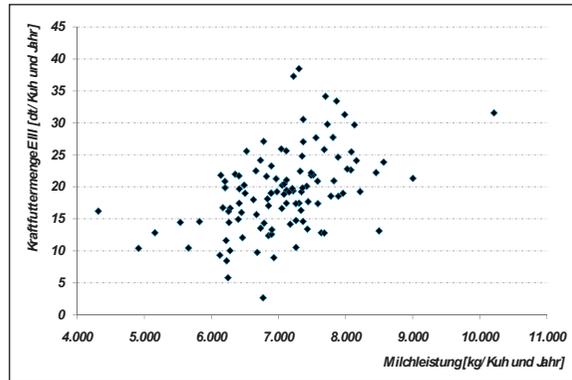
Zukünftig ist tendenziell mit steigenden Futterkosten zu rechnen. Zum einen durch steigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln zum anderen durch die Produktion von Energie aus Biomasse. Die in absehbarer Zeit auf EU-Ebene auslaufende Milch-Garantiemengenregelung dürfte den Druck auf die Milchpreise tendenziell erhöhen. Daraus folgt einmal mehr die Notwendigkeit, die optimale spezielle Intensität, also auch die optimale Höhe der Milchleistung zu überprüfen. Gleichzeitig ist die Fragen nach der Minimalstkombination zu stellen, d.h. es ist zu klären, wie für das jeweilige Leistungsniveau die Futterkosten optimal gestaltet werden.

#### Zu b) Minimalstkombination

Ein betriebswirtschaftliches Ziel besteht darin, die Futtermenge in der erwünschten bzw. erforderlichen Qualität zu minimalen Kosten bereitzustellen. Wie bereits erläutert, wird bei sehr günstigen Kraftfutterpreisen der Kraftfuttereinsatz forciert, bei relativ niedrigen Grundfutterpreisen wird der Kraftfuttereinsatz eher niedriger gehalten (vgl. Deutschland und Neuseeland).

Wie Abbildung 4 am Beispiel von Arbeitskreisbetrieben in Rosenheim (Obb.) zeigt, streut die Kraftfuttermenge von Betrieb zu Betrieb selbst in der gleichen Leistungsklasse in einem extrem großen Bereich. Es stellt sich die Frage, ob diesbezüglich noch Möglichkeiten zur Kosteneinsparung gegeben sind. Außerdem erfordern hohe Kraftfuttermengen einen entsprechenden Futtermittelimport (Stichwort Eiweißblücke)

Offensichtlich gelingt es aber einigen Betrieben sehr gut, bereits aus dem Grundfutter eine hohe Milchmenge zu erzeugen, während andere Betriebe im Extrem rein rechnerisch nahezu die gesamte Milchmenge aus dem Kraftfutter erzeugen. Bei niedrigen Kraftfutterpreisen der vergangenen Jahre war umfangreicher Kraftfuttereinsatz im Vergleich zur



Anmerkungen: E III= Energiestufe 3 (6,7 MJ NEL/kg Kraftfutter)

Abbildung 4: Milchleistung und Kraftfuttermenge ausgewählter Betriebe (Gottwald, 2009)

Intensivierung und Optimierung der Grundfüttererzeugung überlegen. Mit steigenden Kraftfutterpreisen sowie der zunehmenden Kritik an Futtermittelimporten stellt die Erhöhung der Grundfütterleistung aber eine wichtige Aufgabe dar.

#### Zu c) Optimale Produktionsrichtung

Schließlich stellt sich für die Betriebe die Frage der optimalen Produktionsrichtung. Die relativ niedrigen Fleischpreise sowie die Entkoppelung aller Direktzahlungen haben z.B. die Attraktivität der Mutterkuhhaltung aber auch der Rindermast stark reduziert. Da bis dato die Direktzahlungen zwar entkoppelt sind aber bis 2010 noch in gleicher Höhe gewährt werden, mag so mancher Betrieb das bisherige Produktionsverfahren trotz extrem niedrigem Deckungsbeitrag noch beibehalten. Der zwischen 2010 bis 2013 eintretende Abbau der Direktzahlung auf ein einheitliches Niveau wird Anlass zur Überprüfung der Produktionsrichtung sein.

In der jüngsten Zeit bietet der Einstieg in die Biogasproduktion eine neue Alternative. Insbesondere Rinderhalter mit Maisanbau wählten den Umstieg. Durch die Einführung des sogenannten Güllebonus zum 1.1. 2009 erfährt die Tierhaltung eine Aufwertung bzw. eine Art Quersubventionierung. Mit dem

Güllebonus hat sich aber die Flächenkonkurrenz nochmals verschärft. Der Güllebonus wird nicht nur für die Gülle sondern auch für 70 % zusätzliches Substrat (z.B. Maissilage) gewährt. Damit wird die Nachfrage nach Fläche erhöht, was wiederum in steigenden Pachtpreisen und schließlich in steigenden Futterkosten zum Ausdruck kommt.

#### 4 Versorgung mit Eiweißfuttermittel

In der jüngsten Zeit wird die sog. Eiweißlücke vermehrt diskutiert. Die in der EU verwendeten Eiweißfuttermittel werden zu über 80 % importiert. Die damit verbundene Abhängigkeit wird zunehmend kritisch betrachtet. Des Weiteren führen die Futtermittelimporte zu einer Nährstoffakkumulation, weil mit den damit erzeugten Nahrungsmitteln nur ein Teil der Nährstoffe (z.B. Stickstoff) den Betrieb wieder verlässt. Eine derzeit vielfach diskutierte Möglichkeit zur Reduzierung der Futtermittelimporte besteht darin die Eiweißfuttermittel selbst zu erzeugen, d.h. den heimischen Anbau von Körnerleguminosen (Erbsen, Ackerbohnen, Sojabohnen) oder auch von Raps auszuweiten. Die Erträge dieser Kulturen sind aber teilweise (noch) relativ niedrig, folglich ist die Wettbewerbskraft oft unbefriedigend. Ein Vorteil der Ausweitung dieser Kulturen besteht in einer Auflockerung der Fruchtfolgen. Auf jeden Fall kann dadurch die Import-Abhängigkeit bei Eiweißfuttermitteln verringert werden. Nach überschlägigen Berechnungen wären im Bundesland Bayern etwa 20 % der Ackerfläche notwendig, um die "Eiweißlücke" zu schließen (Schätzl, 2010).

In diesem Zusammenhang ist aber noch auf die möglichen Nebeneffekte dieser Vorgehensweise hinzuweisen. Die Ausdehnung des Anbaues von Eiweißfuttermitteln hat die Einschränkung von bisher angebauten Kulturen zur Folge. Demzufolge wird bei gleich bleibender Nachfrage aufgrund der Produktionseinschränkung entweder weniger exportiert oder mehr importiert. Es ändert sich also der Selbstversorgungsgrad bei einem anderen Produkt. Abbildung 5 soll auf den sogenannten "Leakage Effekt" aufmerksam machen.

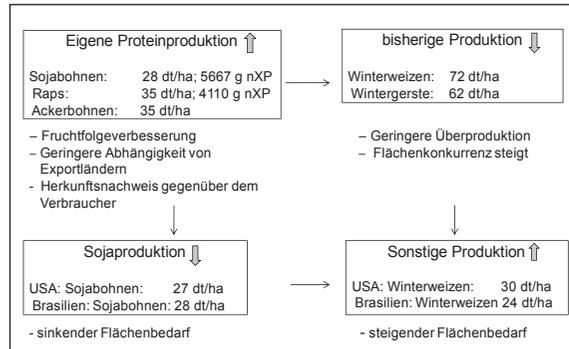


Abbildung 5: Zusammenhänge steigender heimischer Proteinproduktion (USDA, 2010; LfL, 2010; FAOStat, 2010)

Durch die Ausweitung des heimischen Anbaus von Eiweißfutterpflanzen muss z.B. der Anbau von Getreide eingeschränkt werden. Die dann fehlende Getreidemenge wiederum könnte z.B. auf der ursprünglichen Sojafläche (in den USA oder in Brasilien) erzeugt werden. Aufgrund der Ertragsrelation müsste aber z.B. in Brasilien oder in den USA die Getreidefläche doppelt so stark ausgedehnt werden (vgl. Abbildung 5). Insofern wird das Problem der Importabhängigkeit nur scheinbar gelöst, möglicherweise ergibt die Gesamtbilanz eine ungünstigere Situation.

Möglichkeiten, die einen Nettoeffekt im Bezug auf die Eiweißversorgung darstellen, sind in einer Verbesserung der Grundfutterleistung zu sehen, vor allem wenn es gelingt, die Qualität des Grundfutters anzuheben. Wie die Ausführungen unter Punkt 3 gezeigt haben, bestehen große Unterschiede im Kraftfuttereinsatz. Schließlich ist noch auf eine weitere Möglichkeit zur Verringerung der Eiweißlücke hinzuweisen, nämlich den Einsatz von genusstauglichen Schlachtabfällen in der Tierfütterung. Diese hochwertigen Futtermittel stellen ein derzeit nicht genutztes Potential dar (N.N., 2010).

Abschließend wird auch die Frage gestellt, ob es sinnvoll ist, in derart großem Umfang Eiweißfut-

termittel zu importieren, um damit Nahrungsmittel zu erzeugen, die dann wieder exportiert werden. Die Eiweißlücken könnten auch verringert werden, wenn die Futtermittelimporte reduziert und der Viehbestand abgebaut werden würden. Dies trifft in der Tat zu, nur gibt es keine Handhabe, Importe zu unterbinden. Importe sind nicht generell als Problem einzustufen. Es muss aber auf jeden Fall dafür gesorgt werden, dass aus den importierten Futtermitteln keine Überversorgung der Böden mit Nährstoffen erfolgt. Es ist also auf die Einhaltung einer ordnungsgemäßen Verwendung der organischen Dünger zu achten, indem z.B. die Marktfreuchtbetriebe diesen vermehrt anstelle von Mineraldünger einsetzen. Wenn die Viehhaltungsbetriebe dies nicht sicherstellen können, dann bestünde eine Konsequenz darin, die Viehhaltung einzuschränken.

### 5 Treibhausgasemission durch Wiederkäuer

Die vom Wiederkäuer emittierten Treibhausgase (THG) führen aus Gründen des Klimaschutzes zu einer intensiven Diskussion. So wird die Frage gestellt, inwieweit die Höhe der Methanemission verringert werden kann. Insbesondere wird der Zusammenhang zwischen Höhe der Milchleistung und THG-Emission diskutiert. Die Sachverhalte sind nicht zuletzt deshalb sehr komplex, weil die Milchkühe Milch und Fleisch erzeugen. Teilweise wird die Forderung einer generellen Einschränkung der Haltung von Wiederkäuern als Beitrag zum Klimaschutz erhoben.

Im Folgenden soll zuerst dem Zusammenhang zwischen Leistungshöhe und THG-Emission nachgegangen werden. Der Zusammenhang scheint auf den ersten Blick eindeutig. Mit steigender Milchleistung sinkt die je Kilogramm Milch anzusetzende Menge an Treibhausgasen. Da aber in der Regel auch die anfallenden Kälber genutzt werden, ändert sich mit steigender Milchleistung die Zahl der Kälber und damit die Relation von Milch zu Fleisch. Die Relation des Verbrauchs von Milch und Rindfleisch streut in einem großen Bereich (siehe Abbildung 6). Die Bandbreite reicht von 8:1 in Indien, über 5:1 in Deutschland bis etwa 1:1 in Argentinien und Brasilien.

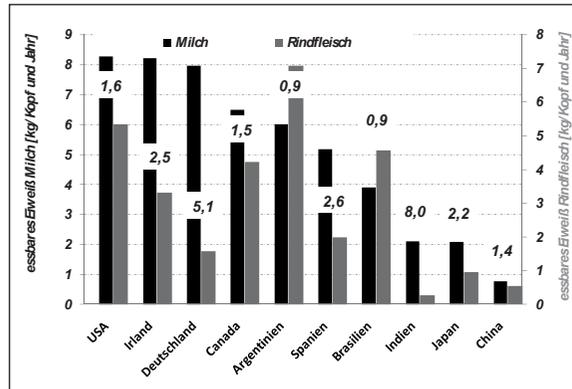


Abbildung 6: Verhältnis Milch- zu Rindfleischverbrauch unterschiedlicher Länder (FAOStat, 2010; Flachowsky, 2009)

In Modellrechnungen wurden Relationen von Milch- zu Rindfleischproduktion unterschiedlicher Milchleistungsniveaus ermittelt. Die Ausmast der anfallenden Kälber in der Bullen- und Färsenmast einer Milchkuh der Leistungsklasse 6.000 kg führt zu einem Verhältnis von Milch zu Rindfleischproduktion pro Kuh und Jahr von 4,5:1. Bei einer Milchkuh der Leistungsklasse 10.000 kg liegt die Relation bei 10:1. Daraus folgt, dass weltweit neben den Milchkuhen noch Mutterkühe gehalten werden müssen, um die erforderliche Rindfleischmenge bereitzustellen. Im Extrem wird die nachgefragte Milch- und Rindfleischmenge eines Landes mit Spezialrassen erzeugt. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine bessere Abstimmung der Futtergrundlage, weil Mutterkühe auf ertragsschwächeren Standorten gehalten werden können. Zudem kann damit eine sehr hohe Fleischqualität erzeugt werden.

Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, welcher Zusammenhang zwischen Milchleistung und THG-Emissionen im Leistungsbereich von 6.000 bis 10.000 kg Milch pro Kuh und Jahr gegeben ist. Wie Tabelle 1 zeigt, beläuft sich die gesamte THG-Emission des Produktionssystems Milch / Fleisch (bei konstanter Milch- und Fleischproduktion) auf 9 bis 10 t CO<sub>2eq</sub>. Die fehlende Rindfleischmenge der höhe-

ren Leistungsklassen wird in der Mutterkuhhaltung erzeugt. Betrachtet man nur die Milchkuh inklusive anteiliger Nachzucht, dann liegt die THG-Emission bei ca. 1,27 kg CO<sub>2</sub>/kg Milch (bei einer Milchleistung von 6.000 kg) bzw. bei ca. 0,98 kg CO<sub>2</sub>/kg Milch (bei einer Milchleistung von 10.000 kg).

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen der Milchviehhaltung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Allokationsmethoden (IPCC, 2006, 2007a, 2007b; Haenel, 2010; KTBL, 2008; Cederberg u. Stadig, 2003; Flachowsky, 2007; DLG, 2006; Dämmgen, 2007)

	System- erweiterung	Keine Allokation	Ökonomische Allokation
	kg CO <sub>2eq</sub> /PE	kg CO <sub>2eq</sub> /kg Milch	kg CO <sub>2eq</sub> /kg Milch
PE Milchkuh 6.000 kg	9120	Milchkuh 6.000 kg 1,27	0,96
PE Milchkuh 8.000 kg	9230	Milchkuh 8.000 kg 1,11	0,88
PE Milchkuh 10.000 kg	10040	Milchkuh 10.000 kg 0,98	0,86

Anmerkungen: PE = Produktionseinheit, eine Milchkuh inklusive Ausmast der anfallenden Kälber in der Bullen- und Färsenmast; PE 6000 kg und 8000 kg Zweinutzungsrasse; PE 10.000 kg Milchspezialrasse

Wird die gesamte THG-Emission auf Milch und Fleisch nach ihrem monetären Wert aufgeteilt (ökonomische Allokation) dann ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Werte, welche von 0,96 bis 0,86 kg CO<sub>2</sub>/kg Milch reichen. Mit sich verändernden Milch- und Fleischpreisen ändert sich auch das entsprechende Ergebnis. Während die THG-Emissionen bei ansteigender Milchleistung je kg Milch tendenziell abnehmen ergeben sich je kg Rindfleisch mit steigender Milchleistung auch ansteigende THG-Emissionen, weil vermehrt die Mutterkuhhaltung zum Zuge kommt. Abbildung 7 zeigt eine Literaturlauswertung von Studien zu den THG-Emissionen der Milcherzeugung unterschiedlicher Länder. Dabei wurden nur Studien mit gleicher Allokationsmethode zwischen Milch und Fleisch (hier ökonomische Allokation) ausgewählt und nach steigender Milchleistung der Milchviehhaltung sortiert. Es zeigen sich keine eindeutigen Trends der Emissionen von kg CO<sub>2eq</sub>/kg Milch mit steigender Milchleistung. Die Ergebnisse

werden vor allem von der Berechnungsmethode als auch vom Produktionsverfahren beeinflusst.

Trotz bestehender Unsicherheiten der Emissionsfaktoren und derzeit noch keiner einheitlichen Berechnungsmethodik sind die Kalkulationen von großer Bedeutung. Der Lebensmitteleinzelhandel ist bereits teilweise dazu übergegangen, Lebensmittel mit einer Information zum Carbon-Footprint zu versehen. Ein Vorreiter ist diesbezüglich Tesco in England. Auf einer Packung mit 568 ml Milch (1 pint) sind Emissionen von 800 g CO<sub>2eq</sub> angegeben.

Es stellt sich aber durchaus die Frage, ob der Käufer mit der Fülle von Informationen nicht überfordert wird. Des Weiteren zeigen die Zusammenhänge um die Berechnung der THG-Emission je kg Milch bzw. je kg Fleisch die Komplexität des Sachverhaltes und damit auch die Problematik.

Abschließend sei noch auf einen weiteren Sachverhalt verwiesen. Weltweit stehen zur Nahrungsmittelproduktion etwa 1,5 Mrd. ha Ackerland und etwa 4,5 Mrd. ha Grünland zur Verfügung. Von dieser Grünlandfläche wird knapp die Hälfte über die

Viehhaltung genutzt. Eine Alternative der Nutzung der Grünlandfläche besteht in einigen Regionen im Umbruch zu Ackerland. Diese Vorgehensweise wird in weiten Teilen beobachtet. Die Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Erhaltung des Dauergrünlands. In Deutschland gilt die Einhaltung dieser Verpflichtung auf Ebene der Regionen (Länder). Hat sich der jeweils aktuell ermittelte Dauergrünlandanteil an der landwirtschaftlichen Fläche gegenüber einem Basiswert (Referenzjahr 2003) um mindestens 5 % verringert, bedarf der Umbruch von Dauergrünland einer vorherigen Genehmigung. Bei mehr als 10 %-igem Rückgang der Dauergrünlandfläche müssen Grünlandflächen angesät werden. In den Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern wurde die 5 % Grenze bereits überschritten.

Der Umbruch von Dauergrünland kann wiederum mit hohen Emissionen an Treibhausgasen verbunden sein, da im Bodenumus gespeicherter Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> entweicht. Es wird davon ausgegangen, dass eine derartige Landnutzungsänderung, über einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet, zu einer zusätzlichen Emission von 2 bis 15 t CO<sub>2eq</sub> pro ha führen kann (Fehrenbach, 2008). Dabei bestehen große Unterschiede je nach Art der Nutzungsänderung sowie klimatischen und standortbedingten Gegebenheiten. Den Emissionen aufgrund Landnutzungsänderung stehen Emissionen von 8 bis 15 t CO<sub>2eq</sub> /ha bei Nutzung der Grünlandfläche durch Wiederkäuer gegenüber. Insofern halten sich die beiden Bereiche in etwa die Waage. Die Flächennutzung in Form von Grünland wird aber aus Gründen des Schutzes von weiteren Ressourcen (Boden, Wasser, Biodiversität) zusätzlich als positiv eingestuft. Die Situation stellt sich natürlich anders dar, wenn Grünland umgebrochen und das dann vom Ackerland gewonnene Futter an Wiederkäuer verfüttert wird. Aber auch hier gilt es die Relation zu beachten. Die durchschnittliche THG-Emission eines Bundesbürgers beläuft sich auf etwa 10 t/Kopf und Jahr. Davon entfallen auf den gesamten Bereich der Ernährung ein bis zwei t/Kopf und Jahr. Dieser lebensnotwendige Bereich muss in

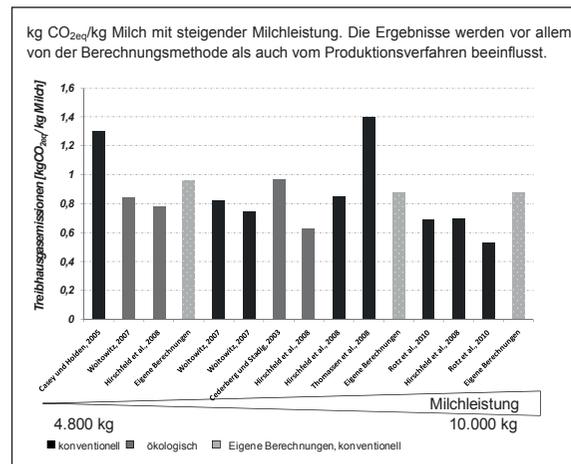


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen der Milcherzeugung unterschiedlicher Studien

Beziehung gesetzt werden zu anderen Konsumaktivitäten, die bestenfalls als lebensbereichernd eingestuft werden können.

## 6 Zusammenfassung

Eine Hauptleistung des Wiederkäuers besteht seit Jahrhunderten darin, aus Biomasse, die weder als Nahrungsmittel noch als Futtermittel für die Monogaster eingesetzt werden konnte, hochwertige Nahrungsmittel zu erzeugen. Aus unternehmerischer Sicht ergibt sich für den Landwirt aufgrund der Nachfrage nach Fleisch und Milch die Möglichkeit, über die Haltung der Wiederkäuer ein entsprechendes Einkommen zu erwirtschaften.

Die Futtergrundlage hat sich in Deutschland innerhalb der letzten 50 Jahre deutlich verändert. Das Dauergrünland weist zwar den eindeutig größten Flächenanteil aufweist, dieser ist jedoch seit 1960 stetig rückläufig. Die Anbaufläche von Silomais ist demgegenüber kontinuierlich gestiegen. Die Ausweitung der Maisanbaufläche der letzten Jahre ist mit einer expandierenden Biogasproduktion verbunden.

Für den Landwirt geht es in der Nutzung von Biomasse über den Wiederkäuer unter Einhaltung der guten fachlichen Praxis um die Erzielung eines möglichst guten wirtschaftlichen Ergebnisses. Unter den in Deutschland gegebenen Bedingungen lohnt es sich in der Regel, das Leistungspotential der Tiere auszuschöpfen. Es zeigt sich aber, daß in diesem Zusammenhang sehr große Unterschiede in der Kraftfuttermittelleffizienz bzw. in der Grundfutterleistung bestehen. Bezüglich der Produktionsrichtung steht mit der Biogaserzeugung eine neue Alternative zur Verfügung. Die aktuelle Einspeisevergütung führt aber zu einer deutlichen Wettbewerbsverzerrung.

Ein zentrales Thema der Tierfütterung stellt die hohe Abhängigkeit von importierten Eiweißfuttermitteln dar. Bei der Ausweitung des Anbaues heimischer Eiweißfutterpflanzen sind aber die vielfältigen Nebeneffekte zu beachten. Einen Beitrag zur Verringerung der "Eiweißlücke" könnten aber auch die Erhöhung der Grundfutterleistung sowie der Einsatz genußtauglicher Schlachtabfälle leisten.

Im Zusammenhang mit dem Klimaschutz wird die Rolle der Wiederkäuer intensiv diskutiert. Insbesondere in der Milcherzeugung sind Sachverhalte sehr komplex, weil die Milchkühe Milch und Fleisch erzeugen. Es ist also erforderlich, die von den Milchkühen emittierten Treibhausgase über eine Allokationsmethode auf Milch und Fleisch zu verteilen. Das Thema ist deshalb von Bedeutung, weil zunehmend Einzelhandelsunternehmen auf Lebensmittelverpackungen den Carbon Footprint angeben. Kritisch bleibt anzumerken, ob durch die Fülle von Informationen der Käufer schließlich nicht überfordert wird. Abschließend gilt es anzumerken, daß die Erzeugung von Lebensmitteln z.B. bezüglich klimawirksamer Emissionen, nicht ohne weiteres mit anderen Aktivitäten verglichen werden sollte, schließlich sind Lebensmitteln lebensnotwendig, während auf andere Aktivitäten notfalls auch verzichtet werden könnte.

## Literaturverzeichnis

- Casey, J. W.; Holden, N. M. (2005): The relationship between greenhouse gas emissions and the intensity of milk production in Ireland. In: Journal of Environmental Quality, Jg. 34, H. 2, S. 429–436.
- Cederberg, C.; Stadig, M. (2003): System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. In: International Journal of Life Cycle Assessment Jg. 8, H. 6, S. 350–356.
- Dämmgen, U. (2007): Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005. In: Landbauforschung Völknerode. Sonderheft 304, Braunschweig.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft) (Hrsg.) (2006): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG/ Band 199.DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- FAOStat (Food and Agriculture Organization of the United Nations): Statistics. Online abrufbar unter: <http://faostat.fao.org/> (Abrufdatum: 12.05.2010).
- Flachowsky, G. (2009): Unsere zukünftige Ernährung unter besonderer Berücksichtigung von Lebensmitteln tierischer Herkunft – Was können wir uns (noch) leisten? In: Mühle + Mischfutter. Jg. 146, H. 23, S. 771-802.
- Flachowsky, G., Brade, W. (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. In: Züchtungskunde Jg. 79, H.6, S. 417-465.

- Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Reinhardt, G.; Schmitz, J.; Sayer, U.; Gretz, M.; Seizinger, E.; Lanje, K. (2008): Criteria for a Sustainable Use of Bioenergy on a Global Scale. Report on behalf of the German Federal Environment Agency. Online abrufbar unter: [http://www.biofuelstp.eu/downloads/Criteria\\_for\\_sustainable\\_bioenergy\\_German\\_Research.pdf](http://www.biofuelstp.eu/downloads/Criteria_for_sustainable_bioenergy_German_Research.pdf) (Abrufdatum: 7.05.2010).
- Gottwald, U. (2009). Arbeitskreisbetriebe des Amtes für Landwirtschaft in Rosenheim. Unveröffentlichte Mitteilung.
- Haenel, H-D. (2010): Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2010 for 2008. Landbauforschung vTI Agricultural and Forestry Research. Sonderheft 334, Braunschweig.
- Hemme et al. (2006): IFCN Dairy Report 2006, International Farm Comparison Network, IFCN Dairy Research Center, Kiel..
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) (2007a): Climate Change 2007-The Physical Science Basis. Cambridge University Press, New York. Online abrufbar unter: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm> (Abrufdatum: 04.11.2008).
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) (2007b): Climate Change 2007- Synthesis Report. Online abrufbar unter: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf) (Abrufdatum: 04.11.2008).
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) (2006): Guideless for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 11, N<sub>2</sub>O Emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application. Online abrufbar unter: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (Abrufdatum: 04.11.2008).
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.) (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/2009. 21. Auflage, Darmstadt.
- LfL (Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.) (2006): Materialsammlung für Futterwirtschaft. 4. Auflage. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forstern, München. Online abrufbar unter: [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_22478.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_22478.pdf) (Abrufdatum: 21.10. 2008).
- LfL (Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.) (2007): Leitfaden für die Düngung, Gelbes Heft. 8. überarbeitete Auflage, Freising. Online abrufbar unter: [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_24402.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_24402.pdf) (Abrufdatum: 21.10. 2008).
- LfL (Landesanstalt für Landwirtschaft) (2010): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Online-Rechner. Online abrufbar unter: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/db/14249/index.php?context=/lfl/ilb/pflanze/> (Abrufdatum: 12.01. 2009).
- N.N. (2010): Verfütterungsverbot tierischer Nebenerzeugnisse auf dem Prüfstand. Agrar-Europe Jg. 24, H. 10, S.13.
- Rotz, C. A.; Montes, F.; Chianese, D. S. (2010): The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. In: Journal of Dairy Science, Jg. 93, H. 3, S. 1266–1282.
- Schätzl, R.; Stockinger, B. (2010): Strategien zur Erhöhung des Anteils von heimischen Eiweißfuttermitteln in der Nutztierfütterung. Unveröffentlichter Zwischenbericht. Institut für Agrarökonomie. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, München.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (1960-2009): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden.
- Thomassen, M. A. van; Calker, K. J.; Smith, M. C. J. (2008): Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. In: Agricultural Systems, H. 96, S. 95–1007.
- USDA (United States Department of Agriculture) (2010): Statistics. Online abrufbar unter: <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome> (Abrufdatum: 12.05.2010).
- Woitowitz, A. (2007): Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren – dargestellt am Beispiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweise, Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.

## Diskussion



SPIEKERS, GRUB

Herr Heißenhuber, sie hatten die Sache mit dem Eiweiß angesprochen. Ich habe das so verstanden, dass sie den Sojaanbau nicht für eine Alternative halten. Was sind denn ihres Erachtens die Dinge, die wir verfolgen sollten, wenn man mehr heimisches Eiweiß aus irgendwelchen Gründen einsetzen will.

ANTWORT

Ich würde meinen, da sind wir mit einigen Kollegen im Gespräch. Man sollte wirklich hinterfragen, ob man sich diesen Luxus des Wegwerfens von hochwertigsten Lebensmitteln weiter leisten kann. Es ist jetzt 10 Jahre her, dass das Tiermehl verboten wurde. Die genusstauglichen Sachen, hochwertigstes Material könnten sicher für die Fütterung genutzt werden, aber nicht bei der gleichen Tierart. Die damaligen Entscheidungen des Verbotes sollten geprüft und hinterfragt werden. Tiermehl ist ein hochwertiges Produkt!

Ein zweiter Ansatz wäre die Frage der Grundfutterleistung. Wenn die Unterschiede so groß sind, haben wir dann wirklich alles getan. Die Variation zwischen Tieren und zwischen Betrieben ist noch sehr groß und die Züchter können hinsichtlich Futteraufnahme, Futtereffizienz noch einiges beackern. Das Merkmal ist bei der Milchkuh schwieriger als beim Schwein oder Geflügel. Doch beim Klima sind es z.B. Methan und Lachgas und bei der Milchkuh muss man auch erforschen wie viel Futter für die Erhaltung, wie viel für die Leistung genutzt wird. Doch wo

wird noch intensiv am Wiederkäuer geforscht? Viele Klimakammern und Einzelfütterungseinrichtungen wurden stillgelegt und auf einigen Versuchsbetrieben wird die Fütterungstechnik/ -erfassung nicht genutzt. Wir haben des Öfteren darüber auch gesprochen. In einem Forschungsvorhaben, wir haben es in unser Papier rein geschrieben, über die Disziplin hinweg durchführen, um hier letztendlich voranzukommen. Das Thema Leguminosen existiert schon lange. Warum machen das die Landwirte nicht, weil der Unterschied so groß ist. Auch Prämienzahlungen helfen nicht viel. Fördern vielleicht, wenn man züchterisch besser wird. Die Pflanzenzüchter sind hier gefordert, damit es Lupinen- oder Sojapflanzen für unsere Regionen gibt. Einfach mehr Leguminosen anbauen, das kann es nicht sein. Die Effizienz und Ausbeute muss gegeben sein. Wir brauchen Pflanzen mit hochwertigem Eiweiß analog zur Sojapflanze und das kann die Leguminose so noch nicht leisten. Mit bestimmten Anteilen ist eine Verfütterung sicher möglich.

SCHENKEL, HOHENHEIM

Es heißt nun, die Wiederverwertung von Schlachtabfällen, ich war auch dafür, aber das erhöht die Eiweißlücke dann von 25 auf 30 %, das muss man also dann schon in Relation sehen. Aber eine andere Frage. Wenn wir die Eiweißlücke so berechnen, dann unterstellen wir ja vor allem in der Schweineproduktion aber auch bei anderen tierischen Lebensmitteln, dass wir ja auch einen erheblichen Anteil unserer produzierten Fleischmenge exportieren. Und die

Frage wäre ja, ist es das Ziel, ähnlich wie in manchen Nachbarländern der EU, hier die Tierproduktion so hoch zu fahren? Wenn man schon diese Eiweißlücke hat, dass wir diesen notwendigen Import an Eiweißfuttermittel haben oder sollte man hier das ebenfalls ins Kalkül ziehen? Die andere Sache, wenn ich natürlich jetzt in Bayern überall Soja anbaue, abgesehen davon, ob das geht, dann muss ich gegenrechnen, dass ich Leguminosen anbaue, die Stickstoff binden und kann das dann einfach dem Weizen anrechnen, den ich dann unter Umständen mit Mineraldünger dünge und hier Stickstoffeinsatz habe und einen entsprechend hohen Energieaufwand habe. Das geht ja auch in die CO<sub>2</sub>-Bilanz.

ANTWORT

Zu Punkt 1. Die Nutzung der Schlachtabfälle ist ein wirklicher Streitpunkt. Ist die EU oder ist Deutschland aufgerufen, diesen Weg zu verfolgen. Auf der anderen Seite können sie sagen, wenn sich für den Landwirt daraus eine Chance ergibt, dann kann ich nicht sagen, er darf es nicht machen. Der Schwachpunkt ist, dass die Regeln für alle Länder einheitlich sein müssen. Dass was an Reststoff übrig bleibt, muss ordnungsgemäß be- und verarbeitet werden. In der Tauglichkeit sind Holland und Dänemark schon weiter, und wohl auch ein Stück schärfer. Wenn die Wege entsprechend eingehalten werden, also mit anderen Worten, nicht anfangen, wie sollen wir es denn begrenzen, sollen wir das limitieren oder quotieren oder so etwas Ähnliches. Wir müssen auf der anderen Seite anfangen, dass was gemacht wird, genau wie es Holland und Dänemark tun, die Vorgaben sollten eher schärfer sein. Es ist mein Eindruck, dass die ordnungsgemäße Verwendung dessen, was übrig bleibt, durchgeführt wird und dann ergibt sich automatisch das, was sie ansprechen. Wenn wir das nicht machen, werden wir das Problem nicht los.

Und das andere. Sie haben vollkommen Recht, sie können Leguminosenstickstoff schlecht behandeln, sozusagen, sie können das schlecht machen. Mit Umbruchterminen usw. Sie können es aber auch

gut machen. Aus unserer Sicht gibt es hier entsprechendes zu beachten und es ist nicht automatisch nur die Leguminose positiv oder negativ oder Weizen positiv oder negativ. Denn gerade bei einem sehr gezielt gedüngten Weizen haben wir vergleichsweise wenig Emissionen. Wir haben unter Umständen viel Emission, wenn wir entsprechende Überschüsse haben. Also sie sprechen einen entscheidenden Punkte genau an.

BERGFELDT, KÖLLITSCH

Professor Heißenhuber, ich möchte auf das Thema Grünland zu sprechen kommen. Wie realistisch sehen sie die Chancen, dass das Grünland zur Biomasseversorgung beiträgt? Sie hatten so formuliert, da müssen wir ein bisschen intensiver oder wir sollten uns ein bisschen mehr ums Grünland kümmern. Auf der Folie stand es noch etwas deutlicher: Grünland, Intensivierung stärken. Wir haben in den letzten Jahren verstärkt die Extensivierung des Grünlands propagiert, die zweite Säule war darauf ausgerichtet. In der Zwischenzeit sind doch auch erhebliche Fläche, die wir unter Schutz gestellt haben, Verfahren Natura 2000, ist das realistisch? Haben wir eine Alternative dazu? Wie sehen sie das?

ANTWORT

Der Begriff Intensivierung ist natürlich gleich so ein Schlagwort, da weiß jeder, was er darunter zu verstehen hat. Das ist negativ belegt. Wir haben einen Betrieb in der Nähe von Freisingen, der schafft es eben mit einer sehr aufwendigen Futterwirtschaft, 6.000 kg Milch ohne Kraftfutter zu erreichen. Das heißt, er macht es deutlich intensiv, aber er macht es nicht so intensiv, wie das was sie jetzt gesagt haben, sondern er geht unwahrscheinlich sorgfältig mit dem Gut um, hat wenig Verluste, schafft es dann, dass viel von dem, was draußen aufwächst, im Futtertrog landet, vermeidet beim Heu Bröckelverluste usw. Also es ist ein ganzes Paket und ich meine gerade das mit der Futterwirtschaft. Jetzt etwas ketzerisch gesagt, wir haben den Stand der Technik der 70er Jahre nur die Maschinen sind jetzt dreimal oder viermal so breit.

Wir haben doch faktisch nichts verbessert, nur die Schlagkraft haben wir erhöht. Aber von der Technik her, vom Umgehen mit dem Futter haben wir doch nichts verbessert in den letzten 30 Jahren. Oder ist es nicht so? Das heißt, wir haben die Maschinen, die sind schlagkräftiger geworden, aber Intensivierung heißt, dass ich dann mehr von der Fläche auch in den Futtertrog reinbringe, dass ich die Qualität erhöhe. Das ist ja nicht nur die Frage des Stickstoffaufwandes, das ist die Frage, wie ich die ganze Futterkette behandle. Und solche Beispiele zeigen, wie man es machen kann und das ganze Paket gehört dann dazu. Und das wäre auch ein Ansatz, dass wir hier mehr tun und ich meine, dass langfristig tatsächlich, wenn das Thema Flächenknappheit zunimmt, das ist ein Schlagwort, das weltweit Flächen aufgekauft werden, dann muss es ja, wenn die Frage der Ernährung der Menschen wirklich ein Thema wird, dann muss es ja knapper werden, dann müssen wir uns überlegen, wie wir vorgehen. Nicht zuletzt, sie haben natürlich Recht, habe ich irgendeinen Konflikt. Ich kann nicht alles haben. Ich kann nicht die extensivste Wiese,

wenn sie so wollen, die von mir überhaupt nicht oder nur einmal im Jahr geschnitten wird, und zur gleichen Zeit dort 6.000 kg Milch erzeugen, das geht nicht. Wir können nicht alles haben. Wir werden uns und das ist ein politischer Prozess, wir werden uns dann entscheiden müssen, das Maß an Biodiversität, das ist ein Thema, was mit diesen „Extensivierungsflächen“ vorgesehen ist, da und dort leisten, aber wir werden vielleicht auch nicht auf allen Flächen diese entsprechende Biodiversität einholen und da sind wir dann im Konflikt mit dem SRU, der vorgeschlagen hat, einen bestimmten Prozentsatz von allen Flächen raus zu nehmen. Wir haben in unserem letzten Gutachten das nicht für gut geheißen, denn dann wäre das Prinzip der differenzierten Landnutzung, dort ordentlich wirtschaften, mit entsprechend hoher Ertragssituation und in anderen Regionen eher dem Ziel der Biodiversität nachzugeben. Das ist nicht im Vorschlag, was die EU vorgeschlagen hat, nämlich einen bestimmten Prozentsatz von allen Flächen aus der Nutzung raus zu nehmen.

# Microbial ecology of the rumen: impact on nutrition and the environment



## 1 Introduction

The reticulorumen is the first stomach of cattle, sheep and goats. Its volume comprises a large proportion of the abdominal space, being 5-10 L in sheep and 50-150 L in cattle. Two compartments are linked, namely the reticulum and the rumen, with digesta being exchanged between the two compartments. Once partial digestion has occurred following initial ingestion of forages, some of the digesta is regurgitated, mixed with saliva, and chewed once more before being swallowed again. This process, known as rumination, helps to break down physical structures in plant cell walls, making them more susceptible to digestion. All ruminal digestion (generally called 'degradation' to distinguish the process from the gastric and intestinal processes that occur further down the digestive tract) is carried out by a microbial population that consists of ciliate protozoa, anaerobic eubacteria, anaerobic fungi and methanogenic archaea. The rumen evolved as a means of slowing down the passage of digesta, allowing the microorganisms more time to break down recalcitrant cellulosic materials. Only microbial enzymes can break down cellulose. Mammals do not produce cellulase: they rely on their intestinal microorganisms. Ruminant animals form a class of foregut fermenters where microbial activity precedes gastric digestion. This evolutionary strategy is also found to some extent in camelids, kangaroos and some marine mammals. Plenty of other animals, including herbivores like equines, digest plant fibre in the gut, but their fermentation takes place after gastric

digestion. Generally intestinal fibre digestion is less efficient than foregut digestion. This lower efficiency is countered by a faster passage rate. The great benefit of foregut fermentations is that the microorganisms that grow during fermentation pass from the rumen to the gastric stomach, in ruminants called the abomasum, where their cell constituents, such as proteins and vitamins, become available to the animal. In non-ruminant herbivores, these nutrients are lost in faeces. The foregut fermentation can also lead to certain nutritional inefficiencies that have significant impacts on the economics and environmental impact of ruminant livestock production.

## 2 Ruminal microbial ecology

The rumen ecosystem is one of the most complex microbial communities in nature. The main biomass is formed by bacteria, represented by around 340 different phylotypes (Edwards et al. 2004). Bacteria are also most active in most metabolic functions, with the exception of methane formation, which is carried out by several different genera of archaea, perhaps almost as varied a community as the bacteria (Wright et al. 2006). Ciliate protozoa usually form a variable biomass as dense in many animals as the bacteria. The protozoa are also highly diverse (Wright et al. 1997). Being up to 150  $\mu\text{m}$  in length, many can be seen with the naked eye (Fig. 1). Their nutrition depends on the ingestion and digestion of the bacteria, an activity that decreases the productivity of microbial protein from the fermentation. Other, less characterized categories

of microbial life in the rumen include mycoplasmas and bacteriophage, the latter of which outnumber bacteria (Klieve and Swain 1993).



Fig. 1: Rumen ciliate protozoa

Techniques for studying ruminal microorganisms have changed enormously since Robert Hungate (1966) wrote his seminal monograph 'Rumen microbiology'. Throughout his career, Hungate and his contemporaries advanced their science via painstaking observation alongside techniques that, although revolutionary in their time, now sometimes appear weak and even misleading. They relied heavily on manual dexterity and investigated a relatively small number of cultivated microbes. The power of molecular methods in analysing a microbial ecosystem is staggering in comparison. Present technology relies mostly on sequences within or close to small subunit ribosomal RNA gene, yielding phylogenetic trees that describe quantitatively the relatedness of the different species (Fig. 2). However, as functional genomics and microarrays gather momentum, it seems that other quantum leaps may soon be possible. Already, DNA sequencing has become so rapid that entire microbial metagenomes can be sequenced and analyzed (Qin et al. 2010).

#### Impact on nutrition.

**Cellulolysis.** Cellulose breakdown has been the force driving the evolution of ruminants. The abundance of cellulose in the diet of most ruminants means that all the diverse species mentioned above have the opportunity to obtain energy from the polymer. It is nonetheless remarkable how few possess the ability to digest the most recalcitrant, crystalline form of cellulose that forms the backbone of most forage fibres. Ruminant ciliate protozoa and anaerobic fungi contribute to the process, but the bulk of the activity is due to only two bacterial genera, *Fibrobacter* and *Ruminococcus* (Chesson and Forsberg 1997). *Fibrobacter succinogenes* is the main species from that genus found in the rumen (Stewart et al. 1997). It is a high GC Gram-positive species, atypical of the most numerous *Firmicutes* and *Bacteroidetes*. *Ruminococcus albus* and *R. flavefaciens* are the two most common cellulolytic ruminococci. They are phylogenetically much more similar to the majority of ruminal bacteria, being central in the *Firmicutes* phylum (Edwards et al. 2004).

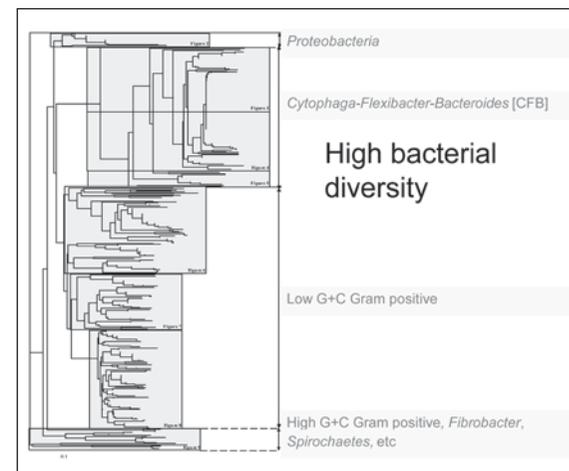


Fig. 2: Bacterial diversity in the rumen, based on 16S rRNA genetic analysis.

Genomic sequence information is now becoming available for several species of ruminal bacteria. In *R. flavefaciens*, 36% of the genome encodes glycosyl hydrolase genes, indicating that the release of sugars from oligo- and polysaccharides is of central importance to this species. However, the genome of the non-cellulolytic species, *Clostridium proteoclasticum*, contains more than 100 glycoside hydrolases, and around 80 have been identified in *Prevotella ruminicola*, which also is not cellulolytic. One key difference between the truly cellulolytic species and the others appears to be the spatial organisation of the fibre-digesting enzymic machinery. Remarkably, *F. succinogenes* and the *Ruminococcus* spp. appear to have evolved completely different strategies in this regard. Elegant enzymological and genetic investigations have revealed a cell surface-associated anchor-like structure that enables hydrolases to bind in close proximity to each other in a branched scaffoldin-based complex (Fig. 3; Rincon et al. 2003). Presumably it is the close proximity of hydrolases of different specificity, held in place by dockerins, that enables *R. flavefaciens* to digest fibre efficiently. The genome sequence of *F. succinogenes* contains no dockerins, however. The way

*F. succinogenes* appears to have evolved to cope with the digestion of a complex, insoluble substrate is they have an extraordinarily pleomorphic cell envelope, in contrast to the rigid cell envelope of *R. flavefaciens* (Fig. 3; Costerton et al. 1974). The hydrolases of *F. succinogenes* do not appear to associate with each other, but several of them anchor directly to the cell envelope (McGavin et al. 1990). The flexibility of the cell envelope then presumably affords them the ability to overcome the steric problems presented by the cellulose fibre.

**Protein breakdown.** The quantity of protein flowing from the rumen is a major factor limiting the productivity of ruminant livestock production (Leng & Nolan 1984; Broderick et al., 1991). The protein reaching the abomasum consists of a mixture of dietary and microbial protein and, following digestion and absorption, it provides the amino acids upon which ruminants depend for their amino acid requirements. Rumen wall tissue protein turnover must also be considered as part of the protein drain imposed by ruminal microorganisms, because ruminal bacteria tend to invade and digest ruminal epithelial tissues (Cheng & Costerton 1980). The main considerations dominating the impact of ruminal microorganisms on protein nutrition are thus:

- (a) the breakdown of dietary protein in the rumen,
- (b) the breakdown of microbial protein in the rumen,
- (c) the efficiency of synthesis of microbial protein, and
- (d) the breakdown and turnover of rumen wall tissue.

Microbial proteolysis destroys high quality dietary protein and should be slowed if high-protein diets are to be used efficiently. The activity is mainly bacterial, catalysed by a mixture of proteolytic enzymes present in many different species. Proteolysis has proved difficult to control. Tannins can lower the breakdown of proteins fed at the same time, but tannins also tend

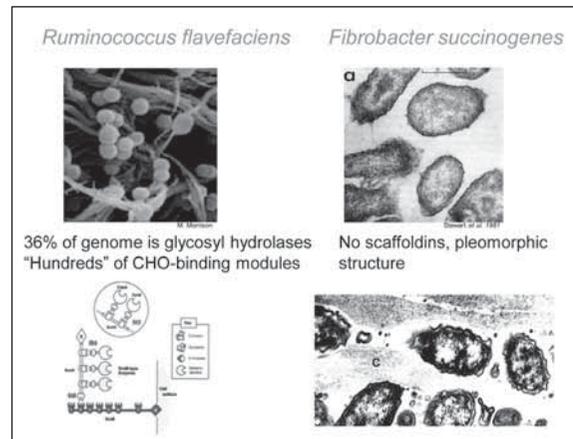


Fig. 3: Different strategies for the digestion of crystalline cellulose by the two main ruminal cellulolytic bacteria.

to slow fibre digestion, impairing the digestibility of the energy component of the diet (McSweeney et al. 1991). The solution for protein supplements such as soybean meal is to heat them carefully, which leads to slower degradation in the rumen but satisfactory subsequent digestion in the stomach and small intestine.

Protein turnover is an endogenous activity of all microorganisms. In the rumen, however, bacterial protein breakdown is initiated mainly by exogenous factors, principally ciliate protozoa (Wallace & McPherson 1987). Protozoal activity is detrimental to the efficiency of microbial protein synthesis, by breaking down bacteria and introducing a cycle of turnover of microbial protein (Fig. 4). Arguably, avoiding the engulfment and digestion of bacterial cells by protozoa would be the manipulation strategy which would have the greatest impact on microbial protein flow from the rumen in most ruminants throughout the world. Saponins-containing plants or plant products have a great potential for achieving the suppression of rumen ciliate populations (Teferedegne 2000). Experimental defaunation of the rumen leads to huge decreases in N recycling. If similar benefits could be

obtained in production animals, the need for protein supplementation of ruminants would virtually disappear, with substantial economic and environmental benefits. Establishing methods to control protozoal activity, such as by saponins, remains a priority area of research in ruminant nutrition

**Microbial protein synthesis.** Microbial protein flow depends on the efficiency of microbial protein synthesis as well as the extent to which microbial protein breaks down before it leaves the rumen. Among many other factors (Russell & Wallace 1997), the yield of microbial protein is affected by the availability of pre-formed amino acids. Many rumen scientists, including the present author, have attempted to identify whether one or a group of amino acids might limit nutrition of ruminants and factors affecting ruminal fermentation, particularly fiber digestion. As mixed amino acids stimulate microbial synthesis by up to 25% (Cotta and Russell 1982), judicious amino acid supplementation could achieve important nutritional benefits to ruminants in terms of microbial protein flow. Searches for limiting amino acids have proved frustrating. No single amino acid seems to be limiting – maximum benefit appears to require the presence of the complete amino acids mixture.

**Rumen wall turnover.** The rumen wall has an important function in the absorption of nutrients and metabolites, particularly the volatile fatty acids, urea and ammonia (Hungate 1966). An equally important function is as a barrier to invasion of the rest of the body by ruminal microorganisms. As a consequence, the rumen wall has evolved to present a tough epithelial layer to the ruminal microorganisms, which resists both physical and microbiological damage. Gut tissues in all animals turn over rapidly. In ruminants, although the gut tissues comprise less than 5% of total body protein mass, their rate of protein turnover is equivalent to >40% of total body amino acid flux. Rumen wall tissue turns over at about one-third of the rate of small intestinal tissues. However, because of its large size, the turnover of rumen tissue represents a

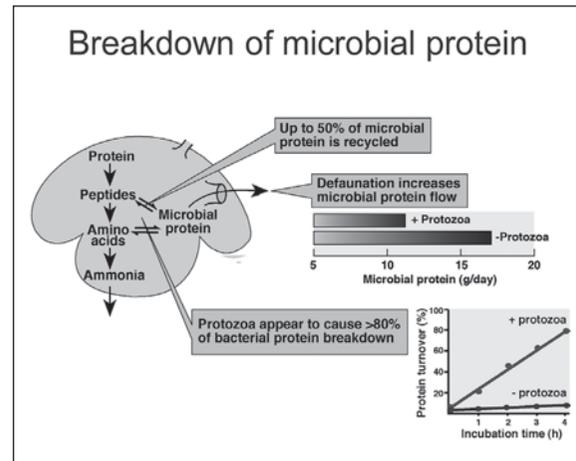


Fig. 4: Microbial, particularly bacterial, protein, when formed is then subject to further cycles of breakdown and resynthesis, leading to inefficient energy and n retention.

considerable drain on the availability of amino acids for growth and other functions. Dietary flavomycin decreases that turnover rate (Edwards et al. 2005). In an accompanying survey of bacterial sensitivity to flavomycin, *Fusobacterium* spp. were concluded to be most sensitive to flavomycin. They form liver abscesses in cattle, thus their degradative capabilities may lead to damaged rumen wall integrity, which then allows *Fusobacterium* to pass into the bloodstream.

#### Impact on the environment

**Methane.** Methane is a potent greenhouse gas, and ruminant methane emissions are a small, but significant, contributor to global warming. The microbial species that produce methane appear similar in shape to the eubacteria (Fig. 5), but their biological origin and phylogenetic position are very different. Methanogenic species were originally called 'methanogenic bacteria' before small-subunit rRNA sequence analysis became available and revealed them to be less similar to bacteria than to plants and animals, the eukaryotes. Rumen methanogens come from the domain of Archaea in the three-domain system of life that includes the Bacteria and the Eukarya. Archaea in general carry out metabolic reactions not found in



Fig. 5: Rumen methanogenic archaea are morphologically similar to bacteria, but they are only distantly related.

eubacteria or eukaryotes. In the rumen, they convert  $H_2 + CO_2$  to methane. The archaeal community was for a long time thought to be a fairly simple one, but more metagenomic DNA sequence analysis has revealed many different archaeal species to be present. Ruminant archaea are members of the Euryarchaeota phylum. The most numerous genus, and the one most studied for its biochemical and physiological properties, is *Methanobrevibacter*. Others include *Methanococcus* and *Methanosphaera*. Archaeal cells do not contain nuclear or other cytoplasmic membranous structures. Their cell envelope is different to those of either Gram-positive or Gram-negative bacteria, being characterized by an absence of peptidoglycan, a rigid protein matrix and some characteristic long chain alcohols.

Methane is 21 times as powerful as  $CO_2$  in terms of 'radiative forcing'. Thus, although atmospheric methane concentrations are much lower than those of  $CO_2$ , methane contributes approximately 18% to the overall radiative forcing and to global warming. This has been recognised internationally and the Kyoto Protocol has global reductions for methane set at 5.2% below the 1990 level for the period 2008-2012. In the UK, the government has set even stricter reductions and is committed to reducing methane emissions to 12.5% below 1990 levels for the same period. Methane is formed naturally, mainly as 'marsh gas', as well as by man's activities. 70% of global methane formation is due to man's activities, of which 60% is from agriculture and the remainder comes from landfills, coal mines and oil exploitation. Just under half of the agricultural contribution is from ruminants. To put the contribution into perspective, a cow produces approximately the same amount of global warming  $CO_2$  equivalents as a medium-sized family car (Fig. 6).

As well as the environmental benefits that would be obtained if methane emissions were decreased, there would be advantages for the agricultural industry. The methane formed in the forestomachs of ruminants during fermentation of the feed can represent an energy loss to the animals of 5-15% (Czerkawski,

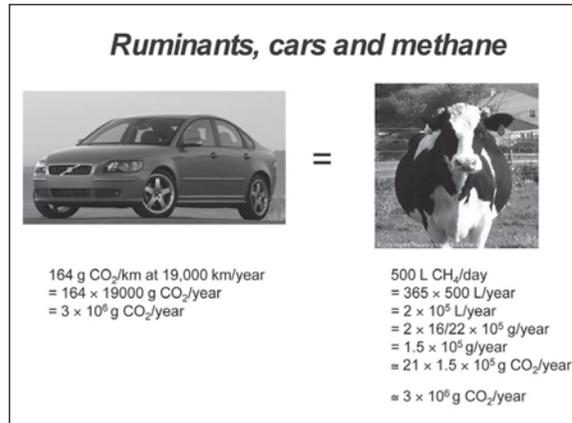


Fig. 6: Greenhouse gas emissions of cars and cows.

1969) depending on the type of diet. This problem has been recognised for many years. Many feed additives have been studied for their ability to decrease the loss of energy through methane, including halogenated compounds, analogues of cofactors involved in methane synthesis (Nagaraja et al. 1997), ionophores (Slyter, 1979), yeast (Moss et al., 2000), lipids (Fievez et al., 2007), and organic acids as alternative hydrogen sinks (Ungerfeld et al., 2005). Organic acids decrease methanogenesis by redirecting the flow of hydrogen from methane formation through other reductive reactions such as those involved in volatile fatty acid synthesis. Methods for decreasing methane emissions include the use of plant-based feed additives, notably garlic extract (Hart et al. 2008). Immunization of ruminants against the most numerous ruminal archaea has also been tried as a means of lowering methane emissions (Wright et al. 2004). No method to my knowledge has yet been shown to be consistent or persistent enough to have been adopted across ruminant livestock production systems.

Nitrous oxide. Excessive protein breakdown results in the loss of ammonia across the rumen wall, which is converted by the liver to urinary urea, the excretion of which leads to groundwater pollution and further

greenhouse gas emissions in the form of nitrous oxide. Nitrous oxide emissions are equivalent to methane emissions in Scotland in terms of greenhouse gases from agriculture. Nitrogenous excretions from ruminants is therefore another area that needs to be addressed. Part of the inefficiency stems from the animal itself, with inefficient amino acid metabolism, but the main inefficiency arises from the proteolytic and bacteriolytic activities of ruminal microorganisms, as already described.

### Conclusion

It should now be clear that inefficiencies in ruminal fermentation and impacts of livestock production on the environment are inextricably linked. While some would advocate minimizing animal agriculture, it must be recognized that mankind is in a permanent and increasing situation of food shortage, and that ruminant livestock production is the only form of agriculture that can make use of natural grasslands to produce food for man. Therefore, we must increase our knowledge and understanding of the rumen and its microorganisms in order to lessen the environmental impact of ruminant production. The incentive is that, if we can achieve the environmental objectives, production-efficiency and economic benefits to the producer will follow.

### Acknowledgement

The Rowett Institute of Nutrition and Health receives funding from the Rural and Environment Research and Analysis Directorate of the Scottish Government.

## References

- Broderick, G. A., Wallace, R. J., and Orskov, E. R. (1991). Control of rate and extent of protein degradation. In 'Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants.' (Eds T. Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashima.) pp. 541-592. (Academic Press Ltd: London.)
- Cheng, K.-J. and Costerton, J. W. (1975). Ultrastructure of cell envelopes of bacteria of the bovine rumen. *Appl.Microbiol.* 29, 841-849.
- Cheng, K.-J., McCowan, R. P., and Costerton, J. W. (1979). Adherent epithelial bacteria in ruminants and their roles in digestive tract function. *Am.J.Clin.Nutr.* 32, 139-148.
- Cheng, K.-J. and Costerton, J. W. (1980). Adherent rumen bacteria - their role in the digestion of plant material, urea and epithelial cells. In 'Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants.' (Eds Y. Ruckebusch and P. Thivend.) pp. 227-250. (MTP Press: Lancaster,England.)
- Chesson, A. and Forsberg, C. W. (1997). Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In 'The rumen microbial ecosystem.' (Eds P. N. Hobson and C. S. Stewart.) pp. 329-381. (Chapman & Hall: London.)
- Costerton, J. W., Damgaard, H. N., and Cheng, K.-J. (1974). Cell envelope morphology of rumen bacteria. *J.Bact.* 118, 1132-1143.
- Cotta, M. A. and Russell, J. B. (1982). Effect of peptides and amino acids on efficiency of rumen bacterial protein synthesis in continuous culture. *J.Dairy Sci.* 65, 226-234.
- Czerkawski, J. W. (1969). Methane production in the rumen and its significance. *Wld.Rev.Nutr.Diet.* 11, 240-282.
- Edwards, J. E., McEwan, N. R., Travis, A. J., and Wallace, R. J. (2004). 16S rDNA library-based analysis of ruminal bacterial diversity. *Antonie van Leeuwenhoek* 86, 263-281.: also in RJW papers folder no:129, one spare in box VII.
- Edwards, J. E., McEwan, N. R., McKain, N., Walker, N. D., and Wallace, R. J. (2005). Influence of flavomycin on ruminal fermentation and microbial populations in sheep. *Microbiol.* 151, 717-725.
- Fievez, V., Dohme, F., Danneels, M., Raes, K., and Demeyer, D. (2003). Fish oils as potent rumen methane inhibitors and associated effects on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Animal Feed Science and Technology* 104, 41-58.
- Fievez, V., Vlaeminck, B., Jenkins, T., Enjalbert, F., and Doreau, M. (2007). Assessing rumen biohydrogenation and its manipulation in vivo, in vitro and in situ. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109, 740-756.
- Hart, K. J., Yanez-Ruiz, D. R., Duval, S. M., McEwan, N. R., and Newbold, C. J. (2008). Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology* 147, 8-35.
- Hungate, R. E. (1966). 'The rumen and its microbes.' (Academic Press: New York and London.)
- Klieve, A. V. and Swain, R. A. (1993). Estimation of ruminal bacteriophage numbers by pulsed-field gel electrophoresis and laser densitometry. *Appl.Environ.Microbiol.* 59, 2299-2303.
- Leng, R. A. and Nolan, J. V. (1984). Nitrogen metabolism in the rumen. *J.Dairy Sci.* 67, 1072-1089.
- McGavin, M., Lam, J., and Forsberg, C. W. (1990). Regulation and distribution of *Fibrobacter succinogenes* subsp. *succinogenes* S85 endoglucanases. *Appl.Environ.Microbiol.* 56:5, 1235-1244.
- McSweeney, C. S., Palmer, B., McNeill, D. M., and Krause, D. O. (2001). Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim.Feed Sci.Technol.* 16, 83-93.
- Moss, A. R., Jouany, J.-P., and Newbold, C. J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann.Zootech.* 49, 239-253.
- Nagaraja, T. G., Newbold, C. J., Van Nevel, C. J., and Demeyer, D. I. (1997). Manipulation of ruminal fermentation. In 'The rumen microbial ecosystem.' (Eds P. N. Hobson and C. S. Stewart.) pp. 523-632. (Chapman&Hall: London.)
- Qin, J. J., Li, R. Q., Raes, J., Arumugam, M., et al. (2010). A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature* 464, 59-U70.
- Rincon, M. T., Ding, S. Y., McCrae, S. I., Martin, J. C., Aurilia, V., Lamed, R., Shoham, Y., Bayer, E. A., and Flint, H. J. (2003). Novel organization and divergent dockerin specificities in the cellulosome system of *Ruminococcus flavefaciens*. *J Bacteriol* 185, 703-713.
- Russell, J. B. and Wallace, R. J. (1997). Energy yielding and consuming reactions. In 'The rumen microbial ecosystem.' (Eds P. N. Hobson and C. S. Stewart.) pp. 185-215. Chapman & Hall: London.
- Slyter, L. L. (1979). Monensin and dichloroacetamide influences on methane and volatile fatty acid production by rumen bacteria in vitro. *Appl.Environ.Microbiol.* 37, 283-288.
- Stewart, C. S., Flint, H. J., and Bryant, M. P. (1997). The rumen bacteria. In 'The rumen microbial ecosystem.' (Eds P. N. Hobson and C. S. Stewart.) pp. 10-72. (Chapman & Hall: London.): Not in File
- Teferedegne, B. (2000). New perspectives on the use of tropical plants to improve ruminant nutrition. *Proc.Nutr.Soc.* 59, 209-214.
- Wallace, R. J. and C.A.McPherson (1987). Factors affecting the rate of breakdown of bacterial protein in rumen fluid. *Br.J.Nutr.* 58, 313-323.: 42 - spare prints in Box no II. under no 2783.; a copy is in RJW refpapers folder no.31;
- Wright, A. D., Dehority, B. A., and Lynn, D. H. (1997). Phylogeny of the rumen ciliates *Entodinium*, *Epidinium* and *Polyplastron* (Litostomatea:Entodiniomorpha) inferred from small subunit ribosomal RNA sequences. *J Eukaryot.Microbiol.* 44, 61-67.
- Wright, A. D., Toovey, A. F., and Pimm, C. L. (2006). Molecular identification of methanogenic archaea from sheep in Queensland, Australia reveal more uncultured novel archaea. *Anaerobe* 12, 134-139.

## Diskussion



SCHWARZ, WEIHENSTEPHAN

I would like to discuss micro-ecology and a special situation between bacteria and protozoa. You told us, it would be a great benefit to decrease the protozoa in protein metabolism for helping to increase the bacteria. But the protozoa still have also some tasks especially in break-down of plant-cell-wall. Is defaunation really a good way? Can you discuss the situation between protozoa and bacteria again under different situations?

ANTWORT

The protozoa have more than one different role in the rumen. The break-down-fibre, a few species break down fibre, appears to do so in a way that it is complementary to the bacteria. So under certain circumstances with certain types of fibre, the presence of the protozoa is certainly beneficial by only a few digestibility points. So, that's true. But, if the main problem is the inefficiency of nitrogen attention rather than the digestion of the plant fibre, then I think on balance you would prefer defaunation in order to improve the efficiency of nitrogen fixation. But I do take that point. And the other one is in this special case of stabilizing fermentation because the protozoa, remember the slide that I showed you about the protozoa, that those awful shaped organism seem to be black. The reason that they were black was the animal had just received a diet which contains starch. And the protozoa had gathered the starch into the bodies. The protozoa do that, then deprive the bacteria of the

ability to ferment the starch. So that slows down acid formations and therefore the tendency to low pH is improved. So here the pH tends to increase. There are circumstances when defaunation will be beneficial, e. g. there is some indication that methane formation will decrease because methane producing organisms are associated to protozoa. At least temporarily, if you remove the protozoa, methane formation won't increase and there's a balance.

BREVES, HANNOVER

John, you have shown us this interesting figure showing the effect of honey suckle on bacterial protein turnover. Could you please comment on that in more detail? How does it work? Is it known?

ANTWORT

Yes, I think it is known. In the project, which we call rumen up we screened 500 different plants and plant extracts for their effects on methane and other things and their effects on protozoa as well. Quite a number of the screened plants inhibited the protozoa. Honey suckle was one of them and there were two or three others as well. The common feature which the plants had and honey suckle has is they contain saponins. They have a high content of saponins. The saponin molecules, which are analogues of sterols and they interfere with protozoa metabolism because they are get incorporated into the protozoa memory. We think that is the mechanism by which honey suckle inhibits the protozoa.

KNEIFEL, WIEN

From animal nutrition and also from human nutrition, we know that there are interesting candidates and also microbes which deserve the name of being probiotic and they mainly act in the colon. Are there also other microorganisms, not only bacteria, which may deserve the name of probiotic, acting in the rumen?

ANTWORT

Yes, there are.

KNEIFEL, WIEN

Are there available strains?

ANTWORT

I'm trying to find a way to describe them quickly. The main ones that are used are lactobacilli. There are probiotic organisms which are used in calves. They are roughly the same as you would find in human nutrition, lactobacilli and bifidobacteria. And the adult ruminant is different, however, because the objectors are different. And the two main organisms, which we find are saccharomyces. Saccharomyces is a bigger yeast than bakers yeast. And this is not a normal component of the rumen microbiota. It doesn't grow in the rumen because of the high concentrations of short chain fatty acids. But it is used as a probiotic additive, because it seems to stimulate fibre digestion and stabilize the rumen conditions. It doesn't grow, but it is still metabolically active and the mechanism that it uses, it is very active in metabolizing oxygen. I mentioned earlier the Hungate technique, where you have to eliminate oxygen in order to grow these bacteria. Well, during feeding cycle of ruminants, they will consume accidentally some oxygen. Especially in concentrate diets and so that's what the yeast actually achieves. The yeast metabolizes the oxygen and protects the anaerobic bacteria from the effects of oxygen.

STEINHART, HAMBURG

You told us that there are two bacteria strains, which can degrade the cellulose. But we know that

the fibre is a very complex molecule. Since a couple of years, we only have more information about these big molecule's structure. We did also some work in this field and found out that aromatic organic acids play a big role in forming crosslinks. So between the cellulose chain we have a lot of crosslinks. What happens with these crosslinks? How many bacteria are able to degrade these crosslinks? If only the cellulose is degraded, then you still have a big molecule. And we know that about three, four or five of these aromatic acids are involved in making this three-dimensional structure. What about the degradation of these crosslinks?

You mentioned CLA. I'm very cautious about mentioning CLA. Up to now, we know 24 species of CLA. And not all of these species are really healthy. One of these species, which also occurs in milk in very small amounts, is very dangerous. This is the trans10cis11. And the colleagues in India they have a very nice publication showing that the liver of rats became bigger and the colour changed. I'm really not so happy to say CLA. And you know, the analysis of CLA is very complicated, because double-bonds are moving within the chain. And if you are very cautious in analyzing these species, then you really get wrong results and that's clear this trans9cis11 is the main CLA. But don't forget the other species, which exist also in very small amounts in milk and which are not so healthy.

ANTWORT

I don't forget them, honestly. Your first point refers to the matrix in celluloses. Yes, the cellulose is not broken down until the matrix is removed and so the organisms can get at it. How many different species break down that matrix? I think, quite a number. Many different species do. Indeed, some of those species have got huge amounts of hydrolases. So, if I mislead the audience, I apologize. There are two organisms really, which break down the crystalline cellulose. I take your point; there are many different isomers of CLA. If you go to the health food store or you order online a tub of CLA, do you know what's

in that? So in fact, this is another part of our research to use the bugs that we have in the rumen to produce the one isomer. I take also the point that there are many different isomers formed and present in milk. We don't really understand the microbiology of the formation of many of the other isomers. But you said, trans10cis12. I think many of them have biological activities. It's because of this conjugated double bond and the interaction with arachidonic acid. So the different isomers have different effects and yes we can measure them. But you have to be very careful.

RÖHE, EDINBURGH

I am a breeder and I am interested in reducing the methane production in the rumen and if there is variation between animals in methanogenic archaea and is there an interaction between the host and these microbes. Can we use these kinds of information for breeding purposes? As we have heard yesterday, a direct selection would be much more efficient than indirect selection. For example, by feed efficiency etc. We want to have direct selection. Another question is: Can an animal live without methanogenic archaea?

ANTWORT

First of all, the variation between animals. I don't think people have looked systematically for that. People tell me, and it's anecdotal evidence at this stage, that different animals have got different consistent and different methane production on the same diet. That doesn't suggest, that it is necessarily a genetic effect, but it could be. I think that so many different strategies have failed for decreasing methane that this anecdotal evidence ought to be investigated suddenly that we really must find out whether there is a genetic aspect to methane information from ruminants. It's beginning to emerge in experiments in Australia, that this is the case. And what you say is absolutely true that it's a different kind of strategy that would actually be rather easy to implement, if we found what certain genetic triggers. But it may not be the animal itself, it might be the microbial population because the animal requires an inoculation mainly methanogen

inoculation from the mother's own microbes. And that may be crucial in later life in developing that microbial community. Yes, those things need to be looked at.

MEYER, WEIHENSTEPHAN

There is another group of substances that might be of interest: trans-fatty acids. On the 10<sup>th</sup> of March, the first draft of the EU commission concerning the new declaration of food was released and this includes that in future trans-fatty acids shall be declared on each package of food. It seems that also the food industry was successful and the dairy industry not yet is active in that aspect. Do you see any chance to reduce trans-fatty acids?

ANTWORT

Oh I get crossed; I get angry sometimes. The authorities should not call all trans-fatty acids the same. Trans-11 18:1 is vaxanixx acid and all the evidence is that it is good for you. Trans10,18:1 probably not. But the main trans-fatty acid in ruminant products is a good one. I've tried to convince my medical friends that that's the case. You shouldn't assume that all trans-fatty acids are bad. So education would be important. And I think there is a danger of ruminant products being damaged that way that should not happen.

GÄBEL, LEIPZIG

Yesterday, it was suggested that the problem could be solved if all people are on a vegetarian diet. Do you really think this would be the case by changing methane production from cows into men? And if you calculate the methane production on the basis of fatty acids produced, what is more effective? To produce fatty acids in the rumen or produce fatty acids in the large intestine.

ANTWORT

We don't produce much methane. Men do not produce much methane. I mean, comparisons with all the ruminants in the world that really is a very small

portion. Ok, may be vegetarians produce slightly more than others. But, we all eat vegetables.

GÄBEL, LEIPZIG

I think the methane production in the large intestine, calculating on the fatty acid produced, on the protein produced, it is less effective than the production in the rumen.

ANTWORT

There's much less methane produced. Half of us only produce hydrogen and don't even produce methane.

BREVES, HANNOVER

John, I would like to comment on the use of yeasts as a probiotic. Partly I agree to what you said. We also did some experiments and found an increased rate of fermentation and a more negative redoxpotential, which agrees very well. However, then we started to do experiments, where we used autoclaved yeasts at the same amount. And we found the same results. And from that, we concluded that yeasts under normal rumen conditions might have a prebiotic rather than a probiotic effect. What do you think about that?

ANTWORT

A prebiotic due to its cell wall structure?

BREVES, HANNOVER

Yes, and these are easily degradable carbohydrates.

ANTWORT

When we did a similar experiment, using the yeast, our screening method was Rusitec. And by using the rumen simulation technique we found that the autoclaved yeasts did not work. Now that could have been because of the basal diet that we used. The basal diet is adequate in minerals and vitamins and so on. May be the yeast, the autoclaved yeast, didn't work. But we also did various experiments, where we made mutants of yeast. They were biochemically identical and genetically identical, except for the mutations, whereby they no longer consumed oxygen. And they had no effect either. I think, oxygen consumption is the main effect, there may be others as well.

# Effects of Endproducts of Ruminal Fermentation on Energy Intake and Partitioning in Ruminants.



## Introduction

Energy intake and partitioning of ruminant animals can change dramatically in response to changes in diet composition and metabolic state. Ruminal fermentability of diets varies greatly affecting the amount, type, and temporal absorption of fuels. These fuels include short-chain fatty acids (SCFA), glucose, lactate, amino acids, and long-chain FA, all of which are absorbed and metabolized by different tissues at different rates. This variation affects endocrine responses, intermediary metabolism, meal patterns, and ultimately energy intake and partitioning in ruminants. Recent work suggests that temporal patterns of fuel absorption, mobilization, and metabolism affect food intake in ruminants by altering meal size and frequency. Research with non-ruminants suggests that meals can be terminated by signals carried from the liver to the brain via afferents in the vagus nerve; these signals are affected by hepatic oxidation of fuels and generation of ATP. We call this the Hepatic Oxidation Theory (HOT) of food intake control and find it consistent with effects of diet on feed intake of ruminants. Diet fermentability also affects energy partitioning in lactating cows, likely by altering the balance of glucogenic and lipogenic fuels, as well as biohydrogenation of fatty acids. The purpose of this paper is to discuss the relevance of ruminal fermentation for energy intake and partitioning in ruminants.

## Ruminal fermentability

Ruminal fermentability of diets depends on the

type and proportion of feed ingredients in the diet as well as their interaction with animal characteristics affecting feed intake, ruminal retention time, ruminal pH and microbial communities in the rumen. Sugars and starch ferment rapidly relative to fiber but fiber, especially from forages, is generally retained in the rumen longer. Because starch comprises up to 30% or more of the diet DM and its ruminal fermentability is highly variable, it has a great effect on the type and temporal absorption of fuels. The rates of ruminal starch digestion and passage vary greatly across grains fed to ruminants and depend upon the type of cereal grain, conservation method, and processing (NRC, 2001).

Cereal grains that are highly digestible in the rumen can depress feed intake of lactating cows; feed intake was depressed nearly 3 kg DM/d (~13%) when more fermentable grains were substituted in diets of lactating cows in several studies reported in the literature (Allen, 2000). An experiment from our laboratory demonstrated that a more rapidly fermented starch source reduced meal size 17% (1.9 vs. 2.3 kg/d), causing an 8% reduction in feed intake despite a 10% decrease in intermeal interval (94 vs. 105 minutes) for the high moisture corn diet compared to dry corn diet, respectively (Oba and Allen, 2003b). The more fermentable treatment nearly doubled the fractional rate of starch digestion in the rumen, increasing the contribution of VFA as a fuel at the expense of glucose from starch digestion in the small intestine.

Ruminal propionate production is much more variable than production of acetate or butyrate. Sutton et al. (2003) reported that a low roughage diet (11% hay) more than doubled ruminal propionate production with little reduction (not significant) of ruminal acetate or butyrate production compared to a normal diet (40% hay). In a review of the literature (Allen, 1997), amount of ruminally-fermented OM and total VFA production were reported to range from 5.7 to 15.4 kg/d and 42 to 115 mole/d, respectively, for lactating cows. Because propionate concentration in the rumen can increase from 15 to 45% of total fermentation acids as amount of ruminally-fermented OM increases (Davis, 1967), propionate production might range from ~ 6 to 52 moles/d. At the high end of this range, propionate, which contains 0.37 Mcal of ME per mole (Sheperd and Combs, 1998), can supply nearly 30% of the 69 Mcal of ME required to produce 45 kg of 3.5% fat-corrected milk for a 650 kg cow. Propionate is desirable for the production of glucose, needed by the mammary gland for the synthesis of milk lactose, the primary determinant of milk volume. However, propionate may also depress energy intake (Allen, 2000).

#### **Propionate control of feed intake**

Hypophagic effects of propionate infusions have been documented extensively for ruminants (Anil and Forbes, 1980; Elliot et al., 1985; Farningham and White, 1993; Hurtaud et al., 1993; Leuvenink et al., 1997; Mbanya et al., 1993; Sheperd and Combs, 1998). Propionate is more hypophagic than acetate or butyrate when infused into the portal vein of sheep (Anil and Forbes, 1980), and infusion of propionate into the mesenteric vein of steers reduced feed intake, whereas acetate infused at similar rates did not (Elliot et al., 1985). Although propionate might be expected to decrease feed intake compared with acetate because it has higher energy content, propionate linearly decreased metabolizable energy intake compared with acetate in lactating cows when infused intraruminally as iso-osmotic mixtures (Oba and Allen, 2003a). As

the proportion of propionate increased, the reduction in metabolizable energy intake from the diet exceeded that supplied from the infusate. Feed intake was reduced primarily through a linear reduction in meal size from 2.5 to 1.5 kg DM as propionate increased from 0% to 100% of infusate. Propionate also decreased feed intake of dairy cows compared to iso-energetic infusions of VFA mixtures (Hurtaud et al., 1993) or acetate (Sheperd and Combs, 1998). These studies suggest that hypophagic effects of propionate cannot be explained simply by the additional energy supplied as propionate. It is unlikely that animals consume feed to meet their energy requirements *per se* but rather have fuel-specific mechanisms regulating satiety and hunger.

#### **Hepatic Oxidation Theory (HOT)**

The liver is in a unique position to monitor changes in fuel metabolism to control eating behavior because of its central role in energy metabolism of animals (Friedman and Stricker, 1976). It is involved in regulation of intake because hepatic vagotomy eliminated hypophagic effects of propionate infusion in sheep (Anil and Forbes, 1988) and fatty acid oxidation in rats (Sharrer, 1999). Research with non-ruminants suggests that meals can be terminated by a signal carried from the liver to the brain via afferents in the vagus nerve that are affected by hepatic oxidation of fuels and generation of ATP (Friedman, 1995; Langhans and Sharrer, 1992). Administration of the fructose analog 2,5-anhydro-D-mannitol (2,5-AM) reduced hepatic ATP concentration by trapping inorganic phosphate and elicited an eating response in rats (Koch et al., 1998; Rawson et al., 1994; Tordoff et al., 1988). Furthermore, phosphate loading prevented both the decrease in hepatic ATP and the stimulation of feeding by 2,5-AM (Rawson and Friedman, 1994). Although the mechanism by which oxidation of fuels in hepatocytes affects the firing rate of the hepatic vagus is not known, the hypophagic response to fuels is likely linked to oxidation of those fuels in the liver and generation of ATP.

Are hypophagic effects of propionate explained by HOT?

Of fuels metabolized by the ruminant liver, propionate is likely a primary satiety signal because its flux to the liver increases greatly during meals (Benson et al., 2002). Hypophagic effects of portal infusion of propionate were eliminated by splanchnic blockade with anaesthetic, bilateral splanchnotomy, and hepatic vagotomy, as well as with total liver denervation in sheep (Anil and Forbes, 1988). While propionate is extensively metabolized by the ruminant liver, there is little net metabolism of acetate (Reynolds, 1995). Ruminant liver has high activity of propionyl CoA synthetase but not acetyl CoA synthetase (Demigne et al., 1986; Ricks and Cook, 1981) necessary for activation and subsequent metabolism, thus explaining differences in hypophagic effects of infusions of propionate and acetate in ruminants. Although butyrate can contribute to hepatic oxidation, net metabolism is generally less than propionate because ruminal production is lower and butyrate is preferentially oxidized by ruminal epithelia (Weigand et al., 1975).

Depression in feed intake by highly fermentable starch sources likely occurs because greater ruminal propionate flux to the liver stimulates hepatic oxidation and generation of ATP reducing meal size. In contrast, when site of starch digestion is shifted post-ruminally, a positive response in feed intake is likely. This is because the fuels absorbed do not stimulate hepatic oxidation to the same degree as propionate, and because of increased latency for fuels reaching the liver; transit time from the rumen to the intestines significantly delays fuel absorption. Starch escaping the rumen is digested to glucose which is absorbed and partially metabolized to lactate. Although glucose is hypophagic in nonruminants it is not for ruminants (Allen, 2000). Differences in hypophagic effects of glucose infusion observed between ruminants and nonruminants could be because hexokinase activity is low in ruminants compared to nonruminants (Ballard, 1965); in mature ruminants, hepatic removal of glucose appears to be negligible (Stangassinger and Giesecke, 1986). Lactate produced from metabolism

of glucose in the intestines is also expected to have considerably less effect on satiety than propionate because liver uptake of lactate is much lower than propionate (Reynolds et al., 2003). Metabolism of lactate to pyruvate is thermodynamically unfavorable if cellular NAD/NADH is low and a proportion of lactate removal occurs in the kidneys in ruminants (Bergman et al., 1974; Danfaer et al., 1995).

In our experiment previously mentioned (Oba and Allen, 2003b), rapid fermentation of starch for the high moisture corn treatment resulted in decreased meal size compared to the more slowly and less extensively fermented dry corn treatment, possibly because propionate flux to the liver was higher during meals, resulting in increased oxidation. The high moisture corn treatment might have increased hunger, reducing the interval between meals because smaller meals were consumed and fuels might have been cleared from the blood sooner because of increased plasma insulin during and immediately following meals.

#### **Hypophagic Effects of Propionate are Variable**

Differences in fermentability of diets and metabolic state of animals likely contributed to inconsistent effects of propionate infusion on feed intake reported in the literature (Allen, 2000). This is because feed intake is substantially affected by partitioning of fuels among different tissues and between metabolic pathways (Friedman, 1998). Variation in the hypophagic effects of propionate might be related to the balance between flux of propionate to the liver and rate of utilization of propionate for gluconeogenesis, affected by glucose demand (Allen, 2000). Propionate can be used for gluconeogenesis, which consumes ATP, or oxidized in the TCA cycle, generating ATP. The rapid increase in propionate flux to the liver during meals likely results in oxidation of some propionate under certain conditions, namely, when ruminal propionate production outpaces hepatic conversion of propionate to glucose. According to HOT, when glucose demand is high, gluconeogenesis increases and latency for propionate oxidation within meals is increased, resulting in greater meal size. Conversely,

when glucose demand is low, propionate is oxidized more quickly within meals, resulting in satiety and smaller meal size. In support of this, the marginal depression in feed intake from propionate infusion was positively related to plasma glucose concentration of cows (Oba and Allen, 2003c).

The maximum rate of gluconeogenesis at any point in time is regulated by hormones such as insulin and glucagon, which are affected by plasma glucose concentration (McGrane, 2000). Increased glucose demand is expected to increase gluconeogenic capacity by lowering plasma glucose and decreasing the ratio of insulin to glucagon (McGrane, 2000). This is expected to increase propionate flux to glucose, delaying oxidation of propionate in the liver and increasing meal size. Several hepatic enzymes may influence rates of nutrient oxidation and glucose production in the ruminant liver. Because these enzymes are hormonally regulated, insulin and glucagon likely provide the link between glucose demand and hepatic nutrient flux.

We determined the variation among 31 multiparous Holstein cows in feed intake response to a more fermentable starch source that likely increased propionate flux to the liver, using a crossover design experiment (Bradford and Allen, 2004). Highly fermentable high moisture corn depressed feed intake an average of 2.0 kg/d compared to dry corn ( $P < 0.001$ ), and the differences in feed intake (highly fermentable – less fermentable) varied widely across cows, ranging from +1.7 to –6.6 kg DM/day. Extent of depression in feed intake by the more fermentable diet was positively related to plasma insulin concentration (Bradford and Allen, 2007); chronic high plasma insulin concentrations may be indicative of adequate nutritional status and may provide negative feedback on hepatic gluconeogenesis. This relationship is consistent with HOT because decreased use of propionate for glucose production leads to faster propionate oxidation within a meal and decreased feed intake. Individual cows with an adequate supply of glucogenic precursors may

respond to a further increase in supply by decreasing DMI. In addition, insulin response to glucose infusion was negatively related to the extent of depression in feed intake by the more fermentable diet, which might be because cows with strong responses to increased plasma glucose concentration are able to clear nutrients from the bloodstream more quickly after meals, potentially decreasing intermeal interval. Although insulin concentration and sensitivity of tissues to insulin increase as lactation progresses, depression in feed intake from the more fermentable diet was not related to days in lactation or milk yield. Thus, hypophagic effects of propionate vary greatly and optimal diet formulation depends upon the physiological state of animals.

#### **Hypophagia in the periparturient period**

Hyperlipidemia in the periparturient period is caused by a reduction in plasma insulin concentration combined with a reduction in insulin sensitivity of adipose tissues (Allen et al., 2009). Uptake of NEFA by the liver increases greatly (Reynolds et al., 2003), resulting in increased FA oxidation and the buildup of acetyl CoA results in hepatic export of ketones. According to HOT, feed intake might be suppressed by hepatic fatty acid oxidation and generation of ATP. Although elevated concentration of acetyl CoA will inhibit oxidation of propionate by decreasing activity of pyruvate dehydrogenase, hypophagic effects of propionate may be enhanced because propionate entry into the liver stimulates oxidation of the existing pool of acetyl CoA. In support of this, we showed in a dose-response experiment that low rates of propionate infusion decreased feed intake in early lactation cows, but not in mid lactation cows (Oba and Allen, 2003d). Infusion of propionate at lower doses increased plasma glucose concentration in both stages of lactation, suggesting that this rate of infusion did not overwhelm gluconeogenic capacity and likely did not greatly increase propionate oxidation. However, propionate likely stimulated oxidation of acetyl CoA, increasing ATP production in early lactation cows despite the use of propionate for glucose production.

This is supported by the observed decrease in plasma BHBA concentrations in early lactation cows at lower infusion rates while NEFA remained elevated. Therefore, hypophagic effects of propionate can be from its oxidation in the liver as well as from its stimulation of oxidation of acetyl CoA from other fuels.

#### **Energy partitioning**

Energy partitioning between milk production and body condition varies depending upon fuels available and as physiological state changes throughout lactation. Substitution of fiber for starch which greatly alters fuels available for intermediary processes often results in greater partitioning of energy to milk rather than body condition. A high starch diet (26.7%) fed to cows in early lactation partitioned less energy to milk and tended to increase energy retained as body fat compared to a low diet (9.5% starch) in which cereal grains were replaced primarily with sugar beet pulp and corn gluten feed (van Knegsel et al., 2007). The higher starch diet likely resulted in greater propionate and less acetate production than the lower starch diet.

We showed that a 69% forage diet (0% corn grain) containing brown midrib corn silage increased energy partitioned to milk, decreasing body weight gain while maintaining yield of milk compared to a 40% forage diet (29 % corn grain) containing control corn silage (Oba and Allen, 2000). In vitro NDF digestibility of the brown midrib corn silage was ~20% higher (55.9 vs 46.5%) than the control corn silage. In contrast, DMI and milk yield was reduced when the control corn silage was fed in the higher forage diets. We also showed that beet pulp decreased BCS without decreasing yields of milk or milk fat when substituted for high-moisture corn up to 12% of diet DM (Voelker and Allen, 2003).

As lactation proceeds, insulin concentration and sensitivity of tissues increase and energy is increasingly partitioned to body condition. A recent experiment conducted with cows in the last 2 months of lactation showed that substitution of beet pulp for barley grain linearly decreased body condition

score and back fat thickness, maintained milk yield and linearly increased milk fat yield and milk energy output (Mahjoubi et al., 2009). Decreased body condition score and increased milk fat yield might have been because of a linear decrease in plasma insulin concentration which linearly increased plasma NEFA concentration.

High starch diets might result in greater insulin concentration, partitioning energy to adipose at the expense of milk, but they also often result in lower ruminal pH resulting in milk fat depression from altered biohydrogenation of polyunsaturated fatty acids in the rumen reducing milk energy output. While increased energy retention as body condition might be because of increased insulin as observed by van Knegsel et al. (2007) and Mahjoubi et al., 2009), it might also be a result of altered gene expression in adipose tissue. Harvatine et al. (2009) reported that CLA-induced milk fat depression increased gene expression for enzymes and regulators of fat synthesis in adipose tissue. The energy spared from the reduction in milk fat synthesis was likely partitioned toward adipose tissue fat stores. Reducing ruminal fermentability of diets by increasing fiber from forages or non-forage fiber sources can maintain milk yield while decreasing gain in body condition.

#### **Conclusion**

Ruminal fermentation affects the amount, type and temporal pattern of absorption of fuels available for intermediary processes. This, in turn, affects endocrine responses, meal patterns, and ultimately energy intake and partitioning in ruminants. We find the Hepatic Oxidation Theory (HOT) of food intake control consistent with effects of diet on feed intake of ruminants. Alteration of the rumen environment also affects microbial communities and fatty acid biohydrogenation which can also affect energy partitioning by altering gene expression in tissues. A better understanding of effects of ruminal fermentation on type and temporal pattern of absorption of fermentation endproducts will allow diets to be formulated to increase the health and productivity of ruminants.

## References

- Allen, MS. Relationship between ruminal fermentation and the requirement for physically effective fiber. *J Dairy Sci.* 1997;80:1447-62.
- Allen, MS. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2000;83:1598-1624.
- Allen MS, Bradford BJ, Harvatine KJ. The cow as a model to study food intake regulation. *Annu Rev Nutr.* 2005;25:523-47.
- Allen, MS., Bradford, BJ, Oba, M. BOARD-INVITED REVIEW: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J Anim. Sci.* 2009;87:3317-34.
- Anil MH, Forbes JM. Feeding in sheep during intraportal infusions of short-chain fatty acids and the effect of liver denervation. *J Physiol.* 1980;298:407-14.
- Anil MH, Forbes JM. The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. *Q J Exp Physiol.* 1988;73:539-46.
- Ballard FJ. Glucose utilization in mammalian liver. *Comp Biochem Physiol.* 1965;14:437-43.
- Benson JA, Reynolds CK, Aikman PC, Lupoli B, Beever DE. Effects of abomasal vegetable oil infusion on splanchnic nutrient metabolism in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 2002;85:1804-14.
- Bergman EN, Brockman RP, Kaufman CF. Glucose metabolism in ruminants: comparison of whole-body turnover with production by gut, liver, and kidneys. *Federation Proc.* 1974;33:1849-54.
- Bradford BJ, Allen, MS. 2004. Milk fat responses to a change in diet fermentability vary by production level in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2004;87:3800-7.
- Bradford BJ, Allen MS. Depression in feed intake by a highly fermentable diet is related to plasma insulin concentration and insulin response to glucose infusion. *J Dairy Sci.* 2007;90:3838-45.
- Danfaer A, Tetens V, Agergaard N. Review and an experimental study on the physiological and quantitative aspects of gluconeogenesis in lactating ruminants. *Comp Biochem. Physiol.* 1995;111B:201-10.
- Davis CL. Acetate production in the rumen of cows fed either control or low-fiber, high-grain diets. *J Dairy Sci.* 1967;50:1621-5.
- Demigne C, Yacoub C, Remesy C, Fafournoux P. Propionate and butyrate metabolism in rat or sheep hepatocytes. *Biochim Biophys Acta.* 1986;875:535-42.
- Elliot JM, Symonds HW, Pike B. Effect on feed intake of infusing sodium propionate or sodium acetate into a mesenteric vein of cattle. *J Dairy Sci.* 1985;68:1165-70.
- Farningham DA, Whyte CC. The role of propionate and acetate in the control of food intake in sheep. *Br J Nutr.* 1993;70:37-46.
- Friedman MI. Control of energy intake by energy metabolism. *Am J Clin Nutr.* 1995;62:1096S-100S.
- Friedman MI. Fuel partitioning and food intake. *Am J Clin Nutr.* 1998;67:513S-8S.
- Friedman MI, Stricker EM. The physiological psychology of hunger; a physiological perspective. *Psychol. Rev.* 1976;83:409-31.
- Harvatine KJ, Perfield II JW, Bauman DE. Expression of enzymes and key regulators of lipid synthesis is upregulated in adipose tissue during CLA-induced milk fat depression in dairy cows. *J Nutr.* 2009;139: 849-54.
- Hurtaud C, Rulquin H, Verite R. Effect of infused volatile fatty acids and caseinate on milk composition and coagulation in dairy cows. *J Dairy Sci.* 1993;76:3011-20.
- Koch JE, Ji H, Osbakken MD, Friedman MI. Temporal relationships between eating behavior and liver adenine nucleotides in rats treated with 2,5-AM. *Am J Physiol.* 1998;274:R610-7.
- Langhans W, Scharer E. Metabolic control of eating. *World Rev Nutr Diet.* 1992;70:1-67.
- Leuvenink HG, Bleumer EJ, Bongers LJ, van Bruchem J, van der Heide D. Effect of short-term propionate infusion on feed intake and blood parameters in sheep. *Am J Physiol.* 1997;272:E997-1001.
- Mahjoubi E, Amanlou H, Zahmatkesh D, Ghelich Khan M, Aghaziarati N. Use of beet pulp as a replacement for barley grain to manage body condition score in over-conditioned late lactation cows. *Anim Feed Sci Tech* 2009;153:60-7.
- Mbanya JN, Anil MH, Forbes JM. The voluntary Intake of hay and silage by lactating cows in response to ruminal infusion of acetate or propionate, or both, with or without distension of the rumen by a balloon. *Br. J. Nutr.* 1993;69:713-20.
- McGrane MM. Carbohydrate metabolism – synthesis and oxidation. Pp 158-210 in *Biochemical and Physiological Aspects of Human Nutrition*, 2000. M. H. Stipanuk, ed. W. B. Saunders Co., Philadelphia.
- NRC. *Nutritional Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Washington, DC: Natl. Acad. Sci.; 2001.
- Oba, M., Allen, MS. Dose-response effects of intrauminal infusion of propionate on feeding behavior of lactating cows in early or midlactation. *J Dairy Sci.* 2003a;86:2922-31.
- Oba, M., Allen, MS. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *J Dairy Sci* 2000;83:1333-41.
- Oba, M., Allen, MS. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy Sci.* 2003b;86:174-83.
- Oba, M., Allen, MS. Extent of hypophagia caused by propionate infusion is related to plasma glucose concentration in lactating dairy cows. *J Nutr.* 2003c;133:1105-12.

- Oba, M., Allen, MS. Intra-ruminal infusion of propionate alters feeding behavior and decreases energy intake of lactating dairy cows. *J Nutr.* 2003d;133:1094-99.
- Rawson NE, Blum H, Osbakken MD, Friedman MI. Hepatic phosphate trapping, decreased ATP, and increased feeding after 2,5-anhydro-D-mannitol. *Am J Physiol.* 1994;266:R112-7.
- Rawson NE, Friedman MI. Phosphate loading prevents the decrease in ATP and increase in food intake produced by 2,5-anhydro-D-mannitol. *Am J Physiol.* 1994;266:R1792-6.
- Reynolds CK. Quantitative aspects of liver metabolism in ruminants. In: Engelhardt Wv, Leonhard-Marek S, Breves G, Geisecke D, editors. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction.* Stuttgart, Germany: Ferdinand Enke Verlag; 1995. p. 351-72.
- Reynolds CK, Aikman PC, Lupoli B, Humphries DJ, Beever DE. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation. *J Dairy Sci.* 2003;86:1201-17.
- Ricks CA, Cook RM. Regulation of volatile fatty acid uptake by mitochondrial acyl CoA synthetases of bovine liver. *J Dairy Sci.* 1981;64:2324-35.
- Scharrer E. Control of food intake by fatty acid oxidation and ketogenesis. *Nutrition.* 1999;15:704-14.
- Shepherd AC, Combs DK. Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *J Dairy Sci.* 1998;81:2240-50.
- Stangassinger M, Geisecke D. Splanchnic metabolism of glucose and related energy substrates. In: Milligan LP, Grovum WL, Dobson A, editors. *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1986. p. 347-66.
- Sutton JD, Dhanoa MS, Morant SV, France J, Napper DJ, Schuller E. Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets. *J Dairy Sci* 2003;86:3620-33
- Tordoff MG, Rafka R, DiNovi MJ, Friedman MI. 2,5-anhydro-D-mannitol: a fructose analogue that increases food intake in rats. *Am J Physiol.* 1988;254:R150-3.
- van Knegsel ATM, van den Brand H, Dijkstra J, van Straalen WM, Heetkamp MJW, Tamminga S, Kemo B. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: energy partitioning and milk composition. *J Dairy Sci* 2007;90:1467-76.
- Voelker, JA, Allen, MS. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1. Effects on feed intake, chewing behavior, and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2003;86:3542-52.
- Weigland E, Young JW, McGilliard AD. Volatile fatty acid metabolism by rumen mucosa from cattle fed hay or grain. *J Dairy Sci* 1975;58:1294-1300.

## Diskussion



LANGHANS, ZÜRICH

First of all, thank you very much for referring to some of our old work. As you know, I've been one of the proponents of the hepatic oxidation, whatever fatty acid oxidation in control of eating theories for a number of years. Let me ask you two questions: First one is: If we assume, and I don't want to discard this theory right away, but if we assume hepatic oxidation has something to do with the control of food intake, and if a signal that is generated by hepatic oxidative metabolism, somehow gets the brain, we have to assume that hepatocytes are innovated or that there are afferent nerves somewhere downstreamed from the adipocytes. At least for the rat and for a couple of other species, as I have to conclude, this is not the case. How do you deal with it? Is the anatomic situation different in ruminants or how do you explain this discrepancy?

ANTWORT

Well, this is a great question and I don't think that anybody has any answers. I don't believe, that ruminants are different and I don't believe that hepatocytes are innovated, but it may be a secretion event, based upon the energy status of the hepatocyte. I guess that's really what we find out as we go. And that's not the level I'm working in. Just to be clear.

LANGHANS, ZÜRICH

The second question that I have is: Again in quite a number of monogastric species, as supposed to the

lack of hepatocyte innovation, autonomic innovation, and that's primarily parasympathetic innovation I'm talking about, there is evidence for extensive parasympathetic and also sympathetic innovation of the portal vein in particular at the entrance to the liver. And we know from monogastric species, that for example glucose that get's into the portal vein, triggers a vago-vagal reflex from the portal vein, that stimulates insulin secretion. And a number of others, could it be, that propionate instead of effecting food intake and insulin secretion or whatever by being oxidised in the liver or metabolised in the liver, that it just triggers such a vago-vagal reflex at the entrance of the liver? That could be consistent with some data that I'm aware of, that some people found an effect of propionate infusions. And they infused it into mesenteric vein, but they did not infuse it into the portal vein. And when the tip of the catheter through which the propionate was infused, was very close to the liver. And they didn't see an effect. The name escaped to me right now, but I can show you this afternoon perhaps.

ANTWORT

At this point, I think, I wouldn't say that this possibility is rolled out. It is possible. I guess I'm not sure that's consistent with all the evidence in ruminants. So, does this mean there is other mechanics? Sure, there are lots of mechanisms. You propose the small intestine is involved and certainly that's an additional possibility.

LANGHANS, ZÜRICH  
We continue that.

ANTWORT  
Okay.

MEYER, WEIHENSTEPHAN  
I also liked your hot slide very much with all the errors. The question, does propionate escape from the liver, is there peripheral propionate? So could you comment about potential effects of propionate? Whether it does directly induce release of insulin? Does it have an effect on the  $\beta$ -cell or also on the brain? So are there, besides the liver, other sites where propionate can act, and especially what is known about the pancreas?

ANTWORT  
I showed, that insulin increases at meals in one of my first slides and we didn't measure propionate because on that many samples that would have to be taken in order to measure it. But certainly, some propionate escapes, so why does insulin increase propionate may be involved in that, it doesn't get trapped by the liver? Portal infusions were much more hypophagic than jugular infusions or others. I presented a case, where I think that the mechanism is related to insulin, but I'm not sure it's a direct effect and propionate infusions in Forbes's work were not hypophagic. Certainly, there would be insulin effects in that condition.

REHAGE, HANNOVER  
I have two questions. How do you explain that we see peak values of NEFA at parturition but the highest value is for  $\beta$ -hydroxybutyrate three weeks later? How are the NEFAs used at parturition and obviously they are differently used a few weeks later?

ANTWORT  
I haven't thought through that. So I haven't a response to that. But I'll think about it.

REHAGE, HANNOVER  
My second question is: When you infuse propionate? Probably you use sodium propionate salts.

ANTWORT  
We've used both, sodium propionate as well as propionic acid.

REHAGE, HANNOVER  
And did you see any difference because when you use propionate as a salt, you are inducing a significant metabolic alkalosis and that probably has also considerable effects.

ANTWORT  
We basically find the same effects, whether it's sodium propionate or propionic acid, we've also used ammonium propionate and had quite different effects. We did an experiment with sodium propionate, ammonium propionate, propionic acid. And basically ammonium propionate was much more hypophagic than sodium propionate or propionic acid. And then we followed that up with an experiment comparing sodium propionate and ammonium propionate, sodium acetate and ammonium acetate. Ammonium had a hypophagic effect similar to propionate, both together had huge hypophagic effects.

SAUERWEIN, BONN  
I would like to support the idea that propionate is indeed reaching circulation passing the liver and we've been learning that there are specific G protein coupled receptors for the direct effects of propionate and we do see, e. g. these receptors in adipose tissue and we could show that they have effects that are independent of insulin. So they have different effects apart from insulin.

ANTWORT  
I believe that's true. In one of our studies, we looked at the relationship between propionate infusions. I just wanted to rule that out.

# Modelling biochemical rumen functions with special emphasis on methanogenesis



## 1 Introduction

A basic goal of scientists studying ruminants is to advance milk and meat production with a desired composition, and thereby reduce excretion of waste whilst optimizing animal health, through a greater understanding of ruminant digestion and metabolism. This necessitates elucidating the mechanisms governing the kinetics and energetics of nutrient digestion and utilisation by the animal. Ruminant animals have evolved a set of stomachs that harbours micro-organisms capable of digesting fibrous material. This allows ruminants to eat and partly digest plants, such as grass, which have a high fibre content and low nutritional value for simple-stomached animals. A great deal of research has been carried out on the digestive system of ruminants, leading to studies on the peculiarities of metabolism that cope with the unusual products of microbial digestion. As qualitative knowledge increased, so it became possible to develop quantitative approaches to increase understanding further and to integrate various aspects. The methods of applied mathematics, which have evolved over centuries for the study of kinetics and energetics in physical systems, and based on the differential and integral calculus, are now recognized as a useful and legitimate tool in the study of ruminant nutrition. Evidence of this is provided by recent books on modelling (Dijkstra et al. 2005; Thornley and France 2007).

The aim of the present paper is to describe the role of mathematical modelling of rumen fermentation processes. Various approaches to modelling will be

described, with special emphasis on methanogenesis in the rumen in view of the significant role of methane as a greenhouse gas (Steinfeld et al., 2006).

## 2 Principles of mathematical modelling

### 2.1 Modelling and organization hierarchy

A mathematical model is an equation or a set of equations which represents the behaviour of a system. These equations represent quantitatively the assumptions or hypotheses that have been made about the real system. Thus a model can be viewed as an idea, hypothesis or relation expressed in mathematics. Solving the model will give rise to predictions on the behaviour of the system. The set of assumptions that were made when constructing the model can be evaluated by comparing measurements made on the real system with the values predicted by the model.

Modelling is a central and integral part of the scientific method. Models provide us with representations that we can use. Models present a means of applying knowledge and a means of expressing theory and advancing understanding. Perhaps the most important feature of a model is that it should be possible to describe the system more fully, or understand it more readily, than the real system. It is important to note that models are simplifications not duplications of reality. Hierarchy in biology is a concept crucial to understanding differences between various types of models, and to appreciate fully the role of mathematical modelling in animal nutrition, it is necessary to consider the nature and implications of organisational

hierarchy (levels of organisation). Biology is notable for its many organisational levels. It is the existence of the different levels of organisation that give rise to the rich diversity of the biological world. For animal science, a typical scheme for the hierarchy of organisational levels is shown in Figure 1. This scheme can be continued in both directions. Any level of the scheme can be viewed as a system, composed of subsystems lying at a lower level, or as a subsystem of higher level systems. Such a hierarchical system has some important properties:

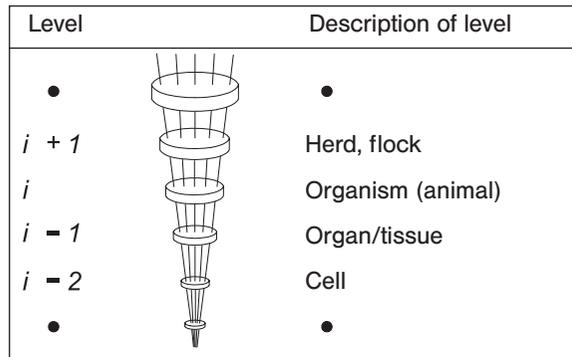


Figure 1: Levels of organization in animal sciences.

1. Each level has its own concepts and language. For example, the term of animal production such as plane of nutrition has little meaning at the cellular level.

2. Each level is an integration of items from lower levels. The response of the system at level  $i$  can be related to the response at lower levels by a reductionist scheme. A description at level  $i - 1$  can provide a mechanism for behaviour at level  $i$ .

3. Successful operation of a given level requires lower levels to function properly, but not vice versa. For example, a microorganism can be extracted from the rumen or hindgut and can be grown in culture in a laboratory, so that it is independent of the integrity of the rumen or hindgut and the ruminant animal, but the rumen or hindgut relies on the proper functioning of its microbes to function fully itself.

This organisational hierarchy helps explain three categories of model: teleonomic models which look upwards to higher levels, empirical models which examine a single level, and mechanistic models which look downwards. A more detailed classification of models used in agricultural sciences is presented in Thornley and France (2007). The present paper will deal with empirical and mechanistic models of methane formation in the rumen.

## 2.2 Objectives and contributions of models

The previous section has indicated the interplay between modelling and experimentation, and the positive effect of such a symbiosis on the improvement of our understanding of ruminant nutrition. Interaction between modelling and experimentation in this way allows faster progress of research programmes and improved control of animal production. There are many different motivations for building a model. Examples of such motivations and contributions to ruminant nutrition include:

1. Construction of a model can help in pin-pointing areas where knowledge and data are lacking, and models can stimulate new ideas and experimental approaches. For example, development of a model of protozoal metabolism in the rumen indicated lack of data on amount of protozoal biomass and protozoa generation times (Dijkstra, 1994) which stimulated experimental research using real-time PCR on protozoal dynamics (Sylvester et al., 2004).

2. Compared with traditional methods, models often make better use of data, which are becoming increasingly precise but also expensive to obtain. For example, compartmental models may be constructed to resolve isotope data generated by in vivo experiments of organs and tissues (e.g., France et al., 1999). The combination of experimental data and an isotope dilution model provided a means for assessing the impact of hepatic metabolism on amino acid availability to peripheral tissues.

3. Direct experimentation may be difficult or impossible. A model may provide a way of exploring possible outcomes. For example, no direct in vivo

measurements are available on the contribution of protozoa and bacteria to degradation of fibre in the rumen. The integration of concepts and data on various microbial groups in the rumen in a mechanistic model allowed quantification of these contributions and the predicted protozoal contribution, as influenced by the diet, provided possible explanations for the differences in rumen fibre degradation observed when animals are defaunated (Dijkstra et al., 1995).

4. Often, predictions to changes in some part of the system are required, and then a model is required. For example, world-wide various feed evaluation systems for ruminants are available that, using mathematical equations, describe feedstuffs with respect to their ability to sustain different types and levels of animal performance. Nutritionists and farmers in the livestock industry apply feed evaluation systems to match dietary nutrients with those required to support a desired level of production (Dijkstra et al., 2007).

For a full overview of possible modelling objectives and contributions in animal science, see Baldwin (1995) and Thornley and France (2007).

### 3 Rumen methanogenesis

Methane is a gas produced as the result of microbial fermentation in the rumen and in the large intestine of ruminants. To the animal methane represents an energy loss that can range from 2 to 12% of gross energy (GE) intake or 10-35 g/kg dry matter (DM) intake, but to the environment it represents a greenhouse gas (GHG) 25 times more potent than CO<sub>2</sub> (IPCC 2007). Using global warming potentials (GWP) for a 100-yr time horizon, methane contributes roughly 1/3 of global livestock GHG (Steinfeld et al., 2006). However, if GWP for a 20-yr time horizon are applied, the contribution of methane to total livestock GHG emissions is 60% (Figure 2). As a result of the Kyoto protocol and growing concern for the global environment, it has become the focus of recent research in animal science to understand methane production in ruminants and how its production can be manipulated to reduce overall emissions.

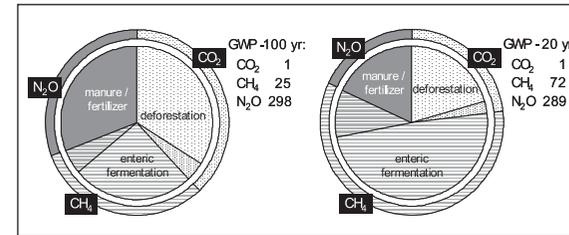


Figure 2: The relative contribution of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O to global greenhouse gas emissions of livestock using Global Warming Potentials (GWP) on a 100-yr or a 20-yr time horizon. Data for 100-yr time horizon from Steinfeld et al. (2006) and for 20-yr time horizon calculated from Steinfeld et al. (2006) using GWP on a 20-yr time horizon.

Methane is produced predominantly in the rumen and to a much smaller extent in the hindgut of ruminants. Production in the rumen accounted for 87 ± 1.2% of total methane production in sheep (Murray et al., 1976). Conversion of feed material to methane in the rumen involves the integrated activities of several different microbial species, the final step being carried out by methanogenic archaea (methanogens). Methanogens use only a relatively small number of substrates and they convert them to methane via one of three pathways (Zinder, 1993). Most rumen methanogens use the CO<sub>2</sub> reduction pathway which takes CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> through a series of reductions to produce methane (Attwood & McSweeney, 2008). This allows reduced cofactors (such as NADH) in the H<sub>2</sub> producing organisms to be reoxidised and recycled. Of all possible routes of H<sub>2</sub> use, the reduction of CO<sub>2</sub> is amongst the most efficient ones with respect to reaction thermodynamics and threshold H<sub>2</sub> partial pressure (Ellis et al., 2008). The major factors that determine the amount of methane formed are the intake and degradation of organic matter (OM) in the rumen, the amount of degraded OM fermented to VFA and gases and not incorporated in microbial biomass, and the type of VFA formed of fermented OM (Figure 3). In the next sessions, empirical and mechanistic approaches to predict methane production are described.

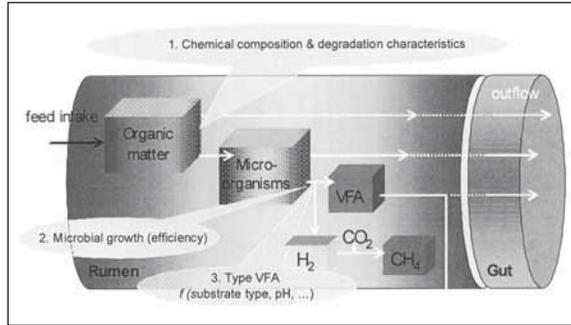


Figure 3: Scheme of interactions between substrate utilization, microbial biosynthesis, and formation of VFA and methane in the rumen. The three principal factors governing methane yield are indicated by the numbers 1, degradation of organic matter, 2, efficiency of microbial growth, and 3, the amount and type of VFA produced.

#### 4 Empirical models of methane formation

The empirical method to predict methane formation consists of looking at experimental data and trying to make an intelligent guess at a (usually simple) form of equation or set of equations which can be fitted to the data. Thus, empirical models of methane formation aim principally to describe the response of the animal to a change in conditions (such as a change in diet), in which scientific understanding is not necessarily needed. Generally, an empirical model describes the responses belonging to a single level of the organizational hierarchy (see Figure 1). Depending upon the objectives, this may be the best kind of model to construct. Usually, an empirical model is simpler, and is more easily and quickly constructed than a mechanistic model. This may be a valid option in practical circumstances. The main disadvantage of an empirical model is that the model parameters are usually not biologically significant quantities. Therefore, if a change in diet is considered that was not part of the underlying data of an empirical model, the model predictions may be incorrect. Many empirical equations to predict methane formation in cattle are available and these models usually predict methane emissions based on a description of the animal inclu-

ding live weight and milk production or on the feed intake and chemical composition of the diet. For a full evaluation of emission of GHG on dairy cattle farms, a whole farm approach is required that takes into account GHG other than methane. A number of whole farm models are available that simulate the impact of various management or nutritional strategies on GHG emissions (Schils et al., 2007). How well these models predict the whole farm environmental impact is only as good as the accuracy of the mathematical equations used to predict this impact. Greenhouse gas emissions from dairy farms are particularly high due to methane emission from enteric fermentation. Therefore, accurate prediction of methane emission is a requirement to deriving a realistic estimate of whole farm GHG balance.

	Mean	SD	Minimum	Maximum
Feed intake (kg DM/d)	19.6	4.0	11.2	35.0
Milk production (kg/d)	30.3	9.1	8.8	49.4
Body weight (kg)	623	74	484	779
Methane production (g/d)	371	77	117	698

Table 1: Description of the methane evaluation database. The database contains 169 observations from 9 studies. Further details presented by Ellis et al. (2010).

Recently, Ellis et al. (2010) evaluated nine empirical equations (Table 1) used to predict methane emissions from dairy cows in eight whole farm models. The database compiled for the evaluation of these equations consisted of two subsets of data: 1) a database of individual cow data (9 studies and 169 observations), and 2) an unrelated database of treatment averages (7 studies and 37 observations). In the present paper, the results of the evaluation based on the independent database are described to illustrate the advantages and disadvantages of such empirical models of methane production. Mean, standard deviation, minimum and maximum values of the data in the independent database are presented in Table 2. The database had considerable variation in feed intake level and diet composition. The methane equations were evaluated using two methods, viz. the mean square prediction error (MSPE) method, and the concordance correlation coefficient (CCC) method. The square root of

the MSPE (RMSPE), expressed as a percentage of the observed mean, gives an estimate of the overall prediction error. The RMSPE can be decomposed into error due to overall bias (ECT), error due to deviation of the regression slope from unity (ER) and error due to the disturbance (random error) (ED) (Bibby and Toutenburg, 1977). The CCC is calculated based on a bias correction factor ( $C_b$ ), which is a measure of accuracy, and on a measure of precision, R (for details, see Lin, 1989).

Table 2: Empirical methane prediction equations used in whole farm models and evaluated by Ellis et al. (2010)<sup>1</sup>.

Reference	Prediction equation for methane (g/d)
Blaxter and Clapperton (1965)	$[1.3 + 0.112 \times (\text{ED}_m, \% \text{ of GE}) + \text{MN} \times (2.37 - 0.050 \times (\text{ED}_m, \% \text{ of GE}))] / 100 \times \text{GEI (MJ/d)} / 0.05565$
Moe and Tyrrell (1979)	$[3.41 + 0.511 \times \text{NSC (kg/d)} + 1.74 \times \text{HC (kg/d)} + 2.65 \times \text{CEL (kg/d)}] / 0.05565$
Kirchgeßner et al. (1995) Eqn 1	$63 + 79 \times \text{CF (kg/d)} + 10 \times \text{NFE (kg/d)} + 26 \times \text{CP (kg/d)} - 212 \times \text{Fat (kg/d)}$
Kirchgeßner et al. (1995) Eqn 2 <sup>2</sup>	$10 + 4.9 \times \text{Milk Yield (kg/d)} + 1.5 \times \text{BW (kg)}^{0.75}$
IPCC (1997) Tier I	323 for North America, 274 for Europe (general) and 279 for The Netherlands
IPCC (1997) Tier II	$[0.06 \times \text{GEI (MJ/d)}] / 0.05565$
Corré et al. (2002)	$[50 + 0.01 \times \text{Milk Yield (kg/d)} \times 365] / 365 \times 1000$
Giger-Reverdin et al. (2006)	$[45.0 - 0.018 \times \text{DMI (g/kg BW/d)}^2 - 1.84 \times \text{C18:2 (% DM)} - 84.2 \times \text{C}\geq 20 \text{ (% DM)}] \times \text{DMI (kg/d)} \times 0.6802$
Schils et al. (2006)	$20 \times \text{Concentrate Intake (kg as fed/d)} + 22 \times \text{Corn Silage Intake (kg DM/d)} + 27 \times \text{Grass Intake (kg DM/d)}$

<sup>1</sup> Abbreviations are as follows: BW is bodyweight, C18:2 is the quantity of linoleic acid, C $\geq$ 20 is the quantity of fatty acids with a chain length equal to or greater than 20 atoms of C; CEL is cellulose, CF is crude fibre, CP is crude protein, ED<sub>m</sub> is energy digestibility at maintenance, GE is gross energy, GEI is gross energy intake, HC is hemicellulose, MN is multiple of maintenance, NFE is nitrogen-free extract, NSC is non-structural carbohydrate.

<sup>2</sup> Intercept becomes 59 if the diet is based on corn silage.

Evaluation of the methane prediction equations is presented in Table 3. In general, predictions were poor, with RMSPE values ranging from 20.2 to 52.5 % of the observed mean, and CCC values ranging from 0.009 to 0.493. Severe overprediction of methane production was apparent for the Corré (2002) and Schils et al. (2006) equations, and underprediction for the Giger-Reverdin et al. (2003) and IPCC (1997) Tier I equations. For every equation, the slope of predicted versus observed values as determined by treating study as a random effect was smaller than 1 (between 0.06 and 0.79). The lower variation in predicted methane values than in observed methane values and the slope being less than 1 is a trend also observed in other evaluations (e.g., Mills et al.,

2003). Thus it appears that the equations evaluated cannot fully describe the underlying determinants of variation.

Table 3: Results of root means square prediction error (RMSPE; % of observed mean methane production) and concordance correlation coefficient (CCC) of several methane prediction equations (Ellis et al., 2010).

Equation	Predicted methane (g/d) <sup>1</sup>	RMSPE (%) <sup>2</sup>	ECT (%) <sup>3</sup>	ER (%) <sup>4</sup>	ED (%) <sup>5</sup>	CCC <sup>6</sup>	R <sup>2</sup>	C <sub>b</sub> <sup>8</sup>
Blaxter and Clapperton (1965)	332 (± 2.8)	21.2	24.4	0.58	75.0	0.265	0.409	0.648
Moe and Tyrrell (1979)	391 (± 5.1)	20.2	7.3	16.2	76.5	0.461	0.484	0.954
Kirchgeßner et al. (1995) Eqn 1	404 (± 7.8)	29.5	9.5	49.2	41.4	0.291	0.326	0.893
Kirchgeßner et al. (1995) Eqn 2 <sup>2</sup>	345 (± 3.0)	20.9	10.9	4.4	84.8	0.222	0.298	0.745
IPCC (1997) Tier I	304 (± 1.7)	27.6	42.8	4.0	53.2	0.009	0.028	0.317
IPCC (1997) Tier II	399 (± 5.7)	20.9	13.7	19.4	66.9	0.493	0.529	0.931
Corré et al. (2002)	440 (± 7.0)	34.2	29.8	36.8	33.4	0.133	0.183	0.730
Giger-Reverdin et al. (2006)	230 (± 7.2)	52.5	51.9	13.8	34.3	0.133	0.183	0.730
Schils et al. (2006)	483 (± 7.9)	39.5	59.0	21.0	20.0	0.254	0.476	0.534

<sup>1</sup> Values are expressed as mean ± SEM.

<sup>2</sup> Root mean square prediction error expressed as a percentage of the observed mean.

<sup>3</sup> Error due to bias, as a % of total mean square prediction error.

<sup>4</sup> Error due to regression, as a % of total mean square prediction error.

<sup>5</sup> Error due to disturbance, as a % of total mean square prediction error.

<sup>6</sup> Concordance correlation coefficient, where  $\text{CCC} = \text{R} \times \text{C}_b$ .

<sup>7</sup> Pearson correlation coefficient.

<sup>8</sup> Bias correction factor.

Results show that the simple more generalized equations performed worse than those that attempted to represent important aspects of diet composition, but in general significant amounts of bias and deviation of the regression slope from unity existed for all equations. For example, the Moe and Tyrrell (1979) equation covers some basic aspects of the chemical composition of the diet and includes indirectly the effect of feed intake level. However, it still lacks other important descriptors that affect methane production, such as the fat fraction (review Beauchemin et al. 2009). The equation also assumes a constant methane yield per unit of non-structural carbohydrate, whereas variation in intake level may affect their rumen fermentability to a different extent, it may affect pH, and as a consequence it may affect VFA profile and methane release (Bannink et al. 2008). The IPCC (1997) Tier II

model also performed adequately compared to other equations. However, since it is based simply on GE intake, it does not have the capacity to fully describe changes in composition of the diet. For example, GE intake may increase due to a higher feed intake, likely resulting in increased methane emissions, but GE intake may also increase if dietary fat content of the diet is increased, likely resulting in a decrease of methane production. The Kirchgeßner et al. (1995) equation 1 includes the variable dietary fat, but its associated parameter value may be too high for certain high fat diets. Besides, the effect of fat on methane emission is strongly influenced by the type of fatty acids present, not just the total quantity (see review by Beauchemin et al., 2009). On the other hand, the Giger-Reverdin et al. (2003) equation only includes the effects of C18:2 or C20 and higher fatty acids. It therefore is unlikely to predict methane emission changes as affected by other fatty acids, such as C14:0 (Odongo et al., 2007) or the effect of level and type of C18:3 (Martin et al., 2008). The equation of Schils et al. (2006) does not take into account differences in methane emissions that arise from differences in concentrate composition or roughage degradability characteristics.

If a whole farm model is attempting to describe the effect of a given mitigation strategy on methane emission, and subsequently the effects on other aspects of the farm nutrient balance, empirical equations may not be accurate enough as they lack adequate sensitivity to change. The low prediction accuracy and poor prediction of variation in observed methane production values may introduce substantial error into inventories of GHG emissions and lead to incorrect mitigation recommendations on a whole-farm level. However, mechanistic models (discussed in the next section) require more detailed input data that may not be (readily) available, which hamper their inclusion in whole farm models.

### 5 Mechanistic models of methane formation

A mechanistic model is constructed by looking at the structure of the system, by dividing the system into its components, and by trying to understand

the behaviour of the whole system in terms of the behaviour of the individual system components and their interactions with another. With respect to the organizational hierarchy (Figure 1), generally, a mechanistic model attempts to construct a description of the system at level  $i$  in terms of the components and their associated processes at level  $i - 1$  in order to gain an understanding at level  $i$  in terms of these component processes. It is the connections that interrelate the components that make a model mechanistic. Assumptions or hypotheses have to be made about the important components of the system and how they behave. The set of assumptions constitute the basis of the model. Next, the model must be described mathematically. The assumptions then appear in the equations. Crucial in the whole process are the assumptions, and the mathematical representation of the assumptions.

Differential equations arise within biology in the construction of dynamic, deterministic, mechanistic models. The mathematically standard way of representing such models is the rate:state formalism. The system under investigation is defined at time  $t$  by  $q$  state variables:  $X_1, X_2, \dots, X_q$ . The state variables represent properties or attributes of the system, such as mass of methanogens, quantity of VFA, etc. The model then comprises  $q$  first order differential equations which describe how the state variables change with time:

$$dX_i/dt = f_i(X_1, X_2, \dots, X_q; S); i = 1, 2, \dots, q$$

where  $S$  denotes a set of parameters, and the function  $f_i$  gives the rate of change of the state variable  $X_i$ . The function  $f_i$  comprises terms which represent the rates of processes (with dimensions of state variable per unit time), and these rates can be calculated from the values of the state variables alone, with the values of any parameters and constants. The rate:state formalism is not as restrictive as first appears because any higher-order differential equation can be replaced by, and a partial differential equation approximated by, a series of first-order differential equations.

Various mechanistic models all based on the rate:state formalism are available to predict methane pro-

duction in dairy cattle, notably the Baldwin (1995) model and the model of Dijkstra et al. (1992) with methane representations added as described by Mills et al. (2001). These models attempt to describe aspects of fermentation and digestion, and the principal elements are the degradation of substrate, the efficiency of synthesis of microbial biomass, and the type of VFA formed (see Figure 3). In such models, digestion of feed in the rumen or in the hindgut is the result of two competing processes: degradation and passage. Degradation occurs primarily through the activity of micro-organisms in the rumen or hindgut. The efficiency of synthesis of microbial biomass can be described by mathematical equations that are well documented in literature (notably Pirt, 1975), but are applied surprisingly little in the prediction of microbial protein synthesis in ruminants. Basically, substrate consumption by micro-organisms will follow enzyme kinetics represented by rectangular hyperbola, and efficiency depends upon the partitioning of substrate consumed for growth and non-growth purposes. These aspects and its representation have been discussed elsewhere (Dijkstra et al., 2007) and the present paper will focus on the type of VFA formed. Hydrogen gas is produced as a result of acetate and butyrate formation and is utilized in the production of propionate. Since  $H_2$  represents the major substrate for methanogenesis, it is important to be able to accurately predict the VFA profile created in the rumen as a result of the diet fed, which will in turn largely predict the  $H_2$  balance of the system.

A number of efforts were made to predict the stoichiometry of rumen fermentation using various modelling approaches. Koong et al. (1975) were among the first to propose a method to obtain estimates of stoichiometric VFA coefficients for fermentation of various dietary components. Coefficients were derived based on experimental data on VFA production, rather than the commonly measured VFA concentrations. Murphy et al. (1982) changed the model of Koong et al. (1975) so that VFA molar proportions could be used in comparisons of experimental and predicted values. Murphy et al. (1982) obtained a dataset mainly

with beef cattle and sheep and divided the dataset into a roughage group (more than 50% roughage in diet DM) and a concentrate group. The Murphy coefficients were subsequently applied in mechanistic models of whole rumen function in dairy cattle (Baldwin, 1995; Dijkstra et al., 1992). However, based on dairy cattle data, extensive evaluations of Bannink et al. (1997) indicated that predictions of VFA molar proportions based on Murphy coefficients were not adequate. In the method of Friggens et al. (1998), the VFA molar proportions are predicted from feed chemical entities. Principal components regression was used to relate observed proportions of VFA to the chemical composition of the total feed in sheep. A major disadvantage in this approach is that it is unable to predict differences in VFA molar proportions from various ingredient sources that have the same amount of a particular substrate. For example, since maize starch is more resistant to ruminal degradation than barley starch, an increased molar proportion of propionic acid will occur, whereas the Friggens et al. (1998) coefficients would not lead to differences in predicted VFA molar proportions. Sveinbjörnsson et al. (2006)

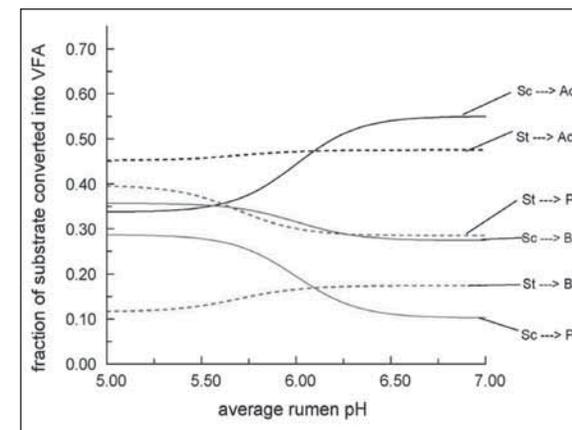


Figure 4: Effect of rumen pH on the fraction of the individual types of VFA (Ac, Pr, Bu: acetate, propionate, butyrate, respectively) produced from soluble carbohydrates (Sc) and starch (St) in concentrate rich diets (Bannink et al., 2008).

derived stoichiometric coefficients using in principle the approach of Murphy *et al.* (1982). In comparison to the Murphy *et al.* (1982) coefficients, in the Sveinbjörnsson *et al.* (2006) coefficients starch appears to have a smaller effect on the molar proportion of propionate. Bannink *et al.* (2006) also adapted the model of Murphy *et al.* (1982) assuming a fixed incorporation of each substrate into microbial biomass.

Of major concern in all approaches described above is the absence of effect of fractional rate of substrate fermentation, that will shift fermentation pathways away from the production of acetate to the production of (in particular) propionate or in extreme situations lactic acid. Inclusion of pH as a factor may assist in this respect, since increased rates of fermentation are generally associated with decreased pH values. Thus Bannink *et al.* (2008) further developed the Bannink *et al.* (2006) model to include pH-dependent stoichiometric parameters for soluble sugars and for starch (Figure 4). The fitted equations indicate that a reduction in pH coincides with an increase in the fraction of starch and sugars fermented to propionic acid, but

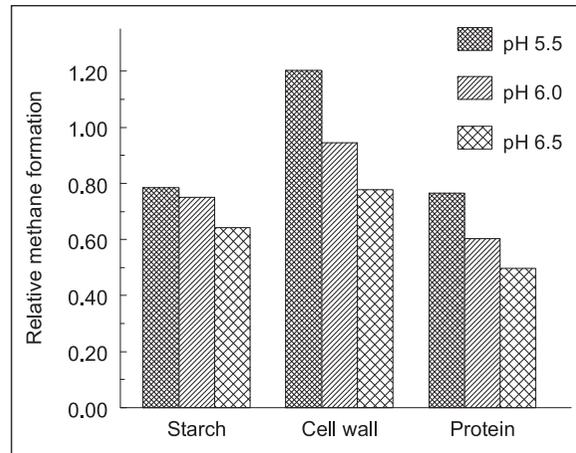


Figure 5: The methane formation of starch, cell wall carbohydrates and protein (g methane/g substrate fermented into VFA) relative to that of sugars at different pH values. A value of 1 indicates methane formation of substrate to be equal to that of sugars. Adapted from Bannink *et al.* (2008).

a decrease in that fermented to acetic acid. Given the relationship between  $H_2$  production and uptake and the various VFA described previously, methane production can be calculated as affected by substrate type and pH (Figure 5). Protein and starch fermentation both yield much lower amounts of methane than fermentation of fibre and soluble sugars. Interestingly, at low pH values fermentation of fibre gives more methane than that of sugars, and the reversed at high rumen pH values. Given the various approaches and widely different VFA stoichiometric coefficients resulting from these approaches, independent evaluations of these coefficients against actual values are urgently required.

The prediction accuracy of mechanistic models of methane formation has been evaluated by a number of authors. Benchaar *et al.* (1998) evaluated the models of Baldwin (1995) and Dijkstra *et al.* (1992) as well as the previously described Blaxter and Clapperton (1965) and Moe and Tyrrell (1979) equations. Data from 13 studies and 32 observations were used. Benchaar *et al.* (1998) concluded that from a large variation in diet composition, mechanistic models allow the prediction of methane production more accurately than regression equations. The modified model of Dijkstra *et al.* (1992) predicted methane production with the highest  $R^2$  (0.71) and smallest RMSPE (19.9% of the observed mean) of all models. Predictions using the equations of Moe and Tyrrell (1979) and Blaxter and Clapperton (1965) were less satisfactorily ( $R^2 = 0.42$  and  $0.57$ ; RMSPE = 33.7% and 22.9%, respectively). Mills *et al.* (2001) formerly derived the methane additions to the Dijkstra *et al.* (1992) model and evaluated the model against independent data, obtaining again good agreement between observed and predicted results. Kebreab *et al.* (2006) evaluated various mechanistic and empirical models against independent data from North-American dairy cattle (13 studies and 47 observations). Six models were considered, viz. empirical equations of Moe and Tyrrell (1979) and the Tier I and II models of IPCC (1997) described previously, as well as linear and nonlinear models of Mills *et al.* (2003), and finally

the mechanistic model of Mills et al. (2001). The non-linear Mills et al. (2003) equation requires ME intake and dietary starch and ADF contents as independent variables. In this evaluation, the non-linear empirical equation of Mills et al. (2003) actually performed better than the mechanistic model, which in turn performed much better than the other empirical equations.

This finding is a nice illustration of the advantages and disadvantages of various modeling approaches. The linear models are recommended for use if there is a lack of nutrient information and within the range in which they were developed may give accurate predictions, but cannot consider mitigation options. The non-linear model can be used for extrapolation, but requires more detailed, harder to obtain input variables. For full assessment of mitigation options, more mechanistic models are recommended. The strength of a mechanistic model arises where one considers mitigation options in relation to dietary manipulation, since the impact mitigation strategies might have on methane emissions has to be assessed holistically, in both the whole rumen and whole animal. Empirical models lack the biological basis necessary to evaluate mitigation strategies. Thus mechanistic models are important tools for assessing these options and for directing experimental research towards options most likely to result in significant reduction of methane emissions from enteric fermentation. An example is the current application of the mechanistic model of Mills et al. (2001) with VFA coefficients of Bannink et al. (2008), rather than the widely used IPCC Tier I or Tier II approaches, to estimate methane production of dairy cattle in the national inventory of GHG emission in the Netherlands required in the Kyoto protocol (Van der Maas et al., 2009).

It needs to be stressed that there is no clearly defined line between the empirical and mechanistic models. Mechanistic models may include mechanisms at a lower level in the organization hierarchy, but its representation at that lower level in itself is empirical again. For example, mechanistic models of methane production in the rumen (level i) consider the lower level elements (i - 1) including individual substrates,

their fermentation to VFA, and so on; but mechanistic models do not formerly describe the metabolism of the methanogens and the various substrates they may use in different conditions. Thus, in turn mechanistic models are unlikely to correctly represent any lower level mechanism that determines methane formation, such as a direct effect of anti-microbial substances on the methanogens.

## 6 Conclusions

Modelling is an integral part of the scientific method in nutritional research. Mathematical models enable connecting quantitative observations to hypotheses related to ruminant digestion and metabolism. The interplay between modelling and experimental research is crucial. Both empirical and mechanistic approaches to predict methane production have distinct advantages and disadvantages. The main advantage of empirical models is their relative easy construction, and input parameters are usually easier to obtain in practice. The parameters in mechanistic models though have biological meaning and this enables a better connection and interplay with experimental research. For evaluating mitigation options to reduce methane production, mechanistic models are the preferred choice.

## References

- Attwood, G. and McSweeney, C. (2008). Methanogen genomics to discover targets for methane mitigation technologies and options for alternative H<sub>2</sub> utilisation in the rumen. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 28-37.
- Baldwin, R.L. (1995). *Modeling ruminant digestion and metabolism*. Chapman and Hall, London, UK.
- Bannink, A., De Visser, H., Klop, A., Dijkstra, J. and France, J. (1997). Causes of inaccurate prediction of volatile fatty acids by simulation models of rumen function in lactating cows. *Journal of Theoretical Biology* 189, 353-366.
- Bannink, A., Kogut, J., Dijkstra, J., France, J., Kebreab, E., Van Vuuren, A.M. and Tamminga, S. (2006). Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. *Journal of Theoretical Biology* 238, 36-51.
- Bannink, A., France, J., Lopez, S., Gerrits, W.J.J., Kebreab, E., Tamminga, S. and Dijkstra, J. (2008). Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. *Animal Feed Science and Technology* 143, 3-26.

- Beauchemin, K.A., McAllister, T.A. and McGinn, S.M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4, No. 035.
- Benchaar, C., J. Rivest, C. Pomar, and J. Chiquette. 1998. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *Journal of Animal Science* 76, 617–627.
- Bibby, J. and Toutenburg, T. (1977). Prediction and Improved Estimation in Linear Models. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Blaxter, K.L. and Clapperton, J.L. (1965) Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19, 511-521.
- Corré, W.J. (2002) Agricultural Land Use and Emissions of Methane and Nitrous oxide in Europe. Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.
- Dijkstra, J., Neal, H.D.St.C., Beever, D.E. and France, J. (1992). Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. *Journal of Nutrition* 122, 2239-2256.
- Dijkstra, J. (1994). Simulation of the dynamics of protozoa in the rumen. *British Journal of Nutrition* 72, 679-699.
- Dijkstra, J. and Tamminga, S. (1995). Simulation of the effects of diet on the contribution of rumen protozoa to degradation of fibre in the rumen. *British Journal of Nutrition* 74, 617-634.
- Dijkstra, J., Forbes, J.M. and France, J. (2005). Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd edition. CAB International, Wallingford, UK.
- Dijkstra, J., Kebreab, E., Mills, J.A.N., Pelikaan, W.F., López, S., Bannink, A. and France, J. (2007). Predicting the profile of nutrients available for absorption: from nutrient requirement to animal response and environmental impact. *Animal* 1, 99-111.
- Ellis, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Bannink, A., Odongo, N.E., McBride, B.W. and France, J. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 146, 213-233.
- Ellis, J.L., Bannink, A., France, J., Kebreab, E. and Dijkstra, J. (2010). Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. *Global Change Biology*, in press (DOI 10.1111/j.1365-2486.2010.02188.x)
- France, J., Hanigan, M.D., Reynolds, C.K., Dijkstra, J., Crompton, L.A., Maas, J.A., Bequette, B.J., Metcalf, J.A., Lobley, G.E., MacRae, J.C. and Beever, D.E. (1999). An isotope dilution model for partitioning leucine uptake by the liver of the lactating dairy cow. *Journal of Theoretical Biology* 198, 121-133.
- Friggens, N.C., Oldham, J.D., Dewhurst, R.J. and Horgan, G. (1998). Proportions of volatile fatty acids in relation to the chemical composition of feeds based on grass silage. *Journal of Dairy Science* 81, 1331-1344.
- Giger-Reverdin, S., Morand-Fehr, P. and Tran, G. (2003). Literature survey of the influence of dietary fat composition on methane production in dairy cattle. *Livestock Production Science* 82, 73–79.
- Hindrichsen, I.K., Wettstein, H.-R., Machmüller, A., Jörg, B. and Kreuzer, M. (2005). Effect of the carbohydrate composition of feed concentrates on methane emission from dairy cows and their slurry. *Environmental Monitoring and Assessment* 107, 329-350.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Bracknell, UK.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kebreab, E., France, J., McBride, B.W., Odongo, N., Bannink, A., Mills, J.A.N. and Dijkstra, J. (2006). Evaluation of models to predict methane emissions from enteric fermentation in North American dairy cattle. In *Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals: Modelling Approaches*, pp. 299-313 [E. Kebreab, J. Dijkstra, A. Bannink, W.J.J. Gerrits & J. France, editors]. CAB International, Wallingford, UK.
- Kirchgeßner, M., Windisch, W. and Müller, H.L. (1995). Nutritional factors for the quantification of methane production In: *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction: Proceedings of the Eighth International Symposium on Ruminant Physiology* (eds Von Engelhardt, W., Leonhard-Marek, S., Breves, G., Giesecke, D.), pp 333 – 348. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany.
- Koong, L.J., Baldwin, R.L., Ulyatt, M.J. and Charlesworth, T.J. (1975). Iterative computation of metabolic flux and stoichiometric parameters for alternate pathways in rumen fermentation. *Computer Programs in Biomedicine* 4, 209-213.
- Lin, L.I.K. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45, 255-268.
- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J.P., Doreau, M. and Chilliard, Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science* 86, 2642–2650.
- Mills, J.A.N., Dijkstra, J., Bannink, A., Cammell, S.B., Kebreab, E. and France, J. (2001). A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation and application. *Journal of Animal Science* 79, 1584-1597.
- Mills, J.A.N., Kebreab, E., Yates, C.M., Crompton, L.A., Cammell, S.B., Dhanoa, M.S., Agnew, R.E. and France, J. (2003). Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *Journal of Animal Science* 81, 3141-3150.
- Moe, P.W. and Tyrrell, H.F. (1979) Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 62, 1583-1586.
- Murphy, M.R., R.L. Baldwin and L.J. Koong (1982). Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. *Journal of Animal Science* 55, 411-421.
- Murray, R.M. Bryant, A.M. and Leng, R.A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* 36, 1-14.

- Odongo, N.E., Or-Rashid, M.M., Kebreab, E., France, J. and McBride, B.W. (2007). Effect of supplementing myristic acid in dairy cow rations on ruminal methanogenesis and fatty acid profile in milk. *Journal of Dairy Science* 90, 1851–1858.
- Pirt, S.J. (1975). *Principles of Microbe and Cell Cultivation*. Blackwell Scientific Publication, Oxford, UK.
- Schils, R.L.M., Verhagen, A., Aarts, H.F.M., Kuikman, P.J. and ebek, L.B.J. (2006) Effect of improved nitrogen management on greenhouse gas emissions from intensive dairy systems in the Netherlands. *Global Change Biology*, 12, 382-391.
- Schils, R.L.M., Olesen, J.E., del Prado, A., Soussana, J.F. (2007). A review of farm level modelling approaches for mitigating greenhouse gas emissions from ruminant livestock systems. *Livestock Science* 112, 240-251.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. and de Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. FAO, Rome, Italy.
- Sveinbjörnsson, J., Huhtanen, P. and Udén, P. (2006) The Nordic dairy cow model Karoline – development of VFA sub-model. In: Kebreab, E., Dijkstra, J., Bannink, A., Gerrits, W.J.J. and France, J. (eds) *Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals: Modelling Approaches*, pp. 1-14. CAB International, Wallingford, UK.
- Sylvester, J.T., Karnati, S.K.R., Yu, Z., Morrison, M.R. and Firkins, J.L. (2004). Development of an assay to quantify rumen ciliate protozoal biomass in cows using real-time PCR. *Journal of Nutrition* 134, 3378-3384.
- Thornley, J.H.M. and France, J. (2007). *Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological sciences*, 2nd edition. CAB International, Wallingford, UK.
- Van der Maas, C.W.M., Coenen, P.W.H.G., Zijlema, P.J., Brandes, L.J., Baas, K., van den Berghe, G., van den Born, G.J., Guis, B., Geilenkirchen, G., te Molder, R., Nijdam, D.S., Olivier, J.G.J., Peek, C.J., van Schijndel, M.W. and van der Sluis, S.M. (2009). *Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2007. National Inventory Report 2009*. Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven, the Netherlands.
- Zinder, S.H. (1993). Physiological ecology of methanogens. In: *Methanogens, Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics* (Ed. J. G. Ferry), pp. 128–206. Chapman & Hall, New York, USA.

## Diskussion



CERMAK, LEIPZIG

You mentioned in the first part of your talk that the predictive models, empirical models, did not fit very well to the nine studies, you checked them on. Did you have enough data from these nine studies, that actually measured methane production to put your mechanistic model on, and could you say if the predictive value indeed is much better?

ANTWORT

Good question. The point is that's the dark side of mechanistic models. Usually for mechanistic models you need far more detailed data as an input to your model. Not all of those data we had consist of sufficient data to base your mechanistic model on. At the moment, we work on that, but we probably cannot use all of them to follow our mechanistic model. I only show a data set on individual cow data. We've got another data set, which is based on literature. I didn't show you the results, that's in that paper of Jennifer Alice but the outcome is again the same. No difference individual treatment means. Both of them together, I think, we have enough data to evaluate properly the empirical models. But unfortunately not all of those data have enough accuracy as input for mechanistic models. And that is of the downside of mechanistic models. You may need more data than are available on farm or in practise.

RODEHUTSCORD, HOHENHEIM

So just to make sure, I've got that clearly. The model

that you've presented, you were not able to validate it against quantitative data and methane measuring?

ANTWORT

It has been evaluated, I showed three references there. It has been evaluated against other data, which I didn't show here. But the actual data I showed here are not all sufficient to do that job.

BERG, BONN

Thanks very much for your presentation. I liked it very much. May be at one point that is because I'm a modeller myself. I think that modelling using modelling also as a means of communication has a nice way to form the linkages across disciplines. I'm an economist, by the way. I've understood most of what you told us here. The only thing I didn't particularly like was some of the nominations of model types. So I have a few comments on the wording. You made a distinction between mechanistic and empirical. I didn't really like this wording, because all models should be empirical in a way that they relate to an empirical context. Otherwise they wouldn't help us to solve any problem, would they? So they're all empirical. We are not mathematicians, just thinking about number of theories and such things. Mechanistic on the other hand, sounds a little bit like clockwork modelling. There are models around, which even provide for reorganizational patterns. They are far beyond mechanistic modelling. I'd rather referred to the two types as structured versus purely statistical or white

box versus black box approach or explanatory. May be that's the best way to put it, versus behaviour. The important thing is, that the structured models, what you called mechanistic, they are formulated in a way that the structural coefficients have an empirical meaning. You can interpret them, whereas the purely statistical models come up with coefficients, which simply relate to some aspect of transfer, without shading any light on the processes behind this transformation or then may be distinction. There is another important point, which also relates to these two types of modelling. That has something to do with the evaluation of models or evaluation of model performance. When models are compared, they're normally compared on a basis of some mean squared errors or other error measures. I don't think, that in all cases really meets the point, because especially the structured models are often made in order to get the dynamics right. Models are incomplete in any case. We never modelled a world, if a model would be as complicated as the real world, it would not help us to understand. So models are incomplete and since they're incomplete, there is no way to perfectly trace historical data. So there will be modelling errors. Whether a model gets the dynamics of the process right, can't be easily measured by means squared errors. You can perfectly fit a data series simply by using a polynomial function of some high degree. You can even get the error down to zero, but of course the model wouldn't help to solve any problem. So it's much more important to check whether the model gets a dynamic feature. What are the general properties of model response? Do we have monotonic increase or decrease, do we have cyclic behaviour, do we have some stranger tractor like limit cycles or even character commotions? And can we relate these properties to what we know in the empirical context? Because that's the way, that may give us a handle on instrumental variables to change the model results, to change the behaviour of this system in a way we want to influence it.

ANTWORT

I agree with you, that the term empirical mecha-

nistic is debatable. Any mechanistic model is at the lower level again empirical by itself because you can only explain it at that sublevel, that's the lower level, it's empirical the lower level, the advantage of what I see of using to mechanistic is that it shows that you're concerned about the cross relationship. The mechanistic model or the structured model, how you call it, gives you a better opportunity to link up with people to do the experiments. Your experiments on microbiology in the rumen, that gives you numbers that you can use, if you are as a modeller on that level. About evaluation, you're completely right. There is so much about evaluation, lots of book elements on evaluation models. I simply chose because the methane prediction is simply a prediction on average for a day. I simply took it into the MSB and CCC analysis, but there are many more. I agree with you on that one.

WALLACE, UK

Actually, when I put my hand up, I was going to make the same comment as the last questioner that mechanistic modelling just seems to be a collection of empirical models. But I'd also like to pick up on a question and that is about animal variation. How can modelling help us to take advantage of inter-animal variation to benefit the genetics of the flock?

ANTWORT

You can do it in two ways: If you're interested in the average response, but also in the variation around the response, like you saw yesterday, with really feed intake that is based on variation around the mean, then what you can do is to build the model at random stochastic elements. The size of those elements and the way you place those elements, you can link up to what you ever see happening in observations. So in that way, a model can help to trace where perhaps that information might be. There are examples of that in literature. But the other is obviously, if you look at animal variation, what a modeller would say, building this type of mechanistic models you only get one single answer given a certain input. So the first thing you'd like to say is: Was the intake, e.g., exactly the

same? If it was the same, was it perhaps a difference in intake pattern? That may cause a difference in response, although you see, over the day, the same dry matter intake. Now, what a modeller would do then is to make this model and to look at the sensitivity towards, e.g., a feed intake pattern, given the same total environmental intake. And that will help you again, to see where the variation is.

WALLACE, UK

But a lot of the variation must be due to the microbial community in the rumen, which is my follow on question. Are you incorporating that type of community analysis into models these days?

ANTWORT

No, we don't. And the reason for that is that we see community changes, like you also showed changes in the community structure, but as a modeller you need to know, what is the function? How does it change its function? In theory you can have a difference change in its structure, but haven't the same function. So if we don't know yet, how we can link that change in structure to function, it's hard for a modeller to do that job.

ZOLLITSCH, WIEN

You showed us quite a bit information about the limitations of modelling within a genesis, but remembering what Professor Flachowsky told us yesterday, that actually N<sub>2</sub>O-emissions eventually may have a greater impact on the global warming potential, I'm wondering what your feeling is about the state of the art of modelling gases or related gases other than methane. Can you give us a few ideas?

ANTWORT

My personal feeling is I've looked into those models, that they can be improved quite a lot. They tend to be models that are either very empirical in nature and are very difficult to get measurements, it's also difficult to measure. Those are related to very cruel measurements like temperature or salt type. What I'd

do, if the behaviour of the soil micro-organisms is essentially not different from other micro-organisms. I don't see that the principles of mathematic modelling apply to microbes. And I haven't seen that the supply to models for nitrate formation. You have all approaches of immobilisation nitrogen, mineralisation etc., when N-dioxide is being formed, it's in my view not difficult to model that in theory at least. And there you can see which parameters are lacking and which measurements I should try to gain improvement of my models. I guess that there's a lot to gain on that one. We've extended this rumen model, e.g., to model about fermentation? Within the manure storage. You can apply the same principles there. I guess that should also be possible in the soil.

ZEHETMEIER, WEIHENSTEPHAN

Thank you for your interesting presentation. I also try to model a dairy system and I try to model the whole system. The biggest point is to pick the best equation for methane emissions. My question is a bit similar to your last answer. You showed us your mechanical model you showed us a decrease of methane output over the last years in the Netherlands. You told us, that there was an increase of maize and may be of concentrate intake of the cows. I read some studies, and they showed that there might be a decrease in methane output from the rumen, but there might be an increase in the global excreta then. How would that be involved in the Netherlands' model?

ANTWORT

That's a good point. You can do lots of things about the rumen that could change obviously the rumen level, improve it. But if at some other level of the whole system something else is changed, because you change part in rumen, the net effect may be zero or even negative. You have to take into account all the other effects. About what happened with the manure? Yes, we've started to make model about the manure. First of all, you need to know the manure composition, e.g., for soil people, they told us it's very important to know the carbon to nitrogen ratio, what's

happening in the soil and the same with the manure storage. If you want to know how much ammonia, e.g., is being released, that may depend on how much carbon is there for the microbes to keep the nitrogen with them and in the microbial biomass. Usually speaking though, the amount of methane from the manure, you know that, is less than the amount of methane being formed from rumen fermentation. So as a rough guide, if you change some of the rumen level, you may have some effects from manure level, but usually the total effect is still positive. But I agree completely with you, we should take all aspects into account. It's just that we're aware of the most important one, quantitatively speaking, methane in rumen, have that one correctly, if you want to predict on a whole farm, what's happening.

REINSCH, DUMMERSTORF

My question is on the total amount of methane emission per kilogram of milk. As far as I understood the gas emissions during the weaning period of the cow are not included. Does it place extra difficulties to calculate values for the weaning period? What has to be done in your modelling work?

ANTWORT

Looking at the structure of the system, that's a big challenge, because, when you talk about the young stock, at least part of that initial months the animal is developing its rumen. It comes from using the milk to eating roughage and developing its microflora etc. So that's a big challenge for modellers, because you cannot supply this type of rumen models for an animal which is completely adjusted to eating fibre material. That would be your first challenge there. The second challenge is then, there's lots of data on diet composition etc., for dairy cattle, but, as you know, also for the farmers, there's much less attention to what you feed the young stock. So the data, that's the other thing, data is also not always there to build good decision soon. What the modeller would say, I've shown with this model, it's very important to know how much fibres and dietary starch and the degradation rate of

both etc, but there's hardly any data around, how that does effect that the young animal compared with the old or the mature cow. So, yes, the young stock is important to consider that, but the amount of information we have is simply not enough to do a proper job there.

SWALVE, HALLE

You showed us that it is clearly possible to model the methane production of the cow with various models and you told us about the importance of modelling and being an animal breeder, I use models all the time, I'm very fond of this. How can you continue from here? What do you need to improve your predictions, what kind of data do you need? And what are your plans for the future?

ANTWORT

My plans for the future are, if you look at the methane problem, you see that lots of experimental work is actually looking into all kinds of additives and rumen microbial changes and whatever you have, like the fumaric acid, that you showed, or the tannins and saponines, and whatever you have. If you have additives, which work, and I'm concerned a bit that lots of additives work in feed trough, but don't show an effect in the animal itself, but if you found one, which working in the animal itself, what I'd like to do, and this is also part of our strategy for the fatty acids, we would like to incorporate the hypothesis of how, e.g. the fatty acids will effect the methane formation and incorporate that into the model, because that is lacking. We cannot evaluate using this model, what the effect will be from, e.g., adding saponines, because it's simply not in the model and you cannot predict it. So once we've come up with additives that seem to work, it's been nice to include a kind of mechanism in the model and evaluate the use of the model than to evaluate also under which circumstances according to the model, which dietary compositions that additive will work or will work in a lower response. So that's the way we look at it. We're trying to look into mechanisms more of specific feed additives. Do a better job here.

# Undesirable substances in ruminant nutrition – The bright and the dark side of the rumen



## 1 Introduction

According to the feed law a feed ingredient or a substance in feed is considered as undesirable if it is suited to adversely affect the health of the animals, to induce residues of human health concern in edible tissues or to have a negative impact on the environment.

Many of these substances are listed with upper limits which must not be exceeded (e.g. polychlorinated dibenzo-para-dioxins [PCDDs] and polychlorinated dibenzofurans [PCDFs]), while for others guiding values exist for a harmonized management (e.g. deoxynivalenol [DON], ochratoxin A [OTA], fumonisins). In addition, some substances are not regulated at all but might become undesirable depending on a certain feeding situation (e.g. tryptophan, sulfur).

Some substances might become undesirable not before being altered in their structure due to chemical modification mediated by endogenous enzymes especially of the intestinal mucosa and the liver or by the action of the microbiota of the digestive tract. The latter occurs post-gastric and mostly post-small intestinally in monogastric animals while the rumen serves as a pre-gastric and thus pre-systemic metabolization chamber. Consequently, substances which become more toxic by microbial metabolization might induce more serious adverse effects in ruminants compared to monogastrics while the opposite might be expected from potentially toxic feed substances which underlie microbial inactivation. The order of magnitude of both aspects depends in many cases on an adequate

adaptation of the microbes to the respective substrates. In this regard, the absence or presence of metabolizing capacity for certain substances was shown to be dependent on the geographical region where ruminants were kept and on ruminant species.

Table 1 summarizes selected examples of compounds which undergo ruminal metabolism resulting either in an increase (dark) or a decrease (bright) in toxicity or biological activity. Others are poorly metabolized or not altered at all (neutral) and overlapping between dark, bright and neutral effects might occur.

Formononetin and biochanin A are referred as to so-called phytestrogens while the mycotoxin zearalenone is considered as a mycestrogen. Deoxynivalenol is a *Fusarium* toxin with feed intake depressing effects (mainly in monogastric animals) and immuno-modulatory properties. Pyrrolizidine alkaloids can be found in many plants and some of them are known as potent hepatotoxins (see below) while other alkaloids (ergovaline, ergometrine) are fungal derived substances with pharmacological properties (see below). Excessive sulfur intake by ruminants might result in the S-associated polioencephalomalacia mediated by excessive ruminal sulfur hydrogen formation. Three-methylindole which is ruminally formed from tryptophan was found as the causative substance of the acute bovine pulmonary edema and emphysema in cattle. PCDDs/PCDFs are mostly of interest from a consumer protection point of view

because of their lipophilic properties giving rise to accumulation in milk.

Table 1: Consequences of ruminal metabolism of certain compounds occurring in feed for ruminant health (Dark: Potentially adverse Bright: Potential benefits; compiled from various references)

Mother substance	Main rumen metabolites	Dark	Neutral	Bright
Formononetin	Equol	x		
Biochanin A	p-ethylphenol			x
Zearalenone	$\alpha$ -zearalenol (ZOL), $\beta$ -ZOL		x	x
Deoxynivalenol (DON)	de-epoxy-DON			x
Pyrrolizidine alkaloids	methylated derivatives			(x)
Ergovaline	Lysergic acid	x		
Ergometrine	Ergometrinine, Lysergic acid (?)	x	x	
Sulfur (in excess)	sulfur hydrogen	x		
Tryptophan	3-methylindole	x		
PCDDs/PCDFs <sup>1</sup>	~		x	

<sup>1</sup>polychlorinated dibenzo-para-dioxins/ polychlorinated dibenzofurans

Note: Adaptation to the respective substrates and the surrounding milieu which can largely be modified by feeding might contribute to the overall effects.

In the view of the nearly uncountable number of potentially undesirable substances in diets for ruminants only a small number of them (Alkaloids listed in Table 1) can be considered here and the selection is therefore based on their recent or general importance in ruminant nutrition.

## 2 Alkaloids

Alkaloids are defined as compounds containing nitrogen which is usually incorporated in a heterocyclic ring. Moreover, their pH is generally in the alkaline range which is the reason why they are referred as to alkali-like substances or simply as alkaloids. Further common features are their bitter taste and pharmacological activity. As plant alkaloids they serve as chemical defences against herbivory (Chee 1988).

Alkaloids might be produced by plants (e.g. pyrrolizidine alkaloids, PAs, by *Senecio jacobaea*) or other organisms such as fungi (e.g. Ergot alkaloids by *Claviceps purpurea* or by *Epichloe* (anamorph *Neotyphodium*, formerly named as *Acremonium*) *coenophialum* or *N. lolii* growing endophytic in various grasses).

### 2.1 Pyrrolizidine alkaloids

PAs contain the pyrrolizidine core and constitute a large group of heterocyclic alkaloids of approximately 350 individual compounds mainly derived from the four necine bases platynecine, retronecine, heliotridine and otonecine. They are produced by more than 6000 plant species belonging to the families *Boraginaceae*, *Compositae* (*Asteraceae*) and *Leguminosae* (*Fabaceae*). PAs are hepatotoxic when they bear a 1,2-double bond and a branch in an esterified side chain which gives rise to hepatic activation (EFSA 2007).

During the past years, extensive pasture systems and ecological management gave rise to an increase in the diversity of plants growing at such pastures including species containing toxic alkaloids among which *S. jacobaea* (tansy ragwort) gained most attention and case studies of acute seneciosis have been

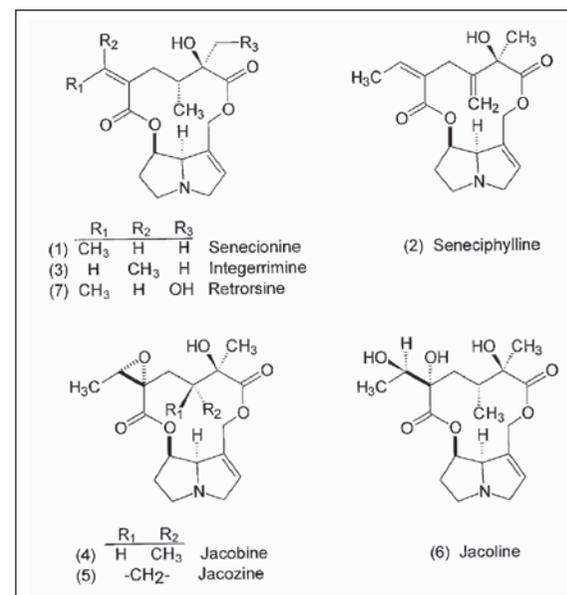


Figure 1: *Senecio jacobaea* (tansy ragwort) pyrrolizidine alkaloids (macrocyclic diesters of the necine base retronecine) (Hoovermale and Craig 2002)

reported (e.g. Walsh and Dingwell 2007). The pyrrolizidine alkaloids in *S. jacobaea* are macrocyclic diesters of the necine base retronecine with jacobine and seneciphylline being the two most abundant PAs (Figure 1; Hovermale and Craig 2002). The total PAs content was shown to vary between 200-3200 mg/kg DM (Macel et al. 2004).

Cattle are regarded as especially sensitive to *S. jacobaea* PAs as they develop a hepatic fibrosis after ingestion of an amount of transy ragwort equivalent to approximately 5% of body weight while for sheep and goats several hundred percent of body weight are required to induce similar hepatotoxicity. Based on comparative *in vitro* studies using liver microsomes it could be demonstrated that the *in vitro* pyrrole production correlated well with the with susceptibility to PAs and sensitive species such as cattle showed higher pyrrole production rates than less susceptible species (Shull et al. 1976). Although some PAs are metabolized by rumen micro-organisms to a varying degree this metabolism does obviously only incompletely protect the cattle from PAs poisoning.

Heliotrine, the non-macrocyclic PA synthesized by *Heliotropium europaeum* was demonstrated to be cleaved by ovine rumen fluid to a methyl-derivative (Lanigan 1970, Lanigan 1971, Cheeke 1988). This degradation can be viewed as a detoxification since the structural preconditions for hepatic pyrrole formation (see above) are not given any longer (Figure 2). Based on *in vitro* studies it was concluded that heliotrine-metabolizing bacteria compete with methanogenic bacteria for hydrogen which is required for the reductive degradation of this PA. However this competition is at disadvantage for the heliotrine-metabolizing bacteria and suppression of methanogenic bacteria obviously favours heliotrine degradation (Lanigan 1970). Vitamin B12 was shown as one factor required for stimulation of heliotrine metabolism by ovine rumen fluid although other factors seemed to be rate-limiting. Moreover, individual variation and diet effects (roughage type, naive versus PA-adapted rumen micro-organisms) were discussed as factors influencing heliotrine metabolism in the

sheep (Lanigan 1971). Later, an obligatory anaerobic, gram-positive coccus was isolated from ovine rumen content, taxonomically characterized and named as *Peptococcus heliotrinreducans* to reflect the reductive cleavage of the heliotrine molecule (Lanigan 1976). In contrast to the ability of metabolizing the non-macrocyclic heliotrine *P. heliotrinreducans* was shown to be unable to degrade the macrocyclic *S. jacobaea* PAs jacobine and seneciphylline.

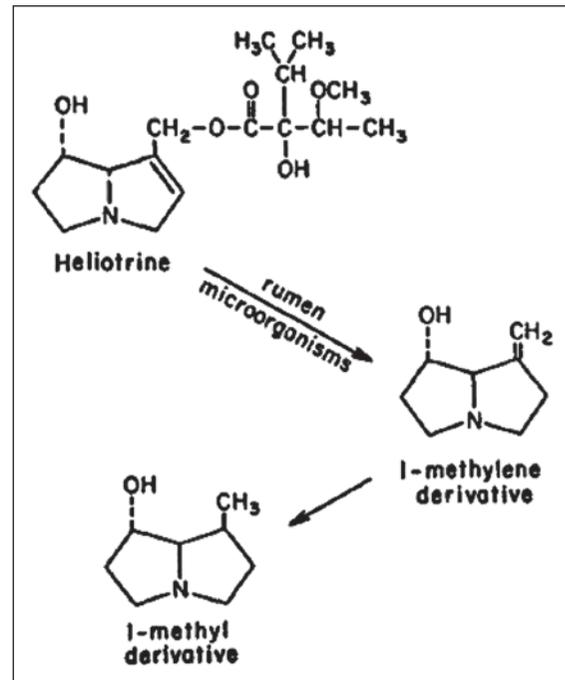


Figure 2: Metabolism of the pyrrolizidine alkaloid heliotrine in sheep rumen (Cheeke 1988)

However, a mixed culture of ovine ruminal microbes was demonstrated not only to metabolize heliotrine but also jacobine and seneciphylline with the formation of very low levels of the corresponding 1-methylene compounds (Craig et al. 1992; Hovermale and Craig 2002).

Taken together, the potential of degrading macrocyclic *S. jacobaea* PAs seems to be present in the rumen but the extent does obviously not protect from senesciosis as indicated by reported outbreaks (e.g. Walsh and Dingwell 2007).

## 2.2 Ergot alkaloids

These alkaloids do originate from fungus infected plants and are formed by various genus of the *Clavicipitaceae* family. While alkaloids of *C. purpurea* occur mainly on rye, triticale and wheat in the sclerotia of the fungus which can be found as solid and mostly dark particles occupying the place where normally individual grains develop the alkaloids of *N. coenophialum* can be found within the infected plant as this fungus is characterized by a so-called endophytic life cycle. The latter means that it grows intercellular and resides within the leaf, sheaths, and flower culms of the grass host (Porter and Thompson, Jr. 1992). While *N. lolii* is found mainly in perennial rye grass (*Lolium perenne*) the endophyte *N. coenophialum* is a symbiont in tall fescue (*Festuca grass, Festuca arundinacea*). It needs to be considered that endophytic infection does not only result in ergot alkaloid formation but also in the synthesis of a number of further alkaloids which makes it difficult to assign toxic effects to a particular alkaloid although literature findings suggest a main role of ergot alkaloids in clinical signs of intoxication by grazing endophyte infected grasses (see below).

### 2.2.1 Endophyte infection related ergot alkaloids

*N. coenophialum* infected tall fescue is characterized by an increased resistance to insect attack, root invasion by nematodes, and drought stress when compared to the non-infected grass. Chitinase production by the plant in response to endophyte infection is assumed as one insect resistance factor while thickening of the root endodermal layer is considered as a resistance factor protecting from nematode invasion. The drought stress in endophyte infected tall fescue is counteracted by morphological and physiological adaptations such as leaf rolling, leaf

senescence, stomatal closure, and osmotic adjustment (Joost 1995). However, alkaloids are also involved in the described resistance. Three types of alkaloids might be detected in tall fescue; namely the diazaphenanthrene alkaloids, the ergot alkaloids and the pyrrolizidine alkaloids with the latter being saturated and thus structurally and biologically different from the *S. jacobaea* PAs, including the lack of hepatotoxicity. While the diazaphenanthrene alkaloids can be found both in endophyte-free and endophyte infected tall fescue, the ergot and pyrrolizidine alkaloids are only present in endophyte infected grass (Westendorf et al. 1993). Although all of these alkaloid groups are suspected to be potentially toxic the ergot alkaloids are regarded as the toxic principle of the tall fescue toxicosis (e.g. Westendorf et al. 1993). Ergovaline is considered as the primary ergopeptine alkaloid of *N. coenophialum* responsible for livestock toxicosis. Besides this alkaloid lysergic acid amide (ergine), the clavine class of ergot alkaloids (chanoclavine I, agroclavine, elymoclavine, penniclavine), the pyrrolizidine alkaloids (N-formyllooline, N-acetyllooline, N-methyllooline, N-acetylnorlooline) and the pyrrolopyrazine alkaloid peramine have been detected (Figure 3, Porter 1995).

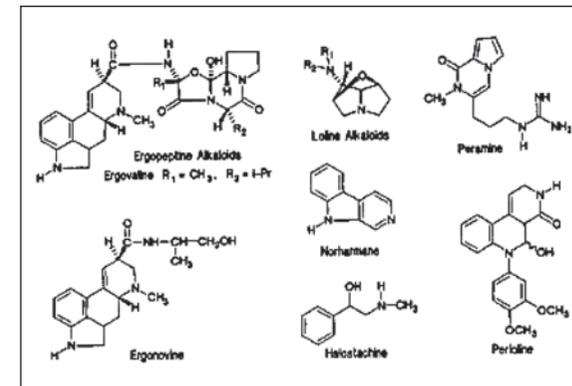


Figure 3: Typical alkaloids reported to occur in endophyte infected tall fescue (Yates et al. 1990)

Based on a literature compilation the concentrations of lolines, ergovaline and peramine were 1800-5000, 2-6 and 4 mg/kg in *Neotyphodium* infected tall fescue while ergovaline, peramine and lolitrem concentrations in perennial ryegrass seed and forage were 5, 5-40 and 5-10 mg/kg (Porter 1995), respectively, indicating overlapping alkaloid patterns. Moreover, lolitrem B can also be formed by *N. coenophialum* (Porter 1995). *N. coenophialum* infection was detected in 8 out of 10 seed samples of commercial cultivars of tall fescue. The ergovaline concentration in ranged from 0.02 to 3.71 mg/kg in the seeds and an exponential relationship between the percentage of infection of the seeds and ergovaline concentration was found ( $r^2= 0.876$ , deAldana et al. 2001). Moreover, the concentration of endophyte mycelium in leaf sheaths was shown to be positively correlated to the loline alkaloid accumulation (Bush et al. 1993).

Toxic effects of grazing on endophyte infected tall fescue are clinically manifested as the so-called tall fescue toxicosis which is described by decreased body weight gain, intolerance to heat, salivation, increased body temperatures and respiration rates, rough hair coats, poor milk production, and reduced conception rates (Westendorf et al. 1993). Ergot alkaloids exert vasoconstrictive effects which is the reason why heat stressed cattle suffer much more from grazing of endophyte infected grasses than non heat-stressed animals. Moreover, these alkaloids interfere with dopamine and prolactin, and dopamine antagonists were shown to increase serum prolactin. Moreover, it has been demonstrated that injections of an alpha-1 adrenergic antagonist (prazosin) in rats fed endophyte infected grass and kept at 32°C increased dry matter intake and reduced rectal temperature (Paterson et al. 1995). Furthermore, it has been suggested that alkaloid ingestion from endophyte infected tall fescue induces thiamine deficiency in cattle resulting in tall fescue toxicosis (Dougherty et al. 1991); a situation which can partially overcome by thiamine supplementation. As a reason for this protective effect it was assumed that loline induced thiamine deficiency is caused by ruminal thiminases using lolines as

cosubstrates (Lauriault et al. 1990, Dougherty et al. 1991). With regard to nutrient digestion it was found that feeding infected tall fescue seed inhibited ruminal NDF digestion and increased the sensitivity of sheep to heat stress (Westendorf et al. 1993, Hannah et al. 1990).

Some ergot alkaloids (dihydroergotamine, ergonovine, and ergotamine) were shown to influence populations of *Escherichia coli* O157:H7 in mixed ruminal fluid culture (Looper et al. 2008) and thus might have the potential to affect other micro-organisms as well and consequently influence rumen fermentation of nutrients and alkaloid metabolism itself.

Ergovaline was shown to be degraded markedly *in vitro* when incubated with rumen fluid (Moyer et al. 1993). However, other authors failed to detect an ergovaline reduction after incubation of endophyte infected tall fescue with rumen fluid for 48 h. At the same time, a significant increase in lysergic acid and lysergol was found (Ayers et al. 2009). Moreover, using the Ussing chamber technique it could be demonstrated that only lysergic acid crossed the rumen mucosa while ergovaline did not. Examination of urine of steers grazing endophyte infected tall fescue for alkaloids revealed solely lysergic acid which supports the results of the Ussing chamber experiment. The authors concluded from these results that lysergic acid may be involved in the fescue toxicosis syndrome. In addition, it was suggested that lysergic acid might be formed by cleavage of the side chain of ergovaline by rumen micro-organisms (Ayers et al. 2009). The poorer ability of ergopeptine alkaloids to cross forestomach mucosa was confirmed by other authors using also the Ussing chamber technique. They demonstrated lysergic acid and lysergol to have the greatest transport potential when compared to the ergopeptine alkaloids. The latter tended to pass across omasal tissues to a greater extent than across ruminal tissues. However, taken together their transport was much smaller compared to lysergic acid and lysergol (Hill et al. 2001).

*In vivo* experiments using abomasally cannulated sheep revealed that 68% of the pyrrolizidine alkaloids

from endophyte infected tall fescue were recovered in abomasal contents with loline as the degradation product of N-formyl and N-acetyl loline. Ergot alkaloid recovery in the abomasal content amounted to approximately 50 to 60% while only 5% in was recovered at the faecal level suggesting intestinal absorption and/or further degradation (Westendorf et al. 1993).

### 2.2.2 Ergot alkaloids from *C. purpurea*

Usually, ergot alkaloids from *C. purpurea* are divided into three groups according to their structure, namely the alkaloids of the clavine type, simple amids of lysergic and paspalic acids and alkaloids of the peptine type. The peptine alkaloids consist of ergotamines (ergotamine, ergosine, ergosecaline, and others), ergotoxines (ergocryptine, ergocornine, ergocristine, and others) and ergoxines (for example ergostine) (see Figure 4 for selected alkaloids). When discussing the effects these alkaloids it has additionally to be considered that these compounds are extremely susceptible to epimerisation at the C-8 position. This epimerisation takes place in either acidic or alkaline conditions and might occur during sample preparation for analysis but also *in vivo* under

the conditions of the pH-fluctuations in the digestive tract (~ pH 2 – pH 7). Thus the names of the C-8 epimers are completed by the suffix -inine (e.g. ergotamine and ergotaminine) (Porter 1995). Thus for a first step of evaluation of toxic effects of this group of ergot alkaloids it seems reasonable to sum up all alkaloids which can be quantified by HPLC and to refer this sum as to total alkaloids.

The alkaloid concentration in ergot collected from Germany varied between 863 and 1620 mg/kg ergot for the harvest 2004, while variations between 42 to 343 mg/kg ergot were reported for the 2003 harvest (Mainka 2006). Earlier studies reported comparable ranges between 900 and 2100 mg/kg (Wolff 1989). Canadian rye was characterized by an ergot alkaloid concentration between 100 and 4500 mg/kg ergot (Young 1981).

Compared to the endophyte infection related ergot alkaloids only a few studies were devoted to the ruminal metabolism of *C. purpurea* derived ergot alkaloids. Approximately 70% of total ingested alkaloids were recovered at the proximal duodenum of dairy cows exposed to increasing amounts of ergot alkaloids from 4 to 16 µg/kg body weight (Figure 5, Schumann et al. 2009) which suggests ruminal

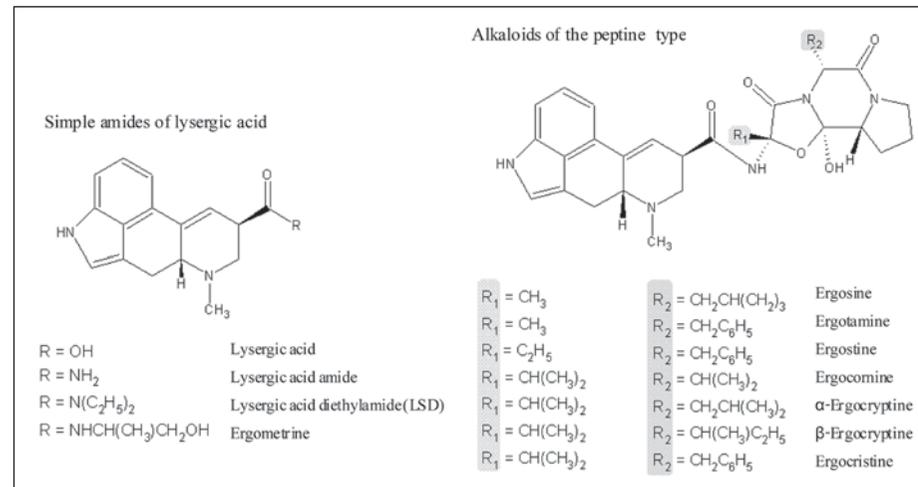


Figure 4: Structure of simple lysergic acid amides and peptine alkaloids (Bös 2000)

metabolism of the remaining 30% to metabolites not detectable by the applied HPLC method and/or absorption across ruminal mucosa. The latter process seems to be rather unlikely (see above) while the cleavage of lysergic acid from certain alkaloids and the subsequent absorption of this acid could explain the results with the dairy cows. Moreover, only 35% of the total alkaloids recovered at the duodenum were excreted via faeces which suggests further alkaloid metabolism and/or absorption in the distal digestive tract. Looking to the individual alkaloids it becomes obvious that a pH related effect might be the reason for the higher levels of ergotamine compared to ergotaminine while the opposite was observed at the faecal level (Figure 6, Schumann et al. 2009) (note the differences between the pH values at the duodenum of ~ 2-4 and at the faecal level of ~ 7).

However, the biological effects of ergot alkaloids were still present in these cows as indicated by an alkaloid intake related increase in body temperature (Schumann et al. 2008) despite the described ruminal and gastrointestinal alkaloid alterations. The rise in body temperature might be viewed as a biological indicator for the inefficiency of the rumen to prevent the vasoconstrictive effects of ergot alkaloids and/or their metabolites.

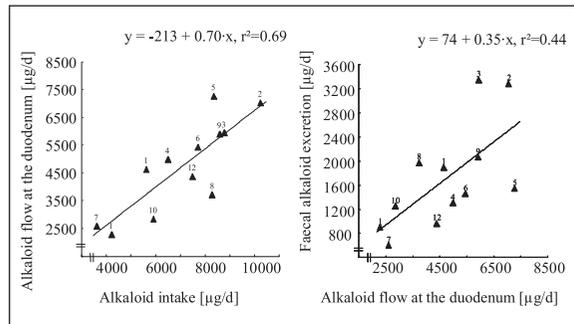


Figure 5: Alkaloid flow at the duodenum in dependence on alkaloid intake (left) and faecal alkaloid excretion in dependence on alkaloid flow at the duodenum (right) (Numbers close to the symbols denote individual cows) (Schumann et al. 2009)

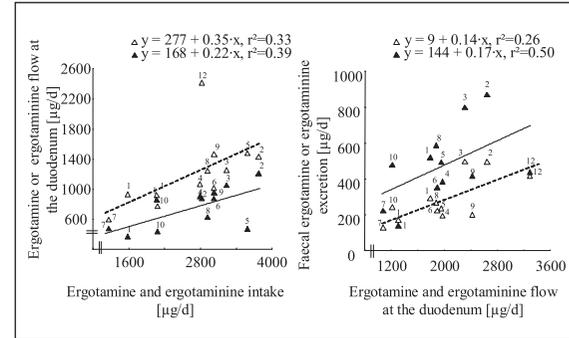


Figure 6: Ergotamine (filled triangles) and ergotaminine (unfilled triangles) flow at the duodenum in dependence on their intake (left) and faecal ergotamine (filled triangles) and ergotaminine (unfilled triangles) excretion in dependence on their flow at the duodenum (right) (Numbers close to the symbols denote individual cows) (Schumann et al. 2009)

### 3 Conclusions

A strong differentiation between a dark and a bright side of the rumen does certainly not apply for all situations as discussed above and rather neutral or nil effects also occur. Taken together, the rumen bears the potential for inactivation of a number of substances while others might become undesirable by ruminal action. Adaptation to the respective substrates and the surrounding milieu which can largely be modified by feeding might contribute to the overall effects.

### References

- Ayers AW, Hill NS, Rottinghaus GE, Stuedemann JA, Thompson FN, Purinton PT, Seman
- DH, Dawe DL, Parks AH, Ensley D. 2009. Ruminal Metabolism and Transport of Tall Fescue Ergot Alkaloids. *Crop Sci* 49:2309-2316.
- Bös B. 2000. Das Giftpflanzen-Compendium. [Internet: URL: <http://www.giftpflanzen.com>]
- Bush LP, Fannin FF, Siegel MR, Dahlman DL, Burton HR. 1993. Chemistry, Occurrence and Biological Effects of Saturated Pyrrolizidine Alkaloids Associated with Endophyte Grass Interactions. *Agriculture Ecosystems & Environment* 44:81-102.

- Cheeke PR. 1988. Toxicity and metabolism of pyrrolizidine alkaloids. *J Anim Sci* 66:2343-2350.
- Craig AM, Latham CJ, Blythe LL, Schmotzer WB, O'Connor OA. 1992. Metabolism of toxic pyrrolizidine alkaloids from tansy ragwort (*Senecio jacobaea*) in ovine ruminal fluid under anaerobic conditions. *Appl Environ Microbiol* 58:2730-2736.
- deAldana BRV, Ciudad AG, Zabalgogezcoa I, Criado BG. 2001. Ergovaline levels in cultivars of *Festuca arundinacea*. *Anim Feed Sci Tech* 93:169-176.
- Dougherty CT, Lauriault LM, Bradley NW, Gay N, Cornelius PL. 1991. Induction of tall fescue toxicosis in heat-stressed cattle and its alleviation with thiamin. *J Anim Sci* 69:1008-1018.
- EFSA. 2007. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission related to pyrrolizidine alkaloids as undesirable substances in animal feed. *The EFSA Journal* 447:1-51.
- Hannah SM, Paterson JA, Williams JE, Kerley MS, Miner JL. 1990. Effects of increasing dietary levels of endophyte-infected tall fescue seed on diet digestibility and ruminal kinetics in sheep. *J Anim Sci* 68:1693-1701.
- Hill NS, Thompson FN, Stuedemann JA, Rottinghaus GW, Ju HJ, Dawe DL, Hiatt EE. 2001. Ergot alkaloid transport across ruminant gastric tissues. *J Anim Sci* 79:542-549.
- Hovermale JT, Craig AM. 2002. Metabolism of pyrrolizidine alkaloids by *Peptostreptococcus heliotrinreducens* and a mixed culture derived from ovine ruminal fluid. *Biophys Chem* 101-102:387-399.
- Joost RE. 1995. *Acremonium* in fescue and ryegrass - boon or bane - a review. *J Anim Sci* 73:881-888.
- Lanigan GW. 1970. Metabolism of pyrrolizidine alkaloids in the ovine rumen. II. Some factors affecting the rate of alkaloid breakdown by rumen fluid in vitro. *Aust J Agric Res* 21:633-639.
- Lanigan GW. 1971. Metabolism of pyrrolizidine alkaloids in the ovine rumen. III. The competitive relationship between heliotrine metabolism and methanogenesis in rumen fluid in vitro. *Aust J Agric Res* 22:123-130.
- Lanigan GW. 1976. *Peptococcus heliotrinreducans*, sp. nov., a cytochrome-producing anaerobe which metabolizes pyrrolizidine alkaloids. *J Gen Microbiol* 94:1-10.
- Lauriault LM, Dougherty CT, Bradley NW, Cornelius PL. 1990. Thiamin supplementation and the ingestive behavior of beef cattle grazing endophyte-infected tall fescue. *J Anim Sci* 68:1245-1253.
- Looper ML, Edrington TS, Moubarak AS, Callaway TR, Rosenkrans CF, Jr. 2008. Effects of the ergot alkaloids dihydroergotamine, ergonovine, and ergotamine on growth of *Escherichia coli* O157:H7 in vitro. *Foodborne Pathog Dis* 5:599-604.
- Macel M, Vrieling K, Klinkhamer PG. 2004. Variation in pyrrolizidine alkaloid patterns of *Senecio jacobaea*. *Phytochemistry* 65:865-873.
- Mainka S. 2006. Zum Einfluß von Mutterkornalkaloiden im Futter auf Gesundheit und Leistung von Schwein und Huhn. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen
- Moyer JL, Hill NS, Martin SA, Agee CS. 1993. Degradation of ergoline alkaloids during in vitro ruminal digestion of tall fescue forage. *Crop science* 33:264-266.
- Paterson J, Forcherio C, Larson B, Samford M, Kerley M. 1995. The Effects of Fescue Toxicosis on Beef-Cattle Productivity. *J Anim Sci* 73:889-898.
- Porter JK. 1995. Analysis of endophyte toxins: fescue and other grasses toxic to livestock. *J Anim Sci* 73:871-880.
- Porter JK, Thompson FN, Jr. 1992. Effects of fescue toxicosis on reproduction in livestock. *J Anim Sci* 70:1594-1603.
- Schumann B, Lebzien P, Ueberschär KH, Dänicke S. 2009. Effects of the level of feed intake and ergot contaminated concentrate on ergot alkaloid metabolism and carry over into milk. *Mol Nutr Food Res* 53:931-938.
- Schumann B, Lebzien P, Ueberschar KH, Spilke J, Höltershinken M, Dänicke S. 2008. Effects of the level of feed intake and ergot contamination on ruminal fermentation and on physiological parameters in cows. *Mycotox Res* 24:57-72.
- Shull LR, Buckmaster GW, Cheeke PR. 1976. Factors influencing pyrrolizidine (*Senecio*) alkaloid metabolism: species, liver sulfhydryls and rumen fermentation. *J Anim Sci* 43:1247-1253.
- Walsh RB, Dingwell RT. 2007. Beef herd poisoning due to ingestion of tansy ragwort in southwestern Ontario. *Can Vet J* 48:737-740.
- Westendorf ML, Mitchell GE, Tucker RE, Bush LP, Petroski RJ, Powell RG. 1993. In vitro and in vivo ruminal and physiological responses to endophyte-infected tall fescue. *J Dairy Sci* 76:555-563.
- Wolff, J. (1989) Mutterkorn in Getreide. In: Getreidekonservierung und Futterschäden durch Getreide (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, L. u. F. & Referat Landmaschinen und Energiewirtschaft, eds.), vol. 30, pp. 28-36. Grub.
- Yates SG, Petroski RJ, Powell RG. 1990. Analysis of Loline Alkaloids in Endophyte-Infected Tall Fescue by Capillary Gas-Chromatography. *J Agric Food Chem* 38:182-185.
- Young JC. 1981. Variability in the content and composition of alkaloids found in canadian ergot. 1. rye. *J Environ Sci Heal* 16:83-111.

## Diskussion



BRUCKMEIER, BERN

You showed us a number of substances which would be caused by rumen fermentation or degradational metabolism. If you think to the consumer, for summary you presented also data that is either for ones entering to milk already. Estrogen-active substances. Would you expect any consequences with respect to substances orally efficient or effective if the consumer takes up this type of substances that would have any consequences?

ANTWORT

I have not calculated yet if this could be a danger for human, but in other cases, e.g. mycotoxins or for pyrrolizidine alkaloids, there is obviously no danger for human consumption, because the transfer rates are rather low. In most cases lower than 0.1 %, e.g.

STEINHART, HAMBURG

Thank you very much for this overview on these good and bad substances which occur as natural ingredients in feed. I have some remarks: You mentioned lysergic acids. Everybody knows, that lysergic acid is not a very good metabolite, but on the other hand, lysergic acid is formed as a metabolite of serotonin in the brain and then degraded very fast in the brain. The negative compound is LSD, which was the first synthetic drug in the sixties. I think lysergic acid is not so bad, but the problem is if LSD occurs. Another remark is you mentioned tryptophan. Tryptophan is the third or fourth limiting amino

acid. If you have an access of tryptophan in a diet, most of this tryptophan is degraded to nicotinic acid in this pathway. And this is removed through this main pathway. I think it is difficult to declare such an essential amino acid that it may be a problem in the health of animals or men. I remember, when we analyzed coffee, coffee beverage, we found about 960 compounds. And if you go through these compounds and we look into the literature about the metabolism of these compounds in coffee, nobody ever wants to drink a cup of coffee, because there are so many cancer producing ingredients. But they do not produce cancer, because the concentration is so low. They are metabolised in such a short time and nobody has to fear to get cancer by drinking two or three cups of coffee. I think the concentration is the next discussion, which we should have in mind, if we speak on a metabolism of such undesired substances. What is your opinion about that?

ANTWORT

First of all, thank you for your comments. Let me start with your first question, which relates to the effects of lysergic acid. I tried to show you, that some of the substances of these ergot alkaloids, which are not transformed by rumen microbes are absorbed as model substances and therefore the pharmacological effects, which can be observed, which are obviously present might be the result of a mixture of such substances, including lysergic acid. Then your second question related to tryptophan. I forgot to mention,

that this situation only occurs, if there is a sudden change from a poor pasture to a less poor pasture. Therefore, it might also be related to adaptation, which is one point here.

STEINHART, HAMBURG

I think this is a good explanation. That was a remark. The question of concentration I think you agree with that.

ANTWORT

It is difficult to derive such concentration effects from in vitro studies, therefore, in-vivo studies are still necessary.

BREVES, HANNOVER

Facing the typical feeding situation, you do not see a real risk in tryptophan turnover or sulphur turnover by the microbes to the animal.

ANTWORT

Only from the literature I know, that in the US there are feed lot cattle feeding is practiced. That they limited dried distilled grains. They set a limit, because of the sulphur content of the feed stuff. It might occur in the practical feeding conditions and you can easily work out the sulphur content of dairy cattle rations and you will find that under certain circumstances sulphur tolerance is exceeded, even under our feeding conditions. However, this is only temporarily. Sometimes at a rather marginal level, however, I tried to show that sulphur hydrogen might also affect the lungs and at very low concentrations it might be a contributor for infections, for pulmonary infections, for example.

MEYER, WEIHENSTEPHAN

Three comments: First to the zearalenone. So as a steroid biochemist, it is clear that the zearalenone is the key component that also has an affinity to the estrogen receptor. That should be plotted also in a correct manner. The question is, and whether the concentration that come up and this has been shown

also by people in New Zealand, that zearalenol is produced in the rumen. So whether these concentrations are of any importance. Second, the pyrrolizidin alkaloids. At the moment the dairy industry is again quite afraid about these components and this goes across newspapers and you can see this on TV and the internet at the moment. My question is, whether you are aware about any publication showing that these components are present in milk. So that they are in the nature no question but whether this it's really happening in our production practice that there is a transfer into milk. And this would be of real importance at the moment. And the third: Good alkaloids, may be important to mention, that they have been discovered because of their prolactin inhibition activity and it's known from women, that are eating contaminated bread, that lactation is inhibited. So that these are really strong components. And the key question to me would be here, whether the degradation in the rumen is efficient enough, that such effects in cattle do not occur.

ANTWORT

Thank you for your questions. Probably not just to begin with your last question, because we realised from our experiments, that even at very low or even at practically relevant alkaloid concentrations in dairy cattle rations there are pharmacological effects.. We simply measured body temperature and we found an increase in body temperature, which is due to the vasoconstrictory ??? effects, also that shows me that rumen degradation is not enough to remove all this toxic potentials and the prolactin interference is another example. I would guess the rumen metabolism is not sufficient to avoid such effects in dairy cows. Then to your second question, which relates to the transfer of pyrrolizidin alkaloids to the milk: The transfer, I mentioned this already, is rather low but it was shown to occur under experimental conditions but your question was: does this occur under practical conditions? And I would say there is no danger for human consumption of milk. You should be aware, if you have a clinical situation with such dairy cattles,

you should also be aware that there may be some of pyrrolizidin are in the milk, when you have clinically ill cattle. But in normal situations, I wouldn't say that there is a danger, because the transfer is rather low and intake probably rather low. This might be under certain circumstances. But this is always the problem with the risk evaluation, to cover all situations, all feeding situations. If you take a worst situation, then I would say: Yes, there is a problem, but I don't think we have too many worst situations. But I don't know

exactly. And the first question related to zearalenone metabolites: We analyzed all these metabolites in our physiological samples and we could detect in the case of bovine samples only alpha, beta and the mother substance zearalenone. Other zearalenone metabolites were not detectable. To my knowledge, from the literature the other substances at the bottom of this figure occur at rather low concentrations compared to the main metabolites.

# Resorption von Energieträgern: Quantität vs. Qualität



## 1 Vorbemerkungen

Dass die bisher erzielten Leistungssteigerungen von Milch- und Mastrindern einen stark erhöhten Energiebedarf nach sich ziehen, ist unbestritten. Ist dieser Energiebedarf nicht gedeckt, d.h., entwickelt sich eine negative Energiebilanz, ist nicht nur die Milch- bzw. Fleischproduktion eingeschränkt, sondern es steigt auch die Krankheitsinzidenz der Tiere (MARTENS 2010).

Prinzipiell gibt es verschiedene Möglichkeiten, den enormen Energiebedarf zu decken: einerseits über eine erhöhte Energiedichte der Nahrung, andererseits durch eine Optimierung der gastrointestinalen Degradation der Energieträger und durch eine Verbesserung der Absorptionskapazität für die Degradationsprodukte. Auf den ersten Blick bieten sich Wiederkäuer für Optimierungen der Verdauung an, da sie im Vormagen und Dickdarm ein breites Spektrum mikrobieller Enzyme besitzen, sie aber auch das körpereigene Enzymsystem des Pankreas und der Bürstensaummembran in den Enterozyten nutzen können (Abb. 1). Dadurch steht dem Wiederkäuer eine wesentlich größere Enzympalette zur Verfügung als dem Monogastrier. Diese Flexibilität in der Enzymsausstattung bedeutet aber nicht automatisch eine höhere Energieausbeute. So hat die mikrobielle Degradation von Kohlenhydraten zu SCFA (= Short Chain Fatty Acids: Acetat, Propionat, Butyrat) aufgrund der Energieverluste bei der Fermentation und der nachfolgend notwendigen Gluconeogenese für den gesamten Organismus eine geringere Energieeffi-

zienz als der Kohlenhydratabbau durch körpereigene Enzyme. MATTHÉ (2001) kalkulierte aus eigenen Daten und aus Literaturdaten die Effizienz der Stärkenutzung in Dünn- und Dickdarm im Vergleich zu einer ruminalen Degradation.

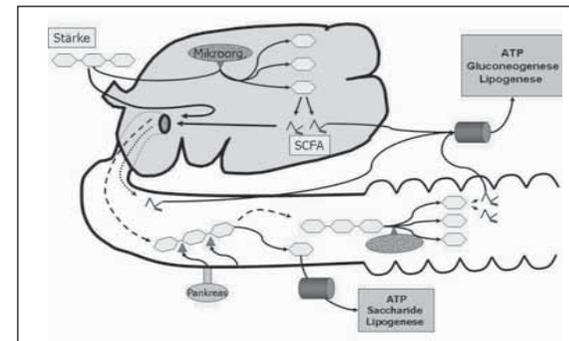


Abbildung 1: Möglichkeiten der Stärkerverdauung im Magen-Darm-Trakt von Wiederkäuern. Die aufgenommene Stärke kann im Vormagen zu kurzkettigen Fettsäuren (SCFA) abgebaut werden. Diese werden teilweise direkt resorbiert und stehen nach der Resorption den katabolen Prozessen zur Energiegewinnung bzw. den anabolen Prozessen wie Lipogenese und Gluconeogenese zur Verfügung. SCFA, die nicht direkt im Vormagen resorbiert werden, passieren nach distal und können hier dann resorbiert werden. Bypass-Stärke, die der ruminalen Degradation entweicht, wird durch die Pankreas- und Bürstensaumenzyme zu Glucose abgebaut, die dann direkt resorbiert werden kann. Die Stärke bzw. Glucose, die nicht im Dünndarm verwertet wird, wird der mikrobiellen Degradation zu SCFA im Dickdarm zugeführt.  $\Delta$ : Kohlenhydrat-abbauende Enzyme.

**Tabelle 1:** Energetische Kalkulation zur Stärkenutzung im Vormagen, Dünn- und Dickdarm bei unterschiedlichem Mengen von Bypass-Stärke. Berechnungen von MATTHÉ (2001) aus eigenen Daten und Daten/Berechnungen von MCBRIDE u. KELLY (1990), SHIRAZI-BEECHEY et al. (1995), BERGNER u. HOFFMANN (1997), CHUDY (1999). Die Gesamtbilanz des Energiegewinns (kursive und fette Zahlen) ergibt sich aus der Summe der Energiebilanz der einzelnen Magen-Darm-Abschnitte (fette Zahlen).

Nr.		Energieverlust	Stärkeeintritt in den Dünndarm (kg/Tag)		
			0	1,4	2,0
	Verdaulichkeit im Dünndarm (%)		--	60	40
			Bilanzierung (kJ/g Glucose)		
Bilanzierung für Vormagen und Dünndarm					
1	Energiegehalt Glucose		15,7	15,7	15,7
2	Ruminale Fermentation+Gluconeogenese	50% von Nr. 1	<b>7,9</b>	--	--
3	Hydrolyse im Dünndarm (60% bzw. 40%)	--	--	9,4	6,3
4	Resorption im Dünndarm	25 % von Nr. 3	--	<b>7,1</b>	<b>4,7</b>
Bilanzierung für Dickdarm					
5	Ausscheidung mit dem Kot (%/ kJ)	Entsprechend der Eintrittsmenge	--	2%/0,3	12%/1,9
6	Verfügbare Energie im Dickdarm (Eintritt-Kot)	--	--	6,0	7,5
7	Fermentation Dickdarm+Gluconeogenese	63% von Nr. 6		<b>2,2</b>	<b>2,8</b>
Gesamtbilanz: „Verfügbare“ Energie je g Glucose (kJ)					
8			<b>7,9</b>	<b>9,3</b>	<b>7,5</b>

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, gehen bei der mikrobiellen Stärkefermentation im Vormagen, d.h. Degradation zu SCFA und anschließender Resorption der SCFA im Vormagen, ca. 25% der in Glucose enthaltenen Energie durch die Fermentationsprozesse verloren. Da zudem der systemische Glucosebedarf über die hepatische Gluconeogenese sichergestellt werden muss, sind zusätzliche Energieverluste von 25% der aufgenommenen Energie zu verzeichnen. Infolgedessen stehen für Erhaltungs- und Leistungsbedarf bei dieser Art des Stärkeabbaus nur ca. 50% der im Futter vorhandenen Energie zur Verfügung. Verlässt die Stärke dagegen den Vormagen undegradiert und tritt in den Dünndarm ein, so sind zunächst einmal nur 25% Energieverluste durch die Resorptionsprozesse im Dünndarm einzurechnen, so dass auf dem ersten Blick ein vorwiegender jejunaler Stärkeabbau effizienter erscheint. Der duodenale bzw. jejunale Stärkeabbau hat aber obere Grenzen. Können bei höherer Stärkezufuhr die Pankreas- und Bürsten-

enzymen (Pankreas:  $\alpha$ -Amylase; Bürstensaum: Isomaltase; Glucoamylase (keine Saccharase); HARMON 2009)) die Kohlenhydrate nicht vollständig fermentieren, treten sie in den Dickdarm über. Hier ist die mikrobielle Energieausbeute noch wesentlich geringer als im Vormagen. Entsprechend der Kalkulation von MATTHÉ (2001, s. Tab. 1) ist bei Kühen bei einem Stärkeeintritt von 1,4 kg/d in den Dünndarm noch von einer "akzeptablen" Energieausbeute auszugehen, d.h., die intestinale und postintestinale Degradation der Stärke ist dann effizienter als die abschließlich ruminale. Bei einem Stärkeeintritt von über 2 kg/d verändern sich die Verhältnisse. Dann sind die Energieverluste infolge der limitierenden Prozesse im Dünndarm, des nachfolgenden erhöhten Eintrittes von Stärke in den Dickdarm und dessen weniger effizienten Mechanismen und des teilweisen Verlustes von nicht degradiert Stärke über den Kot höher anzusetzen.

Die Frage ist also, ob sich durch den gezielten Ansatz an Einzelprozessen der Verdauung die Effizienz der Energieausbeute erhöhen lässt. So resultiert die Gesamteffizienz der Verdauung aus den Einzelprozessen der Degradation und der Resorption, wobei diese wiederum indirekt durch Passage, Motorik, Mukusbildung etc. beeinflusst werden. Teilweise ist auch die Sequestrierung (Inkorporation energiereicher Substanzen in die Bakterien) in die Effizienzbetrachtung einzubeziehen. Schon diese Aufzählung der involvierten Vorgänge macht deutlich, dass es schwierig ist, die einzelnen miteinander interagierenden Prozesse in ihrer Effizienz eindeutig zu charakterisieren und vor allem gegeneinander abzugrenzen.

Trotzdem soll der Versuch gewagt werden, eine Aussage zu treffen, ob sich Limitierungen in den mechanistischen Vorgängen der Resorption, d.h., auf Ebene der Transportproteine, ergeben können.

## 2 SCFA-Freisetzung im Vormagen

Die Zahlenwerte, die für die SCFA-Produktion im Vormagen angegeben werden, hängen wesentlich von der verwendeten Methode und natürlicherweise auch von der Energiedichte des Futters ab. Martin

et al. (MARTIN et al. 2001) stellten übersichtsartig die Werte zusammen, die in Studien zwischen 1965 und 2001 mit der Isotopenverdünnungstechnik gewonnen wurden. Für Färsen bzw. Kühe werden Werte zwischen 4,4 und 7,9 Mol produzierte SCFA pro Kilogramm aufgenommene Trockenmasse angegeben. Bedenkt man, dass die Energiekonzentration von SCFA im Mittel 1,2 MJ ME/Mol beträgt, so würde dies bedeuten, dass pro Kilogramm aufgenommener Trockenmasse zwischen 5,3 und 9,5 MJ ME frei gesetzt werden. Selbst wenn man von sehr energiedichten Rationen ausgeht, sind zumindest die oberen Werte als relativ hoch anzusehen. Werte, die aus Versuchen mit supplementärer SCFA-Infusion unter Steady-state-Bedingungen errechnet wurden, liegen bei 6,5 Mol/kg Trockenmasse entsprechend 7,8 MJ ME/kg (MARTIN et al. 2001). Vergleicht man dies mit der aufgenommenen Energie (9,8 MJ ME/kg Trockenmasse) so ergibt sich eine Energieausbeute von 79% im Vormagen. Die entspricht relativ gut den Werten, die Bergmann (1990) in seinem Review angibt (ruminale SCFA-Freisetzung: 65-75% der gesamten Energieaufnahme). Teilweise wurde auch versucht, über eine Messung der SCFA-Anflutung in der Vena portae auf die Produktionsrate zurückzuschließen. Bei Herleitung dieser Daten für die Erfassung der Produktionsleistung ist zu bedenken, dass – bevor die kurzkettigen Fettsäuren im Portalblut auftauchen – diese resorbiert ( evtl. sequestriert) und zeitweise auch im Pansen- bzw. Darmepithel metabolisiert werden, d.h., Werte aus PDV-Versuchen (Portal Drainierte Viscera) unterschätzen systematisch die SCFA-Freisetzung und Resorptionsleistung. Dies wird im folgenden Kapitel noch weiter ausgeführt.

### 3 SCFA-Clearance aus dem Vormagen

Im Prinzip können drei Wege beschrieben werden, wie SCFA aus dem Vormagen verschwinden:

- über Resorption;
- über Ausstrom nach distal in den Blättermagen;
- über Sequestrierung.

Die Möglichkeit der Sequestrierung, d.h., dass Pansenbakterien eine Fraktion der SCFA inkorporieren

und dadurch dem weiteren Ausschluss entziehen, wurde von KRISTENSEN und HARMON (2006) aufgrund von Studien an portal drainierten Tieren geäußert und vor allem für Acetat nachgewiesen. Da Ausmaß und Bedeutung der Sequestrierung allerdings schwierig zu erfassen sind, wird sie bei den folgenden Betrachtungen und auch anderen Modellrechnungen zumeist außer Acht gelassen. Hinsichtlich des relativen Anteiles von Resorption und Ausstrom stellten ALLEN et al. (1997) eine Modellrechnung für Kühe mit einer ruminale Produktion von kurzkettigen Fettsäuren von 74 Mol/Tag auf. Hiernach werden 53% der Fettsäuren direkt resorbiert, der Rest fließt nach distal ab, zum großen Teil in dissoziierter Form. Ähnliche prozentuale Verteilungen erhielten RESENDE JÚNIOR et al. (2006) unter Verwendung verschiedener Resorptionstechniken. Basierend auf den vorangegangenen Studien und Modellen von ALLEN et al. (2000) und RESENDE JÚNIOR et al. (2006) bestimmten PENNER und Mitarbeiter (2009) die in Tabelle 2 wiedergegebenen Werte. Wie aus der Tabelle 2 ersichtlich ist bzw. abgeleitet werden kann, verschwanden pro kg aufgenommener Trockenmasse je nach Adaptationszustand der Tiere zwischen 4,8 und 5,3 Mol kurzkettiger Fettsäuren pro Tag aus dem Pansen, wobei in dieser Studie der Resorptionsweg eine größere Bedeutung als die Passage nach distal hatte.

	8%	64%	Daten aus bzw. berechnet nach..
	Konzentrat	Konzentrat	
TM-Aufnahme (kg/Tag)	14,0	15,8	PENNER et al. (2009)
SCFA-Resorption (Mol/Tag)	47,3	59,3	
SCFA-Passage nach distal (Mol/Tag)	19,9	24,0	
„Net Portal Appearance“ (Mol/Tag)	43,5	47,6	LONCKE et al. (2009)

Tabelle 2: SCFA-Resorption im Vormagen und SCFA-Passage nach distal bei Kühen mit unterschiedlicher Konzentratfütterung. Die Daten von PENNER et al. (2009) wurden unter Verwendung der Kennzahlen von ALLEN et al. (2000) und RESENDE JÚNIOR et al. (2006) abgeleitet. Die Daten der „Net Portal Appearance“ wurden aus der TM-Aufnahme mit Hilfe der Regressionsgleichungen von LONCKE et al. (2009) errechnet.

Außer der Messung der “Disappearance” zur quantitativen Erfassung der gastrointestinalen Resorption haben sich im letzten Jahrzehnt in vielen Einrichtungen Messungen der “Appearance” an portal drainierten Tieren etabliert. Die Methode wurde immer weiter verfeinert und auch durch flankierende Methoden (gewaschener und isolierter Pansen) verbessert. Daten der Fütterungsstudien wurden in einer Datenbank zusammengefasst (FLORA = FLuxes of nutrients across Organs and tissues of Ruminant Animals; VERNET u. ORTIGUES-MARTY 2006). LONCKE et al. (2009) werteten in einer Metaanalyse diese Datenbank aus und kamen letztendlich zu dem Schluss, dass die “Net Portal Appearance” (NPA) von SCFA am besten aus der Aufnahme von ruminal fermentierbarer organischer Masse (RDOM) ableitbar ist:  $NPA \text{ (mmol/h/kg Körpergewicht)} = 0,06 + 0,247 \times RDOM \text{ (g/Tag/kg Körpergewicht)}$ . Diese etwas abstrakte Formel erhält mehr Leben, wenn man sie auf die Daten von PENNER et al. (2009) überträgt. So betrug in den von LONCKE et al. (2009) untersuchten Studien das Verhältnis von RDOM zu Trockenmasseaufnahme 0,51 g/g. Geht man von einem gleichen Verhältnis in den Daten bei den von PENNER et al. (2009) untersuchten Tieren aus, die insgesamt 14,0 kg bzw. 15,8 kg Trockenmasse pro Tag aufnahmen und im Mittel 817 kg schwer waren, so erhält man eine tägliche NPA der SCFA von 43,5 Mol bei den mit 6% Konzentrat gefütterten Tieren und 47,6 Mol bei den mit 64% Konzentrat gefütterten Tieren, d.h. die NPA lag um 8 bis 20% unter der ruminalen Resorptionsrate. Berücksichtigt man auch die passagierten SCFA und geht von einer vollständigen Resorption in den distalen Abschnitten des Darmtraktes aus, so beträgt die NPA nur 57 bis 65% der Resorptionsrate.

Schon dieser grobe quantitative Vergleich macht deutlich, dass Werte aus PDV-Versuchen nur sehr bedingt Schlüsse auf die Resorptions- und schon gar nicht auf die Produktionsrate zu lassen. So ist bei den Werten aus den PDV-Ansätzen zu berücksichtigen, dass die Fettsäuren im Pansenepithel metabolisiert werden (siehe 3.1.2) und auch noch andere postrumi-

nal im Splanchnikus-Gebiet liegende Gewebe an der Fettsäureutilisation teilhaben.

### 3.1 Mechanismen der ruminalen SCFA-Resorption

Die Mechanismen der ruminalen Resorption sind bei GÄBEL u. ASCHENBACH (2006) und GÄBEL et al. (2002) weiter ausgeführt und in den Abbildungen 2 und 3 zusammengefasst. Hinsichtlich der Resorptionsprozesse kann man zwischen apicaler Aufnahme, intraepithelialen Metabolismus und basolateraler Ausschleusung unterscheiden.

#### 3.1.1 Apicale Aufnahme von kurzkettigen Fettsäuren

SCFA existieren in einer protonierten Form (HSCFA) und einer ionisierten Form (SCFA<sup>-</sup>). HSCFA sind fettlöslich und könnten daher den Lipidanteil biologischer Membranen gut permeieren. Allerdings ist offensichtlich der Anteil der Permeation undissoziierter Säuren geringer als erwartet. Wenn dieser Permeationsweg größere Bedeutung hätte, müssten pH-Wert und Lipophilität (Acetat < Propionat < Butyrat) einen dominanten Einfluss haben. Dies ist aber nicht der Fall (Übersicht in GÄBEL 1995). Neuere Untersuchungen mit Hilfe von Uptake-Studien an isolierten Epithelien lieferten hierfür eine weitere Bestätigung (ASCHENBACH et al. 2009), so dass von einer signifikanten Aufnahme dissoziierter SCFA ausgegangen werden muss. Für die Aufnahme der dissoziierten Form existieren spezifische Transportproteine. Mehrere Untersuchungen deuten darauf hin, dass apicale Transportproteine als Anionenaustauscher operieren, wobei aufgenommene SCFA gegen HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ausgetauscht werden, d.h., hierdurch wird HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ins Lumen abgegeben (GÄBEL et al. 1991, ASCHENBACH et al. 2009). Hinsichtlich der molekularen Natur der Anionenaustauscher werden momentan AE (Anion Exchange)-, DRA (Down Regulated in Adenoma)-, PAT (Putative Anion Transporter)- oder MCT (Monocarboxylate Transporter)-Proteine diskutiert (GÄBEL u. ASCHENBACH 2006, KIRAT et al 2006, KIRAT et al 2007, ASCHENBACH et al. 2009). Der Austausch von dissoziierten Fettsäuren gegen Bikarbonat hat den

enormen Vorteil, dass im Lumen des Pansens ein Säureanionen mit einem pK-Wert von 4,8 (SCFA) durch ein Pufferanionen mit einem pK-Wert von 6,1 ( $\text{HCO}_3^-$ ) ersetzt wird. Zudem kann nach Verbindung des  $\text{HCO}_3^-$  mit einem Proton, d.h., nach Bildung von  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , das über  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  entstehende  $\text{CO}_2$  über den Ruktus abgegeben werden und so der saure Anteil des Puffersystems komplett entfernt werden. Der Austausch von  $\text{SCFA}^-$  gegen  $\text{HCO}_3^-$  spielt offensichtlich auch quantitativ eine größere Rolle. Berechnet man die Korrelation zwischen Bikarbonatsekretion und Fettsäureresorption aus den Daten von GÄBEL et al. (1991), erhält man eine Relation von zwei Mol resorbierten SCFA auf ein Mol sekretiertes Bikarbonat, d.h., unter diesen Bedingungen wird über den Anionen-Austauscher mindestens 50% der Fettsäureresorption vermittelt. So ist diesem Transportprotein nicht so sehr eine Schlüsselrolle für die Energieversorgung, als vielmehr für die Stabilisierung des intraruminalen pH-Wertes zuzuschreiben. Neben dem bikarbonatabhängigen SCFA-Transport und der Permeation undissoziierter Säuren scheint auch eine bikarbonatunabhängige Aufnahme dissoziierter Säuren möglich zu sein. Dies Aufnahme könnte über einen spezifischen Kanal geschehen (ASCHENBACH et al. 2009).

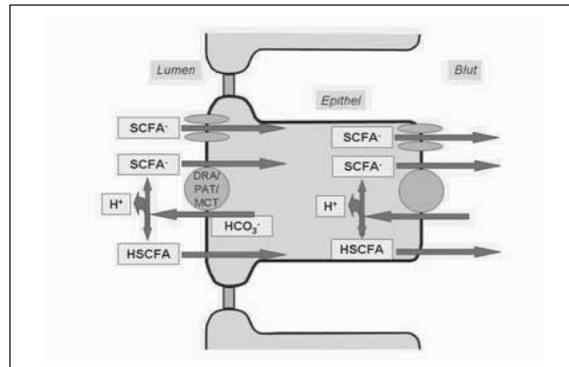


Abbildung 2: Möglichkeiten des transepithelialen Transfers von intakten SCFA in dissoziierter und undissoziierter Form. Die einzelnen Transportmechanismen werden im Text erläutert.

### 3.1.2 Intraepitheliale Metabolisierung kurzkettiger Fettsäuren

Nach der apicalen Aufnahme werden kurzkettige Fettsäuren zumindest teilweise innerhalb des Epithels metabolisiert. Allerdings sind bei Acetat und Propionat die Aussagen über das Ausmaß der intraepithelialen Katabolisierung uneinheitlich (Übersicht bei GÄBEL et al. (2002) und GÄBEL u. ASCHENBACH (2006)). Es ist aber auf jeden Fall davon auszugehen, dass diese beiden Säuren in geringerem Ausmaße katabolisiert werden als Butyrat. Der intraepitheliale Butyratabbau kann bis zu 95% der Aufnahme betragen (Übersicht bei KRISTENSEN u. HARMON (2006)). Für die vorrangige Katabolisierung des Butyrats ist unter anderem die spezifische Ausstattung von aktivierenden Enzymen im Vormagenepithel verantwortlich (KRISTENSEN u. HARMON 2006).

Es ist aber die Frage zu stellen, warum das Vormagenepithel präferentiell Butyrat metabolisiert. Butyrat kann bei zu hoher Anflutung negative Effekte auf Zellproliferation und Differenzierung ausüben, da es in die Acetylierung der Histone eingreift (Übersicht bei GÄBEL u. ASCHENBACH (2006)), d.h., der intraepitheliale Butyratkatabolismus ist zunächst als "Selbstschutz" zu sehen. Solche negativen Butyrat-effekte sind vermutlich in die hyper- und parakeratotischen Veränderungen involviert, die bei Tieren festgestellt werden, denen energiereiche Diäten über eine längere Periode gefüttert werden und die sich so in einer latenten bzw. chronischen Azidose mit einer permanent erhöhten Butyratanflutung befinden (OWENS et al. 1998).

Neben den lokalen Vorteilen sind aber auch systemische Vorteile des Butyratkatabolismus zu vermerken. So wird Butyrat im Pansenepithel vor allen Dingen zu Ketonkörpern degradiert. Ketonkörper sind in der Lage, die Leber nicht metabolisiert zu passieren (GIESECKE et al. 1985) und auf diese Weise als Energiequelle für extraruminale Gewebe (Herz, Muskel, Fettgewebe, Niere, Mucosazellen) zu fungieren. Darüberhinaus ergibt sich ein Spareffekt. Dadurch dass das Pansenepithel vor allem Butyrat für die Deckung des eigenen Energiebedarfes nutzt, werden Glucose,

Acetat und Propionat gespart und stehen der Nutzung durch extraruminale Gewebe zur Verfügung, die zumeist Butyrat auch schlecht katabolisieren können (KRISTENSEN u. HARMON 2006).

### 3.1.3 Basolaterale Ausschleusung der SCFA

Da SCFA zum Teil intraepithelial katabolisiert werden, müssen auf der basolateralen Seite Ausschleusungsmechanismen sowohl für die Fettsäuren selber als auch die Katabolisierungsprodukte Acetat,  $\beta$ -Hydroxybutyrat und Lactat bestehen. Allerdings sind die Transportmechanismen auf der basolateralen Seite wesentlich weniger gut eingegrenzt als die auf der apicalen Seite. Generell gilt, dass die basolateralen Effluxmechanismen effizienter sein müssen als die Influxmechanismen, um eine Akkumulation der Substrate bzw. Metabolite in dem Epithel zu verhindern. Patch-Clamp-Studien an isolierten Epithelzellen des Pansens haben zeigen können, dass diese Zellen einen Anionenkanal exprimieren, der nicht nur für Chlorid, sondern auch für Acetat und Propionat permeabel ist (STUMPF et al. 2009). Aufgrund von elektrophysiologischen Betrachtungen bzw. Betrachtungen über den pH-Wert-Gradienten kommen STUMPF et al. (2010) zu dem Schluss, dass dieser Kanal A.) auf

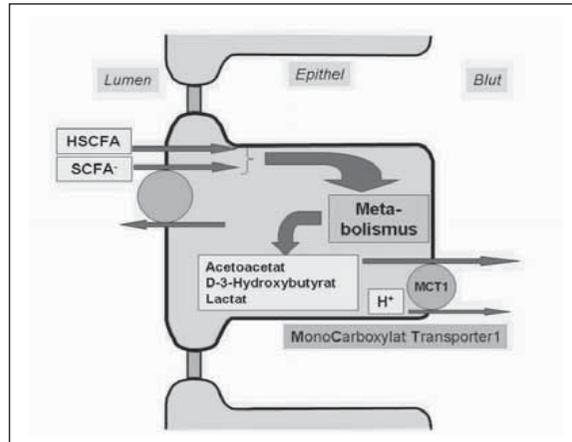


Abbildung 3: Basolaterale Ausschleusung der Katabolite des intraepithelialen SCFA-Abbaus über den MCT1.

der basolateralen Seite lokalisiert ist und B.) eine wesentliche Voraussetzung für die Effizienz der basolateralen Ausschleusung von SCFA darstellt. Eigene jüngere Untersuchungen an intakten Epithelien legen allerdings nahe, dass Hemmstoffe des Kanals die basolaterale Ausschleusung von Acetat eher steigern denn hemmen (DENGLER et al. 2010, unveröffentlicht). Hier ist sicherlich noch ein größerer Aufklärungsbedarf vorhanden. Hinsichtlich der Katabolite des Butyratabbaus konnten Studien von MÜLLER et al. (2002) nachweisen, dass auf der basolateralen Seite ein Monocarboxyltransporter1 (MCT1) die Permeation der genannten Säuren vermittelt. Dadurch dass dieser Transporter die Ausschleusung der Substrate an die Ausschleusung von Protonen koppelt, wirkt er gleichzeitig pH-regulativ.

Die Ausschleusung der Monocarboxylsäuren über den MCT1 ist somit Voraussetzung für A.) Stabilisierung des intrazellulären pH-Wertes, B.) Aufrechterhaltung des Metabolismus (über Entfernung der Metabolite) und C.) Homöostase der Osmolarität in den Pansenepithelzellen (Würden die Monocarboxylsäuren nicht entfernt, käme es zu einer Erhöhung der intrazellulären Osmolarität und damit zur Zellerstörung.). Dem MCT1 ist daher sicherlich eine Schlüsselfunktion zuzuschreiben.

### 3.2 Bemerkungen zu den Resorptionsmechanismen im Vormagen

Die jüngeren Untersuchungen haben viele Fortschritte erbracht, sowohl hinsichtlich der molekularen als auch funktionellen Darstellung der Transportproteine. Es lässt sich aufgrund dieser Daten schon jetzt sagen, dass redundante Systeme bestehen, die eine hohe Sicherheit in der Resorptionsleistung gewährleisten, d.h. die in dem Vormagen produzierten Säuren können über mehrere Mechanismen vor Ort resorbiert werden. Zudem sind in den nachfolgenden Abschnitten des Darmes noch ausreichend Möglichkeiten vorhanden, die im Vormagen nicht resorbierten und nach distal passagierenden SCFA ins Blut permeieren zu lassen (Interessanterweise sind aber die Resorptionsmechanismen von Fettsäuren

ren im Dünndarm bei Wiederkäuern bislang nicht untersucht). So ist davon auszugehen, dass die in den Vormägen in Form von SCFA feigesetzte Energie vollständig resorbiert werden kann.

Während also beim Energietransfer keine Limitierung zu sehen ist, korrigiert sich aber die Einschätzung, wenn man die Sekundärfunktionen der Transportprozesse betrachtet. So ist der Transfer der SCFA durch den damit verbundenen Protonentransfer und/oder die Bikarbonatsekretion mittel- bzw. unmittelbar in die Stabilisierung des ruminalen pH-Wertes eingebunden. Es ist davon auszugehen, dass bei den heute üblichen Rationen mit geringem Rohfasergehalt die Stabilisierung des intraruminalen pH-Wertes weniger vom Speichелеinstrom, mehr aber von der Resorptionsleistung des Vormagens abhängt. Wird aber bei hoher Produktion von SCFA diese Möglichkeiten der Pufferung ausgeschöpft, ist ein Abfall des intraruminalen pH-Wertes die Folge.

Neben der Pufferfunktion ist die Detoxifizierung des Butyrats ein entscheidender Prozess, in den die Transportproteine indirekt eingebunden sind. Der Übertritt größerer Mengen dieses Substrat in den Organismus wird verhindert und damit möglichen Nebeneffekten vorgebeugt. Sind bei zu hoher Anflutung von Buttersäure der MCT1 und die katabolen Prozesse "überlastet", schoppen einerseits die Katabolite an, was die intrazelluläre Homöostase stört, andererseits sind negative Wirkungen des Butyrats auf Genebene (Histonacetylierung) die Folge.

Die Resorptionsleistung des Vormagens allein in quantitativer Hinsicht auf die Energieversorgung einzuengen, greift daher entschieden zu kurz.

#### 4 Glucoseresorption im Dünndarm

Das wesentliche Substrat für die Bereitstellung resorptionsfähiger Monosaccharide im Dünndarm ist Stärke, welche die mikrobielle Fermentation im Vormagen unverdaut bzw. unvollständig verdaut überstanden hat (zur Diskussion über Bypassstärke s. MATTHÉ (2001)). Wie in der Einleitung ausgeführt, liegt der besondere Wert von Bypassstärke darin, dass eine direkte Bereitstellung von Glucose für den

Stoffwechsel möglich ist, d.h., Energieverluste infolge der Gluconeogenese werden vermieden. So scheint es zunächst einmal wünschenswert, einen möglichst hohen Anteil an Bypassstärke in die Ration zu integrieren. Allerdings zeigen auch die in der Einleitung dargelegten Berechnungen, dass der ernährungsphysiologische Nutzen von Bypassstärke seine Grenzen hat. Das liegt einerseits darin, dass Bypassstärke dem Pansenmikroorganismen nicht zur Verfügung steht. Ist dieser nicht nutzbare Anteil zu hoch kann in der Folge auch die mikrobielle Proteinsynthese Schaden nehmen (siehe Übersicht bei GÄBEL u. ASCHENBACH (2004)). Eine weitere Limitierung kann darin gesehen werden, dass aufgrund der Ausrichtung des Wiederkäuers auf rohfaserreiche Nahrung die Kapazität des Dünndarms Stärke zu verwerten begrenzt ist. Tabelle 1 macht deutlich, dass bei einer hochleistenden Milchkuh die obere Grenze bei etwa 1,5 – 2,0 kg/d erreicht wird. Die Limitierung der Stärkeverdauung im Dünndarm ist durch mindestens zwei Teilprozesse bedingt: A.) durch die Katalyse der Stärke mittels Pankreas- bzw. Bürstensaumenzymen und B.) durch die Resorptionskapazität des Epithels für die Glucosemonomere. Welcher dieser Schritte der geschwindigkeitsbestimmende ist, ist immer noch Gegenstand zahlreicher Diskussionen (Übersicht bei MATTHÉ et al. (2001) und HARMON (2009)). Dass aber in der Resorptionsleistung eine Grenze bestehen kann, zeigen die modellhaften Ableitungen von HUNTINGTON (1997). Es ergaben sich erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Stärkeverwertung, je nachdem, ob das Tier in seiner Resorptionsleistung an Stärke adaptiert war oder nicht. Hinsichtlich der Adaptationsbreite der Resorptionsleistung sind eingehende Untersuchungen von CANT et al. (1999) durchgeführt wurden. Die Autoren haben bei im Mittel 507 kg schweren Tieren Glucose intraduodenal infundiert und die infundierte Menge im Dreita-gesabstand gesteigert. Auf diese Weise konnten sie eine maximale Aufnahmekapazität für Glucose in Duodenum und Jejunum bis zu 440 mmol/h (= 1900 g/d) erreichen (CANT et al. 1999). In den Arbeiten von HUNTINGTON (1997) und CANT et al. (1999)

wird noch davon ausgegangen, dass diese Adaptation vor allen Dingen auf eine verstärkte parazelluläre Permeation von Glucose zurückzuführen ist. Die im Folgenden ausgeführten Untersuchungen zu den Mechanismen der Glucoseresorption lassen dies aber fraglich erscheinen.

#### 4.1 Mechanismen der Glucoseresorption im Dünndarm

Der gegenwärtige Kenntnisstand der bei Monogastriern nachgewiesenen Mechanismen der intestinalen Glucoseresorption ist in Abbildung 4 wiedergegeben.

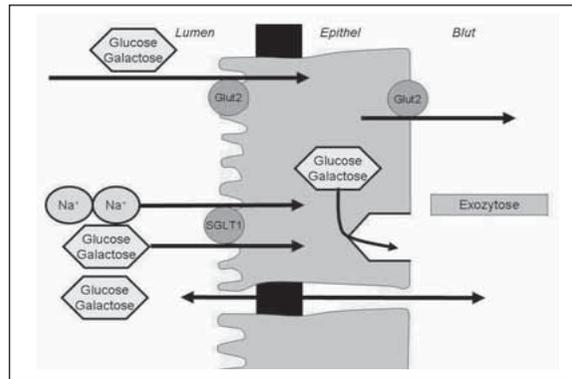


Abbildung 4: Mechanismen des transepithelialen Glucosetransportes im Dünndarm von Monogastriern. Erläuterungen der Transportmechanismen im Text.

Das klassische Modell der Resorption von Glucose geht davon aus, dass diese apical über einen 2-Natriumionen-gekoppelten Cotransporter, den SGLT-1 (Sodium Glucose Linked Transporter) in die Zellen aufgenommen wird. Nach Anreicherung in den Zellen kann die Glucose auf der basolateralen Seite über erleichterte Diffusionscarrier (GLUT2) die Zelle wieder verlassen (Übersicht bei GÄBEL u. ASCHENBACH (2004) und ZURICH (2009)). Die molekulare Existenz der klassischen Glucosetransporter (SGLT1/GLUT2) kann auch im Darmepithel von Wiederkäuern als gesichert gelten (LIAO et al. 2010). Außer dem klassischen Weg der Glucoseresorption werden auch Alternativwege beschrieben. Ausgangspunkt für die Überlegung, dass alternative

Wege bestehen, war die Kenntnis, dass der SGLT1 ein relativ hoch affiner Transporter ( $K_m < 1 \text{ mmol/l}$ ) mit geringer  $V_{max}$  ist. Inzwischen ist aber bekannt, dass (auch bei Wiederkäuern) Glucosekonzentration im Dünndarm im zweistellig millimolaren Bereich auftreten können (ZURICH 2009). Bei diesen Konzentrationen kommt der SGLT1 relativ schnell in die Sättigung. Darüber hinaus ist auch unter diesen Bedingungen eine Limitierung dieses Transporters über das verfügbare Natrium zu erwarten. Diese Überlegungen zum Ausgang genommen, haben (PAPPENHEIMER U. REISS 1987) die These aufgestellt, dass Glucose unter bestimmten Bedingungen auch parazellulär über die Tight junctions permeieren kann, wobei die Durchlässigkeit der Tight junctions durch den Natriumstrom über den SGLT1 kontrolliert wird. Nachfolgende Untersuchungen ließen dieses Modell allerdings fraglich erscheinen (Übersicht bei GÄBEL u. ASCHENBACH (2004)). Infolgedessen muss der ursprünglich von KELLET (2001) aufgestellten Hypothese eine größere Bedeutung beigemessen werden. Nach der Kellet-Hypothese werden bei hohen ruminalen Glucosekonzentrationen auch GLUT2-Transportproteine in die apicale Transportmembran eingebaut. Ein- und Ausstrom von Glucose erfolgen dann über die in Reihe geschalteten GLUT2-Transporter. Mittlerweile ist beim Monogastrier die Möglichkeit einer apicalen Glucoseaufnahme über den GLUT2 als etabliert anzusehen. Auch beim Wiederkäuer könnte diese Hypothese Gültigkeit erlangen. So stellten CANT et al. (1999) fest, dass die maximale funktionelle Aufnahmekapazität der infundierten Glucosemenge zwar nicht 1:1 folgt, aber ein Anstieg zu verzeichnen ist. Allerdings ist es bislang nicht gelungen, die apicale Präsenz eines GLUT2 eindeutig nachzuweisen (HARMON 2009, ZURICH 2009).

#### 4.3 Adaptation der Glucoseresorption beim Wiederkäuer

Auch beim Wiederkäuer haben sich zahlreiche Studien der längerfristigen Adaptation des Glucosetransporters an die intestinale Kohlenhydratanflutung gewidmet. Es wurde dabei zunächst von einer

Stimulation des apicalen SGLT1 durch luminale Substrate ausgegangen (SHIRAZI-BEECHEY et al. 1991), (SHIRAZI-BEECHEY et al. 1995, SHIRAZI-BEECHEY 1996, DYER et al. 2003). Die Induktion kann dabei sowohl durch metabolisierbare Substrate (Glucose, Galactose) als auch durch nicht metabolisierbare Substrate des SGLT1 ( $\alpha$ -D-Glucopyranosid, 3OMG) erfolgen. Beim adulten Rind konnte allerdings in mehreren Studien keine Induktionen des SGLT1 durch abomasale Infusion von Glukose oder Stärke erzielt werden (BAUER et al. 1995, BAUER et al. 2001, RODRIGUEZ et al. 2004). Auch in Fütterungsversuchen an Ziegen mit erhöhter Stärkezufuhr über Weizen bzw. Mais konnte keine erhöhte Expression des SGLT1 im Dünndarm nachgewiesen werden (ZURICH 2009). Eventuell spielen Protein- und Natrium-Verfügbarkeit und auch die Ansprechbarkeit der verschiedenen Sensoren im Magen-Darm-Trakt eine zusätzliche adaptionsbestimmende Rolle. Es ist aber schon jetzt festzustellen, dass sich hinsichtlich des SGLT1 die Adaptationsmechanismen zwischen Wiederkäuer und Monogastrier unterschieden. Beim GLUT2 zeigen sich sogar noch größere Unterschiede. Zwar konnte in der Studie von LIAO et al. (2010) eine abomasale Infusion von Stärke die mRNA-Expression des GLUT2 (und auch des SGLT1) im Ileum stimulieren, es ist aber nicht klar auf welcher Seite des Darms die GLUT2-Proteine eingelagert wurden. Zudem konnten in der gleichen Studie die SGLT1- und GLUT2-Transportproteine des Jejunums nicht durch die Infusion beeinflusst werden. Die Daten lassen es daher bislang fraglich erscheinen, ob beim adulten Wiederkäuer überhaupt, d.h. sowohl auf Ebene des SGLT1 als auch auf der des GLUT2, eine Adaptation wie die beim Monogastrier möglich ist. Offen bleibt demzufolge die Frage, welche funktionellen Adaptationsmechanismen den gesteigerten Resorptionsraten bei erhöhter Stärkeanflutung zu Grunde liegen.

## 5 Schlussbemerkungen

Die funktionellen Studien der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Transportprozesse im Magen-Darm-

Trakt des Wiederkäuers vielfältig sind. Die energiereichen Substrate können auf verschiedenen Wegen die Wand permeieren. Die Vielfalt stellt sicher, dass Kompensationsmechanismen bestehen, d.h., wenn ein Mechanismus geringer effektiv ist, kann ein anderer dafür eintreten. Diese Redundanz der Mechanismen ist vor allem im Vormagen zu vermerken. Im Dünndarm scheinen die Möglichkeiten der Kompensation auf rein funktioneller Ebene geringer ausgeprägt zu sein als im Vormagen bzw. als diejenigen im Dünndarm des Monogastriers. Allerdings ist die Notwendigkeit einer Kompensation bzw. Adaptation der Resorptionsmechanismen im Darm erst durch die teilweise extremen Fütterungen der jüngsten Zeit bedingt, so dass teleologisch betrachtet für den Wiederkäuer bislang auch keine Notwendigkeit bestand, zusätzliche Transportmechanismen für den Energietransfer im Dünndarm zu entwickeln.

Infolgedessen ist auch ein gewisses Fragezeichen zu setzen, ob es zum gegenwärtigen Zeitpunkt sinnvoll ist, die Resorptionsleistungen des Vormagens und des Dünndarms weiter zu forcieren. Für den Vormagen und die hier beheimatete der Resorption der kurzkettigen Fettsäuren gilt, dass durch die Resorption der Säuren, insbesondere von Butyrat, systemische Belastungen auftreten. Eine weitere Entwicklung hinsichtlich erhöhter Resorption stellt so nicht nur die synthetisierenden Systeme (Lipogenese, Glucogenese), sondern auch die detoxifizierenden (Butyrat) und auch die pH-regulierenden Systeme vor größere Herausforderungen. Für den Dünndarm ist ebenso die Frage zu stellen, ob eine unlimitierte Resorptionssteigerung sinnvoll ist. Auch die Limitierung der intestinalen Glucoseanflutung ist unter Umständen ein funktionaler Sinn zuzuschreiben, da auch die mikrobielle SCFA-Synthese im Dickdarm nicht unbeträchtlich ist. Ein vorheriger Entzug von energieliefernden Substraten würde diese zum Sistieren bringen.

### Literaturverzeichnis

- ALLEN, M.S. (1997): Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J Dairy Sci* 80, 1447-62
- ALLEN, M.S., ARMENTARIO, L.E., PEREIRA, M.N., YING, Y., XU, J. (2000): Method to measure fractional rate of volatile fatty acid absorption from the rumen, Proc 25th Conf. Rumen Function, Chicago, IL. S. 26
- ASCHENBACH, J.R., BILK, S., TADESSE, G., STUMPF, F., GABEL, G. (2009): Bicarbonate-dependent and bicarbonate-independent mechanisms contribute to nondiffusive uptake of acetate in the ruminal epithelium of sheep. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 296, G1098-107
- ASCHENBACH, J.R., BILK, S., TADESSE, G., STUMPF, F., GABEL, G. (2009): Bicarbonate-dependent and bicarbonate-independent mechanisms contribute to non-diffusive uptake of acetate in the ruminal epithelium of sheep. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*
- BAUER, M.L., HARMON, D.L., BOHNERT, D.W., BRANCO, A.F., HUNTINGTON, G.B. (2001): Influence of alpha-linked glucose on sodium-glucose cotransport activity along the small intestine in cattle. *J Anim Sci* 79, 1917-24
- BAUER, M.L., HARMON, D.L., MCLEOD, K.R., HUNTINGTON, G.B. (1995): Adaptation to small intestinal starch assimilation and glucose transport in ruminants. *J Anim Sci* 73, 1828-38
- BERGMAN, E.N. (1990): Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiol Rev* 70, 567-90
- BERGNER, H., HOFFMANN, L. (1997): Bioenergetik des intermediären Nährstoffumsatzes, Bioenergetik und Stoffproduktion landwirtschaftlicher Nutztiere. Harward Academic Publishers, Deutschland, S. 51-88
- CANT, J.P., LUIMES, P.H., WRIGHT, T.C., MCBRIDE, B.W. (1999): Modeling intermittent digesta flow to calculate glucose uptake capacity of the bovine small intestine. *Am J Physiol* 276, G1442-51
- CHUDY, A. (1999): Energy requirement for gluconeogenesis - measurements in bulls with fistulas in the duodenum. *S Afr J Anim Sci* 29, 178-80
- DYER, J., VAYRO, S., SHIRAZI-BEECHEY, S.P. (2003): Mechanism of glucose sensing in the small intestine. *Biochem Soc Trans* 31, 1140-2
- GIESECKE, D., BECK, U., EMMANUEL, B. (1985): Ketogenic regulation by certain metabolites in rumen epithelium. *Comp Biochem Physiol B* 81, 863-7
- GÄBEL, G. (1995): Transport of short-chain fatty acids in the ruminant forestomach, in: (J.H. CUMMINGS, J.L. ROMBEAU, T. SAKATA, Hrsg.) Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids. University Press, Cambridge, S. 133-47
- GÄBEL, G., ASCHENBACH, J.R. (2004): Adaptation und Regulation resorptiver Prozesse im Gastrointestinaltrakt von Wiederkäuern. *Übers. Tierernährung* 32, 149-81
- GÄBEL, G., ASCHENBACH, J.R. (2006): Ruminal SCFA absorption: channelling acids without harm, in: (K. SEJRSEN, T. HVELPLUND, M.O. NIELSON, Hrsg.) Ruminant physiology, Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, S. 173-95
- GÄBEL, G., ASCHENBACH, J.R., MÜLLER, F. (2002): Transfer of energy substrates across the ruminal epithelium: implications and limitations. *Anim Health Res Rev* 3, 15-30
- GÄBEL, G., BESTMANN, M., MARTENS, H. (1991): Influences of diet, short-chain fatty acids, lactate and chloride on bicarbonate movement across the reticulo-rumen wall of sheep. *J Vet Med* 38, 523-9
- HARMON, D.L. (2009): Understanding starch utilization in the small intestine of cattle. *Asian-Aust J Anim Sci* 22, 915-22
- HUNTINGTON, G.B. (1997): Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J Anim Sci* 75, 852-67
- KELLETT, G.L. (2001): The facilitated component of intestinal glucose absorption. *J Physiol* 531, 585-95
- KIRAT, D., MASUOKA, J., HAYASHI, H., IWANO, H., YOKOTA, H., TANIYAMA, H., KATO, S. (2006): Monocarboxylate transporter 1 (MCT1) plays a direct role in short-chain fatty acids absorption in caprine rumen. *J Physiol* 576, 635-47
- KIRAT, D., MATSUDA, Y., YAMASHIKI, N., HAYASHI, H., KATO, S. (2007): Expression, cellular localization, and functional role of monocarboxylate transporter 4 (MCT4) in the gastrointestinal tract of ruminants. *Gene* 391, 140-9
- KRISTENSEN, N.B., HARMON, D.L. (2006): Splanchnic metabolism of short-chain fatty acids in the ruminant, in: (K. SEJRSEN, T. HVELPLUND, M.O. NIELSON, Hrsg.) Ruminant physiology, Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, S. 249-65
- LIAO, S.F., HARMON, D.L., VANZANT, E.S., MCLEOD, K.R., BOLING, J.A., MATTHEWS, J.C. (2010): The small intestinal epithelia of beef steers differentially express sugar transporter messenger ribonucleic acid in response to abomasal versus ruminal infusion of starch hydrolysate. *J Anim Sci* 88, 306-14
- LONCKE, C., ORTIGUES-MARTY, I., VERNET, J., LAPIERRE, H., SAUVANT, D., NOZIERE, P. (2009): Empirical prediction of net portal appearance of volatile fatty acids, glucose, and their secondary metabolites (beta-hydroxybutyrate, lactate) from dietary characteristics in ruminants: A meta-analysis approach. *J Anim Sci* 87, 253-68
- MARTENS, H. (2010): Die Milchkuh: Opfer des eigenen Erfolgs? *Nutztierpraxis Aktuell (AVA-Haupttagung 2010)*, 128-33
- MARTIN, C., KRISTENSEN, N.B., HUHTANEN, P. (2001): Comparison of non-tracer and tracer methods for determination of volatile fatty acid production rate in the rumen of sheep fed on two levels of intake. *Br J Nutr* 86, 331-40
- MATTHÉ, A. (2001): Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt des Rindes nach Einsatz unterschiedlicher Mengen an Mais oder Weizenstärke. Dissertation, Braunschweig

- MCBRIDE, B.W., KELLY, J.M. (1990): Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant gastrointestinal tract and liver: a review. *J Anim Sci* 68, 2997-3010
- MÜLLER, F., HUBER, K., PFANNKUCHE, H., ASCHENBACH, J.R., BREVES, G., GÄBEL, G. (2002): Transport of ketone bodies and lactate in the sheep ruminal epithelium by monocarboxylate transporter 1. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 283, G1139-46
- OWENS, F.N., SECRIST, D.S., HILL, W.J., GILL, D.R. (1998): Acidosis in cattle: a review. *J Anim Sci* 76, 275-86
- PAPPENHEIMER, J.R., REISS, K.Z. (1987): Contribution of solvent drag through intercellular junctions to absorption of nutrients by the small intestine of the rat. *J Membr Biol* 100, 123-36
- PENNER, G.B., TANIGUCHI, M., GUAN, L.L., BEAUCHEMIN, K.A., OBA, M. (2009): Effect of dietary forage to concentrate ratio on volatile fatty acid absorption and the expression of genes related to volatile fatty acid absorption and metabolism in ruminal tissue. *J Dairy Sci* 92, 2767-81
- RESENDE JÚNIOR, J.C., PEREIRA, M.N., BOER, H., TAMMINGA, S. (2006): Comparison of techniques to determine the clearance of ruminal volatile fatty acids. *J Dairy Sci* 89, 3096-106
- RODRIGUEZ, S.M., GUIMARAES, K.C., MATTHEWS, J.C., MCLEOD, K.R., BALDWIN, R.L. 4TH, HARMON, D.L. (2004): Influence of abomasal carbohydrates on small intestinal sodium-dependent glucose cotransporter activity and abundance in steers. *J Anim Sci* 82, 3015-23
- SHIRAZI-BEECHEY, S.P. (1996 ): Intestinal sodium-dependent D-glucose co-transporter: dietary regulation (Symposium on 'Glucose transporters in the control of metabolism'). *Proc Nutr Soc* 55, 167-78
- SHIRAZI-BEECHEY, S.P., HIRAYAMA, B.A., WANG, Y., SCOTT, D., SMITH, M.W., WRIGHT, E.M. (1991): Ontogenic development of lamb intestinal sodium-glucose co-transporter is regulated by diet. *J Physiol (Lond)* 437, 699-708
- SHIRAZI-BEECHEY, S.P., WOOD, I.S., DYER, J., SCOTT, D., KING, T.P. (1995): Intestinal sugar transport in ruminants, in: (W. ENGELHARDT, S. LEONHARD-MAREK, G. BREVES, D. GIESECKE, Hrsg.) *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, S. 117-133
- STUMPF, F., MARTENS, H., BILK, S., ASCHENBACH, J.R., GÄBEL, G. (2009): Cultured ruminal epithelial cells express a large-conductance channel permeable to chloride, bicarbonate, and acetate. *Pflügers Arch* 457, 1003-22
- STUMPF, F., MARTENS, H., GÄBEL, G. (2010): Ruminal transport of SCFA. 19. Symposium der Fachgruppe Physiologie und Biochemie der DVG, S. 36-41
- VERNET, J., ORTIGUES-MARTY, I. (2006): Conception and development of a bibliographic database of blood nutrient fluxes across organs and tissues in ruminants: data gathering and management prior to meta-analysis. *Reprod Nutr Dev* 46, 527-46
- ZURICH, M. (2009): Anpassung des intestinalen Glukosetransportes bei Ziegen an unterschiedliche Stärkegehalte und unterschiedliche Stärkeabbaubarkeiten in Futtermitteln. Dissertation, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover.

## Diskussion



### BREVES, HANNOVER

Ich würde gerne auf den letzten Teil deiner Ausführung eingehen, also auf die Kohlenhydratverdauung im Dünndarm. Das ist ja eigentlich eines der spannendsten Gebiete zur Zeit, was die Energieversorgung angeht und in einer sehr umfangreichen Arbeit aus Braunschweig, also aus der Arbeitsgruppe von Herrn Flachowsky, ist als Regression dargestellt worden, wie sich mit zunehmender Passage von Stärke in den Dünndarm die scheinbare Verdaulichkeit ändert und daraus kann man entnehmen, du hast auf ähnliche Zahlen hingewiesen, dass, wenn die Stärkepassage in das Duodenum größer wird als 1,5 bis 2 kg, die Verdaulichkeit abnimmt. Aus meiner Einschätzung müsste man bei diesen Arbeiten hinterfragen, ob die für alle Schritte der Kohlenhydratverdauung erforderlichen Adaptationszeiten des Tieres wirklich konsequent eingehalten wurden. Das heißt, es betrifft die Adaptation für die erforderliche Expression der Enzyme, der Transportproteine sowie die Lokalisationen, an denen diese Transportproteine exprimiert werden. Dies sind Ansätze für Studien, die nach meiner Auffassung gemacht werden müssen und wo wir aus meiner Sicht zurzeit einfach noch zu wenig wissen.

### ANTWORT

Woran wir auch denken müssen, du verinnerlichst ja nicht nur die Osmolarität, auch die Motilität und vielleicht Sekundäreffekte wie auch Mukusbildung.

Auch das, wenn wir das jetzt wirklich in Einzelprozesse aufpuffern wollen, müsste man untersuchen. Es ging ja wirklich nur um den selektiven Schritt, was den Resorptionsprozess angeht. Da habe ich mal diese Studie genommen, weil er es meiner Meinung nach wirklich sauber gemacht hat. Alle drei Tage entsprechend hochgefahren und über mehrere Wochen dann kontrolliert, bekomme ich denn mehr an Transport. Das hat er tatsächlich gezeigt. Der Transport geht bei ihm hoch, wobei er auch seine Transportdaten wiederum nicht erklären kann, er kommt auch mit Glukosekonzentration 20, 30 mmol pro Liter dort an. Aber man könnte sagen auf Seiten der Transportebene ist diese Studie relativ sauber, sie zeigt das bei diesen 300 mmol und das sind etwa 2 kg pro Tag die Grenze zu sein scheint was wirklich die Ausnutzung ist. Nach entsprechender langer Vorlaufzeit. Die anderen Studien, die du genannt hast, das ist völlig korrekt. Sie haben alle relativ kurz, ich glaube 14 Tage, 15 Tage nur vorgefüttert und geguckt, was passiert, was bekomme ich dann. Das ist wahrscheinlich für viele Prozesse zu kurz.

Die Studie, die ich kenne, sowohl was Pankreas angeht also auch was die Bürstensaumenzyme angeht, belegen meiner Meinung nach nicht so eindeutig, dass man wirklich eine effiziente Steigerung in der Enzymaktivität hat. Zumindest in diesen kurzen Perioden. Das man rein hypothetisch sagen könnte, o. k., der SGLT1 oder der GLUT2, von dem wir es noch nicht wissen, könnte hoch adaptiert sein irgendwie und die Limitierung wäre eventuell davor, aber ich gebe dir

völlig Recht, da wissen wir über die Zeitschiene noch zu wenig.

PFEFFER, BONN

Herr Gäbel, sie haben unter Berufung auf diese dänische Arbeit, die in der Pfortader ankommende Menge der aus dem Pansen verschwindenden gegenüber gestellt. Da waren es bei der Essigsäure rund 100 %, Propionsäure bei 90 und Buttersäure die Hälfte. Kann man aus der Arbeit auch ableiten, wie viel Milchsäure und  $\beta$ -Hydroxybutyrat angekommen sind? Mich würde interessieren, Summe aus Propionat plus Milchsäure bzw. Buttersäure plus  $\beta$ -Hydroxybutyrat in Prozent.

ANTWORT

Das ist der Schwachpunkt. Das ist ja eine Übersichtsarbeit, in der er praktisch sämtliche Arbeiten zusammengefasst hat, Verschwinden und Auftauchen. Er hat relativ selber viel gemacht. Wir bekommen das quantitativ nicht hin, d. h. wenn wir Buttersäure gegenrechnen in Mol gegen  $\beta$ -Hydroxybutyrat usw es taucht es nicht quantitativ auf, also wenn man sehr günstig rechnet, bekommen wir eine Differenz von vielleicht 50- 60 %. Da kann man nur spekulieren, dass die eventuell dann auch schon vorher irgendwo verstoffwechselt werden, aber wo?

BREVES, HANNOVER

Ich würde gerne noch einen Schritt weitergehen. Was wir ja auch berücksichtigen müssen, und ich denke, das war im Rahmen dieses Vortrages zeitlich nicht möglich, ist die Frage, was eigentlich auf Glukoneogeneseebene in der Leber passiert, wenn eine Situation durch die Ernährung geschaffen ist, dass mehr Glukose aus dem Darm kommt. Das ist ja auch eine Situation, die kontrovers diskutiert wird. Es gibt hier unterschiedliche Befunde. Die einen belegen, dass das dem Wiederkäuer sozusagen nichts ausmacht, andere weisen aber in die Richtung, dass der Wiederkäuer möglicherweise die glukoneogenetischen Schlüsselenzyme herunterreguliert, was dann im Ergebnis möglicherweise gar nichts verbessern

würde, mit der Ausnahme, dass man lediglich die Energie sparen würde, die für die Aktivierung der Fettsäuren erforderlich wäre.

ANTWORT

Es ist zwar blöd sich selber zu zitieren, aber wir hatten doch die Untersuchungen an den Milchkühen gemacht, wo wir Glukose nicht oral sondern intravenös verabreicht haben. Bei sehr hohen Glukosemengen, die über dem 1,5fachen des Erhaltungsbedarfs liegen, erfolgt eine Herunterregulierung in den Enzymen. Und das Add-On, was du an Glukose bekommst, taucht auch nicht in der Milch auf, sondern es taucht im Fett auf. Auf der enzymatischen Ebene scheint die Milch wohl relativ stabil zu sein. Ich bin kein Biochemiker, aber einfachen Veränderungen begegnet das Tier relativ stabil, indem es sagt o.k., ich habe die und die Milchproduktion und dabei lasse ich es jetzt.

SUSENBETH, KIEL

Ich möchte auf eine Eingangsbemerkung von Ihnen zu sprechen kommen. Sie haben gesagt, dass der Energiegewinn aus Glukose ungefähr 50 % beträgt. Das scheint mir doch kaum nachvollziehbar zu sein. Erstens ganz einfach der KL-Wert für die Milchbildung ist schon 60 %, aber vielleicht noch eine einfachere Überlegung. Ich fermentiere Glukose, dann habe ich 6,5 % Fermentationswärme, viel Methan entsteht nicht, selbst wenn ich 10 % annehme, dann habe ich 15 % Verlust, bin also auf jeden Fall über 80 % Energieausbeute. Können sie das klarstellen. Ich kann das nicht nachvollziehen.

ANTWORT

Ich habe die Daten jetzt quasi 1 : 1 übertragen und wenn sie jetzt die Daten schon nehmen, unsere Kollegin hat immer natürlich die Extremwerte genommen. Was den Energiebedarf Glukoneogenese angeht gibt es natürlich auch Spannen, was die Angaben angeht. Genau das gleiche gilt für die Fermentation. Es ist eine Approximierung, an die ich herankomme, um diese Fermentation, die in der ruminalen Gegend oder im Pansen stattfindet, zu vergleichen. Ihr Argument ist

ein bisschen Wasser auf meine Mühlen. Ich habe diese Zahlen nicht im Detail und kritisch überprüft, aber es ist Wasser auf meine Mühlen, wenn ich dort die Glukoneogenese nur mit 10 %, wenn ich mit 25 % Energieverlust rechne, komme ich wieder zugunsten des Pansens, was die Energieausbeute angeht.

FLACHOWSKY, BRAUNSCHWEIG

Zunächst mal zu der Adaptation. Das ist ja auch in der Arbeit Matthé ein bisschen verfolgt worden. Wir hatten ja nach 10 Tagen gesammelt. Die Tiere waren also duodenal und präzäkal fiskuliert und wir hatten die starke Anflutung da gemessen, nach 10 Tagen und nach 25 Tagen und da kam tatsächlich weniger an. Also diese 14 Tage dazwischen führten zu einem gewissen Adaptationsprozess zum besseren Abbau der Glukose. Die andere Sache mit diesen 50 % Herr Gäbel. Das liegt schon 10 Jahre zurück. Das ist ja auch nicht ganz so gegenwärtig. Sie hatten auch mit berücksichtigt, dass ja doch ein Teil der Stärke ausgeschieden wird, das der direkt im Kot ankommt. Der schlägt ja als Verlust mit nieder, wenn die Nahrung 50 % verlieren kann, das kann sogar noch weniger werden, wenn ich so große Mengen durch den Darm bringen will, dass da 1, 2, 3 Kilo, wir haben ja teilweise bis zu 10 kg Maisstärke verabreicht und da haben sie noch 2, 3 Kilo im Kot, das ist ein ganz unangenehmes Material und da haben sie nämlich riesige Energieverluste. Man muss im Detail noch mal sehen, aber zumindest war das damals doch belastungsfähiger, als was sie da gerechnet hatte.

EDER, GIESSEN

Herr Gäbel, sie haben gezeigt, dass im Pansenepithel ja auch Ketonkörper gebildet werden und nicht nur in der Leber. Was mich mal interessieren würde. Weiß man eigentlich was über die Regulation der Bildung dieser Ketonkörper im Pansenepithel? Sollte es nicht die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie in der Leber geben, also werden die auch hauptsächlich im Energiemangel gebildet oder gibt es da vielleicht eine andere Regulation? Trägt das dann zur Ketoseproblematik bei der Milchkuh bei?

ANTWORT

Die erste Frage. Wir haben immer einen basalen Katabolismus. Wenn dem Epithel Butyrat angeboten wird, wird Butyrat auch katabolisiert und es entstehen die Ketonkörper. Das hängt damit zusammen, dass die aktivierenden Enzyme im Pansenepithel sehr stark exprimiert sind und es auch zwei verschiedene gibt, die das selektiv raussuchen, selektiv in den Katabolismus einschleusen. Wenn sie noch parallel Glukose anbieten und Buttersäure, ist immer noch die Buttersäure dem Katabolismus unterworfen. Was die Ketogenese angeht, muss man natürlich jetzt quantifizieren. Es gibt so Abschätzungen, dass man sagt, dass wenn wirklich das Tier in die Ketose reinkommt, ist ja der Energiebedarf, der in der Milch entsteht, wesentlich größer als der Energiebedarf des Pansenepithels. Das heißt, unter diesen extremen Bedingungen, da macht dieser basale Ketonkörperfluss, der aus dem Epithel kommt, vielleicht 10 % aus. Das ist also dann zu vernachlässigen hinsichtlich der gesamten Ketogenese. Anders ist es natürlich im Tier, was nicht im ketogenetischen Zustand ist.

SÜDEKUM, BONN

Eine kurze Frage und eine Bemerkung. Ich fange mit der kurzen Frage an. Am Anfang, als es um die Aufteilung der kurzkettigen Fettsäurenabsorption aus den Vormägen und Fluss aus den Vormägen herausging, war da so eine Zahl 71/29 % als Aufteilung. Diese 29 %, gelangt das wirklich bis in den Labmagen und Dünndarm oder passiert zwischen drin im Blättermagen zusätzlich auch noch was, dass einfach im Zuge der Absorption von Wasser auch kurzkettige Fettsäuren verschwinden? Der Anteil von fast 30 % ist ja doch relativ hoch bezogen auf diese Gesamtmenge von 7 kg pro Tag.

ANTWORT

Der Blättermagen ist zur Fettsäureresorption, das sind ältere Daten, durchaus in der Lage, wahrscheinlich ähnliche Mechanismen wie im Vormagen, so dass es eventuell gar nicht in den Dünndarm gelangt. Meines Wissens ist nicht der Fluss von Fettsäuren

am Dünndarm wesentlich unter dem Ausfluss von Pansen, aber ich kann ihnen jetzt nicht die genauen quantitativen Zahlen sagen. Aber der Blättermagen ist eine große absorptive Komponente. Beim Labmagen gibt es widersprüchliche Daten. Die Einen sagen ja, die Anderen sagen nein.

SÜDEKUM, BONN

Aber diese 30 % oder knapp 30 %, die bezogen sich auf das, was den Pansen verlässt, nicht auf das, was die Vormägen Richtung Dünndarm verlässt.

ANTWORT

Was also praktisch in Richtung Psalterkanal fließt.

SÜDEKUM, BONN

Die Bemerkung, ich glaube man muss, wenn es um große Stärkemengen, die in den Dünndarm fließen, noch einen Schritt vorher anfangen zu überlegen, was da passiert. Ich glaube, dass der Ansatz, so wie Herr Breves die Empfehlung gerade auch gegeben hat, sich die Adaptationsprozesse an die Verdauung und dann im nachfolgenden Schritt bis zur Absorption anzuschauen, zu kurz greift. Die Stärke, die in den Dünndarm gelangt, gerade wenn es große Mengen sind, z. B. insbesondere Maisstärke und in anderen Regionen der Welt Sorghumstärke, die liegt ja nicht schon als freie gequollene und verkleisterte Stärke vor, sondern die liegt noch in Granula vor, die überhaupt erst mal physikalisch bestimmte Prozesse durchmachen müssen, bevor überhaupt eine Verdauung stattfinden kann. Ich glaube, dass das bei vielen Versuchen, ohne dass das gezielt eine Prüfvariante gewesen wäre, in diese zum Teil extrem schlechten Verdaulichkeiten, die dann ja auch in relativ großen Stärkemengen im Kot resultieren, mit hineinspielen. Das wird man schon mit berücksichtigen müssen, um nicht zu falschen Schlussfolgerungen zu kommen, letztlich was die Kapazität angeht.

MEYER, WEIHENSTEPHAN

Beim Menschen hat es ja eine Adaptation gegeben auf die Laktoseresorption. Also auch die Expression

nach dem 3. Lebensjahr ist ja durch eine Mutation begleitet, die sich jetzt bei 90 % der Europäer ausgebreitet hat. Kann es denn auch sein, dass so etwas wie die Kohlehydratverdauung im Dünndarm, was ja hoch spannend ist, dass es dort auch große Variabilitäten von Tier zu Tier gibt, dass man einfach bei der Betrachtung Kuh zu kurz greift, dass es da auch so etwas wie ein Persistenzgen oder so was gibt. Das Reh kann das ja und der Elch.

ANTWORT

Ich habe die Versuche mit Ziegen gemacht. Mit Ziegen hätte ich eher gedacht o.k., die sind von der Evolution her auf hohe Konzentrate ausgerichtet, aber auch da scheint es ja keinen Erfolg gegeben zu haben.

BREVES, HANNOVER

Wir haben das nun mittlerweile auch bei Kühen gemacht, die auf einer konventionellen TMR gehalten werden und da können wir mit Membranvesikelstudien und im Western-blot den SGLT1 eindeutig nachweisen, unter allen Ernährungsbedingungen, die uns da zur Verfügung stehen.

ANTWORT

Zu diesen SGLT1. Stürzt euch nicht so sehr darauf. Du kannst dich an unsere Diskussion erinnern, als ich den SGLT1 im Vormagen vorgestellt habe. Wollen wir nicht wiederholen! Du bekommst überall Expressionen vom SGLT1, aber er ist da, sowohl als Protein als auch auf der mRNA-Ebene, aber das sagt funktionell wirklich nicht so viel aus. Das ist ein Grundrauschen, was da ist. Wahrscheinlich hat jedes Epithel, mich würde z. B. die Wurmenschleimhaut interessieren, hat so ein Grundrauschen ein SGLT1.

WOLFFRAM, KIEL

Diese Sachen SGLT1. Es gibt ja ein Grundrecht. Es sind zum Teil kritisch zu beurteilende Sachen, insbesondere was bei der Soraya Shirazi Beechey gemacht worden ist damals. Ich selbst habe in meinen früheren Jahren mit isolierten Bürstensämen gearbeitet.

tet. Klassisches Modell auch zum Untersuchen von aktiven Transportvorgängen. Alle Präparate, auch vom Material vom Schlachthof, normale Schlachttiere, meistens natürlich Mastbullen, die ja auch ein bisschen konzentratreicher gefüttert werden, hatten eine hohe Aktivität, bis eine Art Glukosetransport. Eine hohe, durchaus so hoch, wie bei Schweinen. Wenn wir aus solchen Versuchen überhaupt handfeste Ableitungen machen möchten, muss ich sagen, gleiche Kapazitäten wie beim Schwein. Noch ein kurzer Kommentar zu den Km-Werten. Auch da würde ich zur Vorsicht raten. Man muss immer schauen, unter welchen Bedingungen Km-Werte und Vmax-Raten erhoben worden sind.

ANTWORT

Ich hoffe, wir widersprechen uns nur partiell. Erstens was die Explosion des SGLT1 angeht, gebe ich dir völlig Recht. Das war eigentlich mein Kommentar. Du findest eine hohe Expressionsrate sehr weit verbreitet, überall. Deshalb würde ich da auch mit Vorsicht raten, würde ich die mRNA- und die Protein-Daten oder selbst die Km-Daten immer wieder 1 : 1 extrapolieren. Du musst natürlich, wenn du diese Km-Werte anguckst, wirklich die Bedingungen angucken. Auch da, jetzt ist noch ein zweites Argument. Der Rinderdünndarm oder Schafdünndarm ist ja relativ lang, also das heißt, wenn ich viele Transporter hintereinander koppele, habe ich den gleichen Effekt, dass, wenn ich auf einer kurzen Strecke eine hohe Transporterdichte vorliegt. Wir haben natürlich das Problem, dass wir nicht so viel haben. Wir müssen gut zwei haben, wenn wir wirklich unseren Kuchen genießen wollen. Wir müssen bisschen komplexer an die Sache rangehen.

SCHWARZ, WEIHENSTEPHAN

Ich glaube, wir haben die Zeit ziemlich durch, aber ich möchte – ist vielleicht als Vorsitzender nicht so angebracht – noch eine Frage oder einen Abschluss stellen. Denn die Diskussion ist ja relativ stark auf die posttriminale Absorption von Energieträgern. Wenn sie das quantifizieren, welche relative Bedeutung hat

das eigentlich gegenüber der tatsächlichen Energieabsorption aus dem Pansen, um das noch in den Raum zu stellen. Kann ich mitnehmen, dass eigentlich eine Begrenzung der Absorption oder der Resorption, wie sie sagen, der Fettsäuren an sich als Energieträger im Pansen jetzt nicht so unbedingt relevant ist, weil wir ja den anderen Punkt schon vorgestellt hatten. Ich möchte das noch einmal hören, weil wir dann eigentlich zu der Aufnahme kommen.

ANTWORT

Es sollte eigentlich auch im Wesentlichen die Botschaft sein, dass man sich wirklich darauf besinnt, dass der Wiederkäuer ein Wiederkäuer ist und sich in der Evolution im Vormagen wirklich reichlich Prozesse ausgebildet haben, um das 1 : 1 zu transportieren und selbst diese Problematik mit den Säureeliminationen müssen sie sich auch denken. Wenn man das eine schafft, Fettsäurebicarbonataustausch, schafft man automatisch auch eine bessere Pufferpräsenz. Also da hat sich schon mal jemand was gedacht. Dass das wirklich diese sehr starke Diskussion, was passiert jetzt posttrimal ist letztendlich ein anderer Quotient in der Diskussion.

# Verzehrregulation



## 1. Nahrungsaufnahme und Energiehomöostase

Die Nahrungsaufnahme ist Teil der vitalen homöostatischen Regelkreise des Organismus, die das innere Milieu konstant halten. Bei Wiederkäuern ist die Nahrungsaufnahme ein wichtiger limitierender Faktor der Produktion, insbesondere in Haltungssystemen, welche auf Raufutter beruhen. Dabei kann wegen des niedrigen Trockensubstanzgehaltes von Raufutter die Nährstoffaufnahme zu gering sein, um das genetische Leistungspotenzial der Tiere auszuschöpfen (Kolver and Muller 1998). Zudem ist bei Stoffwechselstörungen der Wiederkäuer wie auch bei anderen Krankheiten die Nahrungsaufnahme reduziert. Im Hinblick auf mögliche Interventionen ist es deshalb nicht nur wissenschaftlich interessant, sondern auch von praktischer Bedeutung, die physiologischen Steuerungsmechanismen des Verzehr zu verstehen. Der diesbezügliche Wissenszuwachs war in den letzten 15 Jahren enorm [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Diese neuen Erkenntnisse wurden zwar vorwiegend an Labortieren gewonnen, alle verfügbaren Befunde deuten jedoch darauf hin, dass die grundlegenden Steuerungsmechanismen für den Verzehr in der Evolution sehr gut konserviert und dementsprechend bei allen Säugern gleich sind.

Auch bei Wiederkäuern steuern komplexe zentralnervöse Netzwerke wie viel und welche Nahrung verzehrt wird. Abbildung 1 zeigt die Steuerung der Nahrungsaufnahme als integralen Teil der Regulation der Energiehomöostase. Säuger sind im Energiegleichgewicht, wenn Energieverbrauch und Energie-

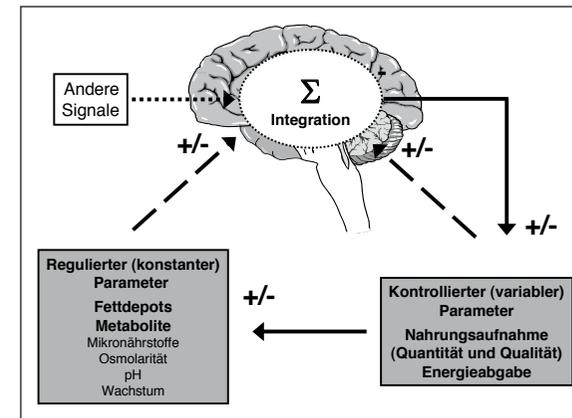


Abbildung 1: Die Steuerung der Nahrungsaufnahme als essentieller Teil der Regulation der Energiehomöostase. Siehe Text für Details.

aufnahme gleich sind. Trotz zum Teil erheblicher Fluktuationen von Energieaufnahme und Energieabgabe ist die Körpermasse gesunder, erwachsener Individuen langfristig erstaunlich konstant. Die Energiehomöostase wird demnach relativ gut reguliert. Das Gehirn registriert und integriert ( $\Sigma$ ) dabei Feedback-Signale, welche grössere Veränderungen der Körpermasse (=Regelgröße) widerspiegeln (1), und steuert den Verzehr so (2), dass die Regelgröße innerhalb einer gewissen Bandbreite bleibt (3). Das Gehirn verarbeitet dabei auch Informationen über Menge und Zusammensetzung der aufgenommenen

Nahrung (4) sowie weitere Faktoren (5), die weder von der Regelgrösse noch von der kontrollierten Variablen abhängen. Das Schema in Abbildung 1 stellt nur eine homöostatische Funktion der Nahrungsaufnahme dar; tatsächlich wird jede ihrer homöostatischen Funktionen durch einen zumindest teilweise separaten Regelkreis gesteuert.

## 2 Steuerung der Häufigkeit und Grösse von Mahlzeiten

### 2.1 Allgemeines

Nachdem nur ein kleiner Teil von überschüssig aufgenommener Energie in Form von Wärme abgegeben werden kann (Van Es *et al* 1984), wird die Energiehomöostase vorwiegend über Veränderungen der Nahrungsaufnahme reguliert. Die Nahrungsaufnahme erfolgt in Form von Mahlzeiten. Ein physiologischer Mechanismus, der die Energiehomöostase reguliert, muss demnach die Grösse und/oder Häufigkeit einzelner Mahlzeiten beeinflussen. Grösse, Häufigkeit und zirkadiane Verteilung der Mahlzeiten (=Mahlzeitmuster) sind speziesspezifisch. Bei freiem Zugang zu einem Alleinfutter fressen Kühe wie die meisten übrigen Haustiere und auch Ratten etwa 6-14 Mahlzeiten pro 24 h (Durst *et al* 1993, Senn *et al* 1995). Bei weidenden Wiederkäuern ist die Mahlzeitenfrequenz im Allgemeinen geringer, die Mahlzeitendauer jedoch deutlich länger (Roche *et al* 2008). Zudem ist bei wachsenden Tieren die Mahlzeitenfrequenz generell höher als bei ausgewachsenen.

Beginn und Ende von Mahlzeiten werden durch periphere Feedback-Signale bestimmt. Diese resultieren 1) aus der sensorischen Erfassung der Nahrung, vom Sehen und Erkennen bis zur eigentlichen Aufnahme, 2) aus der Anwesenheit der Nahrung und deren Abbauprodukte in den einzelnen Abschnitten des Verdauungstraktes sowie 3) aus der Verstoffwechslung resorbierter Nährstoffe (Abbildung 2) [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Die Übermittlung der betreffenden Signale ans Gehirn erfolgt über vagale und spinale viszerale Afferenzen sowie auf dem Blutweg.

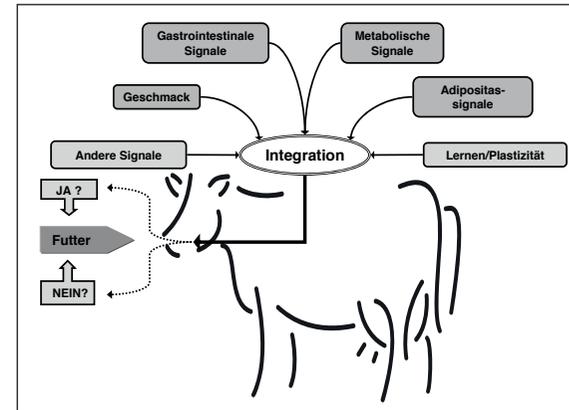


Abbildung 2: Unterschiedliche prä- und postabsorptive Signale werden im Gehirn integriert und steuern so die Nahrungsaufnahme. Siehe Text für Details.

### 2.2 Orosensorische Signale

Die Kombination gustatorischer, olfaktorischer, taktiler und thermischer Stimuli in der Maul- und Nasenhöhle ergibt den Geschmack der Nahrung. Diese Stimuli sind wichtig für das Auffinden und Erkennen der Nahrung, für die Nahrungswahl und für die hedonische Reaktion eines Individuums auf die Nahrung (Schmackhaftigkeit). Einige Präferenzen (süss, salzig bei Kochsalzmangel) und Aversionen (bitter und weniger ausgeprägt auch sauer) für gustatorische Stimuli sind angeboren und mit wenigen Ausnahmen für alle bisher untersuchten Säuger gleich. Generell wird die Akzeptanz von Geschmacksstimuli und damit die Nahrungswahl bei Säugern einschliesslich der Wiederkäuer jedoch primär durch erlernte Präferenzen und Aversionen bestimmt (Langhans und Geary 2010, Villalba und Provenza 2009). Dabei werden positive oder negative Konsequenzen der Nahrungsaufnahme mit den sensorischen Eigenschaften der Nahrung assoziiert, was fortan zur Bevorzugung oder Ablehnung von Nahrung mit diesem Geschmack führt. Solche Assoziationen finden bei jeder Nahrungsaufnahme statt, d.h. der aktuelle sensorische Eindruck ruft die gespeicherten Informationen ab, welche über Akzeptanz oder Ablehnung der Nah-

rung entscheiden und anhand der aktuellen Erfahrung kontinuierlich "aufdatiert" werden. Die Lernprozesse sind dann besonders effizient, wenn die Nahrung unbekannt ist und intensiv schmeckt. Aversionen treten auch bei Mangelernährung oder Intoxikationen auf (Villalba und Provenza 2009), zum Beispiel bei Nutztieren, deren Futter mit Pilztoxinen kontaminiert ist. Eine Geschmacksaversion führt zu Inappetenz, wenn keine andere Nahrung zur Auswahl steht. Umgekehrt können erlernte Geschmackspräferenzen bewirken, dass Tiere mit Nährstoffmangelzuständen ein Futter bevorzugen, welches die betreffenden Nährstoffe enthält. Viele Befunde belegen die Existenz und Effizienz dieser Mechanismen auch bei Wiederkäuern [siehe (Villalba und Provenza 2009)]. Beispielsweise lernen die Tiere sehr schnell, Futter auszuwählen, welches einen hohen Nährstoffgehalt und einen niedrigen Gehalt an potenziell abträglichen sekundären Pflanzeninhaltsstoffen hat. Auch soziales Lernen ist für die Nahrungswahl von grosser Bedeutung (Villalba und Provenza 2009). Dabei lernen beispielsweise Jungtiere durch Beobachtung des Muttertieres bestimmte Futterpflanzen zu meiden oder zu bevorzugen. Erlernte Geschmacksaversionen dürften auch bei manchen Krankheiten zur Verzehrsdepression beitragen. In der Humanmedizin sind sie ferner klinisch von Bedeutung für die als Nebenwirkung bei unterschiedlichen Behandlungen (z.B. Zytostatika, Strahlentherapie, hoch dosierte Antibiotika) auftretende Inappetenz.

Zusätzlich zu diesen Lernprozessen verändert sich die subjektive Bewertung des Geschmacks während der Nahrungsaufnahme, das heisst die Schmeckhaftigkeit nimmt im Verlauf einer Mahlzeit ab. Dies führt zu einer spezifischen Hemmung des Verzehrs der betreffenden Nahrung (=geschmacksspezifische Sättigung) (Rolls 1986). Nahrung mit anderem Geschmack wird meist noch bereitwillig verzehrt. Deshalb nimmt die Mahlzeitgrösse zu, wenn unterschiedliche Futtermittel angeboten werden. Dieser Mechanismus fördert das Wechseln von einer Nährstoffquelle zur anderen und erhöht damit aus teleologischer Sicht die Wahrscheinlichkeit einer ausgewogenen Ernährung.

### 2.3 Signale von den Vormägen und vom Labmagen (Abbildung 3)

Die Reservoirfunktion des Magens bildet eine wichtige Grundlage für die periodische Organisation der Nahrungsaufnahme. Analog zu den gastraln Sättigungssignalen bei Monogastriern hemmt bei Wiederkäuern die Reizung von retikulo-ruminalen Mechanosensoren insbesondere bei rohfaserreicher Fütterung (=geringe Energiedichte) die Nahrungsaufnahme (Forbes und Barrio 1992). Nachdem rohfaserreiches Futter langsamer verdaut wird und den Pansen langsamer wieder verlässt als Futter mit niedrigem Rohfasergehalt, führt Rohfaser zu einer stärkeren Vormagenfüllung und beeinflusst auf diese Weise die Futteraufnahme. Der Weitertransport von Partikeln in den Labmagen ist mit der Partikeldichte und der Amplitude der retikulo-ruminalen Kontraktionen korreliert und umgekehrt proportional zur Partikelgrösse. Ferner hängen Partikelgrösse und -dichte von der Wiederkauaktivität ab (Allen 1996).

Die Stimulierung retikulo-ruminaler Chemosensoren trägt ebenfalls zur Steuerung der Mahlzeitgrösse bei. Von den bei der Pansenfermentation entstehenden kurzkettigen Fettsäuren reduziert vor allem Acetat nach intraruminaler Infusion den Verzehr (Azahan

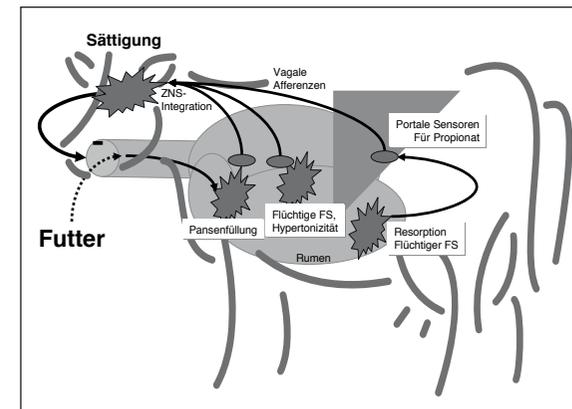


Abbildung 3: Sättigungssignale aus dem Vormagensystem der Wiederkäuer. Siehe Text für Details.

und Forbes 1992). Entsprechende Acetatinfusionen in den Labmagen oder in die Blutbahn beeinflussen die Futteraufnahme hingegen kaum. Vermutlich ist das betreffende Feedback-Signal jedoch nicht spezifisch für Essigsäure, sondern beruht zusätzlich auf einer Aktivierung ruminaler Osmosensoren. Ein Anstieg der Osmolarität des Panseninhalts wirkt bei Wiederkäuern nämlich sättigend (Carter und Grovum 1990). Die ebenfalls in der Pansenwand lokalisierten pH-Sensoren sind unter physiologischen Bedingungen für die Steuerung der Nahrungsaufnahme eher unbedeutend. Sie dürften jedoch zur Verzehrsdepression bei der Pansenacidose beitragen, weil bei einem starken Absinken des pH-Wertes im Pansen die Pansenmotorik durch die Aktivierung der pH-Sensoren reflektorisch gehemmt wird (Forbes und Barrio 1992). Die verzehrshemmenden Signale von retikuloruminale Chemo- und Mechanosensoren gelangen über afferente Vagusfasern zum Nucleus tractus solitarii (NTS) in der Medulla oblongata. Dies liefert vermutlich die morphologische Grundlage für den beobachteten synergistischen Sättigungseffekt von Vormagendehnung und der Konzentration flüchtiger Fettsäuren im Pansen (Forbes 1996).

Das bei Wiederkäuern von endokrinen Zellen der Fundusdrüsen des Labmagens in die Blutbahn abgegebene Hormon Ghrelin ist das einzige bekannte Gastrointestinalhormon, dessen Freisetzung nach Nahrungsentzug erhöht und nach einer Mahlzeit reduziert ist (Ueno *et al* 2005). Die parenterale Applikation von Ghrelin stimuliert den Verzehr bei monogastrischen Spezies (Ueno *et al* 2005). Nicht geklärt ist dabei, ob Ghrelin tatsächlich als "Hungerhormon" fungiert, oder ob es lediglich den Organismus auf die Ankunft von Nährstoffen vorbereitet und damit eine grosse Mahlzeit ermöglicht. Einige Resultate deuten darauf hin, dass Ghrelin auch bei Wiederkäuern den Verzehr stimuliert (Harrison *et al* 2008, Wertz-Lutz *et al* 2006). Bei der Ratte reduziert die Neutralisation von endogenem Ghrelin durch spezifische Antikörper den Verzehr (Nakazato *et al* 2001). Vergleichbare Befunde gibt es für Wiederkäuer bisher nicht. Anders als ursprünglich angenommen stimuliert Ghrelin die

Nahrungsaufnahme nicht über ein vagal afferentes Signal (Arnold *et al* 2006), sondern wahrscheinlich durch eine direkte Wirkung auf Neurone im hypothalamischen Nucleus arcuatus (Arc). Diese Neurone exprimieren das Neuropeptid Y (NPY) und das Agouti-related Peptid (AgRP), wichtige orexigene Neuropeptide bei der zentralnervösen Steuerung des Verzehrs (siehe unten).

### 2.3 Signale vom Dünndarm

Obwohl die Situation bei Wiederkäuern wegen der im Pansen stattfindenden Verdauung des Futters und der Resorption der flüchtigen Fettsäuren anders ist als bei Monogastriern, gibt es auch bei Wiederkäuern im Dünndarm lokalisierte Mechanismen, die das Gehirn über Menge und Zusammensetzung der in den Darm gelangenden Digesta informieren und damit auch den Verzehr hemmen. So reduzieren intraduodenale Nährstoffinfusionen die Nahrungsaufnahme im Allgemeinen stärker als vergleichbare intravenöse Infusionen [siehe (Langhans und Geary 2010)] und der im Verlauf einer Mahlzeit feststellbare Anstieg der Osmolarität des Dünndarminhalts hemmt ebenfalls den Verzehr (Haupt 1991). Die betreffenden Signale gelangen vorwiegend über vagale Afferenzen vom Dünndarm zum Gehirn. Diese vagalen Afferenzen scheinen polymodal zu sein, d.h. sie reagieren auf unterschiedliche Stimuli wie Dehnung (mechanisch), Zusammensetzung und pH-Wert der Digesta (chemisch) und auf intestinale Peptide bzw. andere Transmitter, die von enteroendokrinen Zellen oder Enterozyten als Antwort auf Nahrungsstimuli freigesetzt werden (Berthoud 2008). Mehrere intestinale Peptide besitzen einen ausgeprägten verzehrshemmenden Effekt, indem sie parakrin auf afferente Nerven oder endokrin direkt auf das Gehirn wirken (Berthoud 2008). Interessant ist auch, dass die Integration der unterschiedlichen Stimuli offenbar bereits in der Peripherie beginnt, nachdem synergistische Effekte von mechanischen und chemischen Stimuli auf die Aktionspotenzialfrequenz der vagalen Afferenzen gezeigt wurden (Schwartz *et al* 1991). Daraus resultieren letztlich auch die beobachteten synergistischen

Effekte der genannten Stimuli auf die Nahrungsaufnahme (Farningham *et al* 1993).

### **Cholecystokinin (CCK)**

CCK wird von I-Zellen im proximalen Dünndarm als Antwort auf intraluminale Stimuli (primär Fettsäuren und einige Aminosäuren) sezerniert. Wie der Name impliziert, stimuliert CCK die Gallenblasenentleerung und fördert damit die Bereitstellung von Gallensäuren für die Fettverdauung. Das Vorhandensein von CCK-Rezeptoren in der Gallenblase von Wiederkäuern (Schjoldager *et al* 1990) lässt vermuten, dass CCK hier einen grundsätzlich ähnlichen Effekt besitzt, obwohl bei Wiederkäuern normalerweise kaum Fett in den Dünndarm gelangt. Bei Monogastriern reduziert CCK nach parenteraler Applikation am Mahlzeitbeginn spezifisch die Mahlzeitgrösse. Umgekehrt führt die Applikation von CCK-1-Rezeptorantagonisten zu grösseren Mahlzeiten, was dafür spricht, dass der Sättigungseffekt von CCK physiologisch relevant ist [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Da dieser verzehrssteigernde Effekt auch bei lokaler Applikation des Rezeptorantagonisten in die arterielle Blutversorgung des Darmes auftrat, handelt es sich dabei vermutlich um einen lokalen Effekt von endogenem, intestinalem CCK. Diese und weitere Befunde sprechen dafür, dass CCK den Verzehr über einen parakrinen Effekt auf vagale Afferenzen in der Darmwand hemmt. Bei der Ratte hat CCK zusätzlich einen endokrinen Effekt auf vagale Afferenzen in der Pfortader am Eingang zur Leber. Ein physiologischer Sättigungseffekt von CCK ist auch bei Wiederkäuern gesichert, bei denen CCK nach parenteraler Applikation ebenfalls den Verzehr reduziert [siehe (Roche *et al* 2008)]. Bei Fütterung eines Alleinfutters mit unterschiedlichen Mengen an Fett stieg zudem die Plasmakonzentration von CCK bei Kühen nach der Mahlzeit mit dem Fettgehalt linear an und die Mahlzeitgrösse ging zurück. Diese Verzehrshemmung liess sich durch die intravenöse Infusion eines CCK-1-Rezeptor-Antagonisten aufheben (Choi *et al* 2000). Gezeigt wurde auch, dass die intracerebroventrikuläre Applikation von CCK-Antikörpern beim Schaf

die Futteraufnahme stimuliert (Dellafera *et al* 1981). Insgesamt sprechen diese Befunde für einen physiologischen Sättigungseffekt von endogenem CCK bei Wiederkäuern. Unklar ist, wie viel dieses Effektes durch eine parakrine Wirkung auf vagale Afferenzen in der Darmwand bedingt ist. Zusätzlich scheint entweder das vom Dünndarm freigesetzte, endogene CCK über einen direkten Effekt auf zentralnervöse CCK-Rezeptoren Sättigung zu induzieren, oder CCK ist als Neuropeptid in die Sättigung involviert.

Andere intestinale Peptide mit verzehrschmendem Effekt

Mehrere andere intestinale Peptide (Glucagon-like Peptide-1 [GLP-1], Peptide YY [PYY], Oxyntomodulin, etc.) und andere endogene Substanzen (Olethyl-Äthanolamine, Apolipoprotein A-IV, etc.) haben bei Monogastriern ebenfalls einen zum Teil ausgeprägten verzehrschmenden Effekt [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Über die Funktion dieser Substanzen bei Wiederkäuern ist jedoch kaum etwas bekannt (Roche *et al* 2008).

### **2.4 Pankreashormone**

Die Pankreashormone Insulin, Glucagon und Amylin tragen ebenfalls zur Steuerung der Nahrungsaufnahme bei (Woods *et al* 2006).

Glucagon wird insbesondere bei einem Abfall des Blutglucosespiegels aus den  $\alpha$ -Zellen des endokrinen Pankreas sezerniert und stimuliert die Glykogenolyse und Gluconeogenese. Zusätzlich wird Glucagon über einen cephalischen Reflex jedoch auch während der Nahrungsaufnahme freigesetzt, insbesondere beim Verzehr von Proteinen. Nach parenteraler Applikation vor einer Mahlzeit reduziert Glucagon spezifisch die Mahlzeitgrösse [siehe (Langhans und Geary 2010, Woods *et al* 2006)], während eine Blockade der Wirkung von endogenem Glucagon durch spezifische Glucagonantikörper den gegenteiligen Effekt hatte (Langhans *et al* 1982). Letzteres spricht für die physiologische Bedeutung des Sättigungseffekts von Glucagon. Dieser hat seinen Ursprung vermutlich in der Leber und wird über vagale Afferenzen ans Gehirn übermittelt. Bei Wiederkäuern führt auch ein

Anstieg der Propionatkonzentration im Blut zu einer Freisetzung von Glucagon aus den alpha-Zellen des Pankreas (Sano *et al* 1993). In den wenigen verfügbaren Studien bei Wiederkäuern hatte Glucagon ebenfalls einen kurzzeitigen Sättigungseffekt [z.B. (Deetz und Wangsness 1981)].

Insulin wird über cephalere und intestinale Reflexe im Verlauf einer Mahlzeit aus den  $\beta$ -Zellen des endokrinen Pankreas freigesetzt und reduziert nach parenteraler Applikation die Mahlzeitgröße, allerdings nur in nicht hypoglykämisch wirkenden Dosen [siehe (Langhans und Geary 2010, Woods *et al* 2006)]. Die Freisetzung von Insulin im Verlauf einer Mahlzeit wird bei Wiederkäuern auch durch vom Labmagen und Pylorus ausgehende vago-vagale Reflexe gesteuert (Herath *et al* 1999). Die Zunahme der Mahlzeitgröße nach Infusion von spezifischen Insulinantikörpern in die Pfortader von Ratten während einer Mahlzeit spricht wiederum für die physiologische Relevanz der Sättigungswirkung von endogenem Insulin (Surinabaumgartner *et al* 1995). Bei Wiederkäuern hat Insulin in nicht-hypoglykämischen Dosen ebenfalls einen kurzfristigen Sättigungseffekt (Deetz und Wangsness 1981). Nachdem Insulin den Verzehr beim Schaf auch nach intracerebroventrikulärer Infusion reduziert (Foster *et al* 1991), scheint dieser Effekt zentral vermittelt zu sein. Insulin wird ferner als Adipositasignal diskutiert (siehe unten).

Amylin wird gemeinsam mit Insulin von den  $\beta$ -Zellen sezerniert. Viele Befunde [siehe (Woods *et al* 2006)] sprechen dafür, dass auch Amylin bei Monogastrern eine Sättigungsfunktion besitzt, die über Rezeptoren in der Area postrema (AP) vermittelt wird. Für Wiederkäuer gibt es diesbezüglich nur sehr wenige Hinweise. In einer Studie reduzierte die periphere Infusion von Amylin den Verzehr bei Zwergziegen (Del Prete *et al* 2002).

#### 2.4 Metabolische Signale (Abbildung 4)

Bei Monogastrern wurde vielfach gezeigt, dass die parenterale Applikation unterschiedlicher Energie liefernder Substrate und langfristige parenterale Ernährung die Nahrungsaufnahme reduzieren, während

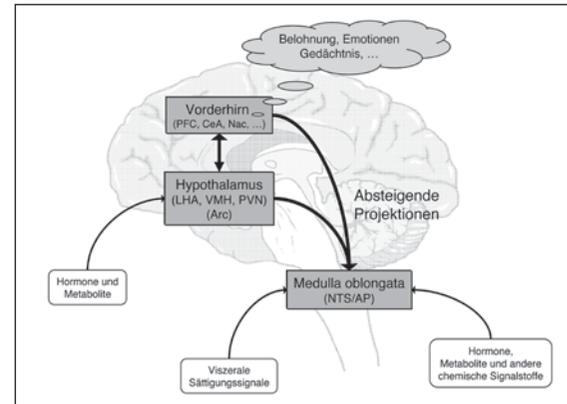


Abbildung 4: Zentralnervöse Steuerung der Nahrungsaufnahme. Siehe Text für Details.

Antimetabolite des Glucose- und Fettstoffwechsels den gegenteiligen Effekt besitzen [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Proteine bzw. resorbierte Aminosäuren werden rasch metabolisiert. Ihr schnell einsetzender und oft ausgeprägter Sättigungseffekt bei Monogastrern scheint jedoch eher durch Gastrointestinalhormone als durch ihre Verstoffwechslung vermittelt zu werden. Kohlenhydrate (insbesondere Glucose) und Fette sind die wichtigsten Energie liefernden Substrate bei monogastrischen Spezies. Viele Befunde sprechen denn auch dafür, dass die Verstoffwechslung von Glucose und langkettigen Fettsäuren bei Monogastrern an der Steuerung der Nahrungsaufnahme beteiligt ist. Neuere Konzepte basieren auf der Annahme, dass die Verstoffwechslung von Glucose von einem Netzwerk spezifischer, glucose-sensitiver Neurone in der Peripherie, z.B. in der Wand der Pfortader, und im Zentralnervensystem (ZNS), insbesondere im Nucleus tractus solitarii (NTS) sowie im Hypothalamus registriert wird und dass eine von diesen Sensoren festgestellte Zu- oder Abnahme der Glucoseverstoffwechslung den Verzehr hemmt bzw. stimuliert [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Im Gegensatz zu den Befunden bei Monogastrern beeinflusst Glucose die Nahrungsaufnahme bei Wiederkäuern kaum (Faverdin 1999).

Auch die Oxidation von langkettigen Fettsäuren wird offenbar registriert zu werden und generiert ein Signal, welches die Nahrungsaufnahme beeinflusst [siehe (Langhans 2010, Langhans und Geary 2010)]. Die betreffenden Sensoren wurden lange Zeit vorwiegend in der Leber vermutet. In den letzten Jahren zeigte sich jedoch, dass auch einzelne Neurone im Hypothalamus auf Veränderungen im Fettstoffwechsel reagieren. Neuerdings wird ferner vermutet, dass freie Nervenendigungen in der Dünndarmwand als Sensoren für die Fettsäureoxidation fungieren. Über diese Sensoren könnten Veränderungen der Fettsäureoxidation in Darmepithelzellen ein vagal vermitteltes Hunger- oder Sättigungssignal auslösen (Langhans 2008, Langhans 2010).

Wegen des niedrigen Futterfettgehaltes und den Besonderheiten der Verdauung, sind Fette bzw. freie Fettsäuren für die Energieversorgung der Wiederkäuer von geringerer Bedeutung als bei Monogastriern. Trotzdem könnten Fettsäuren bzw. deren Oxidation auch bei Wiederkäuern die Nahrungsaufnahme beeinflussen. So wurde gezeigt, dass intravenöse Infusionen von Fettsäure-Albumin-Komplexen oder Fettemulsionen, von denen durch Aktivierung der Lipoproteinlipase Fettsäuren freigesetzt wurden, bei Wiederkäuern den Verzehr hemmen (Bareille und Faverdin 1996, Vandermeerschendoize und Paquay 1984). Die Plasmakonzentration von freien Fettsäuren steigt nach einer fettreichen Mahlzeit durch die LPL-vermittelte Hydrolyse der Triglyceride in Chylomikronen an. Dies gilt auch für Wiederkäuer. Anders als bei Monogastriern führt eine pharmakologische Hemmung der Fettsäureoxidation bei Wiederkäuern jedoch nicht zu einer Stimulierung, sondern zu einer Hemmung des Verzehrs [z.B. (Choi *et al* 1997)]. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die eingesetzten Hemmstoffe der Fettsäureoxidation die Pansenmotorik hemmten, was einem eventuellen verzehrssteigernden Effekt vermutlich entgegenwirkte. Ein Hemmeffekt der Fettsäureoxidation auf den Verzehr könnte insbesondere bei der Ketose der Wiederkäuer praxisrelevant sein, wenn eine massiv erhöhte Fettsäureoxidation und Ketonkörperbildung mit einer

ausgeprägten Hemmung des Verzehrs einhergeht.

Die Fettsäureoxidation in der Leber und die Ketonkörperbildung sind eng miteinander verknüpft. Ein rascher Anstieg der Ketonkörperspiegel im Blut wurde nach der Milchaufnahme bei Kälbern wie auch nach dem Verzehr einer (milch-)fettreichen Mahlzeit beim Menschen beobachtet. Diese Befunde beruhen sicher auf der raschen Oxidation von vorwiegend mittelkettigen (Milchfett) Fettsäuren in der Leber. Bei erwachsenen Wiederkäuern kann die Plasmakonzentration von Ketonkörpern in Abhängigkeit von der Futterzusammensetzung aber durch die Aktivierung der ruminalen Ketogenese auch nach normalen Mahlzeiten ansteigen (Duske *et al* 2009). Solche Befunde sind interessant, weil Beta-Hydroxybutyrat (BHB) nicht nur nach parenteraler peripherer oder intracerebroventrikulärer Applikation bei Monogastriern (Davis *et al* 1981, Langhans *et al* 1983), sondern auch nach intravenöser Applikation bei Zwergziegen (Rossi *et al* 2000) den Verzehr reduziert. Der verzehrsreduzierende Effekt von BHB-Infusionen bei Zwergziegen war durch eine reduzierte Mahlzeitenfrequenz bei unveränderter Mahlzeitgröße bedingt (Rossi *et al* 2000). BHB könnte den Verzehr über einen peripheren Effekt (Langhans *et al* 1985), aber auch durch eine direkte zentralnervöse Wirkung (Hawkins und Biebuyck 1979) hemmen.

Trotz seiner zentralen Rolle im Stoffwechsel besitzt das aus dem Pansen resorbierte Acetat bei Wiederkäuern offenbar keine wichtige Sättigungsfunktion. Bei ad libitum-Fütterung ist kein deutlicher mahlzeitinduzierter Anstieg der Acetatkonzentration im Plasma feststellbar und die intravenöse Infusion von Acetat reduziert die Futteraufnahme kaum. Propionat scheint jedoch eine wichtige Rolle bei der metabolischen Steuerung der Nahrungsaufnahme zu spielen. Infusionen von Propionat in eine Mesenterialvene (Elliot *et al* 1985, Leuvenink *et al* 1997) oder in die Pfortader hemmen bei Wiederkäuern den Verzehr. In einer Serie von Untersuchungen an Schafen führten Propionatinfusionen (0.6–2.5 mmol/min) in die Pfortader zu einer linear dosisabhängigen Reduktion der Futteraufnahme und zu einem Anstieg der peripheren

Glucosekonzentration (Farningham und Whyte 1993). Dabei war der verzehrschemmende Effekt von Propionat nicht osmotisch bedingt und wesentlich stärker als der Effekt vergleichbarer Acetat-Infusionen. In anderen Untersuchungen führte zwar die Infusion von Propionat in die Pfortader, nicht aber die Infusion in die Jugularvene zu einer Verzehrschemmung (Anil und Forbes 1980). Ausserdem trat der Effekt von Pfortaderinfusionen nach einer weitgehenden chirurgischen Denervation (Anil und Forbes 1980) bzw. pharmakologischen Blockade (Anil und Forbes 1987) der parasympathischen Lebernerven nicht auf. Interessant ist auch, dass Propionat in einer Studie den Verzehr zwar bei Infusion in eine Mesenterialvene, nicht aber bei Infusion in die Pfortader reduzierte, wenn die Spitze des Katheters direkt am Eingang zur Leber war (Leuvenink *et al* 1997). Insgesamt sprechen diese Befunde dafür, dass der Sättigungseffekt von Propionat seinen Ursprung im Bereich der Pfortader hat. Dazu passt, dass Propionat als wichtiges gluconeogenetisches Substrat bei Wiederkäuern vorwiegend in der Leber verstoffwechselt wird. Wie Propionat die portalen Sensoren stimuliert, ist unbekannt. Interessant ist jedoch, dass kombinierte Infusionen von Propionat und CCK in Dosen, die für sich alleine keinen Einfluss auf den Verzehr hatten, die Futteraufnahme beim Schaf deutlich reduzierten (Farningham *et al* 1993). Auch dieser synergistische Effekt könnte durch polymodale Vagusafferenzen vermittelt werden.

Die metabolische Steuerung der Nahrungsaufnahme dürfte letztlich auf einem der Verstoffwechslung aller Substrate gemeinsamem Mass für den Energieumsatz beruhen [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Eine Reduktion der intrazellulären Verfügbarkeit von Energie durch eine Abnahme der Glucoseutilisation oder Fettsäureoxidation erhöht das AMP/ATP-Verhältnis und aktiviert den ubiquitären zellulären Energiesensor AMP-Kinase (AMPK) (Kahn *et al* 2005). Die Aktivierung (Inaktivierung) der AMPK in hypothalamischen Neuronen reduziert (stimuliert) den Verzehr (Andersson *et al* 2004, Minokoshi *et al* 2004). Die AMPK steht dabei im Wechselspiel mit einer anderen Kinase, dem Mammalian target of rapamycin

(mTOR) (Cota *et al* 2006). Die Konzentrationen von AMPK und mTOR sind umgekehrt proportional und ihr Effekt auf den Verzehr ist reziprok. Interessanterweise reagieren AMPK und mTOR nicht nur auf Veränderungen im zellulären Energiefluss, sondern vermitteln zumindest teilweise auch den Effekt von Hormonen wie Leptin und Ghrelin auf den Verzehr [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Damit integrieren sie Informationen über die zelluläre Verfügbarkeit von Energie und den endokrinen Status und steuern so die Aktivität der hypothalamischen Neurone, die an der Regulation der Energiehomöostase beteiligt sind (siehe unten).

### 3. Adipositassignale

#### 3.1 Allgemeines

Veränderungen der Körpermasse erwachsener Individuen beruhen weitgehend auf Veränderungen in der Grösse der Fettdepots. Da die Energiehomöostase vorwiegend über die Nahrungsaufnahme reguliert wird (siehe oben), ist anzunehmen, dass die Grösse der Fettdepots den Verzehr beeinflusst. Tatsächlich kompensieren Versuchstiere experimentelle Veränderungen der Grösse der Fettdepots auch über Veränderungen des Verzehrs [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Dies setzt die Existenz von Signalen voraus, die das Gehirn über die Grösse der Fettdepots informieren (Adipositassignale) und damit den Verzehr steuern.

Insbesondere zwei Hormone werden heute als Adipositassignale diskutiert [siehe (Langhans und Geary 2010, Woods *et al* 2006)]: Leptin, welches im Fettgewebe selbst synthetisiert wird, sowie das Pankreashormon Insulin. Die basalen Plasmaspiegel von Leptin und Insulin sind mit der Grösse der Fettdepots direkt korreliert, und ihre Applikation in die Hirnventrikel von Versuchstieren in peripher unwirksamen Dosen reduziert den Verzehr. Obwohl es bei Nutztieren schwierig ist, die Rolle von Adipositassignalen spezifisch zu untersuchen, gibt es einige indirekte Hinweise darauf, dass auch bei Wiederkäuern ein ähnlicher Mechanismus zur Aufrechterhaltung/Verteidigung der in Fett angelegten Energiereserven

des Organismus existiert (Roche *et al* 2008). Wie andere Säuger haben auch Wiederkäuer unterschiedliche Speicherfettdepots (subkutan, intraabdominal, intramuskulär), die bezüglich der Adipositasignale vermutlich von Bedeutung sind.

Leptin wird vorwiegend im Fettgewebe produziert, findet sich aber auch in der Plazenta, in der Skelettmuskulatur, in der Milchdrüse, im Verdauungstrakt und im Gehirn. Wie erwähnt ist die Plasmakonzentration von Leptin auch bei Wiederkäuern mit der Körperfettmasse korreliert (Blache *et al* 2000b, Delavaud *et al* 2000, Ehrhardt *et al* 2000). Wenngleich die Leptinliteratur bei Wiederkäuern durch die Funktion des Hormons bei der Fruchtbarkeit dominiert wird, wurde in einigen Studien auch gezeigt, dass Leptin die Futteraufnahme hemmt. Wie bei Monogastriern tritt dieser Effekt jedoch nur bei hohen Leptindosen auf (Blache *et al* 2000a). Ferner scheinen der verzehrsreduzierende Effekt von Leptin und sein Transport über die Bluthirnschranke jahreszeitabhängig zu variieren. Interessant ist auch, dass der verzehrschemmende Effekt von Leptin bei weiblichen Schafen stärker ausgeprägt ist als bei männlichen Schafen (Clarke *et al* 2001). Ein analoges Phänomen ist von Ratten und Mäusen bekannt [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Die Plasmakonzentration von Leptin unterliegt auch beträchtlichen kurzfristigen Schwankungen, die sich nicht durch Veränderungen in der Grösse der Fettdepots oder Fettzellen erklären lassen [siehe (Roche *et al* 2008)]. Es wurde aber vermutet, dass Leptin eher den Energiefluss über die Fettzellmembran als die Grösse der Fettdepots reflektiert. Die Bedeutung dieser Dynamik ist bisher weitgehend unbekannt.

Klar ist hingegen, dass Leptin die Nahrungsaufnahme über eine Modulation der Mahlzeitgrösse reduziert (Kahler *et al* 1998). Konkret verstärkt es den Sättigungseffekt von gastrointestinalen Sättigungssignalen wie intestinalen Peptiden (CCK und GLP-1) oder der Magendehnung [siehe (Blevins und Baskin 2010, Langhans und Geary 2010)]. Bei normalgewichtigen Ratten führte die chronische intracerebroventrikuläre Applikation eines Leptin-Antagonisten zu einem Anstieg der Futteraufnahme (Zhang *et al* 2007),

was für eine physiologische Rolle des Hormons bei der Regulation der Energiehomöostase spricht. Übergewicht geht normalerweise jedoch mit einer ausgeprägten Leptin-Resistenz einher, d.h. Leptin reduziert den Verzehr nicht mehr. Solche und andere Befunde führten auch zu der Annahme, dass die Abnahme der Leptinkonzentration im Blut bei längerer Nahrungskarenz eine stärkere Signalwirkung (für Hunger und für eine Einschränkung des Stoffwechsels) besitzt als ein Anstieg der Leptinkonzentration (für Sättigung und eine Steigerung des Stoffwechsels) [siehe (Langhans und Geary 2010)].

Auch Insulin wird seit langem als Adipositasignal bei der Steuerung der Nahrungsaufnahme diskutiert [siehe (Langhans und Geary 2010, Woods *et al* 2006)]. Die chronische intracerebroventrikuläre Applikation von Insulin reduzierte beispielsweise Futteraufnahme und Körpergewicht beim Schaf (Foster *et al* 1991). Dieser Effekt ging mit einer Reduktion der Insulinkonzentration im Plasma einher, was darauf schliessen lässt, dass er nicht durch Glucose vermittelt war.

#### 4 Zentralnervöse Mechanismen (Abbildung 4)

Die Nahrungsaufnahme wird bei allen Säugern über ein weit verzweigtes neuronales Netzwerk gesteuert [siehe (Langhans und Geary 2010)], welches mindestens drei wichtige Knotenpunkte besitzt: 1) einen Teil der Medulla oblongata einschliesslich des NTS, (2) eine Gruppe von hypothalamischen Kernen und (3) einige eng verknüpfte Areale im Endhirn.

##### 4.1 Medulla oblongata

Vom Verdauungstrakt gelangen die Informationen über Grösse und Nährstoffzusammensetzung einer Mahlzeit über vagale und spinal viszerale Afferenzen zum Gehirn, wo sie im NTS erstmals umgeschaltet werden. Auch die Geschmacksafferenzen werden im NTS umgeschaltet. Im Blut zirkulierende Signalmoleküle können ferner über die AP registriert werden. Die im Dach des 4. Hirnventrikels gelegene AP hat als Zirkumventrikularorgan eine durchlässige Bluthirnschranke und steht in engem Kontakt mit dem NTS [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Die im

NTS beginnende Konvergenz von gastrointestinalen Signalen und Geschmacksinformationen ist für die subjektive Bewertung des Geschmacks, d.h. für die Schmackhaftigkeit (siehe oben) wichtig. Motoneurone der Medulla oblongata fungieren zudem als "final common pathways" für die Steuerung der Kau- und Schluckbewegungen. Die Medulla oblongata empfängt und verarbeitet somit auch Signale von rostralen Teilen des Gehirns. Die absteigenden Signale vom Hypothalamus sind auch die Grundlage der oben erwähnten Modulation der mahlzeitbezogenen Sättigungssignale durch Adipositassignale [siehe (Blevins und Baskin 2010)].

#### 4.2 Hypothalamus

Der im Zwischenhirn gelegene Hypothalamus verarbeitet vor allem metabolische Signale und Adipositassignale, aber auch orosensorische und einige gastrointestinale Signale. Für die Steuerung der Nahrungsaufnahme wichtige hypothalamische Kerne sind der Nucleus arcuatus (Arc), der Nucleus paraventricularis (PVN) und der Laterale Hypothalamus (LHA) (Abbildung) [siehe (Langhans und Geary 2010)].

Die nachfolgend dargestellten Zusammenhänge ergaben sich vor allem aus den Untersuchungen zum zentralnervösen Wirkmechanismus von Leptin. Rezeptoren für Leptin, Insulin und auch Ghrelin sind vorwiegend im Arc lokalisiert. Leptin und Insulinrezeptoren wurden dort auf zwei interagierenden Neuronenpopulationen nachgewiesen, die an der homöostatischen Steuerung von Nahrungsaufnahme und Energieabgabe beteiligt sind [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Die Axone dieser Neurone ziehen vom Arc zum PVN und zum LHA: Die eine Gruppe von Neuronen, die durch Leptin gehemmt wird, exprimiert zwei anabol (Steigerung des Verzehr + Hemmung der Energieabgabe) wirkende Neuropeptide, nämlich das NPY und das AgRP. Die Applikation von NPY direkt in das Gehirn stimuliert auch bei Wiederkäuern die Futteraufnahme (Miner *et al* 1989), und die Expression von NPY im Hypothalamus nimmt bei Futterentzug zu (Archer *et al* 2002). Ausser im Arc gibt es NPY-exprimierende

Neurone auch im dorsomedialen Hypothalamus, und die NPY-Expression in diesen Neuronen ist während der Laktation sowie bei chronischer Futterrestriktion erhöht (Sorensen *et al* 2002). Das AgRP wirkt als endogener Antagonist an hypothalamischen Melanocortin-4 (MC4)-Rezeptoren [siehe (Langhans und Geary 2010)], d.h., es stimuliert den Verzehr über eine Antagonisierung des verzehrshehmenden Effekts von  $\alpha$ MSH (siehe unten). Auch die AgRP-Expression ist bei Futterentzug (Archer *et al* 2002) und während der Laktation (Sorensen *et al* 2002) erhöht. Insgesamt sprechen diese Befunde dafür, dass NPY und AgRP an der Steigerung der Futtermittelaufnahme in diesen Situationen beteiligt sind.

Die andere Gruppe von Arc-Neuronen wird durch Leptin aktiviert und exprimiert zwei katabol wirkende Neuropeptide, nämlich das aus Proopiomelanocortin (POMC) gebildete alpha-Melanozyten-stimulierende-Hormon ( $\alpha$ MSH), und das Cocaine und Amphetamine-regulated Transcript (CART) [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Die Aktivierung der  $\alpha$ MSH/CART-Neurone führt zu einer Hemmung des Verzehr, die im Falle des  $\alpha$ MSH über die Aktivierung der MC4-Rezeptoren an den Zielzellen vermittelt wird. Die Expression von POMC ist während der Laktation beim Schaf vermindert (Sorensen *et al* 2002), was vermutlich die dabei auftretende Verzehrsteigerung begünstigt. Serotonin (5-Hydroxytryptophan, 5HT), das einen zentralen durch 5HT 2C-Rezeptoren vermittelten verzehrshehmenden Effekt besitzt, wirkt auf dieses Arc-Netzwerk indem es unter anderem über 5HT 2C-Rezeptoren die  $\alpha$ MSH/CART-Neurone des Arc aktiviert [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Serotonin und serotoninerge Pharmaka führen bei chronischer Applikation zu einer Reduktion der Körpermasse. Diesen Neuronen nachgeschaltet wirken noch andere Neuropeptide, wie zum Beispiel das vorwiegend im LHA exprimierte Melanin-Concentrating-Hormon (MCH, anabol), die Orexine (anabol), endogene Opiode (im Wesentlichen anabol), oder das Corticotropin-Releasing-Hormon (CRH, katabol) [siehe (Langhans und Geary 2010)].

Absteigende Neurone vom PVN und Arc zum

NTS und benachbarten Arealen der Medulla oblongata exprimieren insbesondere die Neuropeptide CRH, Oxytocin und Gastrin-Releasing Peptide, welche alle nach zentraler Applikation die Nahrungsaufnahme hemmen [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Diese absteigenden Projektionen vermitteln die Modulation gastrointestinaler Feedback-Signale durch Adipositasignale [siehe oben und (Blevins und Baskin 2010)]. Neuere Resultate zeigen beispielsweise, dass die OT-Projektionen zur Medulla oblongata den Sättigungseffekt von CCK modulieren. Denselben Effekt haben offenbar  $\alpha$ MSH/CART-Neurone mit Ursprung im Arc.

#### 4.3 Endhirn

Die zum Endhirn gehörenden Anteile des neuronalen Netzwerkes, welches die Nahrungsaufnahme steuert, sind vor allem für die verschiedenen Aspekte des Belohnungseffekts der Nahrung von Bedeutung [siehe (Langhans und Geary 2010)]. Die beteiligten Strukturen, wie zum Beispiel der Nucleus accumbens (NAc) und die zentralen Anteile der Amygdala (CeA), haben enge Verbindungen mit den oben erwähnten medullären und hypothalamischen Schaltkreisen. Die involvierten Neurotransmitter (Dopamin, Noradrenalin und Serotonin) spielen deshalb sowohl im Belohnungssystem als auch bei der homöostatischen Steuerung der Nahrungsaufnahme eine Rolle. Interessant ist ferner, dass die Schaltkreise und Mechanismen, welche den Belohnungseffekt der Nahrung vermitteln, weitgehend mit denjenigen deckungsgleich sind, die den Belohnungseffekt anderer natürlicher (z.B. Wasser bei Durst, Sex) oder unnatürlicher (z.B. Drogen) Stimuli vermitteln. Innerhalb des NAc vermitteln insbesondere Dopamin, Opioide, Endocannabinoide, Acetylcholin und GABA den Belohnungseffekt der Nahrung. Die geschilderten Mechanismen wurden vor allem an Labornagern charakterisiert, sind jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit auch bei anderen Spezies identisch, wobei insbesondere bei Primaten der orbitofrontale Cortex und Teile der Insula die Rolle des NAc zum Teil übernehmen.

#### 6 Modulatoren der Nahrungsaufnahme (Abbildung 5)

Die Nahrungsaufnahme wird durch weitere exogene und endogene Faktoren moduliert, die a priori nichts mit der geschilderten physiologischen Steuerung zu tun haben. Enge Interaktionen bestehen beispielsweise zwischen Nahrungs- und Wasseraufnahme. Typischerweise trinken Tier und Mensch vorwiegend in Relation zu Mahlzeiten. Menge und Zusammensetzung der aufgenommenen Nahrung sind dabei wichtige Determinanten der Flüssigkeitsaufnahme. Andererseits ist die Nahrungsaufnahme bei Wassermangel deutlich reduziert. Bei Wiederkäuern dürfte eine Ursache dafür der bei Wassermangel besonders ausgeprägte Anstieg der Osmolarität der Pansenflüssigkeit sein [siehe (Langhans *et al* 1995)]. Die Verzehrsreduktion bei Wassermangel ist für Wiederkäuer von praktischer Bedeutung, weil sie in vielen Gegenden der Erde regelmässig Dehydrations-Phasen ausgesetzt sind. Zudem reagieren laktierende Wiederkäuer auf Wassermangel mit einer deutlich verminderten Milchleistung.

Bei weiblichen Individuen fluktuiert die Nahrungsaufnahme in Abhängigkeit vom Sexualzyklus. Der Verzehr nimmt im Proöstrus ab und erreicht im Östrus ein Minimum. Dies ist auf den verzehrs-

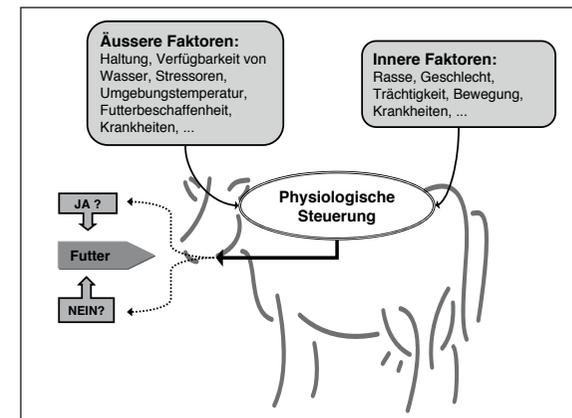


Abbildung 5: Modulation der physiologischen Steuerung der Nahrungsaufnahme durch äussere und innere Faktoren. Siehe Text für Details.

reduzierenden Effekt der Östrogene zurückzuführen [siehe (Asarian und Geary 2006)]. Über Östrogenrezeptoren im NTS verstärken Östrogene den Effekt von peripheren Sättigungssignalen wie CCK. Während der Gravidität und während der Laktation steigt der Energiebedarf gegenüber dem Erhaltungsbedarf adulter Tiere deutlich an und die Nahrungsaufnahme nimmt normalerweise zu, die zugrundeliegenden Mechanismen sind aber nicht vollständig geklärt. Prolaktin könnte zu der Verzehrerhöhung während der Laktation beitragen. Trotz dieser Verzehrerhöhung befinden sich Kühe in der ersten Phase der Laktation jedoch in einer negativen Energiebilanz, aus der sich bei der Hochleistungskuh oft eine Ketose entwickelt. Warum die Milchkuh in dieser Phase nicht entsprechend ihrem Energiebedarf frisst, ist unbekannt.

Die bei Krankheiten zu beobachtende Verzehrsdepression ist Bestandteil der als Akutphasenantwort bezeichneten generalisierten Abwehrreaktion des Organismus auf Infektionen und andere Noxen (Langhans 2007). Sie wird durch proinflammatorische Zytokine vermittelt, die bei Antigenkontakt insbesondere von Monozyten, Makrophagen, Epithel- und anderen Zellen freigesetzt werden. Viele Zytokine (vor allem Interleukin-1, Interleukin-6, Tumor-Nekrose-Faktor- $\alpha$  und Interferon- $\gamma$ ) besitzen einen ausgeprägten verzehrsreduzierenden Effekt. Zytokine hemmen den Verzehr über eine Modulation der oben erwähnten Neurotransmitter- und Neuropeptidsysteme. An der Blut-Hirn-Schranke führen Zytokine zur Freisetzung von Neuromodulatoren wie Prostaglandinen die auf die oben erwähnten Schaltkreise einwirken (Langhans 2007). Ausserdem dürften erlernte Aversionen bei manchen Formen von Inappetenz bei Krankheit eine Rolle spielen.

Weitere praktisch wichtige Beispiele für die Modulation der physiologischen Steuerung der Nahrungsaufnahme sind die inverse Korrelation zwischen Umgebungstemperatur und Nahrungsaufnahme, die Steigerung der Nahrungsaufnahme während des Wachstums und der Einfluss von Stress auf die Nahrungsaufnahme.

#### Literaturverzeichnis

- Allen MS (1996), Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants, *Journal of Animal Science* 74: 3063-3075
- Andersson U, Filipsson K, Abbott CR, Woods A, Smith K, Bloom SR, Carling D, Small CJ (2004), AMP-activated protein kinase plays a role in the control of food intake, *Journal of Biological Chemistry* 279: 12005-12008
- Anil MH, Forbes JM (1980), Feeding in sheep during intraportal infusions of short-chain fatty-acids and the effect of liver denervation, *Journal of Physiology-London* 298: 407
- Anil MH, Forbes JM (1987), Neural control and neurosensory functions of the liver, *Proceedings of the Nutrition Society* 46: 125-133
- Archer ZA, Rhind SM, Findlay PA, Kyle CE, Thomas L, Marie M, Adam CL (2002), Contrasting effects of different levels of food intake and adiposity on LH secretion and hypothalamic gene expression in sheep, *Journal of Endocrinology* 175: 383-393
- Arnold M, Mura A, Langhans W, Geary N (2006), Gut vagal afferents are not necessary for the eating-stimulatory effect of intraperitoneally injected Ghrelin in the rat, *Journal of Neuroscience* 26: 11052-11060
- Asarian L, Geary N (2006), Modulation of appetite by gonadal steroid hormones, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 361: 1251-1263
- Azahan EAE, Forbes JM (1992), Effects of intraruminal infusions of sodium-salts on selection of hay and concentrate foods by sheep, *Appetite* 18: 143-154
- Bareille N, Faverdin P (1996), Lipid metabolism and intake behavior of dairy cows: Effects of intravenous lipid and beta-adrenergic supplementation, *Journal of Dairy Science* 79: 1209-1220
- Berthoud HR (2008), Vagal and hormonal gut-brain communication: from satiation to satisfaction, *Neurogastroenterology and Motility* 20: 64-72
- Blache D, Celi P, Blackberry MA, Dynes RA, Martin GB (2000a), Decrease in voluntary feed intake and pulsatile luteinizing hormone secretion after intracerebroventricular infusion of recombinant bovine leptin in mature male sheep, *Reproduction Fertility and Development* 12: 373-381
- Blache D, Tellam RL, Chagas LM, Blackberry MA, Vercoe PE, Martin GB (2000b), Level of nutrition affects leptin concentrations in plasma and cerebrospinal fluid in sheep, *Journal of Endocrinology* 165: 625-637
- Blevins JE, Baskin DG (2010), Hypothalamic-brainstem circuits controlling eating, *Forum of Nutrition* 63: 133-140
- Carter RR, Grovum WL (1990), Factors affecting the voluntary intake of food by sheep. 5. The inhibitory effect of hypertonicity in the rumen, *British Journal of Nutrition* 64: 285-299
- Choi BR, Palmquist DL, Allen MS (1997), Sodium mercaptoacetate is not a useful probe to study the role of fat in regulation of feed intake in dairy cattle, *Journal of Nutrition* 127: 171-176

- Choi BR, Palmquist DL, Allen MS (2000), Cholecystokinin mediates depression of feed intake in dairy cattle fed high fat diets, *Domestic Animal Endocrinology* 19: 159-175
- Clarke IJ, Henry B, Iqbal J, Goding JW (2001), Leptin and the regulation of food intake and the neuroendocrine axis in sheep, *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 28: 106-107
- Cota D, Proulx K, Smith KA, Kozma SC, Thomas G, Woods SC, Seeley RJ (2006), Hypothalamic mTOR signaling regulates food intake, *Science* 312: 927-930
- Davis JD, Wirtshafter D, Asin KE, Brief D (1981), Sustained intracerebroventricular infusion of brain fuels reduces body-weight and food-intake in rats, *Science* 212: 81-83
- Deetz LE, Wangsness PJ (1981), Influence of intrajugular administration of insulin, glucagon and propionate on voluntary feed-intake of sheep, *Journal of Animal Science* 53: 427-433
- Del Prete E, Schade B, Riediger T, Lutz TA, Scharrer E (2002), Effects of amylin and salmon calcitonin on feeding and drinking behavior in pygmy goats, *Physiology & Behavior* 75: 593-599
- Delavaud C, Bocquier F, Chilliard Y, Keisler DH, Gertler A, Kann G (2000), Plasma leptin determination in ruminants: effect of nutritional status and body fatness on plasma leptin concentration assessed by a specific RIA in sheep, *Journal of Endocrinology* 165: 519-526
- Dellafera MA, Baile CA, Schneider BS, Grinker JA (1981), Cholecystokinin antibody injected in cerebral-ventricles stimulates feeding in sheep, *Science* 212: 687-689
- Durst B, Senn M, Langhans W (1993), Eating patterns of lactating dairy cows of three different breeds fed grass ad lib, *Physiology & Behavior* 54: 625-631
- Duske K, Hammon HM, Langhof AK, Bellmann O, Losand B, Nürnberg K, Nürnberg G, Sauerwein H, Seyfert HM, Metges CC (2009), Metabolism and lactation performance in dairy cows fed a diet containing rumen-protected fat during the last twelve weeks of gestation, *Journal of Dairy Science* 92: 1670-1684
- Ehrhardt RA, Slepatis RM, Siegal-Willott J, Van Amburgh ME, Bell AW, Boisclair YR (2000), Development of a specific radioimmunoassay to measure physiological changes of circulating leptin in cattle and sheep, *Journal of Endocrinology* 166: 519-528
- Elliot JM, Symonds HW, Pike B (1985), Effect on feed-intake of infusing sodium propionate or sodium-acetate into a mesenteric vein of cattle, *Journal of Dairy Science* 68: 1165-1170
- Farningham DAH, Mercer JG, Lawrence CB (1993), Satiety signals in sheep - involvement of CCK, propionate, and vagal CCK binding-sites, *Physiology & Behavior* 54: 437-442
- Farningham DAH, Whyte CC (1993), The role of propionate and acetate in the control of food-intake in sheep, *British Journal of Nutrition* 70: 37-46
- Faverdin P (1999), The effect of nutrients on feed intake in ruminants, *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 523-531
- Forbes JM (1996), Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants, *Journal of Animal Science* 74: 3029-3035
- Forbes JM, Barrio JP (1992), Abdominal chemosensitivity and mechanosensitivity in ruminants and its role in the control of food-intake, *Experimental Physiology* 77: 27-50
- Foster LA, Ames NK, Emery RS (1991), Food-intake and serum-insulin responses to intraventricular infusions of insulin and IGF-I, *Physiology & Behavior* 50: 745-749
- Harrison JL, Miller DW, Findlay PA, Adam CL (2008), Photoperiod influences the central effects of ghrelin on food intake, GH and LH secretion in sheep, *Neuroendocrinology* 87: 182-192
- Hawkins RA, Biebuyck JF (1979), Ketone-bodies are selectively used by individual brain-regions, *Science* 205: 325-327
- Herath CB, Reynolds GW, Mackenzie DDS, Davis SR, Harris PM (1999), Vagotomy suppresses cephalic phase insulin release in sheep, *Experimental Physiology* 84: 559-569
- Houpt TR (1991), Patterns of duodenal osmolality in young-pigs fed solid food, *American Journal of Physiology* 261: R569-R575
- Kahler A, Geary N, Eckel LA, Campfield LA, Smith FJ, Langhans W (1998), Chronic administration of OB protein decreases food intake by selectively reducing meal size in male rats, *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 44: R180-R185
- Kahn BB, Alquier T, Carling D, Hardie DG (2005), AMP-activated protein kinase: Ancient energy gauge provides clues to modern understanding of metabolism, *Cell Metabolism* 1: 15-25
- Kolver ES, Muller LD (1998), Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration, *Journal of Dairy Science* 81: 1403-1411
- Langhans W (2007), Signals generating anorexia during acute illness, *Proceedings of the Nutrition Society* 66: 321-330
- Langhans W (2008), Fatty acid oxidation in the energostatic control of eating-A new idea, *Appetite* 51: 446-451
- Langhans W (2010), The enterocyte as an energy flow sensor in the control of eating, *Forum of Nutrition* 63: 75-84
- Langhans W, Egli G, Scharrer E (1985), Selective hepatic vagotomy eliminates the hypophagic effect of different metabolites, *Journal of the Autonomic Nervous System* 13: 255-262
- Langhans W, Geary N (2010), Overview of the physiological control of eating, *Forum of Nutrition* 63: 9-53
- Langhans W, Rossi R, Scharrer E (1995), Relationships between feed and water intake in ruminants, in *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*, ed. v.Engelhardt W, Leonhard-Marek S, Breves G, and Giesecke D, Enke, Stuttgart p 199-216

- Langhans W, Wiesenreiter F, Scharrer E (1983), Different effects of subcutaneous D,L-3-hydroxybutyrate and acetoacetate injections on food-intake in rats, *Physiology & Behavior* 31: 483-486
- Langhans W, Zieger U, Scharrer E, Geary N (1982), Stimulation of feeding in rats by intraperitoneal injection of antibodies to glucagon, *Science* 218: 894-896
- Leuvenink HGD, Bleumer EJB, Bongers LJGM, van Bruchem J, vander Heide D (1997), Effect of short-term propionate infusion on feed intake and blood parameters in sheep, *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 35: E997-E1001
- Miner JL, Dellafera MA, Paterson JA, Baile CA (1989), Lateral cerebroventricular injection of neuropeptide-Y stimulates feeding in sheep, *American Journal of Physiology* 257: R383-R387
- Minokoshi Y, Alquier T, Furukawa N, Kim YB, Lee A, Xue BZ, Mu J, Fougere F, Ferre P, Birnbaum MJ, Stuck BJ, Kahn BB (2004), AMP-kinase regulates food intake by responding to hormonal and nutrient signals in the hypothalamus, *Nature* 428: 569-574
- Nakazato M, Murakami N, Date Y, Kojima M, Matsuo H, Kangawa K, Matsukura S (2001), A role for ghrelin in the central regulation of feeding, *Nature* 409: 194-198
- Roche JR, Blache D, Kay JK, Miller DR, Sheahan AJ, Miller DW (2008), Neuroendocrine and physiological regulation of intake with particular reference to domesticated ruminant animals, *Nutrition Research Reviews* 21: 207-234
- Rolls BJ (1986), Sensory-specific satiety, *Nutrition Reviews* 44: 93-101
- Rossi R, Dorig S, Del Prete E, Scharrer E (2000), Suppression of feed intake after parenteral administration of D-beta-hydroxybutyrate in pygmy goats, *Journal of Veterinary Medicine Series A-Physiology Pathology Clinical Medicine* 47: 9-16
- Sano H, Hattori N, Todome Y, Tsuruoka J, Takahashi H, Terashima Y (1993), Plasma-insulin and glucagon-responses to intravenous-infusion of propionate and their autonomic control in sheep, *Journal of Animal Science* 71: 3414-3422
- Schjoldager B, Molero X, Miller LJ (1990), Gallbladder CCK receptors - species-differences in glycosylation of similar protein cores, *Regulatory Peptides* 28: 265-272
- Schwartz GJ, Mchugh PR, Moran TH (1991), Integration of vagal afferent responses to gastric loads and cholecystokinin in rats, *American Journal of Physiology* 261: R64-R69
- Senn M, Durst B, Kaufmann A, Langhans W (1995), Feeding patterns of lactating cows of three different breeds fed hay, corn silage, and grass silage, *Physiology & Behavior* 58: 229-236
- Sorensen A, Adam CL, Findlay PA, Marie M, Thomas L, Travers MT, Vernon RG (2002), Leptin secretion and hypothalamic neuropeptide and receptor gene expression in sheep, *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 282: R1227-R1235
- Surina-Baumgartner DM, Langhans W, Geary N (1995), Hepatic portal insulin antibody infusion increases, but insulin does not alter, spontaneous meal size in rats, *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 38: R978-R982
- Ueno H, Yamaguchi H, Kangawa K, Nakazato M (2005), Ghrelin: a gastric peptide that regulates food intake and energy homeostasis, *Regulatory Peptides* 126: 11-19
- Van Es AJ, Vogt JE, Niessen C, Veth J, Rodenburg L, Teeuwse V, Dhuyvetter J, Deurenberg P, Hautvast JG, Van der BE (1984), Human energy metabolism below, near and above energy equilibrium, *British Journal of Nutrition* 52: 429-442
- Vandermeersch-Doize F, Paquay R (1984), Effects of continuous long-term intravenous-infusion of long-chain fatty-acids on feeding-behavior and blood components of adult sheep, *Appetite* 5: 137-146
- Villalba JJ, Provenza FD (2009), Learning and dietary choice in herbivores, *Rangeland Ecology & Management* 62: 399-406
- Wertz-Lutz AE, Knight TJ, Pritchard RH, Daniel JA, Clapper JA, Smart AJ, Trenkle A, Beitz DC (2006), Circulating ghrelin concentrations fluctuate relative to nutritional status and influence feeding behavior in cattle, *Journal of Animal Science* 84: 3285-3300
- Woods SC, Lutz TA, Geary N, Langhans W (2006), Pancreatic signals controlling food intake; insulin, glucagon and amylin, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 361: 1219-1235
- Zhang J, Matheny MK, Tumer N, Mitchell MK, Scarpace PJ (2007), Leptin antagonist reveals that the normalization of caloric intake and the thermic effect of food after high-fat feeding are leptin dependent, *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 292: R868-R874

## Diskussion



MEYER, WEIHENSTEPHAN

Herr Lutz stellt ja immer dieses Amylin vor. Da haben sie jetzt gar nicht von gesprochen.

ANTWORT

Ich hatte Amylin auf einer Folie mit drauf, ich musste mich natürlich beschränken und der Grund, warum ich es jetzt nicht mit erwähnt habe, über Amylin gibt es beim Wiederkäuer nicht viel. Ich kenne ein oder zwei Arbeiten, die aus der Gruppe Scharrer stammen, wo Amylin bei Zwergziegen parenteral appliziert wurde und dort Verzehrsreduktion bewirkt hat, aber ansonsten gibt es beim Wiederkäuer meines Wissen praktisch nichts. Auch Thomas Lutz hat am Wiederkäuer, außer dieser einen Arbeit, wie gesagt nichts gemacht. Das war ein Grund, warum ich es weggelassen habe.

SUSENBETH, KIEL

Wenn wir, und das hatte Herr Schwarz auch anfangs betont, bei der Milchkuh die Sache mal betrachten, dann habe ich so das Gefühl, da sitzen wir in einem anderen Schiff oder anderem Zug, der in eine andere Richtung fährt. Die Begrenzung der Leistung durch die Futteraufnahme ist gewesen, wenn wir jetzt mal gucken, dass die Hochleistungskuh im besten Fall 25 kg Trockensubstanz frisst, sie bräuchte aber 30 kg, um ihren Bedarf zu decken, da spielt weder der Geschmack noch das Gefühl, noch der Spaß, auch nicht die metabolische Steuerung irgendeine Rolle. Das Tier kann nicht mehr fressen, ist es vielleicht

sogar verzweifelt, schafft es nichts rein aus physikalischer Limitierung. Das ist gar nicht der Grund, dass das Futter langsam abgebaut wird, unvollständig abgebaut, deshalb haben wir auch diese großen Risiken. Es scheint mir der limitierende Faktor vielleicht der zu sein, dass die Passage nicht schnell genug läuft und eine höhere Passagerate würde zwar dazu führen, dass das Futter schlecht verdaut wird, aber es könnte mehr gefressen werden und für das Tier, für die Energieversorgung wäre es vielleicht günstig, die Passage zu beschleunigen. So haben wir aber diesen eigenartigen Blättermagen, der das verhindert, dass Partikel, die noch ein bisschen groß sind, auch noch sehr lange brauchen, bis sie kleiner werden und nicht schnell genug weiter transportiert werden. Wäre das eine Überlegung, ich weiß nicht wie, die Passage irgendwie schneller hinzubekommen und damit die Energieversorgung zu verbessern ist? Dies nur mal zur Diskussion, ob die Passage wirklich der limitierende Faktor für die Energieaufnahme bei der Hochleistungsmilchkuh ist?

ANTWORT

Sie könnten damit natürlich wieder in andere Probleme kommen, wenn sie versuchen, sie sind auf einem anderen Schiff mit den Wiederkäuern, das ist völlig klar, aber wenn sie die Situation vergleichen oder versuchen, zu vergleichen mit Monogastriern, dann haben sie, wenn sie Nährstoffe relativ rasch direkt in den Dünndarm bekommen, erst recht eine Verzehrsdepression, d. h. die Passagerate der

Vormägen alleine mag von einem bestimmten Punkt an nicht mehr funktionieren, diese zu beschleunigen. Zumindest bei Monogastriern ist es so, die CCK-Befunde deuten darauf hin, dass das durchaus auch beim Wiederkäuer eine Rolle spielt, dass es zum Teil zu einer massiven Freisetzung von Gastrointestinalhormonen wie CCK usw und damit zu einer massiven Hemmung des Verzehrs kommt.

BREVES, HANNOVER

Leptin ist ja mit 16.000 eigentlich ein ganz beachtliches Molekül. Das muss ja ein enormes Transportsystem sein an der Bluthirnschranke oder wird das möglicherweise dort nur andocken und Signalkaskaden induzieren.

ANTWORT

Nein, es wird auch tatsächlich transportiert und der Transport von Leptin ins Gehirn ist auch einer der Punkte, über den man diskutiert bezüglich der Leptinresistenz, also bei Übergewicht zum Beispiel hat es verschiedene Komponenten, einmal die intrazelluläre Signalkaskade usw. Da gibt es Probleme, aber auch der Transport von Leptin ins Gehirn findet statt. Die Rezeptoren sind also auf den Neuronen selbst. Ich habe das ein bisschen übersprungen. Aber grundsätzlich, es wird transportiert über die Bluthirnschranke und die Rezeptoren sitzen auf den Neuronen. Das einzige was ich hier gesagt habe, war auch am Plexus chorioideus. Da gibt es auch Leptinrezeptoren. Es ist nicht die Form, die die intrazelluläre Domäne hat, also nicht aktive Leptinrezeptoren, sondern eine kurze Form, die keine intrazelluläre Signaldomäne hat.

BRUCKMAIER, BERN

Ich würde gerne noch einmal auf das Ghrelin zurückkommen. Du hast gesagt, Ghrelin stimuliert die Nahrungsaufnahme, es ist auch so etabliert. Es ist auch sicher kein Zufall, dass eigentlich von diesem Mechanismus meiner Ansicht nach unabhängig Quellen auch die Freisetzung von Wachstumshormonen in einer Art stimuliert würde ich mal sagen, bei Wachstumshormonen wird ein Pulsatil freigesetzt, das

nicht unbedingt vom Ghrelin ausgeht, aber was ein interessanter Effekt ist. Dies ist aus Studien und aus der Humanmedizin bekannt. Es gibt ein Testverfahren um Hypophysentumore festzustellen. Da müssen die Patienten in kurzer Zeit große Mengen Glukose aufnehmen und da ist man im Grunde sicher, dass es unter normalen Bedingungen aus der Hypophyse keinen Peak von Wachstumshormonen gibt. Was eigentlich das Spannende dabei ist, es gibt unmittelbar mit dieser Aufnahme von der Glukose eigentlich keinen Peak mehr. Das ist ein 100%iger Effekt. In Weihenstephan haben wir mal bei Kälbern etwas Ähnliches ausprobiert, um auch mal zu überlegen, könnte man exogenes Wachstumshormon auf diese Art nachweisen. Da gab es dann manchmal noch einen Peak postpartal, bei Menschen sicher nicht. Könnte es normalerweise der Feedback-Mechanismus sein, dass vielleicht über eine Inhibierung des Ghrelins schon fast präabsorptiv hier eine Reduktion der Wachstumshormonfreisetzung erfolgen kann, im Grunde Vorgreifen daraufhin, dass die Leber später dann bezüglich der ankommenden Glukosemengen reagieren würde.

ANTWORT

Ich habe nicht ganz verstanden, was du meinst. Ob es quasi eine Art cephalische Hemmung der Wachstumshormonfreisetzung gäbe. Das scheint mir physiologisch fast ein bisschen widersinnig zu sein. Es macht im Organismus ja Sinn, Wachstumshormone zu sezernieren, wenn Nährstoffe mitkommen. Fakt ist natürlich immer, wenn Glukose kurzfristig hochgedrückt wird, Wachstumshormone unterdrücken.

EDER, GIESSEN

Ich habe in ihrem Vortrag so ein bisschen das Serotonin vermisst. Geben sie dem keine so große Bedeutung?

ANTWORT

Das Serotonin durchlebt im Moment fast eine Art Renaissance, weil es sich zeigt, dass das eine sehr ausgeprägte Wirkung hat. Das ist ein bisschen in Ver-

ruf geraten, wegen der Probleme, die es da vor 10, 12 Jahren gab. Serotonin spielt eine wichtige Rolle. Wir wissen auch, dass das Serotonin eine wichtige Rolle spielt bei der Verzehrschmammung bei Krankheiten.

JANKNECHT, WAHLSTEDT

Wie hoch schätzen sie den Faktor einer physikalischen Begrenzung? Sie haben ja eine Vorlegezeit und dann kann die Kuh fressen wie sie möchte. Es sind vor Jahren mit den Wiegetrogsystemen Untersuchungen von der Uni Kiel gelaufen, Fressvorgänge wurden zu Mahlzeiten zusammengefasst, das waren Bedingungen unter gelenktem Kuhverkehr und einem Melkroboter. Bis zu 9,5 kg Trockenmasse wurden in einer Mahlzeit aufgenommen und Kühe mit 50 Liter hatten im Prinzip nur drei Mahlzeiten am Tag aufgenommen. Daraus könnte man ableiten, dass diese Begrenzungsschranke physikalisch ziemlich weit ist.

ANTWORT

Ich bin ihnen dankbar für den Kommentar. Ich habe eigentlich schon auf die Frage von Herrn Susenbeth sagen wollen, bin dann aber abgelenkt worden mit der anderen Geschichte, mit dem Argument bezüglich der schnellen Passage. Persönlich schätze ich die physikalische Begrenzung als nicht sehr effizient ein, sondern ich glaube, ich habe versucht, zu sagen, wir sollten insgesamt vermutlich nicht den Fehler machen, auf alle diese Faktoren einzeln zu schauen, das hier und das hier. Ein Tier selber, wenn es frisst, egal, ob es auf der Weide frisst oder im Stall steht, dann spielt und wirkt alles zusammen. Dann sind sicherlich diese mechanischen Faktoren ein kleiner Teil davon. Ich glaube nicht, dass sich was primär begrenzen wird, egal, ob jetzt im Sinne auf ihre Frage, Herr Susenbeth, oder wie sie es jetzt sagen, die Bedeutung ist relativ gering, würde ich sagen.

REHAGE, HANNOVER

Welche Bedeutung messen sie der prä- und postnatale Programmierung in diesem Zusammenhang zu?

ANTWORT

Bezüglich Regulation der Nahrungsaufnahme oder bezüglich Energiebilanz? Reden wir jetzt vom Wiederkäuer oder reden wir vom Menschen.

Vom Wiederkäuer.

ANTWORT

Ich glaube, dass pränatale Programmierung eine ganz wichtige Rolle spielt für die Ausbildung von allen möglichen Neurotransmittersystemen, sicherlich auch in der Peripherie. Über den Wiederkäuer sind mir diesbezüglich jetzt keine Befunde bekannt, d. h., da kann ich nur auf der Basis von dem, was ich vorhin gesagt habe, dass wahrscheinlich es ähnlich aussieht wie bei den verschiedenen Säugerspezies. Bei Ratten sind diesbezüglich einige Dinge gezeigt, dass man da so einiges beeinflussen kann, und zwar in verschiedensten Richtungen. Im Übrigen beim Menschen gibt es das ja auch. Es gibt die bekannten epidemiologischen Studien.

# Störungen im Energiestoffwechsel im Zyklus der Reproduktion bei Milchkühen



## 1 Einleitung

In den vergangenen Dekaden hat sich die Laktationsleistung der Milchkühe jährlich nahezu linear im Mittel um mehr als 2 % erhöht. Der Anstieg der Milchleistung ist sowohl Ergebnis genetischer Selektion als auch einer Verbesserung von Fütterung, Haltung und Management der Tiere (Pryce et al., 2004; Miglior et al., 2005). Parallel mit dem Anstieg der Laktationsleistung wird seit vielen Jahren eine Abnahme der Reproduktionsleistung der Kühe beklagt. Dies betrifft hochleistende Kühe sowohl in intensiven europäischen oder amerikanischen Haltungssystemen und auch Kühe unter neuseeländischen, eher weidebasierten Bedingungen (Royal et al., 2002; Berry et al., 2003; Lucy, 2003; Leroy und de Kruif 2006). Dies zeigt, dass nicht allein das Management ursächlich für die abnehmende Reproduktionsleistung verantwortlich zu sein scheint. Vielmehr spielen genetische Faktoren ebenfalls eine Rolle (Gutierrez et al., 2006). Es sind jedoch weniger direkte Effekte auf die Reproduktionsleistung durch genetische Veränderungen anzunehmen, da bei Erstbelegung von Färsen oder bei Belegung nicht-laktierender, mehrkalbiger Kühe die Reproduktionsleistung über die Jahre trotz steigender Milchleistung weitgehend unverändert blieb (Butler and Smith, 1989). Dies macht deutlich, dass mit dem Milchleistungszuwachs Rinder nicht per se eine geringere Reproduktivität aufweisen. Vielmehr scheint die Genetik indirekt über die mit der hohen Laktationsleistung verbundenen hormonellen und

metabolischen Umstellungen indirekt Einfluss auf die Reproduktionsleistung zu haben.

## 2 Intermediärer Energiestoffwechsel in der Früh-laktation

Zur Kompensation einer negativen Energiebilanz, hervorgerufen durch eine Imbalanz zwischen nutritiver Energieaufnahme und Energieabgabe über die Milch werden in der Früh-laktation große Mengen an körpereigenen Energiereserven, insbesondere Fett mobilisiert. Die Phase der Lipomobilisation beginnt bereits Tage vor der Abkalbung und reicht bis etwa 40 bis 80 Tage post partum (Bell 1995; Rukkwamsuk et al 1999). Die im Rahmen der Lipomobilisation aus den Fettdepots freigesetzten unveresterten Fettsäuren (NEFA) werden zum großen Teil in der Leber verstoffwechselt. Da Milchkühe für die Laktoseproduktion einen enormen Bedarf an Glucose haben, und diesen infolge geringer intestinaler Resorption vornehmlich aus der hepatischen Gluconeogenese decken müssen, läuft in dieser Laktationsphase die hepatische Gluconeogenese auf hohem Niveau. Vorläufer hierfür sind Propionat aus dem ruminalen Stoffwechsel aber auch in großem Umfang Laktat, Glycerol aus der Triglyceridspaltung sowie glucoplastische Aminosäuren aus der Proteinolyse. (Herdt 2000). Die hohe Gluconeogeneserate führt zur Verknappung von Oxalacetat im Citratcyclus, so dass anstelle der vollständigen Oxidation alternative Stoffwechselwege für die Verwertung von NEFA in der Leber gesucht werden. Diese sind

einerseits die hepatische Produktion von Ketokörpern und andererseits die Reveresterung der NEFA zu Triglyceriden (TGL; Drackley 1999). Da die Ausschleusung von Triglyceriden über Very Low Density Lipoproteins (VLDL) erfolgt und deren Verfügbarkeit beim Rind angeboren knapp ist (Katoh 2002), ist eine Speicherung der TGL im Leberparenchym und damit häufig eine Leberverfettung die Folge (Herdt 2000). Bis zu 20% der hochleistenden Kühe sind von Ketosen betroffen (Kelton et al., 1998). Etwa 20% der hochleistenden Milchkühe entwickeln in der Früh-laktation schwerwiegende, etwa 40% moderate Formen der Leberverfettung (Jorritsma et al. 2001).

Je ausgeprägter die NEB, desto höher ist das Risiko für das Auftreten von Fertilitätsproblemen (Jorritsma et al. 2003) sowie weiterer Produktionskrankheiten wie Ketosen, Leberverfettungen, Infektionskrankheiten oder Labmagenverlagerungen (Drackley 1999, Bobe et al 2004). Eine negative Korrelation zwischen der Höhe der Milchleistung und der Energiebilanz ist allgemein anerkannt ( $r = -0,70$ ; Svendsen et al. 1994). Zwar existiert eine positive genetische Beziehung zwischen der Milchleistung und der TS-Aufnahme (Jensen et al. 1995, Persaud et al. 1991, Svendsen et al. 1994, Van Arendonk et al. 1991, Veerkamp u. Emmans 1995, Veerkamp et al. 1995, Veerkamp u. Brotherstone 1997, Veerkamp u. Thompson 1999); diese Beziehung ist jedoch nicht sehr eng ( $r = 0,50 - 0,72$ ). Bei ausschließlicher Selektion auf Steigerung der Milchleistung deckt somit die resultierende Zunahme der TS-Aufnahme nur etwa 50 % des erhöhten Nährstoffbedarfs (Veerkamp 1998). Die negative Energiebilanz in der frühen Laktation wird entsprechend verstärkt und die Wahrscheinlichkeit weiter abnehmender Reproduktionsleistung erhöht.

Zur Sicherung der Ernährung der Nachkommen ist es ein universelles biologisches Prinzip, verfügbare Nährstoffe innerhalb des Organismus in Richtung Milchbildung zu Lasten des mütterlichen Organismus zu verteilen (Bell, 1995). Die weitgehend einseitige Züchtung auf Milchleistung hat zusammen mit der

Priorisierung der Substratversorgung des Euters für die Milchproduktion in Phasen von Energiedefiziten die massive Mobilisierung von Fett- und Proteinreserven bei Milchkühen begünstigt (van Arendonk et al., 1991; Veerkamp and Koenen, 1999; Friggens et al., 2007). In zahlreichen Studien ist belegt, dass anhaltend erhöhte Plasmakonzentrationen von NEFA eng mit der Inzidenz von Störungen der Reproduktionsleistung (Reist et al., 2000; Silke et al., 2002; Shrestha et al., 2004) sowie des Intermediärstoffwechsels (Bobe et al 2004) gekoppelt sind.

Die Priorisierung der Milchbildung über die anderer Körperfunktionen des Muttertieres wird hormonell geregelt (Bauman and Currie 1980; Bell 1995, Bell and Bauman 1997; van Knegsel et al. 2007). Besondere Bedeutung kommt der Verteilung der in der frühen Laktation knappen Glucose im Organismus zu, da Laktose aus Glucose gebildet wird und die Milchproduktion eng an die Laktoseproduktion gekoppelt ist. Insulin spielt in der Regulation und Verteilung der Glucose im Organismus eine zentrale Rolle. Während Euter und Leber Glucose weitgehend insulinunabhängig über GLUT1, 2 und 3 Transporter aufnehmen können, ist die Glucoseutilisation der Muskulatur sowie des Fettgewebes überwiegend über GLUT4 Transporter insulinabhängig (Duehlmeier et al., 2005; Nishimoto et al., 2006; Zhao et al., 2006; Zhao and Keating, 2007). Mit Einsetzen der Laktation geht die pankreatische Insulinausschüttung zurück und die Plasma-Insulinkonzentrationen sinken (Lomax, 1979; Sartin et al., 1985; Bell, 1995; Holtenius, 2003), was zur Folge hat, dass Glucose bevorzugt von den insulinunabhängigen Transportern des Euters statt insulinabhängig von anderen peripheren Geweben aufgenommen wird. Die Plasma-Insulinkonzentration ist sowohl genetisch (Gutierrez et al., 2006) als auch phänotypisch (Ingvarsen and Friggens, 2005) mit der Milchleistung negativ korreliert. Ein weiterer Mechanismus zur Umverteilung der Glucose in Richtung Milchdrüse besteht vermutlich in der Entwicklung einer verminderten Insulinansprechbarkeit peripherer Gewebe (Insulinresistenz) in

der frühen Laktation, an der Plasma NEFA als auch Wachstumshormon (GH) beteiligt zu sein scheinen (Bell, 1995; Bell and Bauman, 1997; Hayirli, 2006; Bossaert et al 2008), allerdings existieren hierzu nur wenige einschlägige Untersuchungen. In der Konsequenz verbraucht die Milchdrüse etwa 85% der in der Zirkulation verfügbaren Glucose (Knight et al., 1994; Zhao et al., 1996; Etherton and Bauman, 1998).

### 3 Immunfunktion

Der Komplex der negativen Energiebilanz, Lipomobilisation, Ketose und Leberverfettung stellt auch einen wesentlichen Risikofaktor für weitere Produktionskrankheiten, z.B. Labmagenverlagerungen, und auch für Infektionskrankheiten des Genitale sowie des Euters dar (Bobe et al 2004). Letzteres wird einerseits auf die verminderte Immunfunktion um die Abkalbung (Waller, 2000) sowie andererseits auf die negativen Effekte der negativen Energiebilanz, Ketose und Leberverfettung auf die humorale und zelluläre Immunabwehr zurückgeführt (Goff and Horst, 1997; Breukink and Wensing, 1997; Bobe et al., 2004; Lacetera et al., 2005; Hammon et al., 2006; Duffield et al., 2009). Dies betrifft sowohl die Funktion neutrophiler Granulozyten (Zerbe et al., 2000; Zhao et al., 1993; Suriyasathaporn et al., 2000; Hammon et al., 2006) als auch die der Lymphocyten (Wentink et al., 1997; Lacetera et al., 2005). Ferner wird eine verminderte hepatische Endotoxin clearance bei Leberverfettung beobachtet (Breukink and Wensing, 1997).

### 4 Reproduktionsleistung

Die Zeiträume für ein optimales Zwischenkalbeintervall sowie für eine Wiederbelegung nach der Abkalbung sind zwar Gegenstand kontroverser Diskussion (Dobson et al. 2007), es wird aber in der Mehrzahl unverändert, trotz gesteigerter Milchleistung, ein Besamungserfolg bis 85 Tage post partum angestrebt (Peter et al 2009; Bossaert 2010). Festzustellen ist dennoch, dass mit steigender Milchleistung die Zwischenkalbeintervalle zu- und die Erstbesamungserfolge abnehmen (Lucy 2001). Allerdings hängen Zwischenkalbeintervalle und Wiederbelegung wesentlich

von Management und der Betriebsphilosophie hierzu ab. Aber es zeigt sich Ähnliches bei Betrachtung der zyklischen Aktivität am Ovar nach der Abkalbung. Hier haben Ultraschalluntersuchungen gepaart mit Hormonbestimmungen wesentliche neue Erkenntnisse gebracht. Danach zeigen zahlreiche Kühe verzögert Wiederaufnahme der zyklischen Aktivität und erfolgreiche Ovulation nach dem Partus (Opsomer et al., 2000; Shrestha et al., 2004a and 2004b). Bereits Butler et al. (1981) kam mit der Hypothese, dass Kühe erst nach Ausgleich der negativen Energiebilanz ihre zyklische Aktivität wieder aufnehmen. Sie sahen dies als Ausdruck eines Konflikts zwischen priorisierter Energienutzung für die Milchbildung und der Reproduktionsleistung. Inzwischen wurde die Korrelation zwischen negativer Energiebilanz und der Ovaraktivität wiederholt bestätigt (de Vries and Veerkamp, 2000; Pryce et al, 2004; Shrestha et al., 2004a und 2004b).

Die Ovaraktivität ist durch das Auftreten von Follikelwellen gekennzeichnet. Verschiedene Stadien lassen sich unterscheiden: Entwicklung und Differenzierung, Dominanz und schließlich Ovulation (Wiltbank et al 2002). Immer nur ein Follikel entwickelt sich zum dominanten Follikel, der dann im günstigen Fall zur Ovulation mit anschließender Ausbildung eines Gelbkörpers kommt, oder im ungünstigen Fall atresiert oder sich cystische verändert (Peter et al., 2009). Wie die Entwicklung eines Follikels verläuft hängt von zahlreichen Faktoren ab. Hierzu zählen u.a. IGF-1 sowie IGF-1 Bindungsproteine wie auch die LH-Pulsatilität (Canfield et al 1990, Fortune et al 2004).

Etwa 40 bis 50% der Kühe entwickeln eine infektiöse Metritis in den ersten Wochen postpartum, etwa hiervon die Hälfte mit klinisch manifesten Symptomen. Die Infektionen werden durch Kontamination der Geburtswege mit *E.coli*, *Arcanobacterium pyogenes*, *Fusobacterium necrophorum*, *Prevotella* sp. sowie andere Bakterien hervorgerufen und sind möglicherweise von der Immunsuppression durch die pe-

ri- und postpartale negative Energiebilanz begünstigt. Etwa 20% der Kühe entwickeln eine Endometritis, die über die dritte Woche pp hinausreicht. Entzündungen des Uterus wirken sich negativ auf die Ovar- und Uterusfunktion aus (Gilbert et al 2005; Sheldon et al., 2009). Kühe mit Infektionen des Uterus weisen ein langsames Wachstum dominanter Follikel auf, geringere Oestrogenkonzentrationen zum Zeitpunkt des maximalen Follikeldurchmessers sowie geringere Progesteronkonzentrationen, sofern es zur Ovulation kommt (Sheldon et al 2002; Williams et al 2007). Die Mechanismen sind nicht hinreichend hierzu geklärt, aber eine Beteiligung von Lipopolysacchariden (LPS), Entzündungsmediatoren sowie Prostaglandinen (PGE / PGF) aus dem Uterus, die ihre Wirkung am Hypothalamus, der Hypophyse oder am Ovar entfalten, erscheint wahrscheinlich (Peter et al. 2009; Sheldon et al 2006; Sheldon et al 2009). Eine Wiederaufnahme der zyklischen Ovaraktivität mit Ovulation und ausreichender Aktivität eines Gelbkörpers, was Voraussetzung für das Überleben des Embryos ist, ist offenbar an das Abklingen von Entzündungen im Uterus gekoppelt (Peter et al 2009), was biologisch auch zweckmäßig erscheint.

Zur Erzielung hoher Milchleistung werden häufig hohe Rohproteingehalte in der Ration verfüttert. Bei mehr als 18% Rohprotein in der Ration, scheint auch dies negative Auswirkungen auf die Reproduktionsleistung zu haben (Tamminga et al 2006). Es wird angenommen, dass erhöhte Harnstoffgehalte das Uterusmilieu für eine Trächtigkeit negativ beeinflussen (Butler 2001).

Kühe mit negativer Energiebilanz weisen eine reduzierte LH-Pulsatilität sowie verminderte Plasma-Glucose-, Insulin- und IGF-1-Konzentrationen auf (Butler 2000), was die Entwicklung dominanter Follikel und deren Oestrogen-Produktion behindert (Peter et al 2009). Insbesondere den IGF-1 Konzentrationen sowie deren Verhältnis zu IGF-1-Bindungsproteinen kommt für die Reifung von Follikeln besondere Bedeutung zu (Peter et al 2009). Aber

auch Insulin scheint eine direkte Wirkung auf die Follikelgenese zu haben (Spicer and Echternkamp, 1995). LH-Pulsatilität, IGF-1 sowie Insulin spielen sowohl bei ausbleibender Ovulation als auch bei zystischer Entartung eine Rolle. Eine Persistenz von Gelbkörpern wird gelegentlich beobachtet und mit der unzureichenden Heranreifung und Oestrogenproduktion nachwachsender dominanter Follikel im Zusammenhang gesehen (Peter et al 2009).

Im weiteren sei auf jüngste Übersichtsartikel zum Thema verwiesen (Chagas et al 2007; Wathes et al 2007; van Knegsel et al 2007; Leroy et al 2008a, b und c; Sheldon et al 2009).

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass über zahlreiche und weitgehend nicht hinreichend geklärte Mechanismen eine rasche erneute Trächtigkeit bei gleichzeitig hoher Milchleistung im Konflikt stehen. Negative Energiebilanz, Substratverfügbarkeit und deren hormonell kontrollierte Verteilung im Organismus scheinen hier von zentraler Bedeutung. Durch geeignetes Management kann jedoch derzeit die negative Energiebilanz in der Frühlaktation soweit minimiert werden, dass hohe Milchproduktion und befriedigende Reproduktionsleistung durchaus vereinbar sind (Lopez et al 2005, Windig et al 2005). Bei weiterhin einseitiger Zucht auf hohe Milchleistung wird sich jedoch unweigerlich das Problem der für die Leistung unzureichenden Trockenmasseaufnahme und damit der negativen Energiebilanz verschärfen, mit negativen Konsequenzen für die Reproduktion und auch andere Produktionskrankheiten. Schon jetzt zeigt sich, dass hormonelle Interventionen zur Verbesserung der Reproduktionsleistung Defizite in der Ernährung und Substratversorgung der Milchkühe nicht überzeugend kompensieren können (Chagas et al 2007; Wathes et al 2007; van Knegsel et al 2007; Leroy et al 2008a,b). Insofern bieten hormonelle Interventionen zwar am Einzeltier, aber nicht systematisch auf Herdenebene einen Lösungsansatz für Reproduktionsprobleme. Verbesserung des Managements, der Fütterung und Haltung sind weitaus

vielversprechender und mittel- und langfristig auch geeignete züchterische Selektion. Insgesamt ist jedoch die Frage berechtigt, warum auch bei hochleistenden Kühen unverändert an alt bekannten Fruchtbarkeitskennzahlen und kurzen Zwischenkalbeintervallen festgehalten wird, wenn doch bekannt ist, dass 80% aller Gesundheitsprobleme bei Milchkühen im peri- und postpartalen Zeitraum auftreten. Spätere Trächtigkeiten und verlängerte Laktationen bei hochleistenden Kühen erscheinen auch vor diesem Hintergrund überlegenswert (Dobson et al 2007).

#### Literaturverzeichnis

- Bauman DE, WB Currie (1980): Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science* 63:1514-1529.
- Bell AW (1995): Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73:2804-2819.
- Bell AW, DE Bauman (1997): Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia* 2: 265-278.
- Berry DP, F Buckley, P Dillon, RD Evans, M. Rath, RF Veerkamp (2003): Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:2193-2204.
- Bobe G, J W Young, DC Beitz (2004): Invited Review: Pathology, Etiology, Prevention, and Treatment of Fatty Liver in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 87: 3105-3124
- Bossaert P, JLMR Leroy, S De Vlieghe, G Opsomer (2008): Interrelations between glucose-induced insulin response, metabolic indicators and time of first ovulation in high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science* (2008) 91: 3363-3371
- Bossaert P (2010): The role of insulin in the energy conflict between milk production and ovarian activity during the transition period of high yielding dairy cows. PhD Thesis, Univ. Gent, Belgium
- Breukink HJ, T Wensing. (1997): Pathophysiology of the liver in high yielding dairy cows and its consequences for health and production. *Israel Journal of Veterinary Medicine* 52:66-72.
- Butler WR, RD Smith. (1989): Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:767-783.
- Butler WR. (2000): Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim Reprod Sci* 60-61: 449-57
- Butler WR (2001): Nutritional effects on resumption of ovarian cyclicity and conception rate in postpartum dairy cows. *Occ Publ Br Soc Anim Sci* 26: 133-45.
- Canfield RW, Butler WR. (1990): Energy balance and pulsatile LH secretion in early postpartum dairy cattle. *Domest Anim Endocrinol* 7:323-30
- Cadorniga-Valino C, RR Grummer, LE Armentano, SS Donkin, and SJ Bertics (1997): Effects of fatty acids and hormones on fatty acid metabolism and gluconeogenesis in bovine hepatocytes. *J. Dairy Sci.* 80:646-656.
- Chagas L M, JJ Bass, D Blache, CR Burke, JK Kay, DR Lindsay, MC Lucy, GB Martin, S Meier, FM Rhodes, JR Roche, WW Thatcher, R Webb (2007): Invited Review: New Perspectives on the Roles of Nutrition and Metabolic Priorities in the Subfertility of High-Producing Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90: 4022-4032
- Choi BR, DL Palmquist. (1996): High fat diets increase plasma cholecystokinin and pancreatic polypeptide, and decrease plasma insulin and feed intake in lactating cows. *J. Nutr.* 126:2913-2919.
- Choi JS, MH Jung, HS Park, J Song (2004): Effect of conjugated linoleic acid isomers on insulin resistance and mRNA levels of genes regulating energy metabolism in high-fat-fed rats. *Nutr.* 20, 1008-1017
- De Vries MJ, RF Veerkamp (2000): Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *Journal of Dairy Science* 83:62-69.
- Dobson H, RF Smith, MD Royal, CH Knight, IM Sheldon (2007): The high producing dairy cow and its reproductive performance. *Reprod Domest Anim.* 2007 September ; 42(Suppl 2): 17-23.
- Douglas GN, Rehage J, Beaulieu AD, Bahaa AO, Drackley JK (2007): Prepartum nutrition alters fatty acid composition in plasma, adipose tissue, and liver lipids of periparturient dairy cows. *J Dairy Sci.* 90: 2941-2959
- Drackley JK, DC Beitz, JW Young. (1991). Regulation of in vitro palmitate oxidation in liver from dairy cows during early lactation. *J. Dairy Sci.* 74: 1884-1892.
- Drackley JK (1999). Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J. Dairy Sci.* 82:2259-2273.
- Duehlmeier R, A Hacker, A Widdel, W von Engelhardt, H Sallmann. (2005): Mechanisms of insulin-dependent glucose transport into porcine and bovine skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 289:187-197.
- Duffield TF, KD Lissemore, B McBride, KE Leslie (2009): Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science* 92:571-580.
- Etherton TD, DE Bauman (1998): Biology of Somatotropin in Growth and Lactation of Domestic Animals. *Physiological Reviews* 78:745-761.
- Gerloff BJ, TH Herdt, RS Emery. (1986): Relationship of hepatic lipidosis to health and performance in dairy cattle. *JAVMA* 188:845-850.
- Gilbert RO, Shin ST, Guard CL, Erb HN, Frajblat M. (2005): Prevalence of endometritis and its effects on reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology* 64:1879-1888.
- Goff JP and R.L Horst (1997): Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science* 80: 1260-1268.
- Grummer RR (2008): Nutritional and management strategies for the prevention of fatty liver in dairy cattle. *The Veterinary Journal* 176:10-20.

- Gutierrez CG, JG Gong, TA Bramley, R Webb (2006): Selection on predicted breeding value for milk production delays ovulation independently of changes in follicular development, milk production and body weight. *Animal Reproduction Science* 95:193-205.
- Fischer JE, HM Rosen, AM Eibeid, JH James, JM Keane, PB Soeters (1976): The effect of normalisation of plasma amino acids on hepatic encephalopathy in man. *Surgery* 80, 77 - 91
- Fortune JE, Rivera GM, Yang MY (2004): Follicular development: the role of the follicular microenvironment in selection of the dominant follicle. *Anim Reprod Sci* 82–83: 109–26.
- Friggens NC, P Berg, P Theilgaard, IR Korsgaard, KL Ingvarsen, PL Løvendahl, J Jensen. (2007): Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: Evidence for genetically driven body reserve change. *Journal of Dairy Science* 90:5291–5305.
- Hammon DS, I. M. Evjen, T R Dhiman, J.P Goff, J L Walters. (2006): Neutrophil function and energy status in Holstein cows with uterine health disorders. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 113, 21–29.
- Hammon, HM., O Bellmann, J Voigt, F Schneider, C Kühn (2007): Glucose-dependent Insulin Response and Milk Production in Heifers Within a Segregating Resource Family Population. *Journal of Dairy Science* 90, 3247-3254.
- Hayirli A (2006): The role of exogenous insulin in the complex of hepatic lipodosis and ketosis associated with insulin resistance phenomenon in postpartum dairy cattle. *Veterinary Research Communications* 30:749-774.
- Herdth TH (2000): Ruminant adaptation to negative energy balance. Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16:215–230.
- Holtenius K, S Agenäs, C Delavaud, Y Chilliard (2003): Effects of Feeding Intensity during the Dry Period. 2. Metabolic and Hormonal Responses. *Journal of Dairy Science* 86:883-891.
- Holtenius P, K Holtenius (1996): New aspects of ketone bodies in energy metabolism of dairy cows: a review. *J. Vet. Med. A* 43:579–587.
- Ingvarsen KL, NC Friggens (2005): To what extent do variabilities in hormones, metabolites and energy intake explain variability in milk yield? *Domestic Animal Endocrinology* 29:294-304.
- Jensen J, WD Hohenboken, P Madsen, BB Andersen (1995): Sire x nutrition interactions and genetic parameters for energy intake, production and efficiency of nutrient utilization in young bulls, heifers and lactating cows. *Acta Agric. Scand. Anim. Sci.* 45, 81-91
- Jesse BW, RS Emery, JW Thomas (1986a). Control of bovine hepatic fatty acid oxidation. *J. Dairy Sci.* 69:2290–2297. *J. Dairy Sci.* 81:189–200.
- Jesse BW, RS Emery, JW Thomas (1986b). Aspects of the regulation of long-chain fatty acid oxidation in bovine liver. *J. Dairy Sci.* 69:2298–2303.
- Jorritsma R, H Jorritsma, YH Schukken, PC Bartlett, T Wensing, and GH Wentink. (2001): Prevalence and indicators of post partum fatty infiltration of the liver in nine commercial dairy herds in the Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* 68:53–60.
- Jorritsma R, T Wensing, TAM Kruip, PLAM Vos, JPTM Noordhuizen (2003): Metabolic changes in early lactation and impaired reproductive performance in dairy cows. *Vet. Res.* 34, 11-26
- Katoh N. (2002). Relevance of apolipoproteins in the development of fatty liver and fatty liver-related peripartum diseases in dairy cows. *J. Vet. Med. Sci.* 64: 293–307.
- Kaske M, K Herzog, S Kraeft, J Rehage (2001): Pancreatic insulin response and tissue responsiveness to insulin in dry, lactating cows and cows with fatty liver: results of hyperglycaemic and hyperinsulinemic euglycemic clamp experiments. *J. Dairy Sci.* 84, Suppl. 1, 118
- Kelton D. F, KD Lissimore, RE Martin (1998): Recommendations for recording and calculation the incidence of selected clinical diseases of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81:2502–2509.
- Knight CH, J France, DE Beever. (1994): Nutrient metabolism and utilization in the mammary gland. *Livestock Production Science* 39:129-137.
- Lacetera N, D Scalia, U Bernabucci, B Ronchi, D Pirazzi, A Nardone (2005): Lymphocyte functions in overconditioned cows around parturition. *Journal of Dairy Science* 88:2010–2016.
- Lomax MA, GD Baird, CB Mallinson, HW Symonds (1979): Differences between Lactating and Non-Lactating Dairy Cows in Concentration and Secretion Rate of Insulin. *The Biochemical Journal* 180:281-289.
- Lomax MA, IA Donaldson, CI Pogson. (1983). The control of fatty acid metabolism in liver cells from fed and
- Leroy JLMR, de Kruif A (2006): Reduced reproductive performance in high producing dairy cows: is their actually a problem? *Vlaams Diergen Tijdschr* 75, 55–60.
- Leroy JLMR, G Opsomer, A Van Soom, IGF Goovaerts, PEJ Bols (2008a): Reduced Fertility in High-yielding Dairy Cows: Are the Oocyte and Embryo in Danger? Part I: The Importance of Negative Energy Balance and Altered Corpus Luteum Function to the Reduction of Oocyte and Embryo Quality in High-yielding Dairy Cows. *Reprod Dom Anim* 43, 612–622
- Leroy JLMR, Opsomer G, Van Soom A, Goovaerts IGF, Bols PEJ (2008b): Reduced fertility in high-yielding dairy cows: are the oocyte and embryo in danger? Part II: mechanisms linking nutrition and reduced oocyte and embryo quality in high-yielding cows. *Reprod Dom Anim* 43, 623–632
- Leroy, JLMR, T Vanholder, ATM Van Knegsel, I Garcia-Ispuerto, PEJ Bols (2008c). Nutrient prioritization in dairy cows early postpartum: mismatch between metabolism and fertility? *Reproduction in Domestic Animals* 43: 96-103.
- Lopez H, Caraviello DZ, Satter LD, Fricke PM, Wiltbank MC. (2005): Relationship between level of milk production and multiple ovulations in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 88:2783–93.
- Lucy MC (2001): Reproductive Loss in High-Producing Dairy Cattle: Where Will It End? *Journal of Dairy Science* 84:1277-1293.
- Lucy MC (2003): Mechanisms linking nutrition and reproduction in postpartum cows. *Reproduction* 61:415–427.

- Lucy MC (2007): Fertility in high-producing dairy cows: Reasons for decline and corrective strategies for sustainable improvement. *Reprod. Suppl.* 64: 237–254.
- Nishimoto H, R Matsutani, S Yamamoto, T Takahashi, KG Hayashi, A Miyamoto, S Hamano, M Tetsuka (2006): Gene expression of glucose transporter (GLUT) 1, 3 and 4 in bovine follicle and corpus luteum. *Journal Endocrinology* 188:111-119.
- Miglior F, BL Muir, BJ van Doormaal (2005): Selection indices in Holstein cattle of various countries. *Journal of Dairy Science* 88:1255–1263.
- Opsomer G, YT Gröhn., J Hertl, M Coryn, H Deluyker, A de Kruif (2000): Risk factors for post partum ovarian dysfunction in dairy cows in Belgium: a field study. *Theriogenology* 53:841-857.
- Persauld P, G Simm, WG Hill (1991): Genetic and phenotypic parameters for yields, food intake and efficiency of dairy cows fed ad libitum. I. Estimates for total measures and their relationship with live weight traits. *Anim. Prod.* 52, 435-444
- Peter AT, PLAM Vos, DJ Ambrose (2009): Review: Postpartum anestrus in dairy cattle. *Theriogenology* 71, 1333–1342
- Pryce JE, MD Royal, PC Garnsworthy, IL Mao (2004): Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock Production Science* 86:125-135.
- Reist M, A Koller, A Busato, U Kuepfer, JW Blum (2000): First ovulation and ketone body status in the early postpartum period of dairy cows. *Theriogenology* 54:685–701.
- Royal MD, JE Pryce, JA Woolliams, APF Flint (2002): The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production and linear type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85:3071–3080.
- Rukkamsuk T, T Wensing, MJH Geelen (1999): Effect of overfeeding during the dry period on the rate of esterification in adipose tissue of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 82:1164–1169.
- Sartin JL, KA Cummins, RJ Kemppainen, DN Marple, CH Rahe, JC Williams (1985): Glucagon, insulin and growth hormone responses to glucose infusion in lactating dairy cows. *The American Journal of Physiology* 248:108–114.
- Sheldon IM, Noakes DE, Rycroft AN, Pfeiffer DU, Dobson H. (2002): Influence of uterine bacterial contamination after parturition on ovarian dominant follicle selection and follicle growth and function in cattle. *Reproduction* 123: 837–845
- Sheldon IM, Wathes DC, Dobson H. (2006): The management of bovine reproduction in elite herds. *Vet J* 2006;171:70–8.
- Sheldon IM, J Cronin, L Goetze, G Donofrio, H-J Schuberth (2009): Defining postpartum uterine disease and the mechanism of infection and immunity in the female reproductive tract in cattle. *Biology of reproduction* 81, 1025–1032
- Shrestha HK, T Nakao, T Higaki, T Suzuki, M Akita. (2004a): Resumption of postpartum ovarian cyclicity in high-producing Holstein cows. *Theriogenology* 61:637-649.
- Shrestha HK, T Nakao, T Suzuki, T Higaki, M Akita. (2004b): Effects of abnormal ovarian cycles during pre-service period postpartum on subsequent reproductive performance of high-producing Holstein cows. *Theriogenology* 61: 1559–1571.
- Silke, V., M. G. Diskin, D. A. Kenny, M. P. Boland, P. Dillon, J. F. Mee, and J. M. Sreenan. 2002. Extent, pattern and factors associated with late embryonic loss in dairy cows. *Animal Reproduction Science* 71:1–12.
- Spicer, LJ, SE Echternkamp (1995): The ovarian insulin and insulin-like growth factor system with an emphasis on domestic animals. *Domestic Animal Endocrinology* 12:223-245.
- Suriyasathaporn W, C Heuer, EN Noordhuizen-Stassen, YH Schukken (2000): Hyperketonemia and the impairment of udder defense: a review. *Veterinary Research* 31:397-412.
- Svendsen MP, P Skipnes., IL Mao (1994): Genetic correlations and the feed conversion complex of primiparous cows at a recommended and a reduced plane of nutrition. *J. Anim. Sci.* 72, 1441-1449
- Tamminga S (2006): The effect of the supply of rumen degradable protein and metabolisable protein on negative energy balance and fertility in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 96:227–39.
- van Arendonk JAM, GJ Nieuwhof, H Vos, S Korver (1991): Genetic aspects of feed intake and efficiency in lactating dairy heifers. *Livestock Production Science* 29:263-275.
- van Knegsel ATM, H van den Brand, J Dijkstra, S Tamminga, B Kemp (2005): Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle. *Reproduction, Nutrition, Development* 45:665-688.
- van Knegsel ATM, H van den Brand, J Dijkstra, B Kemp (2007): Effects of dietary energy source on energy balance, metabolites and reproduction variables in dairy cows in early lactation. *Theriogenology* 68S, S274–S280
- van Knegsel ATM, H van den Brand, EAM Graat, J Dijkstra, R Jorritsma, E Decuypere, S Tamminga, B Kemp (2007): Dietary energy source in dairy cows in early lactation: metabolites and metabolic hormones. *Journal of Dairy Science* 90:1477-1485.
- Veerkamp RF, EPC Koenen. 1999. Genetics of food intake, live weight, condition score and energy balance. *Occasional Publications of the British Society of Animal Science* 24:63-73.
- Veerkamp RF, G Simm, JD Oldenham (1995): Genotype by environment interaction – experience from Langhill. In: *Breeding and feeding the high-genetic merit dairy cow*. Occas. publ. 19. LAWRENCE, T. L. J., GORDON, F. J., CARSON, A., ed. *Br. Soc. Anim. Sci.*, Edinburgh, United Kingdom, 59-66
- Veerkamp RF, F Emmans (1995): Sources of genetic variation in energetic efficiency of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 44, 87 – 97
- Veerkamp RF, S Brotherstone (1997): Genetic correlation between linear type traits, food intake, live weight and condition score in Holstein Friesian cattle. *Anim. Sci.* 64, 385 - 392

- Veerkamp RF (1998): Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: a review. *J. Dairy Sci.* 81, 1109-1119
- Veerkamp RF, R Thompson (1999): A covariance function for feed intake, live weight, and milk yield estimated using a random regression model. *J. Dairy Sci.* 82, 1565-1573
- Veerkamp RF, JK Oldenbroek, HJ van der Gaast, JHJ van der Werf (2000): Genetic correlation between days until start of luteal activity and milk yield, energy balance, and live weights. *J. Dairy Sci.* 83, 577-583
- Veerkamp RF, EPC Koenen, G de Jong (2001): Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. *J. Dairy Sci.* 84, 2237-2335
- Waller, K. P. 2000. Mammary gland immunology around parturition. Influence of stress, nutrition and genetics. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 480:231-245.
- Wathes DC, M Fenwick, Z Chen, N Bourne, S Llewellyn, DG Morris, D Kenny, J Murphy, R Fitzpatrick (2007): Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology* 68S, S232-S241
- Williams EJ, Fischer DP, Noakes DE, England GC, Rycroft A, Dobson H, Sheldon IM. (2007): The relationship between uterine pathogen growth density and ovarian function in the postpartum dairy cow. *Theriogenology* 68: 549-559.
- Wiltbank MC, Gumen A, Sartori R (2002): Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. *Theriogenology* 57: 21-52.
- Windig JJ, Calus MP, Veerkamp RF (2005): Influence of herd environment on health and fertility and their relationship with milk production. *J Dairy Sci* 88: 335-47.
- Xu L, M.Ash, S Abdel-aleem, JE Lowe, M Badr (1995): Hyperinsulinemia inhibits hepatic peroxisomal  $\beta$ -oxidation in rats. *Horm. Metab. Res.* 27:76-78.
- Zammit VA (1996). Role of insulin in hepatic fatty acid partitioning: emerging concepts. *Biochem. J.* 314:1-14.
- Zerbe H, N Schneider, W Leibold, T Wensing, T Kruip, HJ Schubert (2000). Altered functional and immunophenotypical properties of neutrophilic granulocytes in post partum cows associated with fatty liver. *Theriogenology* 54:771-786.
- Zhao X, BW McBride, LM Trouten-Radford, JH Burton (1993): Effects of insulin-like growth factor-I and its analogues on bovine hydrogen peroxide release by neutrophils and blastogenesis by mononuclear cells. *Journal of Endocrinology* 139:259-265.
- Zhao FQ, WM Moseley, HA Tucker, JJ Kennelly (2006): Regulation of glucose transporter gene expression in mammary gland, muscle, and fat of lactating cows by administration of bovine growth hormone and bovine growth hormone-releasing factor. *Journal of Animal Science* 74:183-189.
- Zhao FQ, AF Keating (2007): Expression and regulation of glucose transporters in the bovine mammary gland. *Journal of Dairy science* 90:76-86.

## Diskussion

CERMAK, LEIPZIG

Der letzten Punkt, den sie angesprochen haben, wird ja häufig und schon sehr lange diskutiert, dass man gerade bei diesen hohen Milchleistungen etwas länger warten und die Kühe länger melken sollte. Das müsste sich doch rechnen, dann hätten wir auch keine Probleme, allein unter dem Gesichtspunkt des Energiedefizits. Wenn das erste Drittel der Laktation dann überstanden ist, müsste das hinhalten. Ich habe die Frage schon mehrmals gestellt, auch den Ökonomen. Ich bin kein Ökonom, aber ich habe immer herauskristallisiert, es rechnet sich einfach nicht. Gibt es neue Erkenntnisse, gibt es neue Studien, die sagen, dass es wirklich auch betriebswirtschaftlich für den Landwirt lohnenswert ist, die Erstbesamung herauszuzögern.

ANTWORT

Es gibt im Raum einen Kollegen aus Wageningen, der müsste das eigentlich besser wissen, weil die Kollegen in Wageningen haben das u.a. berechnet haben und haben sehr wohl festgestellt haben, dass, wenn man sie erst mit 100 oder nach 110 Tagen tragend bekommt, beim hochleistenden Tier, gibt es dafür keinen Grund. Ich sage ja auch nicht alle Kühe automatisch später besamen, aber es macht aus meiner Sicht keinen Sinn, eine 10, 11, 12 oder 13.000-Liter-Kuh so frühzeitig wieder zu besamen, um sie dann mit 30 l trocken zu stellen. Das ist dann keine so schöne Milchviehhaltung bei dem Animal-Welfare-Problem. Wir suchen ja aktiv das Problem, indem



wir versuchen, sie jedes Jahr tragend zu bekommen und genau wissen, wir haben 100 Tage Stress mit diesen Tieren. Eine Kuh, die den 100. Tag überstanden hat, die merken sie nicht mehr in der Laktation, die macht keine Probleme mehr, es sei denn, ihr fällt ein Heuballen auf den Kopf.

SWALVE, HALLE

Ich habe jetzt keine handfeste ökonomische Analyse in der Hand, aber ich habe hinreichend Praxiserfahrung, die mir so zuteil geworden ist, und die zeigt, das Problem ist überhaupt nicht relevant. Sie brauchen doch den heutigen Landwirten gar nicht zu erzählen, die sollen die Kühe nicht vorm 50. oder 60. Tag tragend machen, das versucht sowieso keiner. Das versuchen höchstens Leute, weil sie sozusagen Managementfehler machen, aber geplanter Weise bei Hochleistungskühen, da diskutiert doch längst keiner mehr drüber. Ich meine, 70 plus 280 sind 350, das wäre noch 15 Tage unter einem Jahr Zwischenkalbezeit. Das strebt doch überhaupt niemand an. Die Herden, die ich kenne, wo das Niveau 10.000 l beträgt oder mehr, die sagen ja von vornherein, also vor Tag 60 sowieso nicht und Richtung 100. Tag oder so etwas und die kommen damit auch ökonomisch gut mit zurecht. Ich erinnere mich an einen Betriebsbesuch auf einem großen Betrieb, der mir dann sagte, ich peile so eine Zwischenkalbezeit von 1 1/2 Jahre ein. Ich finde das eigentlich am besten, weil ich brauche die Kälber eigentlich nicht und die heutigen Kühe geben das her. Das ist eine extreme Meinung, ich will

das hier nicht verallgemeinern, aber solche Leute gibt es mittlerweile auch schon, aber ich würde mal sagen, das Gängige ist doch, dass man versucht, Richtung 90. Tag, 90 oder 100. Tag zu kommen.

ANTWORT

Es ist unwidersprochen von mir. Ich habe dieses Programm aus 2008 oder 2009, also relativ neu. Hochkarätige, wissenschaftliche Leute und arbeitende Leute. Die starten mit ihrem Programm zwischen 40 und 45 Tagen, damit sie zwischen 70 und 85 Tagen es tatsächlich anwenden können. In der Praxis gebe ich ihnen Recht. Die meisten Landwirte, wenn sie gut gehende Betriebe und hohe Leistungen haben und man kommt mit diesem Vorschlag, lassen die einen meistens vor die Wand laufen und sagen, komm ich hab Zeit, da ist überhaupt keine Notwendigkeit für.

Aber wenn ich im Kreis von Wissenschaftlern mich befinde, höre ich diesen Vorschlag immer und immer wieder. Es gibt offensichtlich eine Diskrepanz zwischen der Erkenntnis in der Praxis und der Erkenntnis, die im wissenschaftlichen Bereich liegt.

SCHWARZ, WEIHENSTEPHAN

Wenn man dann diese Hochleistungskühe trocken stellen will, dann hat man natürlich auch ein gewisses Problem, weil die Leistung am Ende dieser Phase immer noch bei 25 – 30 kg liegt. Insofern ist das heute auch vom ökonomischen Standpunkt aus sicherlich so zu sehen, dass die Leistung immer noch so hoch ist, das es interessant ist, die Kuh in dieser Phase nicht unbedingt trocken zu stellen.

KANITZ, DUMMERSTORF

Seit Jahren wird, und aus meiner Sicht zu Recht, über den möglichen Einfluss der postpartalen Stoffwechsellage auf die Qualität von Eizellen gesprochen. Darüber wird spekuliert. Leider gibt es, und ich formuliere das vorsichtig, nur wenig belastbare Daten. Das liegt in erster Linie daran, dass das Zielsubstrat, die präovulatorische Oozyte nicht ausreichend zur Verfügung steht und nicht in ausreichendem Umfang gewonnen werden kann, um funktionelle

Untersuchungen anzustellen. Nun versucht man, da einen Ausweg zu gehen und sie haben einen Ausweg gezeigt. Sie haben oder für diesen Beitrag wurden Eizellen gewonnen. Von denen würden 98 % nicht das Licht der Welt erblicken. Was halten sie von der Aussagefähigkeit solcher Untersuchungen und gibt es Ansätze, das anders zu machen, und damit aussagefähiger?

ANTWORT

Ich bin weder Reproduktionsprofi und schon gar nicht für in-vitro Ansätze. Da müssen sie ihre Kollegen fragen, wie sie das Problem lösen wollen, nicht mich. Ich habe es so dargestellt, wie ich es als Außenstehender beobachte und gebe ihnen völlig Recht, Zweifel habe ich da auch.

KANITZ, DUMMERSTORF

Das Problem besteht darin, dass es fast unmöglich ist, das eigentlich interessante Substrat, die Eizelle, die mal zum Kalb führen soll, in ausreichender Menge zu gewinnen. Also versucht man, einen Umweg zu gehen und gewinnt Eizellen aus Eibläschen, die niemals oder zu 98 % das Licht der Welt erblicken würden, aufgrund von Selektionsprozessen. Deshalb sind in meinen Augen solche Ergebnisse kritisch zu hinterfragen.

ANTWORT

Was ist jetzt die Frage? Ich habe ja die Daten von Frau von Wrenzycki vorgestellt. Sie sind erst einmal wie sie sind. Es gibt mehr Eizellen und sie sind besser gewachsen. Das ist eine Studie muss man dazu sagen. Sie wissen selber, dass im Bereich der Reproduktionsmedizin gibt es drei, vier Studien, die zeigen in eine Richtung und plötzlich gibt es zwei andere Studien, die zeigen genau in die andere Richtung. Wir stellen es einfach so in den Raum. Was soll ich dazu sagen.

REINSCH, DUMMERSTORF

Ich wollte eine Anmerkung machen zu den züchterischen Bemerkungen, die sie gemacht haben. Einmal was die unfreiwillige Abgangsrate angeht. Dort ist es

ja so, dass wir bei den Schwarzbunten mittlerweile einen leicht günstigen genetischen Trend haben. Das sollte man schon erwähnen dabei, das ist eine Erfolgsgeschichte, auch wenn es lange gedauert hat, bis der eingesetzt hat. Wahrscheinlich auch durch zunehmende Beachtung von Zellzahlzuchtwerten. Das zweite ist, sie hatten auf ihrer letzten Folie ganz unten stehen, Fruchtbarkeitsmerkmale müssen stärker gewichtet werden. Da würde ich zustimmen, aber dazu gehört auch eine höhere Genauigkeit bei der Zuchtwertschätzung erreichen als wie wir sie bisher hatten. Das ist nicht nur ein Problem der Gewichtung, sondern auch ein Problem der Beachtung der Zuchtwerte und da ist dann damit zu rechnen, dass diese Genauigkeiten zur Sicherheit deutlich hochgehen. Sie haben gezeigt, 40 % Endometritis. Da gibt es aber noch eine extrem starke Schwankung zwischen den Betrieben. Wie kann man denn diese Schwankungen zwischen den Betrieben erklären? Daraus müssten sich doch Ansatzpunkte ableiten lassen für eine Verbesserung der Praxis.

ANTWORT

Wir haben eigentlich Gesundheitsprobleme. Ob das Lahmheit, Endometritis, Milchfieber ist, es gibt immer eine Spannbreite, die ist unglaublich. Was Endometritis angeht: Erst einmal ist der Uterus zur Abkalbung steril. Nach einer Woche ist er infiziert mit Pyogenes, die müssen ja irgendwo herkommen. Da nicht mehr viel Geburtshilfe geleistet wird, werden es nicht die ungewaschenen Hände in der Mehrzahl der Fälle des Landwirtes sein, was vielleicht früher der Fall gewesen ist, aber es werden immer noch zum Großteil unhygienische Bedingungen sein. Also letztendlich ganz normal im Managementbereich, wie fast alle Dinge. Ich muss da jetzt nochmals sagen. Es gibt eine positive Entwicklung und das ist wunderbar. Wir könnten von heute auf morgen die Abgangsraten um die Hälfte senken, wenn wir das denn wollten. Warum sind sie 38 %. Weil das genau die Zahl der weiblichen Nachzucht ist, die wir haben. Das kann auch 45 sein. Was machen wir, wenn es plötzlich nur noch 20 sind?

SPIEKERS, GRUB

Herr Rehage, sie hatten ja die Insulinresistenz angesprochen, in dem Zusammenhang auch die Körperkondition. Bei den Holsteinern war ja im Mittel eine Kondition von BCS 3,25 anzustreben, beim Fleckvieh strebt man eine um 0,5 Punkte höhere Kondition an. Würden sie da bezüglich der Fruchtbarkeit für diese Dinge ein Problem sehen? Meines Erachtens müsste man insgesamt runterfahren.

ANTWORT

Es fehlt mir ein Datenhintergrund, um das fachlich sachgerecht beantworten zu können. Ich kenne mich mit Fleckvieh nicht aus. Ich komme aus Norddeutschland. Alles, was bei mir nicht Schwarzbunt ist, irritiert mich ohnehin schon. Sie sind ja von der Körperkonstitution und Figur grundsätzlich anders. Dieses BCS-System, ich wage ohnehin zu bezweifeln, ob wir das BCS-System, das wir haben, 1 : 1 auf Fleckvieh anwenden können. Und ob das dann einen halben Punkt höher ist oder nicht, ich vermag es nicht zu sagen. Aber prinzipiell können wir sagen, wenn sie fett sind, geht die Fruchtbarkeit runter, sie sollen auch nicht mager sein, das auch nicht, aber in einer fitten, guten Kondition zwischen 2,75 und 3,5, das wäre optimal. Und ob das bei Fleckvieh 1 : 1 übertragbar ist, das weiß ich nicht.

SCHWARZ, WEIHENSTEPHAN

Aber ich denke, wir haben beim Fleckvieh keine schlechtere Fruchtbarkeit als bei den Holsteinfriesen. Also insofern kann es nicht gerade an dieser Frage Körperkondition liegen.

ANTWORT

Nein, das ist ein Beitrag, wobei beim Fleckvieh entwickelt sich jetzt, zumindest bei dem Milchvieh, im Prinzip genau das Gleiche, soweit ich das beurteilen kann, was wir beim Holsteiner auch haben, das liegt nur ein Paar Jahre zurück.

COENEN, LEIPZIG

Wenn sie erlauben, zwei Fragen. Es wurde ja die

Fehlstellung in der Regulation des Energiehaushaltes erläutert. Bilden sich diese auch im Uterusmilieu ab? Wenn ja, wie? Die zweite Frage: Beim Wildtier ist beobachtet worden, dass Stress nach erfolgreicher Befruchtung das Geschlechterverhältnis verändert zugunsten der männlichen Tiere. Gibt es ähnliche Befunde beim Rind?

ANTWORT

Da bin ich ehrlich gesagt überfragt. Das kann ich Ihnen nicht sagen.

Im Übrigen, wenn wir über Stress sprechen, müssen wir immer unterscheiden zwischen akutem Stress, also wie ich, wenn ich einen Vortrag halte, das ist akuter Stress, das gibt einem das Gefühl, dass man noch lebt. Chronischer Stress ist immer destruktiv. Ich kann es Ihnen nicht beantworten, ob das beim Rind auch so ist. Vielleicht weiß Herr Kanitz das. Ob sich das im Uterusmilieu widerspiegelt, in welcher Hinsicht jetzt, pH-Wert oder woran haben Sie jetzt gedacht? Also prinzipiell sind die Substrate, denn die stammen aus dem Blut, auch da bin ich nicht ganz sicher, ob das in irgendeinem Faktor sich im Milieu in dieser Form widerspiegelt. Ich weiß nicht ganz genau, worauf Sie jetzt abzielen.

SCHWARZ, WEIHENSTEPHAN

Die einzelne Kultur stellt ja ganz spezifische Anforderungen und zwischen den Spezies gibt es auch sehr große Unterschiede in der optimalen Zusammensetzung des Kulturmediums. Daraus ziehe ich den Schluss, dass es wohl keine zufälligen Bedingungen gibt im Uterus für eine optimale Bedingung zum Zeitpunkt der Konzeption. Deshalb meine Vermutung, dass unter solchen Bedingungen das Uterusmilieu auch in einer Weise verändert ist.

ANTWORT

Der einzige sichere Zusammenhang, den ich kenne, ist bei Proteinübersorgung und dass sich das

Uterusmilieu ändert mit den entsprechend hohen Harnstoffwerten. Ob das ein Defizit ist, bin ich mir nicht ganz sicher, aber mir ist jetzt keine Untersuchung bekannt.

KALM, KIEL

Sie hatten vorhin die Stoffwechselfparameter angesprochen, die Sie in irgendeiner Form verrechnen zu einem Index, wie auch immer. Ich erinnere mich noch an ein umfangreiches DFG-Schwerpunktprogramm. Da haben alle Tierzuchtinstitute Stoffwechselfparameter gesammelt und versucht, daraus etwas zu interpretieren und im Grunde ist das nachher so ein bisschen im Sande verlaufen. Man kann die Umwelteffekte, die diese Stoffwechselfparameter beeinflussen, nicht genau quantifizieren, so dass wir nachher zu der Schlussfolgerung kamen, man muss gewisse Korrekturen vornehmen, z.B. hinsichtlich Milchleistung oder für Betriebseffekte. Wird das in Ihren Betrachtungen bzw. Berechnungen so gehandhabt, Sie haben gesagt, die Parameter werden erhoben und mit Programmen verrechnet. Finden die Korrekturen bei den Berechnungen statt?

ANTWORT

Also es ist nicht daran gedacht, denke ich, dazu ist es noch zu teuer, um ein metabolisches Profil im Rahmen des normalen Herdenmanagements einzusetzen. Mag sein, dass sich das mal als brauchbar herausstellt. Das vermag ich im Moment nicht zu sagen. Aber es ist ein Parameter, der uns, und da spricht vieles für, erlaubt, tatsächlich eine gewisse Stoffwechselfdisposition insulinresistent oder nicht resistent mehr oder weniger zu quantifizieren und mit wenig Geld aus einer Blutprobe. Man braucht sicherlich mehrere Blutproben, tatsächlich erlaubt es, viele Tiere zu untersuchen. Wenn wir über Insulinresistenz sprechen, dann sind es immer Untersuchungen an 20 Tieren, und wir übertragen das auf die gesamte Population. Allerdings sind das ja auch diese 20 Tiere, die waren auch von Endometritis und von allen möglichen Krankheiten betroffen. Wir machen ja Wissenschaft, wenn das zu aufwendig im experimentellen Teil wird,

nutzen wir kleine Tierzahlen, und versuchen das zu extrapolieren. Wir kommen nicht weiter, wir kommen meines Erachtens mit der Insulinresistenz, weil das nur experimentell geht und teuer war und da könnte dieses tatsächlich einen Ausweg bieten und die Zusammenhänge mit der Fruchtbarkeit erklären helfen oder auch mit anderen Erkrankungen.

BRUCKMAIER, BERN

Eher ein Kommentar als eine Frage. Ich wollte noch darauf hinweisen, es gibt ja neuere Studien, die zeigen, dass trotz gleicher negativer Energiebilanz, die unvermeidlich ist, also wenn die Leistung so hoch ist, dass man mit der Futtermittelaufnahme die entsprechende Energie und entsprechende Nährstoffe nicht zuführen kann, da hat man vorübergehend eine negative Bilanz. Interessant ist aber, bei gegebener, gleicher negativer Bilanz gibt es einfach individuelle Tiere, die sehr stark mit erhöhten Ketonkörpern mit großen Ausschlägen freier Fettsäuren reagieren und andere gar nicht. Ich glaube, das ist ein Weg, den wir

weiter beschreiten müssen, um hier natürlich auch den Zusammenhang zur Reproduktion herzustellen. Die Wissenschaft sollte die Erfahrungen der Praxis nutzen. Es ist sicher ein Managementakt, den man in der Praxis machen kann, wenn man nichts Besseres zur Verfügung hat. Aber in der Forschung sollte man schon versuchen, eigentlich einen besseren Weg zu beschreiten, zu schauen, wo ist die metabolische Stabilität, wie ist sie definiert, wie ist der Einfluss der Leber in diesem Zusammenhang und ich bin überzeugt, dass die Individuen, die metabolisch diese Entgleisungen nicht zeigen, die sich adäquat anpassen und nicht überreagieren durch Freisetzung oder überreagieren in Richtung Mobilisierung von Fett und dann das Problem, wo all die freien Fettsäuren sind, die nicht gebraucht werden. Letztlich, wenn man diesen Weg beschreitet, dann wird man auch in der Reproduktion weiter kommen.

ANTWORT

Das kann ich 1:1 unterstreichen.

# Ernährung und Immunsystem



## 1 Einleitung

Die wichtigste Funktion des Immunsystems ist die Kontrolle von Infektionen. Um auf die nahezu unüberschaubare Zahl an Mikroorganismen und Parasiten adäquat reagieren zu können, hat sich im Verlaufe der Evolution ein komplexes Netzwerk an zellulären und löslichen Faktoren entwickelt. Die Immunologie hat in den letzten 40 Jahren erhebliche Fortschritte bei der Identifizierung und funktionellen Charakterisierung dieser Komponenten gemacht. Dabei hat sich gezeigt, dass das Immunsystem nicht nur unter der Kontrolle genetischer Faktoren steht sondern auch durch zahlreiche Umwelteinflüsse in seiner Funktion moduliert wird. Die Ernährung spielt dabei eine ganz wesentliche Rolle (5). Der Zusammenhang zwischen einer Unterernährung und einer erhöhten Anfälligkeit für Infektionserkrankungen wurde bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts erkannt, ohne dass die zugrunde liegenden Mechanismen bekannt gewesen wären. Bereits kurz nach der Entdeckung des B- und T-Zellsystems begannen Good und Mitarbeiter der Frage nachzugehen, wie sich eine Proteinunterversorgung oder kalorische Mangelernährung auf die Lymphozytenfunktion und auf andere Komponenten des Immunsystems auswirken. Dabei wurde früh deutlich, dass die verschiedenen Komponenten des Immunsystems recht unterschiedlich auf die Änderungen in der Diät reagierten. Eine Zusammenfassung dieser ersten Untersuchungen findet sich bei Good et al. 1976 (8).

Parallel mit der Weiterentwicklung immunologischer Kenntnisse wuchs auch das Interesse an Fragen

der Interaktion der Ernährung mit dem Immunsystem und an der Charakterisierung von Nährstoffen, welche das Immunsystem aktivieren oder hemmen (11). In den letzten Jahren ist dabei aber auch deutlich geworden, dass das Immunsystem seinerseits Einfluss auf die Nahrungsaufnahme und zahlreiche Stoffwechselprozesse nehmen kann. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass in Lehrbüchern der Immunologie ein Kapitel zum Thema Ernährung und Immunsystem nur selten zu finden ist. Gründe hierfür sind sicher, dass dieses Arbeitsgebiet noch in den Anfängen steht, gute Arbeiten eine enge Kooperation von Ernährungswissenschaftlern und Immunologen (und Genetikern) voraussetzen und dass die Übertragung von Ergebnissen aus in vitro Studien auf die in vivo Situation oftmals zu widersprüchlichen Ergebnissen führte.

## 2 Untersuchung nutritiver Einflüsse auf das Immunsystem

Um die Komplexität des Immunsystems besser fassen zu können, wird häufig eine Unterteilung in ein angeborenes und ein erworbenes Immunsystem vorgenommen. Auf zellulärer Ebene werden zu ersterem die Monozyten, Makrophagen und dendritischen Zellen sowie die Granulozyten, Mastzellen und natürlichen Killerzellen gezählt. Im erworbenen Immunsystem finden sich die B- und T-Lymphozyten mit ihren zahlreichen Subpopulationen, von denen die T-Helferzellen (CD4<sup>+</sup>) und die zytotoxischen T-

Zellen (CD8<sup>+</sup>) sicher die bekanntesten Vertreter sind. Diese Unterteilung ist allerdings auf funktionaler Ebene nicht vorhanden, da beide Systeme eng miteinander verwoben sind und Defekte in dem einen System immer auch Dysfunktionen im anderen System nach sich ziehen.

Um die Rolle bestimmter Nährstoffen auf die Funktion dieser immunkompetenten Zellen zu analysieren, wurden im Wesentlichen zwei experimentelle Wege beschritten. Eine Vielzahl von Daten wurde durch Zusatz von definierten Nährstoffen zu Zellkulturen primärer Zellen oder von Zelllinien erarbeitet, wobei die Modulation der Zellen anhand zelltypischer Funktionsparameter gemessen wurde. Als Beispiele sei die Phagozytose von Bakterien durch Makrophagen, die Bildung von Sauerstoffradikalen durch Granulozyten oder die Proliferation von Lymphozyten nach Stimulation mit Mitogenen genannt. Im zweiten Ansatz haben Experimentatoren Tiere mit unterschiedlichen Diäten versorgt, anschließend die Zellen isoliert und in vitro den gleichen Funktionsanalysen unterzogen, wie zuvor für die reinen Zellkulturexperimente beschrieben. Diese Arbeiten haben eine Fülle an Informationen hervorgebracht, die u.a die Rolle von Aminosäuren (12), Fettsäuren (18), Glucose (3) und Vitaminen und Spurenelemente (13) in der Immunfunktion charakterisieren.

Viele dieser Arbeiten spiegeln aber lediglich ein sehr begrenztes Spektrum der Wirkungen von Nährstoffen auf das Immunsystem wieder. Um die Wirkung eines bestimmten Futters oder Futterzusatzstoffes auf die Funktion des Immunsystems und die Abwehr eines Tieres umfassend analysieren zu können, müssten idealer Weise Belastungsversuche mit verschiedenen Infektionserregern durchgeführt werden. Nachfolgend könnten dann die Zellen und Faktoren des Immunsystems identifiziert werden, die an der verbesserten Abwehrlage entscheiden beteiligt sind. Derartige Studien können bei den landwirtschaftlichen Nutztieren in der Regel nur an kleinen Tierzahlen durchgeführt werden. Umso wichtiger ist es, den Einfluss der Genetik und weiterer Umweltparameter sicher von den nutritiven Einflüssen abzugrenzen.

### **3 Peripartale Immunsuppression beim Wiederkäuer**

Beim Wiederkäuer ist insbesondere die peripartalen Phase durch eine Häufung von Erkrankungen mit einem erhöhten Schweregrad charakterisiert, die eng mit einer nutritiven Unterversorgung assoziiert sind (7). Diese werden von einer Veränderung metabolischer Faktoren und zahlreicher immunologischer Abwehrmechanismen sowohl im angeborenen, als auch im erworbenen Immunsystem begleitet (16). Besonders gut dokumentiert wurde dies bei Schafen, bei denen eine peripartale Immunsuppression an Hand der Ausscheidung von Wurmeiern dokumentiert wurde, die regelmäßig um die Geburt deutlich anstieg und anschließend wieder abfiel. Da es um die Geburt zu einem deutlich erhöhten Bedarf an Nährstoffen kommt, wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Immunsuppression auf einen relativen Nährstoffmangel zurück zu führen ist. Dieser ist möglicher Weise eine Folge der Nährstoffumverteilung zu Gunsten der Reproduktion und Laktation und zu Lasten des Immunsystems und anderer wenig genutzter Funktionen. Fütterungsversuche haben tatsächlich gezeigt, dass eine Optimierung der Nährstoffversorgung oder das frühzeitige Absetzen eines von zwei Lämmern diese peripartale Immunsuppression vollständig aufheben konnte. Bemühungen, die zu Grunde liegenden immunologischen Mechanismen zu identifizieren, waren bisher weitgehend erfolglos, da die beobachteten Effekte äußerst inkonsistent waren (9). Eine kürzlich erschienene Arbeit zeigte, dass Tiere deren Lämmer bereits an Tag 2 abgesetzt wurden, eine schnelle Normalisierung der Immunreaktionen zeigten und dass diese mit einem Anstieg der Zahl eosinophiler Granulozyten, der Immunglobulin-Titer und der Zahl an Mastzellen im Darm assoziiert war (1).

Auch beim Rind wurden zahlreiche immunologische Parameter analysiert, um die Mechanismen der peripartalen Immunsuppression zu klären. Dabei zeigte sich u.a., dass auf Seiten des angeborenen Immunsystems die Zahl der neutrophilen Granulozyten im Blut und deren Adhäsion und Migration in die Milchdrüse reduziert waren. Interessanter Weise zeigten die Zellen eine erhöhte Phagozytoseleistung,

was auf den ersten Blick für eine verbesserte Abwehrlage gegenüber bakteriellen Infektionen sprechen würde. Genauere Funktionsanalysen ergaben aber, dass die Bildung von reaktiven Sauerstoffverbindungen reduziert war, woraus tatsächlich eine erniedrigte Abtötungsrate der Bakterien resultierte (14). Im erworbenen Immunsystem wurde gezeigt, dass die Frequenz der Lymphozyten signifikant reduziert (45% zu 20%) war und dass mehrere Funktionsparameter der T-Lymphozyten, wie die Proliferationsleistung und die Bildung von IFN- $\gamma$  und IL-12 (Th1-Zytokine) signifikant unter den Kontrollwerten lagen. Demgegenüber war die Bildung einiger Th2-Zytokine (IL-4, IL-10 und TGF- $\beta$ ) erhöht (10). Einige dieser negativen Effekte auf das Immunsystem konnten durch die Fütterung zusätzlicher Energie reduziert werden (17) insbesondere bei Tieren, die eine deutlich reduzierte Futtermittelaufnahme in der peripartalen Phase zeigten (15). Diese und zahlreiche weitere Arbeiten haben auch für den Wiederkäuer den engen Zusammenhang zwischen einer adäquaten Nährstoff- und Energieversorgung und einem voll funktionsfähigen Immunsystem aufgezeigt (4).

#### 4 Energetische Versorgung von Lymphozyten

Interessant sind dabei Untersuchungen der letzten Jahre die zeigen, dass insbesondere die Lymphozyten einen erheblichen Energiebedarf aufweisen und dies sowohl in ihrem ruhenden als auch im aktivierten Funktionszustand. Erhebliche Unterschiede gibt es aber in Bezug auf die verwendeten Energiesubstrate und die Stoffwechselwege (6). Ruhende T-Zellen nutzen sowohl Glucose als auch Aminosäuren und Fettsäuren für die oxidative Gewinnung von ATP. Wichtig ist hierbei, dass die Zellen durch spezifische Wachstumsfaktoren (z.B. Interleukin-4 (IL-4) oder IL-7) stimuliert werden, um aktiv den Status eines ruhenden Lymphozyten aufrecht zu erhalten. Der Entzug der Zytokine oder der Nährstoffe führt zum schnellen Einleiten des programmierten Zelltods. Werden Lymphozyten durch den Kontakt mit Antigenen und die gleichzeitige Stimulation durch Zytokine (z.B. IL-2) aktiviert, so nutzen sie als Energiesubstrat

nahezu ausschließlich Glucose, da Fettsäuren und Aminosäuren nun für die Bildung von Membranen und Proteinen benötigt werden. Interessanter Weise findet die ATP-Gewinnung bei diesen Zellen auch nicht mehr oxidativ statt. Vielmehr wird die anaerobe Glycolyse mit der Bildung erheblicher Mengen an Laktat als wichtigster Stoffwechselweg zur ATP-Synthese genutzt. Unklar ist noch, warum die Zellen diesen, vergleichsweise ineffizienten Weg der Energiebereitstellung nutzen. Eine zentrale Funktion der stimulatorischen Zytokine ist es die Glucoseaufnahme in die Zelle durch eine Erhöhung der Expression des GLUT1 Transporters für Glucose auf der Zelloberfläche zu erhöhen. Die daran beteiligten Transkriptionsfaktoren sind inzwischen umfassend untersucht worden. Diese zunächst an murinen und humanen Lymphozyten erarbeiteten Daten sind sehr wahrscheinlich auch auf die Wiederkäuer übertragbar, detaillierte Studien hierzu wurden aber noch nicht veröffentlicht.

#### 5 Ausblick

Die bisher zusammengefassten Arbeiten zeigen, dass eine adäquate Energieversorgung für die Funktion der Lymphozyten aber auch der übrigen Zellen des Abwehrsystems von entscheidender Bedeutung sind. Neue Arbeiten am Modellorganismus *Drosophila* zeigen aber auch, dass im Hungerzustand bestimmte Abwehrprozesse gezielt aktiviert werden können, um den Organismus vor Pathogenen zu schützen. Der Entzug von Glucose oder die Hemmung des Insulin-Signalwegs führen bei *Drosophila* zur hochgradigen Induktion der Bildung von antimikrobiellen Peptiden an den mucosalen Oberflächen und damit zu einer verbesserten lokalen Abwehrlage gegenüber bakteriellen Infektionen. Es konnte *in vitro* gezeigt werden, dass auch humane Zellen in dieser Weise auf eine Hemmung des Insulinsignalwegs reagieren (2). In wie weit das Abwehrsystem der Wiederkäuer in der peripartalen Phase mit deutlich erniedrigten Insulinspiegeln in ähnlicher Weise z.B. in der Milchdrüse reagiert bleibt zu untersuchen.

*Literaturverzeichnis*

1. **Beasley, A. M., L. P. Kahn, and R. G. Windon.** The periparturient relaxation of immunity in Merino ewes infected with *Trichostrongylus colubriformis*: parasitological and immunological responses. *Vet Parasitol* **168**:60-70.
2. **Becker, T., G. Loch, M. Beyer, I. Zinke, A. C. Aschenbrenner, P. Carrera, T. Inhester, J. L. Schultze, and M. Hoch.** FOXO-dependent regulation of innate immune homeostasis. *Nature* **463**:369-73.
3. **Calder, P. C., G. Dimitriadis, and P. Newsholme.** 2007. Glucose metabolism in lymphoid and inflammatory cells and tissues. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* **10**:531-40.
4. **Carroll, J. A., and N. E. Forsberg.** 2007. Influence of stress and nutrition on cattle immunity. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* **23**:105-49.
5. **Fernandes, G.** 2008. Progress in nutritional immunology. *Immunol Res* **40**: 244-61.
6. **Fox, C. J., P. S. Hammerman, and C. B. Thompson.** 2005. Fuel feeds function: energy metabolism and the T-cell response. *Nat Rev Immunol* **5**:844-52.
7. **Goff, J. P.** 2006. Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health. *J Dairy Sci* **89**:1292-301.
8. **Good, R. A., G. Fernandes, E. J. Yunis, W. C. Cooper, D. C. Jose, T. R. Kramer, and M. A. Hansen.** 1976. Nutritional deficiency, immunologic function, and disease. *Am J Pathol* **84**:599-614.
9. **Houdijk, J. G.** 2008. Influence of periparturient nutritional demand on resistance to parasites in livestock. *Parasite Immunol* **30**:113-21.
10. **Kehrli, M. E., Jr., and J. P. Goff.** 1989. Periparturient hypocalcemia in cows: effects on peripheral blood neutrophil and lymphocyte function. *J Dairy Sci* **72**:1188-96.
11. **Klasing, K. C.** 2006. Negative consequences of immune responses: what can be done by nutritionists? *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **15**:17-23.
12. **Li, P., Y. L. Yin, D. Li, S. W. Kim, and G. Wu.** 2007. Amino acids and immune function. *Br J Nutr* **98**:237-52.
13. **Maggini, S., E. S. Wintergerst, S. Beveridge, and D. H. Hornig.** 2007. Selected vitamins and trace elements support immune function by strengthening epithelial barriers and cellular and humoral immune responses. *Br J Nutr* **98 Suppl 1**:S29-35.
14. **Mehrzaad, J., L. Duchateau, S. Pyorala, and C. Burvenich.** 2002. Blood and milk neutrophil chemiluminescence and viability in primiparous and pluriparous dairy cows during late pregnancy, around parturition and early lactation. *J Dairy Sci* **85**:3268-76.
15. **Ohtsuka, H., C. Watanabe, M. Kohiruimaki, T. Ando, D. Watanabe, M. Masui, T. Hayashi, R. Abe, M. Koïwa, S. Sato, and S. Kawamura.** 2006. Comparison of two different nutritive conditions against the changes in peripheral blood mononuclear cells of periparturient dairy cows. *J Vet Med Sci* **68**:1161-6.
16. **Sordillo, L. M., G. A. Contreras, and S. L. Aitken.** 2009. Metabolic factors affecting the inflammatory response of periparturient dairy cows. *Anim Health Res Rev* **10**:53-63.
17. **Stabel, J. R., J. P. Goff, and K. Kimura.** 2003. Effects of supplemental energy on metabolic and immune measurements in periparturient dairy cows with Johne's disease. *J Dairy Sci* **86**:3527-35.
18. **Yaqoob, P., and P. C. Calder.** 2007. Fatty acids and immune function: new insights into mechanisms. *Br J Nutr* **98 Suppl 1**:S41-5.

## Diskussion

LANGHANS, ZÜRICH

Vielen Dank für den interessanten Vortrag. Ich würde hier in die Diskussion werfen, dass wir vielleicht unterscheiden sollten zwischen Ernährung auf der einen Seite und Stoffwechselbelastung auf der anderen Seite. Das scheint mir nicht ganz das Gleiche zu sein. Und zwar im Hinblick auf das, was sie jetzt hier am Schluss gesagt haben von den Fruchtfliegen, es gibt, wie ich meine, ein fast klassisches Experiment an Mäusen aus den 70er oder 80er Jahren, wo man die Mäuse mit einer LD50 von Listerien infiziert hat. Dann hat man die Mäuse einfach weiter normal gehalten und fressen lassen. Es passierte, was passieren musste bei der LD50, dass etwa die Hälfte der Tiere nach ungefähr vier bis fünf Tagen tot waren. Wenn man nun, in diesen vier bis fünf Tagen wo sie dramatisch weniger gefressen haben als die anderen Tiere, die Tiere künstlich gefüttert hätte auf dem Niveau von nicht infizierten Kontrolltieren über intragastrale Infusionen und es würde alles sehr schön sauber gemacht, die intragastrale Fütterung usw war kein Faktor, der irgendwo eine Rolle spielt. Dann hat man auf einmal die Mortalität auf 95 % erhöht und die Tiere waren sofort tot, relativ schnell tot. Was also zeigt, dass zu mindestens in bestimmten Situationen der vom Tier freiwillig herbeigeführte Energiemangel offenbar im Sinne von dem, was sie hier gezeigt haben, das Abwehrsystem so weit stärken kann, dass es besser mit irgendeinem Immunstimulus umgehen kann. Es kann also nicht die Ernährung allein sein, sondern vielleicht hier in der post-peripartalen Phase beim



Rind eher die Stoffwechselbelastung. Beispielsweise der Sog an schwefelhaltiger Aminosäure oder weiß der Teufel was, was hier das Immunsystem irgendwo beeinflusst. Ich würde das gerne mal in die Diskussion werfen.

ANTWORT

Ich unterstreiche das gerne. Ich habe auch versucht, das schon ein bisschen herauszuarbeiten, dass wir nicht wirklich sagen können, wir haben einen Nährstoff und wir haben einen Effektmechanismus im Immunsystem. Natürlich wäre das toll, wir hätten einen einzigen Parameter im Immunsystem, der uns sagen würde, die sind resistent. Das wäre toll. Das haben die Genetiker offenbar gesucht und nicht bekommen. Insofern ja, ich unterstreiche das voll und ganz und deswegen auch die Kooperation mit Kollegen, die sich gut darin auskennen, solche Parameter zu messen. Die Literatur ist voll mit solchen Beispielen. Da könnte man Stunden lang weiter fortfahren und solche Exempel statuieren.

STEINHART, HAMBURG

Ich habe eine Frage, die in eine andere Richtung geht, nämlich gibt es bei Tieren auch eine überschäumende Immunantwort, also sprich, IGE-abhängige Reaktionen oder Allergien. Ist so etwas bekannt? Und wenn es solche Allergien gibt, ist da schon etwas bekannt, von welchem Typ diese sind, also Typ 1 bis

4 gibt es ja. Ist da schon auf dem Gebiet was gearbeitet worden oder sind diese Tiere aus züchterischen Gründen ausgeschieden aus der Produktion?

ANTWORT

Allergien gibt es, auch Immunerkrankungen gibt es, das ist glaube ich am schönsten darzustellen bei Hunden, die züchterisch nicht so intensiv bearbeitet werden, aber in eine andere Richtung und bei denen der Kliniker in der Kleintierpraxis Allergien sieht, das ist tägliches Brot. Flohbissallergien und solche Sachen. Und Immunerkrankungen, Frau Deeg, die hier im Auditorium ist, hatte ja hier den Preis bekommen für ihre Arbeit über eine Autoimmunerkrankung beim Pferd. Das sind alles schöne Beispiele. Wie sieht es aus bei den landwirtschaftlichen Nutztieren? Ich weiß, dass man das bei Hühnern sieht. Es gibt Autoimmunerkrankungen bei denen. Ich bin wie gesagt kein großer Experte für Schweine oder Rinder, da mag jemand im Auditorium sein, der das besser beantworten kann. Ich würde aber grundsätzlich nicht ausschließen, dass es das gibt, weil die Funktionalität genau die Gleiche ist. Also Hühner vielleicht ein bisschen außen vor. Aber die Säugetierspezies, da sehen doch ganz ähnlich aus, wie wir das aus dem Mausmodell oder von Menschen kennen, was die Struktur und Funktionalität des Immunsystems anbelangt. Es gibt Hypersensitivitäten vom Typ 1 bis Typ 4, das klassische Schema ist vielleicht ein Lehrbuchschema. Das ist dann auch nicht mehr so praktikabel, aber ja, es gibt den Soforttyp Überempfindlichkeiten, wie man das von der Penizillinallergie beim Menschen kennt.

KALM, KIEL

Ich habe nur einen kleinen Kommentar. Die antimikrobiellen Peptide wurden im Rahmen von Untersuchungen erwähnt und beschrieben, die sich mit der Eutergesundheit (Mastitis) befassen und die Arbeitsgruppen Dummerstorf und Kiel, befassen sich intensiv damit. Es gibt ja sehr viel verschiedene antimikrobielle Peptide. Diese überlagern sich auch noch, so dass es verschiedene Typen davon gibt. Haben die-

se Peptide etwas mit dem Immunsystem zu tun oder werden sie gesteuert?

ANTWORT

Ich habe im Vortrag vergessen, zu erwähnen oder hervorzuheben, wenn man die Literatur gut liest, stellt man doch immer wieder fest, dass das, was vorher auch gesagt worden ist, auch für diese Fragestellungen gilt. Es gibt Hochleistungsrinder, die überhaupt keine Probleme mit Immunsuppressionen oder Infektionen haben und trotz höchster Leistungen perfekt in der Lage sind, das Ganze zu kontrollieren. Dass die Mechanismen dahinter sind, da gilt das Gleiche, was wir vorhin gehört haben, das wäre natürlich wichtig, das herauszubekommen. Dann wären wir einen Schritt weiter. Würden die Immunologen auch was lernen können.

STEFANSKI, HOHENHEIM

Die immunologischen Veränderungen, die sie schildert haben, die Immunmodulationen zeigen ja in vielerlei Hinsicht eine frappierende Parallelität zu den Veränderungen, die man bei Tieren sieht, die unter Stressoreinflüssen stehen. Hier kennt man natürlich auch sehr gut die zugrunde liegenden Mechanismen, beispielsweise die Veränderung der Aktivität der T-Zellen, moduliert über Glucocorticoide oder die Freisetzung von Granulozyten aus dem Knochenmark über die Katecholamine und auch Effekte, die sie beschreiben bei den NK-Zellen. Können sie sich vorstellen, dass hier ähnliche Mechanismen greifen?

ANTWORT

Vorstellen kann ich mir das sehr wohl, weil gerade Glukokortikoide ja in Feedback-Mechanismen eingebunden sind. Einige inflammatorische Zytokine induzieren geradezu Glukokortikoide, die dann in Form einer negativen Feedback-Regulation die Immunantwort auch wieder runter drehen. Ich persönlich glaube, dass das von der Natur entwickelt worden ist, um so zu funktionieren, deswegen funktionieren die auch so gut. Was ich aus der Literatur entnommen habe ist, dass diese vielen Parameter abgeklopft worden



man da Genaueres sagen kann. Das ist auch nicht mein Arbeitsgebiet. Da lese ich nur manchmal ein bisschen quer in der Literatur.

KANITZ, DUMMERSTORF

In den zurückliegenden Jahren, in der jüngeren Vergangenheit sind einige Arbeiten erschienen, die zu der Aussage gelangen, dass bei Hochleistungsrindern Steroidhormonkonzentrationen z.B. Progesteron, Östradiol niedriger sind im Plasma als bei Tieren mit geringerer Leistung oder bei Jungrindern. Vermutet wird, dass diese Steroide aufgrund des intensiveren Stoffwechsels stärker metabolisiert werden. Gleichzeitig ist auch bekannt, dass Kühe, die vor der ersten Besamung drei bis vier Brunsten gezeigt haben, deutlich besser tragend werden, das heißt eine höhere Trächtigkeitsrate haben aus der ersten Besamung als Tiere, die zur ersten Besamung auch die erste Brunst zeigen. Würden sie hier einen Zusammenhang sehen zwischen dem Auf und Ab von Östradiol und der Immunologie und der Immunkompetenz, insbesondere auf die immunologische Beeinflussung der Gebärmutter?

ANTWORT

Das kann ich ihnen nicht beantworten. Ich glaube, das ist die ehrliche Antwort. Ich weiß es nicht. Da müsste ich mich hinsetzen und wesentlich mehr nachlesen, ob es überhaupt Daten in der Literatur gibt, die das vernünftig untermauern, was gerade in der Gebärmutter stattfindet. Was wir sehen, heißt ja noch lange nicht, dass das so ist, was wir im jeweiligen Zielgewebe sehen und die Gebärmutter in der Phase sowieso ein sehr eigenwilliges Gewebe ist, weil wir dann Allotransplantat reinsetzen und weil da ganz andere immunregulatorische Mechanismen treten werden als wir sie vielleicht sehen.

Beim Rind hängt es ein bisschen von der Zelle ab, die man anguckt, soweit ich das überschaue. Was ich aus der Literatur entnommen habe ist, dass Veränderungen in Plasmaspiegeln an Östrogenen keinen Einfluss hatten auf die Effekte, die man hier beobachtet hat.

# Die Rolle der Ernährung in der Entstehung humaner Erkrankungen



## Einleitung

Erkrankungen mit einer komplexen, langdauernden Pathogenese (z.B. Krebserkrankungen, Typ-2-Diabetes mellitus, Atherosklerose, kardiovaskuläre Erkrankungen) entstehen durch Wechselwirkung einer genetischen Grundlage mit exogenen Faktoren. Diese exogenen Faktoren – insbesondere Ernährung und Lebensstil – sind die wichtigsten Ansatzpunkte für eine wirksame Prävention. ‚Ungesunde‘ Ernährung, insbesondere wenn sie zu Übergewicht führt, und geringe körperliche Aktivität können das Krankheits- und Mortalitätsrisiko um ein Vielfaches steigern. Für eine Prävention dieser Lebensstil- und Ernährungs-assoziierten Erkrankungen ist es deshalb unerlässlich, die einzelnen Risikofaktoren möglichst vollständig zu identifizieren und ihren Beitrag zum Gesamtrisiko zu quantifizieren. Hierdurch lassen sich Individuen mit hohem Krankheitsrisiko identifizieren, bei denen eine Intervention besonders sinnvoll und wirksam ist.

## Methodische Überlegungen

Zur Identifikation der Risikofaktoren werden Fall-Kontroll-Studien eingesetzt, bei denen die Mittelwerte der untersuchten Variablen (Expositions-Faktoren) in einer Gruppe von erkrankten Personen mit den Mittelwerten einer Kontrollgruppe (nicht-Erkrankte) verglichen werden. Früher waren retrospektive Studien üblich, d.h. eine Gruppe von prävalenten Fällen wurde untersucht/befragt und mit einer unabhängig davon rekrutierten Kontrollgruppe verglichen. Es

hat sich aber herausgestellt, dass dieses Studiendesign gesundheitsbewusste und damit gesündere Individuen in der Kontrollgruppe anreichert (hohe Teilnahme-Frequenz in der Fall-Gruppe wegen Motivation durch die Erkrankung; niedrigere Teilnahme-Frequenz in der Kontrollgruppe, damit ein höherer Anteil von durch ihr Gesundheitsbewusstsein motivierten Personen). Hinzu kommt, dass das Wissen um eine Erkrankung die retrospektive Erinnerung (z.B. von Ernährungsgewohnheiten) beeinflussen kann. Deshalb sind prospektive Kohortenstudien, obwohl sie sehr viel aufwändiger als Fall-Kontrollstudien sind, heute das Standardverfahren zur Ermittlung und Quantifizierung von Risikofaktoren. Diese Studien berücksichtigen nur inzidente, d.h. nach der Erhebung aufgetretene Fälle, und vergleichen die Mittelwerte der einzelnen Variablen mit der Gesamtkohorte. Dadurch ist gesichert, dass Fälle und Kontrollen keinem getrennten ‚Bias‘ unterliegen und dass alle Variablen vor dem Auftreten der Erkrankung erhoben wurden. Prospektive Kohortenstudien (z.B. EPIC mit >500.000 und EPIC-Potsdam mit 27.500 Teilnehmern) haben in den letzten 10-15 Jahren wesentliche Beiträge zur Kenntnis der Beziehung zwischen Ernährung und Krankheitsentstehung geleistet und damit eine sichere Datenbasis für Ernährungsempfehlungen geliefert.

Mit prospektiven Kohortenstudien lassen sich zudem sog. intermediäre Endpunkte identifizieren, d.h. Messwerte, die sich vor dem Auftreten der Erkrankung ändern und für ihr Entstehen (mit)verantwortlich

sind. Die intermediären Endpunkte können auf ihre Assoziation mit den Lebensstil- und Ernährungs-assoziierten Risikofaktoren getestet werden. Sie erleichtern zudem Interventionsstudien zum Nachweis der Kausalität von Ernährungs-Faktoren für eine bestimmte Krankheitsentstehung. Bekanntestes Beispiel eines intermediären Endpunkt ist das LDL-Cholesterin, dessen kausale Rolle in der Entstehung der Atherosklerose gesichert ist; LDL-Cholesterin kann deshalb generell als Biomarker für positive oder negative Effekte in der Atherosklerose-Entstehung eingesetzt werden.

### **Ernährung und Krebsentstehung**

Die Daten der EPIC-Studie zeigen eine Assoziation von Ernährung und Krankheitsentstehung für mehrere Tumortypen. Besonders auffällig ist die Beziehung zwischen Übergewicht/Adipositas und dem Auftreten von Carcinomen des Dickdarms, des Pankreas und der Niere. Mit der Carcinom-Entstehung assoziiert ist dabei nicht das gesamte Körperfett, sondern lediglich das viszerale Fett (Bauchumfang) [Pischon et al., 2006]. Viszerale Adipositas verursacht Insulinresistenz und Hyperinsulinämie. Deshalb liegt die Vermutung nahe, dass die Wachstums-steigernde Wirkung erhöhter Insulin-Plasmaspiegel für die Assoziation mit der Krebsentstehung verantwortlich ist. Viszerales Fett (Bauchumfang) ist zudem mit einem nahezu linearen Anstieg der Mortalität assoziiert [Pischon et al., 2008]. Eine Ausnahme dieser Beziehung zwischen viszeralem Fett und Krankheitsentstehung ist das Mammacarcinom, dessen Entstehung mit dem gesamten Körperfett assoziiert ist [Lahmann et al., Int. J. Cancer 2004]. Eine plausible Erklärung hierfür ist die Produktion von Estrogen im Fettgewebe (im gleichen Ausmaß im subkutanen wie im viszeralen Fettgewebe).

Weitere Ernährungs-assoziierte Risikofaktoren für das colorectale Carcinom sind eine niedriger Verzehr von Ballaststoffen aus Vollkorn-Cerealien [Bingham et al., 2003] sowie ein erhöhter Verzehr von rotem (Rind, Schwein, Lamm) und prozessiertem Fleisch (Schinken, Wurst) [Norat et al., 2005]. Nach diesen

Daten ließe sich ungefähr ein Drittel der inzidenten Fälle durch eine Erhöhung der Ballaststoff-Aufnahme und eine Reduktion des Fleischverzehr verhindern. Überraschenderweise fanden sich in der EPIC-Kohorte ähnliche Risikofaktoren für das Colon-Carcinom wie für den Typ-2-Diabetes: viszerale Adipositas (Bauchumfang), niedriger Verzehr von Ballaststoffen sowie ein hoher Verzehr von rotem und prozessiertem Fleisch [Schulze et al., 2007]. Da Typ-2-Diabetiker ein erhöhtes Krebsrisiko (colorectale Carcinome) haben, scheinen zwischen den beiden Erkrankungen eine pathogenetischen Verbindung – vermutlich durch die Hyperinsulinämie - zu bestehen.

Ältere Ergebnisse aus Fall-Kontroll-Studien hatten nahe gelegt, dass erhöhter Verzehr von Obst und Gemüse das Krebsrisiko um 30% senken kann [Doll und Peto, 1981]; diese Arbeiten begründeten entsprechende Ernährungsempfehlungen (z.B. die 5-am-Tag-Kampagne). Nach den aktuellen Ergebnissen der prospektiven Studien [Boffetta et al., 2010] lässt sich diese Aussage aber nicht mehr halten; die erzielbare Risikosenkung beträgt lediglich 2,5% und ist auf durch Rauchen verursachte Krebsarten beschränkt. Der sehr kleine Effekt könnte demnach durch den Faktor Rauchen (Raucher essen wenig Obst und Gemüse) und eine unzureichende Korrektur für diesen Faktor zustande gekommen sein. Die Empfehlung für einen angemessenen Verzehr von Obst und Gemüse bleibt aber dennoch sinnvoll, da die prospektiven Studien eine reziproke Assoziation mit dem Auftreten von Herz-Kreislaufkrankungen sichern konnten (siehe unten).

### **Typ-2-Diabetes**

Typ-2-Diabetes mellitus ist eine komplexe, polygenetische Erkrankung mit einer heterogenen Pathophysiologie, charakterisiert durch Adipositas-assoziierte Insulinresistenz und progressives Versagen der pankreatischen  $\beta$ -Zellen. Nach den Daten der EPIC-Potsdam-Kohorte sind die wichtigsten Ernährungs- und Lebensstil-assoziierten Risikofaktoren für Typ-2-Diabetes die viszerale Adipositas (Bauchumfang), ein niedriger Verzehr von Vollkorn-Cerealien,

ein hoher Verzehr von rotem und prozessiertem Fleisch, starkes Rauchen und körperliche Inaktivität [Schulze et al., 2007a]. Nicht mit dem Diabetesrisiko assoziiert sind der Verzehr von Obst und Gemüse sowie der Gesamt-Fettanteil der Nahrung. Allerdings ist ein niedriger Verzehr von Obst und Gemüse bei klinisch manifestem Diabetes mellitus mit einer erhöhten Mortalität assoziiert [Nöthlings et al., 2008]; dies korrespondiert mit der protektiven Wirkung von Obst- und Gemüse-Verzehr bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen [Hung et al., 2004]. Die Quantifizierung der Beiträge der einzelnen Risikofaktoren mit dem vom Deutschen Institut für Ernährungsforschung entwickelten Risikotest (<http://drs.dife.de/>; [www.dife.de/de/presse/Diabetes\\_Test\\_Fragebogen.pdf](http://www.dife.de/de/presse/Diabetes_Test_Fragebogen.pdf)) erlaubt eine präzise Voraussage der Erkrankungswahrscheinlichkeit für einen Zeitraum von 5 Jahren [Schulze et al., 2007b, 2007c]. Die Präzision dieser Voraussage lässt sich durch Berücksichtigung von metabolischen und inflammatorischen Biomarkern erhöhen [Schulze et al., 2009]; bereits der Einschluss des Nüchternblutzuckers oder des HbA1c in den Risikotest kann seine Sensitivität und Spezifität deutlich verbessern [Joost et al., 2010]. Interventionsstudien haben gezeigt, dass eine wirksame Prävention des Typ-2-Diabetes durch Reduktion der intra-abdominalen Fettmasse sowie auch durch eine erhöhte Ballaststoff-Aufnahme [Weikert et al., 2006] möglich ist.

#### **Myokardinfarkt und Schlaganfall**

In der Allgemeinbevölkerung [Hung et al., 2004] und bei Patienten mit Typ-2-Diabetes [Nöthlings et al., 2008] senkt ein erhöhter Verzehr von Obst und Gemüse das kardiovaskuläre Mortalitätsrisiko. Die Beziehung zwischen einem erhöhten Fett- sowie Cholesterin-Verzehr und dem kardiovaskulären Risiko scheint heterogen zu sein: das LDL-Cholesterin spricht nur bei einem Teil der Individuen auf eine entsprechende Diät (Cholesterin-reduziert, Gesamtfett <30% der gesamten Kalorien) an. Niedriges HDL-Cholesterin, ein unabhängiger Risikofaktor für Myokardinfarkt und Schlaganfall ist Teil des metabolischen Syndroms (viszerale Adipositas, Hy-

pertriglyceridämie, Hypertonie, Glucoseintoleranz) und wird durch Gewichtsabnahme (Reduktion des Bauchumfangs) erhöht, mitunter bereits durch eine fettreduzierte Diät. Die Beziehung zwischen Kochsalz-Aufnahme und Hypertonie ist ebenfalls heterogen; nur ein Teil der Individuen ist salzempfindlich und reagiert auf die Reduktion der Salzaufnahme mit einer Blutdrucksenkung.

#### *Literaturverzeichnis*

Bingham SA, Day NE, Luben R, Ferrari P, Slimani N, Norat T, et al.: European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study. *Lancet* 361:1496-1501 (2003).

Boffetta P, Couto E, Wichmann J, Ferrari P, Trichopoulos D, Bueno-de-Mesquita HB, et al.: Fruit and vegetable intake and overall cancer risk in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC). *J Natl Cancer Inst* 102:529-537 (2010).

Doll R, Peto R: The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. *J Natl Cancer Inst* 66:1191-1308 (1981).

Hung HC, Joshipura KJ, Jiang R, Hu FB, Hunter D, Smith-Warner SA, Colditz GA, Rosner B, Spiegelman D, Willett WC: Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *J Natl Cancer Inst* 96:1577-1584 (2004).

Joost HG, Fritsche A, Häring HU, Pfeiffer A, Roden M, Schulze MB: Diabetes Mellitus Typ 2: Risikobestimmung wird präzisiert. *Deutsches Ärzteblatt* 107: A600-A602 (2010).

Lahmann PH, Hoffmann K, Allen N, van Gils CH, Khaw KT, Tehard B, et al.: Body size and breast cancer risk: findings from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC). *Int J Cancer* 111:762-771 (2004).

Norat T, Bingham S, Ferrari P, Slimani N, Jenab M, Mazuir M, et al.: Meat, fish, and colorectal cancer risk: the European Prospective Investigation into cancer and nutrition. *J Natl Cancer Inst* 97:906-916 (2005).

Nöthlings, U., Schulze, M. B., Weikert, C., Boeing, H., et al.: Intake of vegetables, legumes, and fruit, and risk for all-cause, cardiovascular, and cancer mortality in a European diabetic population. *J. Nutrition* 138, 775-781 (2008).

Pischon T, Lahmann PH, Boeing H, Friedenreich C, Norat T, Tjønneland A, et al.: Body size and risk of colon and rectal cancer in the European Prospective Investigation Into Cancer and Nutrition (EPIC). *J Natl Cancer Inst* 98:920-931 (2006).

Pischon, T., Boeing, H., Hoffmann, K., Bergmann, M., Schulze, M. B., et al.: General and abdominal adiposity and risk of death in Europe. *New England J. Medicine* 359, 2105-2120 (2008).

Schulze, M. B., Hoffmann, K., Boeing, H., Linseisen, J., Rohrmann, S., Möhlig, M., Pfeiffer, A. F. H., Spranger, J., Thamer, C., Häring, H.-U., Fritsche, A., Joost, H.-G.: An accurate risk score based on anthropometric, dietary, and lifestyle factors to predict the development of type 2 diabetes. *Diabetes Care* 30, 510-515 (2007).

Schulze, M.B., Hoffmann, K., Boeing, H., Linseisen, L., Pfeiffer, A.F.H., Fritsche, A., Häring, H.-U., Joost, H.-G.: Der Deutsche Diabetes-Risiko-Score (DRS): Eine einfache, präzise und validierte Bestimmung des Typ-2-Diabetes-Risikos auf der Basis von Daten großer deutscher Studienpopulationen. *Diabetologie und Stoffwechsel* 2: 86-88 (2007).

Schulze, M.B., Hoffmann, K., Boeing, H., Joost, H.-G.: Der Deutsche Diabetes-Risiko-Score (DRS)– ein validiertes Instrument zur präzisen Bewertung des individuellen Diabetesrisikos. *Ernährungsumschau* 54: 122-127 (2007).

Schulze MB, Weikert C, Pischon T, Bergmann MM, Al-Hasani H, Schleicher E, Fritsche A, Häring HU, Boeing H, Joost HG: Use of multiple metabolic and genetic markers to improve the prediction of type 2 diabetes: the EPIC-Potsdam Study. *Diabetes Care* 32:2116-2119 (2009).

Weickert, M. O., Möhlig, M., Schöfl, C., Arafat, A. M., Otto, B., Viehoff, H., Koebnick, C., Kohl, A., Spranger, J., Pfeiffer, A. F. H.: Cereal fiber improves whole-body insulin sensitivity in overweight and obese women. *Diabetes Care* 29, 775-780 (2006).

# Effiziente Ressourcennutzung – Konsequenzen und Perspektiven für die Futterbewertung bei Wiederkäuern



## 1 Zusammenfassung

Die Ermittlung von Kenngrößen des Futterwertes beginnt mit der chemischen Analytik. Für Kohlenhydrate und Proteine bzw. Aminosäuren gleichermaßen gilt, dass eine rein chemisch-analytische Erfassung nicht hinreichend zur Qualitätsbestimmung ist und Wege etabliert werden müssen, um Ort und Ausmaß der Verdauung mit Labormethoden besser vorherzusagen zu können. Auch die zunehmende technologische Aufbereitung von Einzelfuttermitteln oder unterschiedliche Bindungsformen bei Zusatzstoffen können deren Nährstoffausnutzung oder Bioverfügbarkeit verändern. Bei Koppelprodukten der Lebensmittelverarbeitung ist zu beachten, dass auch eine Anreicherung oder Bildung unerwünschter Stoffe stattfinden kann.

Die Akzeptanz von Futterbewertungssystemen hängt letztlich davon ab, ob Einzel- und Mischfuttermittel unter den Bedingungen der Arbeitsroutine auf den Betrieben oder bei der Mischfutterherstellung mit hinreichender Genauigkeit bewertet werden können. Es gibt Beispiele für bewährte Vorgehensweisen im Bereich der energetischen Futterbewertung, und derzeit wird die Schätzung des Energiewertes von Mischfuttermitteln für Wiederkäuer auch im Hinblick auf die Rechtsverbindlichkeit wieder aktualisiert. Ansätze für die Bewertung der ruminalen Abbaubarkeit des Rohproteins oder der Kohlenhydrate sind vorhanden und müssen weiterentwickelt werden. Für andere Kriterien, wie z. B. die postruminale Aminosäureverdaulichkeit, ist die bisherige Datenbasis schwach.

Für Gärfutter ergeben sich zusätzliche Herausforderungen. Zum einen muss zwischen Kriterien der anaeroben und aeroben Lagerstabilität unterschieden werden, zum anderen können Beziehungen zwischen Futterwertmerkmalen und der Futtermittelaufnahme bei Silagen anders ausgeprägt sein als bei nicht fermentierten Grobfuttern. Einflussgrößen auf die Akzeptanz von Silagen durch das Tier, die sich aus Unterschieden in der Fermentationsintensität ergeben könnten, wie eine osmotische Wirkung, die Säuremenge und die Proteinqualität, wurden bisher nur selten systematisch untersucht und sollten zukünftig stärker berücksichtigt werden. Für Futterwertmerkmale generell sollte geprüft werden, ob NIRS-Spektren zur direkten Schätzung von tierbasierten Futterwertdaten verwendet werden können.

In Einzeluntersuchungen mit spezifischen Futtermitteln oder Rationen werden mit hohem experimentellen Aufwand (Bilanz- oder Respirometrieversuche) und einer daher in der Regel geringen Tierzahl Ansätze für eine Verbesserung der Umweltwirkung (z. B. Reduktion der Methanabgabe) oder zur Berücksichtigung der Tiergerechtigkeit (z. B. Pansenphysiologie) entwickelt oder geprüft. Erfolgreiche Ansätze bedürfen unter praxisnahen Bedingungen und im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von Effekten der Überprüfung an einer größeren Tierzahl und über einen längeren Zeitraum. Wichtig ist dabei auch, dass einzelne Ansätze in ein schlüssiges Gesamtkonzept eingefügt werden und die Erzeugung von tierischen Lebensmitteln eine systemare Betrachtung erfordert.

Forschung ist hierbei vermutlich dann am erfolgreichsten, wenn sie sich interdisziplinär vernetzt und Ansätze der Tierernährung, Tierzucht, Tierhaltung und Tiergesundheit zielgerichtet kombiniert.

## 2 Einleitung

Bevor im Nachfolgenden einige Aspekte zu den Beziehungen zwischen effizienter Ressourcennutzung und der Futterbewertung bei Wiederkäuern im Mittelpunkt der Ausführungen stehen werden, sollen eingangs einige allgemeine Überlegungen angeführt werden, die immer dann angestellt werden sollten, wenn Futter oder Futtermittel zu bewerten sind. Wertbestimmende, aber auch wertmindernde Merkmale von Futtermitteln (“Qualitätskriterien”) bedürfen eines Rahmens, damit ihre Auswirkungen auf den “Futterwert” zuverlässig eingeordnet werden können. Dazu gehört, dass der Verwendungszweck sowie Art und Dauer der Lagerung spezifiziert werden. Zur genaueren Charakterisierung des Verwendungszwecks gehört dann weiter, dass die Ziele definiert und in eine Rangfolge gebracht werden, die mit der Verwendung eines Futtermittels verfolgt werden. Exemplarisch sollen hier drei typische Gruppen genannt werden:

- Energie-, Nähr-, Wirkstoffversorgung;
- Sättigung, Verdauungsgeschehen;
- Qualität tierischer Produkte, Umwelt.

Je nachdem, welche Gruppe oder welches Kriterium innerhalb einer Gruppe im Vordergrund der Futterwertermittlung und Futtermittelbewertung steht, kann dasselbe Futtermittel ganz unterschiedlich rangiert sein.

Ein weiterer allgemeiner Aspekt ist, dass bei der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft der Tierfütterung eine zentrale Rolle zukommt. Sie spiegelt sich bei betriebswirtschaftlicher Betrachtung im hohen Anteil der Futterkosten an den variablen Kosten wider. Inhaltlich erklärt sich die zentrale Bedeutung aus der Brückenfunktion, die Verdauung und Stoffwechsel des Tieres haben: Einerseits die Futtermittel, die durch acker- und pflanzenbauliche

Maßnahmen und durch die Pflanzenzüchtung, aber auch durch neue Technologien bei der Bearbeitung von Lebens- und Futtermitteln verändert werden. Andererseits der züchterische Fortschritt und die Veränderungen in der Leistungsbereitschaft der Tiere, die zu Veränderungen im Bedarf und zunehmend häufiger auch zu Engpässen bei der Deckung des Bedarfes führen. Unter Aspekten der Ressourcennutzungseffizienz besteht eine besondere Bedeutung des Tieres auch darin, dass Stoffwechselprozesse zwingend an biologische Grenzen der Nährstoffverwertung stoßen und zu unvermeidlichen Nährstoffverlusten führen. Dies gilt insbesondere für die Umsetzungen von Energie und Protein. Da in zahlreichen Beiträgen zu den diesjährigen Hülsenberger Gesprächen vor allem Potenziale und Grenzen der Tiere im Vordergrund standen, konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen vor allem auf die Eigenschaften der Futtermittel sowie den Stand und einige Perspektiven ihrer analytischen Erfassung.

## 3 Futtermittelanalytik

Die Kohlenhydrate, zumeist in polymerer Form, stellen mit bis zu 80 % den Hauptteil der organischen Masse pflanzlicher Futtermittel dar und sind die Energieträger schlechthin in Rationen für landwirtschaftliche Nutztiere. In Anbetracht ihrer großen Bedeutung ist es erstaunlich, wie wenig präzise die Erfassung der Kohlenhydrate in den Rohnährstoff-Fractionen der WEENDER Futtermittel-Analyse erfolgt, die nach wie vor das Grundgerüst der Futtermittel-Untersuchung im Labor darstellt.

### 3.1 Faserfraktionen

Die Rohfaser erfasst die Faser- oder Zellwandverbindungen nur unvollständig, wobei Stärke und Zucker lediglich über eine Differenzfraktion, die N-freien Extraktstoffe (NfE) erfasst werden, in der – wegen der unvollständigen Erfassung der Zellwandverbindungen in der Rohfaser – auch erhebliche Anteile der Zellwandverbindungen mit enthalten sein können. Diese unvollständige Erfassung wird exemplarisch in Tabelle 1 für Konzentrat-Futtermittel und in Tabelle 2 für

Grobfutter an schon vor vielen Jahr(zehnt)en durchgeführten Untersuchungen in Rostock und den USA verdeutlicht. Aus den Daten der beiden Tabellen wird deutlich, dass – anders als für übrige Rohnährstoffgruppen – die WEENDER Futtermittel-Analyse für eine ernährungsphysiologisch begründete analytische Erfassung und Differenzierung der Kohlenhydrate nicht genutzt werden kann.

*Tabelle 1:* Rohfaser-Gehalte [% der Trockenmasse] und Anteile [%] an Zellwandbestandteilen in ausgewählten Konzentrat-Futtermitteln, die bei der Rohfaser-Bestimmung nicht erfasst werden (Nehring und Hoffmann 1969; aus Südekum 2009a)

Bereich	Rohfaser (% der TM)	Anteile in %		
		Lignin	Hemicellulosen	Cellulose
	7 - 20	11 - 84	33 - 97	0 - 67
Hafer	14,0	70	88	0
Weizenkleie	11,8	77	96	18
Rapsextraktionsschrot	12,5	61	97	65

*Tabelle 2:* Anteile [%] von Zellwandbestandteilen in Futterpflanzen, die bei der Rohfaser-Bestimmung nicht erfasst werden (Zusammenfassung publizierter Befunde; Van Soest 1976; aus Südekum 2009a)

	Anteile in %		
	Lignin	Hemicellulosen	Cellulose
Leguminosen	30 (8 - 62)	63 (21 - 86)	28 (12 - 30)
Gräser	82 (53 - 90)	76 (64 - 89)	21 (5 - 29)

Ein weiteres Beispiel für eines der heute gebräuchlichsten Futtermittel für Wiederkäuer soll diese Hinweise illustrieren und abrunden. Tabelle 3 zeigt den Vergleich der Ergebnisse verschiedener Faseranalysenverfahren an Maissilage exemplarisch an Daten aus der Schweiz.

Die oben angeführten Detergenzienfaserfraktionen sind nicht nur in der Charakterisierung der pflanzlichen Gerüstsubstanzen in Futtermitteln der Rohfaser überlegen – siehe dazu die ausgezeichnete jüngst erschienene Übersichtsarbeit von Gruber (2009) – sondern können darüber hinaus auch als Ausgangsmaterial für weitergehende Analysen verwendet werden. So kann die NDF – neben ihrer Verwendung als Schätzgröße für den Gesamtgehalt

pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Routineanalytik – auch für die Analyse der monomeren Bausteine der Zellwandkohlenhydrate genutzt und zur umfassenden Charakterisierung des Strukturwertes von Futtermitteln für Wiederkäuer verwendet werden (siehe dazu Zebeli et al. 2008).

*Tabelle 3:* Faserfraktionen in Maissilage (Daccord et al. 1995)

Kenngröße	Mittlerer Gehalt (n = 55)
Trockenmasse	31,0
Zusammensetzung der Trockenmasse (%)	
Rohfaser	19,6
Zellwand (Neutral-Detergenzien-Faser, NDF)	44,6
Lignocellulose (Säure-Detergenzien-Faser, ADF)	22,7

Deshalb bietet es sich an, diese Fraktion auch für eine differenziertere Ligninanalytik als Ausgangsmaterial zu verwenden. Die Trennung und der Nachweis alkalilabiler phenolischer Monomeren, die eine große Bedeutung für die Quervernetzung des Lignins mit den Hemicellulosen und damit für das Ausmaß der Verdauung von Hemicellulosen haben, lässt sich mittels flüssigkeitschromatographischer Verfahren realisieren (zum Beispiel Jung et al. 1983). Keine der Rohnährstoff-Fraktionen der WEENDER Futtermittelanalyse lässt sich dagegen vor allem aus den weiter oben angeführten Gründen der unvollständigen Erfassung der Zellwandbestandteile in der Rohfaser in ein solches Analysenschema integrieren (Südekum 2007).

### 3.2 Stärke und Zucker

Wie oben schon erwähnt, werden Stärke und Zucker in der WEENDER Futtermittelanalyse lediglich über eine Differenzfraktion (NfE) erfasst, in der auch erhebliche Anteile der Zellwandverbindungen mit enthalten sein können. Aber auch bei analytischem Nachweis der Stärke als dem in Getreidesamen und anderen Futtermitteln dominierenden Speicherkohlenhydrat mit dem in der Europäischen Union (EU) gültigen amtlichen Verfahren – einer polarimetrischen Methode – sind Fehleinschätzungen der Stärke-Gehalte möglich. Folglich ist es überfällig, bessere und zuverlässigere Verfahren zu etablieren. Enzymatische

Verfahren können plausiblere Befunde liefern, jedoch gibt es methodenbedingte Unterschiede, die eine weitere Bearbeitung erfordern. Da hierzu vom Verfasser dieser Zeilen kürzlich eine Übersichtsarbeit publiziert wurde (Südekum 2009a), wird nachfolgend ein leicht modifizierter Auszug aus der Zusammenfassung dieser Arbeit wiedergegeben, der im Zusammenhang dieses Beitrags als Hinweis auf Begrenzungen derzeitiger und Perspektiven zukünftiger Nachweisverfahren für Stärke und niedermolekulare Kohlenhydrate in Futtermitteln genügen mag:

Mit dem amtlichen Verfahren werden für reine Stärken und stärkereiche Einzel-Futtermittel zuverlässige, d. h. zutreffende Ergebnisse erzielt. Bei stärkearmen, zellwand- und proteinreichen Futtermitteln sowie in vorverdauten Materialien (Darminhalt, Kot), die unter anderem in Studien zur Ermittlung von Geschwindigkeit und Ausmaß sowie der Lokalisation der Stärke-Verdauung im Tier gewonnen werden, ist die Zuverlässigkeit jedoch deutlich reduziert. Auch wenn ein Ersatz der polarimetrischen Stärke-Bestimmung aus fachlichen Gründen geboten erscheint, darf nicht übersehen werden, dass dies weit reichende Folgen hätte. So ist in den in der Futtermittel-Verordnung festgelegten Schätzformeln für den Energiegehalt von Schweine- und Geflügelmischfuttermitteln (Anmerkung des Verfassers: zukünftig auch für Wiederkäuermischfuttermittel) geregelt, dass der Stärke-Gehalt mit dem amtlichen polarimetrischen Verfahren zu bestimmen ist. Rechtliche Konsequenzen und Anpassungsmaßnahmen müssen deshalb rechtzeitig bedacht werden, wenn Änderungen in standardisierten Analysenmethoden etabliert werden sollen.

Der Begriff "Zucker" ist – analytisch betrachtet – ein Sammelname für vorwiegend niedermolekulare Kohlenhydrate (z. B. Mono- und Disaccharide). In der amtlichen Methode wird eine Reduktionsmethode angewendet, mit der nur Fraktionen, nicht jedoch die einzelnen Zucker in Gemischen erfasst werden. Ist dieses von Bedeutung, kommen chromatographische Trennverfahren zur Anwendung. Spezifische Bestimmungen von Einzelzuckern werden auch durch enzymatische Techniken möglich.

Eine adäquat differenzierende Analytik der diversen Kohlenhydrate würde schon vom Ansatz her einen erheblichen Fortschritt in der Futtermittel-Bewertung bedeuten. Nicht zuletzt würde so eine detailliertere Charakterisierung von Umsetzungen der verschiedenen Kohlenhydrate im Verdauungstrakt von Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern ermöglicht.

### 3.3 Futtermittelanalytik – technologische Aspekte

Die zunehmende technologische Aufbereitung von Einzelfuttermitteln oder unterschiedliche Bindungsformen bei Zusatzstoffen können deren Nährstoffausnutzung oder Bioverfügbarkeit verändern. Bei Koppelprodukten der Lebensmittelverarbeitung kann auch eine Anreicherung oder Bildung unerwünschter Stoffe stattfinden. Dies betrifft nicht nur Kontaminanten, die während des Prozesses zusätzlich durch Abrieb oder technische Hilfsstoffe eingebracht werden können, sondern auch auf die Aufkonzentrierung endogener Pflanzeninhaltsstoffe wie Tannine oder Alkaloide.

Zweifelsohne liegt das Hauptrisiko im Eintrag unerwünschter Stoffe in die Futtermittelration und damit in die Nahrungskette, wobei die Eintragungspfade unterschiedlicher Natur sein können. Einmal ist es eine relative Anreicherung im Vergleich zum Ausgangsprodukt, wenn Stärke oder Fett entfernt werden. Der weitere wesentliche Pfad ist der Eintrag über technische Hilfsstoffe während der Verarbeitung oder sonstige Kontaminationen, z. B. durch Abrieb, Rauchgase oder Verpackungsreste. Ein weiterer wichtiger Risikofaktor ist die mikrobielle Kontamination, die bei unsachgemäßer Lagerung oder Transport auftreten kann. Leider haben Kontaminationen durch unerlaubte Beimengungen mit kriminellen Hintergrund in der Vergangenheit einige Nebenprodukte in ein schlechtes Bild gerückt. Im Hinblick auf die genannten Risiken steht zunächst die Gesundheit der Tiere und des Menschen als Verbraucher der erzeugten Lebensmittel tierischer Herkunft im Vordergrund. Man muss aber sehen, dass ein Teil dieser unerwünschten Stoffe über die Exkremente als Wirtschaftsdünger auf die Felder und damit in die Umwelt

gelangt. Bis auf wenige Ausnahmen handelt es sich beim Einsatz solcher Futtermittel immer um Importe in den Betrieb sowohl an Nährstoffen als auch an unerwünschten Stoffen, die also in der Bilanzierung zu einem Ungleichgewicht führen können (Schenkel und Südekum 2005).

#### 4 Futtermittelbewertung - Schätzmethoden

Die Akzeptanz von Futterbewertungssystemen hängt letztlich auch davon ab, ob Einzel- und Mischfuttermittel unter den Bedingungen der Arbeitsroutine auf den Betrieben oder bei der Mischfutterherstellung mit hinreichender Genauigkeit bewertet werden können. Es gibt Beispiele für bewährte Vorgehensweisen im Bereich der energetischen Futterbewertung für verschiedene Tierarten, und derzeit wird die Schätzung des Energiewertes von Mischfuttermitteln für (Schweine und) Wiederkäuer auch im Hinblick auf die Rechtsverbindlichkeit wieder aktualisiert (siehe unten). Ansätze für die Bewertung der ruminalen Abbaubarkeit des Rohproteins oder des verdaulichen Phosphors beim Schwein sind vorhanden und müssen weiterentwickelt werden. Für andere Kriterien, wie z. B. die Aminosäurenverdaulichkeit, ist der Arbeitsbedarf noch größer. Dieses Forschungsfeld muss auch die Frage bearbeiten, ob NIRS-Spektren zur direkten Schätzung von tierbasierten Futterwertdaten verwendet werden können (nach Rodehutsord und Südekum 2010).

##### 4.1 Energie

Die GfE publizierte 2008 sowohl für Gras- als auch Maisprodukte neue, am standardisierten Verdauungsversuch mit Schafen kalibrierte Schätzformeln für den energetischen Futterwert für Wiederkäuer. In diesen Formeln wurden bereits die oben angegebenen Empfehlungen bezüglich der Verwendung von Faserfraktionen in Futtermitteln berücksichtigt. Mittlerweile sind diese Schätzgleichungen in der Praxis gut eingeführt und wurden auch in den Kontext der Gesamtbewertung von Gärfuttermitteln gestellt (z. B. Südekum 2009c). In einer analogen, konsequenten Vorgehensweise wurden inzwischen auch für Mischfuttermittel

entsprechende Neuableitungen und Anpassungen vorgenommen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie (ME) von Mischfuttermitteln für Wiederkäuer (GfE 2009)

	ME (MJ/kg Trockenmasse)	ME (MJ/kg Trockenmasse)
Absolutglied	7,17	9,67
Rohasche	-0,01171	-0,01698
Rohprotein	+0,00712	+0,00340
Rohfett	+0,01657	+0,01126
Stärke	+0,00200	+0,00123
NDFom		-0,00097
ADFom	-0,00202	
Gasbildung	+0,06463	
ELOS		+0,00360
R <sup>2</sup>	0,79	0,76
Schätzfehler, %	1,89	2,04

Angaben: (Roh-)Nährstoffgehalte in g/kg Trockenmasse, Gasbildung (Gb) in ml/200 mg Trockenmasse; NDFom: NDF nach Veraschung; ADFom: ADF nach Veraschung; ELOS: Enzymlösliche Organische Substanz.

Es ist damit zu rechnen, dass die in der mittleren Spalte dargestellte Formel (unter Einbeziehung der *in vitro*-Gasbildung) zum 1. September 2010 vom Gesetzgeber als amtliche Schätzformel veröffentlicht wird und damit einen rechtsverbindlichen Charakter erhält. Die Vorgehensweise, die letztlich zur Einführung neuer Schätzformeln führte, kann als ein sehr gelungenes, Vorbild gebendes Beispiel für die Zusammenarbeit von Einrichtungen der Länder, Landwirtschaftskammern, Universitäten und Bundeseinrichtungen gelten, das in dieser Form international kaum (noch) zu finden sein dürfte.

##### 4.2 Biologische Schätzverfahren

Neben der kontinuierlichen Verbesserung und Anpassung chemischer Analysenverfahren erfordert eine an schonender und effizienter Ressourcennutzung orientierte Futtermittelbewertung ebenso die (Weiter-)Entwicklung von *in vitro*-Systemen zur Bewertung von Futtermitteln für landwirtschaftliche Nutztiere und die Kalibrierung dieser Systeme an *in vivo*-Verfahren. Dies ermöglicht langfristig eine präzisere Voraussage des Energie- und Nährstofflieferungsvermögens von Futtermitteln auch unter reinen Laborbedingungen. Damit werden eine gezielte Be-

einflussung von Produktbeschaffenheit und -qualität sowie eine besser dem Bedarf der Tiere angepasste und dadurch Ressourcen schonende Ernährung ermöglicht und bei gleichem Ertrag die unerwünschten Nährstoffeinträge in Ökosysteme reduziert. Beispiele für bereits gut etablierte Verfahren, die allerdings unterschiedlich gut standardisiert sind, sollen hier kurz aufgelistet werden. Eine ausführlichere kritische Würdigung würde den Rahmen des Beitrags sprengen:

Für den Pansen beziehungsweise das Vormagensystem von Wiederkäuern gibt es schon seit langem *in vitro*-Systeme sehr unterschiedlicher Komplexität zur Simulation der mikrobiellen Verdauung, Fermentation und Synthese wie z. B. den (modifizierten) Hohenheimer Futterwerttest (siehe dazu Steingass et al. 2003), verschiedene RUSITEC-Verfahren (Rumen Simulation Technique, Pansensimulationssysteme) und auch enzymatische Verfahren wie z. B. die zweistufige Pepsin/HCl- Cellulasemethode.

#### 4.3 Protein und Aminosäuren

Eine noch zuverlässigere Schätzung des Proteinwertes von Futtermitteln beziehungsweise der Proteinversorgung der Milchkuh erfordert nach Ansicht des Verfassers folgende Schritte (Südekum 2010):

- Daten zum Ausmaß des Rohprotein-Abbaus im Pansen sind mittlerweile für viele Einzelfuttermittel in Futterwerttabellen dokumentiert. Diese Größen sind jedoch nur unter großem experimentellem Aufwand *in vivo* zu ermitteln, für Mischfuttermittel liegen keine Werte vor und bei den Einzelfuttermitteln bestehen erhebliche Lücken hinsichtlich einer sicheren Datenbasis. Weiterhin kann durch Tabellenwerte die Streuung der Werte zwischen unterschiedlichen Herkünften desselben Futtermittels nicht oder nur unzureichend erfasst werden. Besonders wenig gut charakterisiert sind bisher Grünlandaufwüchse, besonders Silagen, aber auch Maisfuttermittel (Südekum 2009c). Die Proteinqualität von Silagen (Coenen et al. 1994), deren Auswirkungen auf die mikrobiellen Umsetzungen in den Vormägen, die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese und die Aminosäurenversorgung

des Wiederkäuers bedürfen einer vorrangigen Bearbeitung. Dies soll mit einem Zitat unterlegt werden, dass eine wesentliche Richtung weiterer Forschungen zur Silagequalität weisen mag: "Eine bessere Beschreibung der Rohproteinqualität ist erforderlich, um die Silagequalität insgesamt besser zuordnen zu können" (Aston et al. 1998).

- Deshalb erscheint es zwingend erforderlich, Schnellmethoden zur Überprüfung der Werte für das nutzbare Rohprotein am Duodenum (nXP) und das pansenstabile Futterrohprotein (UDP) zu prüfen und zu etablieren. Bei den bisherigen Ableitungen wurde nicht (ausreichend) berücksichtigt, dass sowohl die nXP- als auch die UDP-Werte von der Geschwindigkeit des Nährstoffumsatzes und der Passage des Verdauungsbreis in den Dünndarm verändert werden. Die Versuche, die zur Ableitung des Systems verwendet wurden, enthielten eine Variation dieser Faktoren, sie wurde nur selten gezielt als Faktor verwendet. Welche Raten für die Passage des Verdauungsbreis "richtig" sind, bedarf einer gründlichen Klärung unter Würdigung der Methoden, bevor es zu Festlegungen kommt, die unmittelbare Auswirkungen auch auf Futtermitteltabellenwerte (nXP, UDP, ruminale Stickstoffbilanz) hätten. Die Verwendung der Schätzwerte des AFRC (1993) führt – vor allem bei sehr hohen Futteraufnahmen - zu unrealistisch hohen Passageraten.
- Da *in vivo*-Versuche an Milchkühen mit Duodenalkanülen außerordentlich aufwändig sind, in Deutschland derzeit nur noch an einem Standort (Braunschweig-Völkenrode) durchgeführt werden (können) und auch international der zukünftig noch zu erwartende Umfang weiterer *in vivo*-Versuche - mit experimentellen Techniken, die eine möglichst weitgehende Übereinstimmung mit den in Deutschland bisher durchgeführten Versuchen aufweisen sollten – sehr begrenzt sein wird, ergab sich schon mit Erscheinen der Futterwerttabellen (Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle 1997) sowie der Broschüre zum Proteinbewertungssystem für Milchkuhe und Aufzuchtrinder (GfE

2001) die Herausforderung, nach realisierbaren Wegen zu suchen, um bestehende Kenntnislücken schließen und unsichere Daten besser absichern zu können. Dies zwingt dazu, über alternative (und zugleich weniger aufwändige) Verfahren erneut zu diskutieren.

#### 4.4 Gärfutter

Der Futterwert einer Silage wird vor allem durch die Gehalte an Nettoenergie-Laktation, Rohprotein und Zellwandbestandteilen definiert. Der Einfluss dieser Größen auf die Silageaufnahme wurde bereits umfangreich untersucht und ist unbestritten. Die Qualität einer Silage wird außerdem jedoch durch die während der Fermentation entstehenden Produkte bestimmt, welche die Akzeptanz der Silage bei Milchkühen beeinflussen. In einer Reihe von Einzelstudien konnte bereits gezeigt werden, dass Veränderungen in diesen Eigenschaften die Futteraufnahme modifizieren. Das Bild ist jedoch heterogen, es gibt auch widersprüchliche Befunde. Anhand der Daten aus der Literatur und auf der Basis einer eigenen Meta-Analyse wurde von uns der Versuch unternommen, den Einfluss einzelner Fermentationsprodukte auf die Silageaufnahme bei Milchkühen zu quantifizieren (Eisner et al. 2006). Die Ergebnisse dieser Meta-Analyse definierten Essigsäure und den Gesamtsäuregehalt als die Fermentationsprodukte, welche deutliche negative Auswirkungen auf die Silageaufnahme bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter haben. Andererseits hat Essigsäure einen gesichert positiven Effekt auf die aerobe Stabilität von Gärfutter, so dass hier ein klassischer Zielkonflikt adressiert und gelöst werden muss.

Weiterhin gibt es zahlreiche Hinweise, dass die Proteinqualität (Zusammensetzung des Rohproteins, Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen, Produkte aus dem Rohprotein-Abbau wie Ammoniak oder biogene Amine) einen Einfluss auf die Silage- und damit Gesamtfutteraufnahme hat (Südekum und Eisner 2009). Dies bedarf jedoch weiterer intensiver Studien, in denen wiederum die Bedeutung einer adäquat differenzierenden chemischen Analytik sowie standardi-

sierter *in vitro*-Methoden zur qualifizierten Simulation wesentlicher Prozessschritte hervorzuheben ist.

#### 5 Schlussfolgerungen

In der Zusammenschau der obigen Ausführungen und im Hinblick auf das Generalthema der Tagung "Wiederkäuerernährung" lässt sich folgendes Fazit ziehen.

- Es stehen Analysenmethoden zur Quantifizierung der qualitätsbestimmenden Merkmale in Futtermitteln zur Verfügung;
- Die kritische Prüfung, Anwendung und Weiterentwicklung dienen der quantitativen Erfassung des Energie- und Nährstofflieferungsvermögens von Futtermitteln und der Weiterentwicklung von Futterbewertungssystemen;
- In Einzeluntersuchungen mit spezifischen Futtermitteln oder Rationen werden mit hohem experimentellen Aufwand (Bilanz- oder Respirationversuche) und einer daher in der Regel geringen Tierzahl Ansätze für eine Verbesserung der Umweltwirkung (z. B. Reduktion der Methanabgabe) oder zur Berücksichtigung der Tiergerechtigkeit (z. B. Pansenphysiologie) entwickelt oder geprüft;
- Erfolg versprechende Ansätze bedürfen unter praxisnahen Bedingungen und im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von Effekten der Überprüfung an einer größeren Tierzahl und über einen längeren Zeitraum.
- Wichtig ist dabei schließlich, dass einzelne Ansätze in ein schlüssiges Gesamtkonzept eingefügt werden und die Erzeugung von tierischen Lebensmitteln eine systemare Betrachtung erfordert, in der ein Kompromiss zwischen der tierischen Leistung, der Tiergesundheit, der Produktbeschaffenheit, der Umweltwirkung und den Erwartungen des Tierhalters gefunden werden muss. Forschung ist hierbei vermutlich dann am erfolgreichsten, wenn sie sich interdisziplinär vernetzt und Ansätze der Tierernährung, Tierzüchtung, Tierhaltung und Tiergesundheit zielgerichtet kombiniert.

### Literaturverzeichnis

- AFRC (Agricultural and Food Research Council), 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An Advisory Manual Prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB INTERNATIONAL, Wallingford.
- Aston, K., Fisher, W.J., McAllan, A.B., Dhanoa, M.S., Dewhurst, R.J., 1998. Supplementation of grass silage-based diets with small quantities of concentrates: strategies for allocating concentrate crude protein. *Anim. Sci.* 67, 17-26.
- Coenen, M., Eicken, K., Heimbeck, W., 1994. Rohprotein-, Reineiweiß- und Aminosäuregehalte in Grund- und Kraftfuttermitteln für Milchkühe. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 2, 30.
- Daccord, R., Arrigo, Y., Vogel, R., 1995. Nährwert von Maissilage. *Agrarforschung* 2, 397-400.
- Eisner, I., Südekum, K.-H., Kirchhof, S., 2006. Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme von Milchkühen. *Übers. Tierernähr.* 34, 197-221.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Energie und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8. DLG-Verlag: Frankfurt/Main.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2009. New equations for predicting metabolizable energy of compound feeds for cattle. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 18, 143-146.
- Gruber, L., 2009. Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. *Übers. Tierernähr.* 37, 45-86.
- Jung, H.G., Fahey, G.C. Jr., Garst, J.E., 1983. Simple phenolic monomers of forages and effects of in vitro fermentation on cell wall phenolics. *J. Anim. Sci.* 57, 1294-1305.
- Nehring, K., Hoffmann, B.; 1969: Untersuchungen zur Weiterentwicklung der Futtermittelanalyse. 1. Mitteilung. Die Problematik der Futtermitteluntersuchung. *Arch. Tierernähr.* 19, 561-570.
- Rodehutsord, M., Südekum, K.-H., 2010. Herausforderungen und Anregungen für die angewandte Forschung. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 24.-25. März 2010. Verband der Landwirtschaftskammern, Berlin, 6-9.
- Schenkel, H., Südekum, K.-H., 2005. Chancen und Risiken von Nebenerzeugnissen der Biotechnologie als Futtermittel – ein Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. 117. VDLUFA-Kongress, Bonn, Kurzfassungen der Referate, 9.
- Steingass, H., Keller, S., Drochner, W., 2003. Das Konzept synchroner Rationsgestaltung für Milchkühe. Umsetzungsmöglichkeiten in Beratung und Praxis. In: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hrsg.) 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung "Rinderaufzucht, Milchviehfütterung, Schafhaltung, Ökonomik" BAL Gumpenstein, Irnding, 17-24.
- Südekum, K.-H., 2007. Futterbewertung für Wiederkäuer in Deutschland: Entwicklungen im Bereich Faser und Stärke. In: M. Kreuzer, C. Wenk, T. Lanzini (Hrsg.) Futterbewertung im Umbruch? Schriftenreihe Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich 29, 27-35.
- Südekum, K.-H., 2009a. Zucker und Speicherkohlenhydrate – analytische Kenngrößen als Voraussetzung für eine moderne Rationsgestaltung. *Übers. Tierernähr.* 37, 27-44.
- Südekum, K.-H., 2009b. Fasergehalte in Silagen: Alte Vorgaben und neue Kenngrößen. *Übers. Tierernähr.* 37, 103-110.
- Südekum, K.-H., 2009c. Mais und Maisnebenprodukte und ihre Bedeutung für die Protein- und Aminosäureversorgung von Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern. In: F.J. Schwarz, U. Meyer (Hrsg.) Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten. *Landbauforsch. – vTI Agric. For. Res. Sdrh.* 331, 19-27.
- Südekum, K.-H., 2010. Perspektiven für die Proteinbewertung und die praktische Proteinversorgung bei Wiederkäuern. In: K. Schedle, M. Kraft, W. Windisch (Hrsg.) 9. BOKU-Symp. Tierernährung – Eiweiß in der modernen Tierernährung: Bedarf, Qualität, neue (alte) Futtermittel, 37-43.
- Südekum, K.-H., Eisner, I., 2009. Silagen: Voraussetzungen für eine hohe Akzeptanz und maximale Trockenmasse-Aufnahme. *Übers. Tierernähr.* 37, 133-140.
- Universität Hohenheim – Dokumentationstelle (Hrsg.), 1997. DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Van Soest, P.J., 1976. The estimation of digestibility from chemical composition. *Misc. Pap. Landbouwhogesch. Wageningen* 12, 137-145.
- Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Ametaj, B.N., Drochner, W., 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046-2066.

## Diskussion

STEINHART, HAMBURG

Herr Südekum, ich bin ihnen sehr dankbar für den ersten Teil ihrer Ausführungen über die Rohfaser. Ich kann das wirklich nur unterstützen und ich bin auch ihrer Meinung, dass das Methanproblem vielleicht nicht das größte Problem ist, sondern das lösbare Problem. Wir haben uns also seit Jahren von der chemischen Seite her mit der Strukturaufklärung der Rohfaser beschäftigt und die Chemiker gehen da nicht so gerne ran, die haben immer gerne schöne Formeln, die man dann hinschreiben kann und man sagt, das ist es. Das geht bei Rohfaser nicht, aber was geht. Man kann Struktureigenschaften charakterisieren, Strukturbausteine. Das wird jetzt mehr und mehr gemacht und das geht ja auch in ihre Richtung. Je mehr Strukturbausteine man kennt und hat, umso gezielter kann ich natürlich daran gehen und gucken, wie können die aufgelöst werden, wie können die abgebaut werden. Ich möchte noch auf zwei Probleme hinweisen, die von der Struktur her in diesem Begriff Rohfaser stecken, da ist die dreidimensionale Struktur, die u.a. durch Phenolcarbonsäure bedingt wird. Es genügt nicht, nur auf Cellulose oder irgendwas hinzuweisen, sondern man muss auch die dreidimensionale Struktur berücksichtigen und ein zweiter Punkt, den man bisher gar nicht so richtig erfasst hat ist das Lignin, denn dieses Lignin hat man häufig übersehen. Das können bis zu 20 % in der Rohfaser sein und die wird natürlich völlig anders abgebaut als Kohlehydratbestandteile. Ich wollte jetzt noch einen Schritt weitergehen und zusammen mit dem DIFE, da haben wir



gestern Herr Joost gehört. Solche Strukturbausteine haben wir zum Teil auch synthetisiert und isoliert. Da kam etwas ganz interessantes heraus. Das DIFE, also das Deutsche Institut für Ernährungsforschung, die haben eine wunderbare Sammlung von Gruppen- und Mikroorganismen. Ich glaube, das ist weltweit die größte Stammsammlung. Die haben also einzelne Mikroorganismen und dann auch Gruppen. Da hat man gesehen, dass Mikroorganismen dabei sind, die die einzelnen Strukturbausteine ganz unterschiedlich abbauen. Das ist natürlich erst mal theoretisch, weil das in der Wirklichkeit nicht vorkommt. Wenn man die dann zusammensetzt und sagt, jetzt weiß ich, der braucht das, der braucht das und denke dann, da bauen die jetzt alles ab. Das funktioniert leider nicht, weil Wechselwirkungen auftreten, die nicht so einfach zu beschreiben sind. Wir haben jetzt auch mit Wiederkäuern Versuche gemacht. Da ist es natürlich noch viel komplizierter. Aber ich denke, einer der Punkte war, dass wir gar nicht richtig wussten, welche Mikroorganismen kommen denn da vor und was machen die. Ich würde also ihre These unterstützen. Wenn man da von den Grundlagen herkommt, einige Dinge erarbeitet und dann sich vorarbeitet, bis man in praxisrelevante Umgebung kommt, dann weiß man schon in etwa, was machen die und ich glaube dann könnte man in Zukunft zu einer Reduzierung dieser Methangeschichte kommen, weil ich dann einfach diesen Abbaumechanismus in andere Richtungen lenken könnte.

FLACHOWSKY, BRAUNSCHEWIG

Es ist eine Anmerkung, keine Frage. Ich war vor etwa zwei Jahren zu einer Veranstaltung der Pflanzenbauer, Pflanzenernährer, wo es um Phosphor ging. Da war der erste Referent ein leitender Mitarbeiter eines Bundesamtes für Biologie, Hannover. Der hat mit seinem Vortrag die ganze Veranstaltung durcheinander gebracht. Der hat die globalen Phosphorreserven analysiert, kam zur Einschätzung, mit den momentan vorhandenen Techniken können wir etwa 150 Jahr so weiter wirtschaften, auch mit ansteigendem Verbrauch, es ist genügend da und wenn wir mal bessere Techniken beherrschen, wenn verschiedene Regionen, Kongo oder wo Phosphorreserven sind, mal politisch handhabbar sind, dann sind unsere globalen Phosphorreserven nahezu unbegrenzt. Der Kollege hat die ganze Veranstaltung durcheinander gebracht. Alle Beiträge waren natürlich in eine ganze andere Richtung ausgerichtet, ähnlich wie du angefangen hattest. Wir sollten uns mal Gedanken machen und den Kollegen holen. Nicht, dass wir irgendeinem Phänomen nachjagen, was eigentlich gar keins ist.

ANTWORT

Diese Information hast du uns ja auch schon mal an anderer Stelle gegeben. Ich habe die sehr wohl noch im Hinterkopf gehabt und habe gedacht, wenn ich die hier auch rein bringe, dann kann der ganze Vortrag sich eigentlich nur um Phosphor handeln, und da bin ich a) nicht kompetent genug und b) wäre es auch in der Zielstellung der heutigen Veranstaltung etwas daneben gewesen, aber mir ist das sehr wohl bewusst. Ich denke aber dennoch, wenn wir jetzt wieder auf Mitteleuropa gehen, ist ja eine effiziente Nutzung der Ressource unter dem Aspekt der umweltrelevanten Ausscheidung durchaus weiterhin ein Thema. Weltweit wäre das ja wunderbar, wenn die Ressourcen wesentlich größer als zurzeit bekannt oder verfügbar wären, weil es ja auch im Bereich der Erzeugung pflanzlicher Produkte ein absolut essentieller Nährstoff ist.

SCHWARZ, WEIHENSTEPHAN

Ich möchte jetzt nicht unbedingt die Kohlenhydrat-analytik ansprechen, weil sich in dieser gemeinsamen Arbeit doch herausgestellt hat, dass die Analytik chemisch gesehen außerordentlich schwierig ist und die Umsetzung natürlich dann in die tatsächliche Futtermittelbewertung noch ein weiter Weg bedeutet. Meine Frage zielt eigentlich in eine andere Richtung, und zwar ist die Futtermittelbewertung die Frage der richtigen Energiebewertung ein zentraler Punkt. Der Titel des Vortrages lautet ja „Perspektiven der Futtermittelbewertung“ und wir haben uns gestern sehr intensiv mit dem Stoffwechsel im Pansen und dann dem weiteren Stoffwechsel auseinandergesetzt und das geht doch sehr wohl in die Frage der leistungsstarken Milchkuh und wenn wir uns vorstellen, eine Milchkuh gibt 40 - 50 kg Milch am Tag, dann ist natürlich die Frage der Energiebewertung allein sicherlich nicht ausreichend, d. h. es geht viel stärker um die Frage, welche Vorstufen müssen wir für die Milchbildung liefern? Es ist natürlich in unserem Bewertungssystem ohne Frage drinnen, dass wir die Aminosäuren berücksichtigen, das wurde auch angesprochen, das können wir machen, aber wir haben brauchen auch Bausteine für die Laktose und brauchen Bausteine für das Fett. Dass natürlich die Frage auftritt: Können wir aus unseren Futtermitteln zukünftig sehr wohl das Fettsäurelieferungsvermögen einschätzen, um daraus tatsächlich für diese Situation allem gerecht zu werden. Wir haben sehr unterschiedliche Situationen in der Wiederkäuerernährung, wo wir hin wollen, mit unserer Futterbewertung, aber wenn wir diese spezifische Situation der sehr leistungsstarken Kuh betrachten, dann ist es ohne Frage notwendig, in diese Richtung zu gehen. Könnten wir zukünftig bei der Futtermittelbewertung diese Fähigkeit der Futtermittel in Fettsäure besser einschätzen, haben wir da Chancen?

ANTWORT

Chancen gibt es da schon, wenn wir in unser Nachbarland betrachten, und wenn Jan Dijkstra jetzt noch da wäre, dann könnte der uns dazu sicherlich

sehr kompetent Auskunft geben. Die Niederländer haben nicht nur eins, die haben verschiedene Systeme, die zwar auch die Energie als sozialen, zentralen Ankerpunkt enthalten haben, aber die Energie liefernden Bestandteile differenzieren im Hinblick auf die Bildung oder die Lieferung kurzkettiger Fettsäuren in bestimmte Muster auf die Menge aus dem Dünndarm absorbierter Glukose, also genau in die Richtung, wie es angesprochen war. Jetzt kommt es aber: (1) Das sind Modelle, für die auch das gilt, was Herr Dijkstra gestern gesagt hat. Wir haben zum Teil Probleme, dass wir nicht genügend Daten haben. (2) Das ist selbst da, wo die Datenlage besser ist, ist das bisher für eine relativ begrenzte Anzahl an Futtermitteln sauber hinterlegt. Ich gehe jetzt noch mal auf die spezifische niederländische Situation ein. Silagen sind, deutsche Weidelgrassilagen, von nach wie vor relativ, ziemlich intensiv gedüngten Beständen mit hoher Nutzungsfrequenz. Die auch in den Niederlanden zu findenden extensiveren Grünlandflächen nehmen keinen großen Teil der Gesamtgrünlandfläche ein. Es gibt Maissilagen und es ist für einige wenige Konzentratfutter sauber hinterlegt. Für die Fülle an Koppelprodukten und extrem variierenden Grobfuttern, die bei uns ja eher doch vertreten sind, ist das sicherlich etwas, was noch einen längeren Atem benötigt, um das vernünftig umzusetzen, aber es spräche ja nichts dagegen, dass wir sagen, wir nehmen auch für unsere hochleistenden Tiere zunächst einmal eine begrenzte Auswahl und prüfen, ob wir mit einer Kombination sauberer analytischer Daten und der Nutzung vorhandener Modelle nicht auch einen Schritt weiter kommen können in die Richtung, dass wir tatsächlich das was intermediär an absorbierten Nährstoffen verteilt werden kann und genutzt werden kann, besser vorhersagen können.

SCHENKEL, HOHENHEIM

Zwei kurze Anmerkungen oder Fragen. Einmal werden wir im September mit einer neuen EU-Verordnung beglückt, die einen Futtermittelkatalog beinhaltet, in dem die Inverkehrbringer und Hersteller auch Angaben machen müssen zu den Inhaltsstoffen.

Bei diesen Inhaltsstoffen, wenn ich den Katalog durchgehe, ist kein einziger Parameter dabei, den du angesprochen hast, sondern da sind nur Parameter dabei, die schon 100 Jahre auf dem Buckel haben. Was kann unsere Fachdisziplin tun, damit wir nicht nur um uns selbst drehen, sondern dass man auch etwas auf die aktive Ebene bringt? Das wäre meine erste Frage. Die andere. Ich will noch einmal auf dein Eingangsstatement zu Phosphor zurückkommen. Wir haben mehrmals die Eiweißlücke angesprochen. Ich will nur darauf hinweisen, dass wir mit diesem Eiweißimport natürlich auch Phosphor importieren, jede Menge. Dadurch und auch durch den Einsatz der Phytase haben sich die Zusammensetzungen der Rationen deutlich geändert. Das Futtermittelgesetz beinhaltet auch einen Paragraphen, der die Wirkungen auf die Umwelt regelt, von Natur aus, wie es so schön heißt. Müssten wir uns hier nicht mal die Frage stellen, ob wir und in welcher Weise wir durch unsere Fütterung auch die Zusammensetzung der Exkremate bzw. die Verfügbarkeit der Exkremate oder die Nährstoffe in diesen Exkrementen beeinflussen? Um dein Stichwort Nährstoffkreislauf und Effizienz in den Nährstoffkreisläufen, da etwas weiter voranzukommen. Ich habe den Eindruck, dass wir die Exkremate sehr stiefmütterlich behandeln und irgendwo auf der Fläche deponieren.

ANTWORT

Zur zweiten Frage kann ich nur eineingeschränkt „ja“ sagen. Das ist ein Thema, das alle Beteiligten völlig vernachlässigt, bis vollständig ignoriert haben. Die erste Frage bringt mich natürlich ziemlich durcheinander, ich habe keine wirkliche Idee. Ich habe nicht den Eindruck, dass wir uns bisher im goldenen Käfig bewegt haben und nicht versucht haben, auch unsere Anliegen, hier zusammenfassend darzustellen, in die relevanten Gremien und auch auf die politische Ebene zu bringen, aber ich habe schon den Eindruck, dass das weitgehend verpufft, obwohl einige hier im Raum sitzen, und ich darf da ganz bewusst in die Gegend von Herrn Flachowsky schauen, sich wirklich engagiert haben und du selbst ja auch. Ich weiß nicht,

wie die Wahrnehmung verbessert werden kann. Ich habe keine Idee. Wenn jemand im Raum eine Idee hat, bitte sofort aufstehen, mit und ohne Mikro um es los zu werden. Ich habe keine Idee.

BERGFELDT, KÖLLITSCH

Herr Südekum, ich denke es ist absolut zu begrüßen, dass die Einzelkomponenten der Futtermittel wissenschaftlich fundiert bewertet werden, vollkommen korrekt. Ich habe dabei drei Probleme. Zum Einen: Werden die Variabilität und die Biologie der Tiere hier ausreichend berücksichtigt? Zweitens: Wird der Aspekt der Gesamtration hinreichend berücksichtigt? Stichwort Wechselwirkung zwischen Einzelkomponenten. Ist nicht der Futterwert eines Einzelfuttermittels in der Gesamtration möglicherweise ein anderer? Und dritter Aspekt. Sind wir heute an einem Leistungsniveau, wo wir mit traditioneller Futterbewertung und Rationsberechnungen diese Herdenleistungen gar nicht mehr so begründen können. Müssen wir nicht viel stärker zu einer Gesamtbewertung von Rationen unter dem Aspekt des Fütterungserfolges kommen? Ich bin kein Tierernährer, habe keine Antwort, aber vielleicht können sie uns weiterhelfen.

ANTWORT

Zur ersten Frage. Ich habe ja am Anfang bewusst gesagt, ich will mich aufs Futtermittel konzentrieren. Die Biologie der Tiere haben wir ja gestern im Fokus gehabt. Das war einfach eine bewusste Einschränkung. Sie haben Recht. Zweiter Punkt. Wir gehen ja in unserer Futterbewertung traditionell davon aus, dass wir mit aditiven Wirkungen zu tun haben und dort, wo Interaktionen tatsächlich auftreten, kommen wir dann mit dem Ansatz ein bisschen in Probleme, das ist uns aber durchaus bewusst. Drittens. Ja, natürlich ist die Erfolgskontrolle oder die erfolgsorientierte Bewertung ein ganz wichtiger Punkt. Das geht aber über die eigentliche Futtermittelbewertung hinaus und ist dann in der Gesamtrationsplanung und dem Fütterungsmanagement entsprechend zu berücksichtigen. Aber es gehört natürlich dazu.

SUSENBETH, KIEL

Eine Frage noch zum Methan. Wir haben in den Futterwerttabellen die Inhaltsstoffe, die Verdaulichkeiten, das UDP und sonst noch eine Reihe von Futterwertkenngrößen. Wäre es sinnvoll, mittelfristig oder langfristig an eine Spalte zu denken, in der das Methanbildungsvermögen des Futtermittels aufgezeichnet wird. Aus zwei Gründen. Man könnte unter diesem Gesichtspunkt auch einmal optimieren oder eine Ration vergleichen und zweitens, dass wir das Feld nicht anderen überlassen, die uns vorschreiben, wie viel Methan die Kuh machen darf. Dann hätten wir eine Basis und könnten dies vermitteln.

ANTWORT

Aus dem zweiten Grund würde ich sagen ja, aus dem ersten Grund bin ich ein bisschen vorsichtig, weil dort ja tatsächlich der Aspekt der Rationszusammensetzung extrem stark durchschlägt. Wenn ich also einem Grobfutter einen hohen Methanerzeugungswert zuschreibe, dann gilt der natürlich in einer sehr Grobfutter-betonten Ration. Je stärker ich aber Konzentratfutter dazugebe, desto stärker verdünnt sich das. Wenn ich richtig rechne, spiegelt sich das auch korrekt in der Rationsberechnung wider. Aber das Signal, was gesetzt würde, fällt für die Grobfutter, für die ich ja gerade einen Werbefeldzug gemacht habe, nicht besonders günstig aus, denn alle sind mit einem hohen Methanbildungspotential versehen, dagegen haben die Konzentrate gar keins. Wäre in der Signalwirkung eher ungünstig, unter dem fachlichen Aspekt und dem zweiten Teil der Frage uneingeschränkt zu begrüßen.

RICHARDT, LICHTENWALDE

Ich denke, wir sind uns alle in dem Grundsatz einig, dass immer die Futtermittelanalyse, die Bewertung und die Bedarfsableitung ganz eng zusammen gehören. Aber ich glaube, dass wir da nicht immer so ganz homogen vorgehen. Ich möchte auf zwei Aspekte hinweisen. Das eine ist das Thema Energieschätzung. Sehr viele Daten sind abgeleitet in diesen Gleichungen aus gefriergetrocknetem Material. Wir

wissen aber ganz genau, dass normale, gängige Futtermittelanalysen immer normal bei 60 Grad trocknen. Ich denke, da ist Diskussionsbedarf, da ist die LUFA auf der einen Seite, die Futtermittelanalysen machen mit der Gruppe und im Prinzip denjenigen, die Bedarfsnormen erarbeiten. Ein zweiter Aspekt. Was mir immer wieder fehlt, es werden Kennziffern erarbeitet, im Wiederkäuerbereich zum Beispiel ruminale Abbaubarkeit von Stärke, wir könnten auch die präzäkalen verdaulichen Aminosäuren bei anderen Tierarten nehmen, gibt es denn dafür ansatzweise eine gängige Labormethode. Wir haben sehr häufig tabellierte Parameter aufgrund von Tierversuchen, ohne dass wir gleich am Anfang gucken und sagen, nehmen wir noch die Labore mit rein, die LUFA und erarbeiten parallel dazu noch Methoden, die wir gleich validieren können. Das würde mir bei der Arbeit noch fehlen.

ANTWORT

Ich habe ja die eine Folie gehabt, wo ich die In-vitro-Systeme für verschiedene Verdauungsabschnitte auch angesprochen habe. Ich halte das auch für eine ganz wichtige Aufgabe und mit ihrer ersten Anmerkung, das zeigt nur wieder, wir brauchen von der Probenaufbereitung an eine konsequente und auch unter allen Beteiligten sauber abgestimmte und dann auch durchgängige Analytik. Und da bewegen wir uns, Herr Schenkel hat es ja gerade auch angesprochen, zum Teil auf dem Niveau, wie wir es vor 150 Jahren gehabt haben. Was damals super war, ist heute einfach nicht mehr angemessen. Das wird leider auch unter den Fachkolleginnen und Kollegen oft ignoriert!!

COENEN, LEIPZIG

Ihre Klage über die Unzulänglichkeiten in der Beschreibung XP, nXP und des Stickstoffs in den Silagen hält für mich noch durch den Raum. Darf ich ihnen ein Bekenntnis für einen Lösungsansatz entlocken?

ANTWORT

Es gibt verschiedene. Ich denke, dass die eine oder

andere der Fraktionen aus dieser Rohproteinfraktionierung nach dem Cornell-System uns dort auch weiter hilft. Ob es nun die Unterscheidung in Nichtproteinstickstoffverbindungen und Reinprotein ist, das ist eine Möglichkeit, analytisch relativ einfach, auch in der Routine anwendbar oder die Fokussierung auf andere Fraktionen, wir sollten etwas nehmen, was analytisch relativ einfach anwendbar ist und zweitens, wir brauchen einen Bewertungsrahmen. Wenn wir das anwenden wollen, müssen wir sagen, es gibt entweder bestimmte Schwellenwerte oder Bereiche, die als unkritisch zu sehen sind, als kritisch, als nicht mehr akzeptabel und da ist die Frage, wo binden wir das an, an welches Respond-Merkmal des Tieres oder anderer Bewertungsmaßstäbe. Aber die Möglichkeiten gibt es.

## Effiziente Ressourcennutzung – Futterbausysteme für die Milcherzeugung



### Einleitung

Die effiziente Grobfuttererzeugung stellt ein zentrales Element einer ökonomisch erfolgreichen und gleichermaßen Ressourcen schonenden Milcherzeugung dar.

Dies beinhaltet die effiziente Nutzung der Ressourcen Boden (Ertrag und Futterqualität je Flächeneinheit), Wasser (Wassernutzungseffizienz), Nährstoffe (z. B. Stickstoffnutzungseffizienz) und Energie (Energieeffizienz) unter gleichzeitiger Einhaltung von gesetzlich verankerten Schutzzielen (Wasserschutz; Klimaschutz und Biodiversität).

Die Vorgaben der guten fachlichen Praxis im Rahmen von cross-compliance begrenzen darüber hinaus Landnutzungsänderungen dahin gehend, dass Dauergrünland aufgrund seiner ökologischen Funktionen auf Basis des Flächenumfangs des Referenzjahres 2003 erhalten bleiben muss, was die Optionen der Betriebe zur Futtererzeugung zum Teil erheblich einschränkt. Vor dem Hintergrund dieser multifunktionalen Ansprüche an die Ressourceneffizienz von Futterbausystemen sind Systemansätze notwendig, um funktionale Beziehungen zwischen der Art und Intensität der Landnutzung einerseits und deren Auswirkungen auf den Ressourcenschutz andererseits quantitativ abzubilden und mittels dynamischer Modelle zu generalisieren. Mit dem “N-Projekt Karkendamm” (Taube und Wachendorf, 2001) wurde ein solcher Systemansatz auf dem Versuchsbetrieb Kar-

kendamm des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität Kiel seit 1997 etabliert und ständig weiter entwickelt. Der folgende Beitrag dokumentiert die Leistungen und ökologischen Effekte verschiedener Futterbausysteme auf einem typischen Standort (humoser Sandboden) der Milchproduktion im Norddeutschen Tiefland.

### N-Projekt Karkendamm

Im Jahr 1997 wurde in einem interdisziplinären Systemansatz auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm das N-Projekt Karkendamm etabliert, mit dem Ziel, zunächst die Stickstoffflüsse im System Boden – Pflanze – Tier über einen weiten Intensitätsgradienten abzubilden. Später wurden diese Arbeiten um den Bereich der Energieflüsse und der Emissionen Klima relevanter Gase ergänzt. In Form von Promotionsprojekten sind neben der Gruppe Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau (Ingwersen, 2001; Trott, 2003; Büchter, 2003; Kelm, 2004; Lampe, 2005; Baade, 2005; Volkens, 2005; Bobe, 2005; Nannen, 2008) die Gruppen Tierzucht (Konyali, 2001), Tierernährung und Stoffwechselphysiologie (Lukas, 2001), Agrarökonomie (Storm, 2001) der CAU beteiligt sowie die Gruppen Bodenkunde (Karrasch, 2007, Universität Hamburg), KIT (Garmisch-Patenkirchen) und die Gruppe Modelling (USDA, State College, PA, USA) als externe Partner in das Projekt eingebunden. Als Futterbausysteme wurden in mehrfaktoriellen orthogonalen Ansätzen geprüft:

### 1. Dauergrünland (Faktoren/Stufen)

Faktor I: Nutzungssystem	1.1 Weide (Umtriebsweide, 5-6 Umtriebe)
	1.2 Mähweide I (1 Schnitt + Nachweide)
	1.3 Mähweide II (2 Schnitte + Nachweide)
	1.4 Schnitt (4 Schnitte jeweils zur Siloreife)
	1.5 „Simulierte Weide“ ( 5-6 Schnitte/ Jahr)
Faktor II: Mineralische N-Düngung	2.1 – 2.4: (0, 100, 200, 300 kg N/ha)
Faktor III: Organische N-Düngung	3.1 0 kg Gülle-N/ha; 3.2 60 kg Gülle-N/ha
Faktor IV: Versuchsjahr	4.1 - 4.5: 1997 – 2001

### 2. Mais (Faktoren/Stufen)

Faktor I: Mineralische N-Düngung	1.1 – 1.4: (0, 50, 100, 150 kg N/ha)
Faktor II: Organische N-Düngung	2.1 – 2.3: (0, 60, 120 kg Gülle-N/ha)
Faktor III: Untersaat Mais	3.1 0 kg/ha Deutsches Weidelgras
	3.2 5 kg/ha Deutsches Weidelgras
Faktor IV: Versuchsjahr	4.1 – 4.5 1997 – 2001

### 3. Futterbau – Fruchtfolge (FF) (Klee gras – Mais – Triticale Ganz pflanzen silage)

Faktor I: Mineralische N-Düngung (Ø FF)	1.1 – 1.3: 0, 75, 150 kg N/ha/Jahr
Faktor II: Organische N-Düngung	2.1 – 2.2: 0, 75 kg Gülle-N/ha/Jahr
Faktor III: Versuchsjahr	3.1 – 3.3: 2000 – 2002

Erfasst wurden jeweils Erträge (TM, GJ NEL), Futterqualitätsparameter, N-Bilanzen, Nährstoffverluste (Nitrat-N, DON) über den Pfad Sickerwasser mittels keramischer Saugkerzen, N<sub>2</sub>O-Emissionen mittels der closed-chamber Methode sowie Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanzen nach OECD-Standards (Details siehe Publikationen im Text). Mittels dieser Versuchsansätze war gewährleistet, alle relevanten Futterbausysteme des Norddeutschen Tieflandes über einen weiten Intensitätsgradienten abzubilden. Die zentralen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### Erträge (GJ NEL/ha)/ Landnutzungseffizienz

Bezüglich der Ressourceneffizienz spielt zunächst die Landnutzungseffizienz vor dem Hintergrund der wachsenden Nachfrage nach Futterfläche weltweit eine zentrale Rolle. Nach Modellrechnungen der FAO muss für eine ausreichende weltweite Ernährungssicherung mit Lebensmitteln tierischer Herkunft bis zum Jahr 2050 eine Verdopplung der Produktion von Futtermitteln gewährleistet werden, damit kommt der relativen Vorzüglichkeit der Produktionssysteme im Hinblick auf die Leistungen/ha eine zentrale Rolle zu. Im Futterbau zur Ernährung der Milchkuh stellt der Nettoenergieertrag (GJ NEL/ha: TM-Ertrag x Energiedichte) die zentrale Größe dar. Die Abbildung 1

zeigt die Produktionsfunktionen in Abhängigkeit der N-Düngungsintensität für die geprüften Futterbausysteme mit dem Ergebnis, dass unter den gegebenen Standortverhältnissen die relative Vorzüglichkeit des Maisanbaus bezüglich der Ertragsleistung und der Stickstoffnutzungseffizienz evident ist. Überall dort, wo Mais erfolgreich kultiviert werden kann, so zeigen auch Studien anderer Versuchsansteller in Deutschland, ist demnach von einer Überlegenheit des Mais im Vergleich zu Grünlandssystemen auszugehen. Neben der durchschnittlichen Leistung je ha ist für die Bewertung eines Produktionssystems die Ertragssicherheit von wesentlicher Bedeutung, da der ökonomische Erfolg eines Anbausystems durch die Planungssicherheit bezüglich der Ertragserwartungen beeinflusst wird, ein Aspekt, der bisher vergleichsweise wenig bei der vergleichenden Bewertung von Futterproduktionssystemen berücksichtigt wird. Die Tabelle 1 zeigt die vergleichenden Ergebnisse für Mais und Grünlandnutzungssysteme mittels des Variationskoeffizienten (CV). Dieser Wert gibt über den jeweils 5jährigen Versuchszeitraum die Standardabweichung des Energieertragsmittelwertes (GJ NEL/ha) über die Jahre in Prozent an (ein niedriger Variationskoeffizient ist somit ein positiver Indikator für Ertragssicherheit)

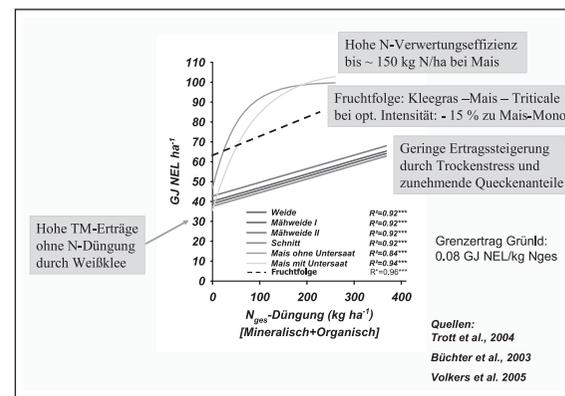


Abbildung 1: Netto-Energieerträge (Flächennutzungseffizienz) von Grünland, Mais und einer Futterbaufuchtfolge in Abhängigkeit von der N-Düngung

Tabelle 1: Variationskoeffizienten ( CV %) der Energieerträge der geprüften Grünland- und Maisvarianten in Abhängigkeit der N-Düngung in den 5 Versuchsjahren (verändert nach Trott et al., 2004)

System	N-Düngung: (kg N/ha)	0	100	200	300
Weide	CV (%)	45,78	36,48	19,36	21,37
Mähweide I	CV (%)	35,48	19,77	23,78	22,52
Mähweide II	CV (%)	30,95	32,57	20,00	18,71
Schnitt	CV (%)	26,38	23,80	14,98	12,01
	N-Düngung (kg/ha)	0	50	100	150
Mais	CV (%)	20,20	12,81	13,43	6,40

und weist wiederum den Mais als deutlich überlegen aus. Dagegen fallen low-input Weidesysteme auf diesen - trotz hoher Niederschlagssummen von über 800 mm Jahresniederschlag - austrocknungsgefährdeten Sandstandorten, vor allem im Frühsommer, deutlich in der Ertragssicherheit ab. Wird zusätzlich die Energiedichte (MJ NEL/kg TM) in die Betrachtung einbezogen, so erreicht auf dem Grünland nur die Weide einen gewichteten Jahresdurchschnittswert von > 6,6 MJ NEL/kg, eine Größenordnung, die gegenüber dem Maisanbau konkurrenzfähig ist.

Mit zunehmender Einzeltierleistung der Milchkuh wirkt dieser energetische Futterwert zunehmend limitierend für die Auswahl des Anbausystems und damit auch für Grünlandnutzungssysteme jenseits der Weide. Der mit zunehmenden Herdengrößen zu beobachtende Übergang zur ganzjährigen Stallhaltung führt allerdings zu reinen Schnittnutzungssystemen auf dem Grünland, was wiederum Folgekosten verursacht, die in vielen ökonomischen Berechnungen fehlen: Ohne die Weideeffekte von Tritt und häufigem Verbiss sinkt die Konkurrenzfähigkeit des wertvollsten Grünlandgrases, des Deutschen Weidelgrases, erheblich und es werden (durchschnittlich alle 2,5 Jahre) zusätzliche Aufwendungen für Herbizide und Nachsaatmaßnahmen notwendig, um die Bestände bei reiner Schnittnutzung leistungsfähig zu erhalten. Scheinbar spricht bezüglich des Energieertragspotentials somit nahezu alles für den Mais. Allerdings wird Mais unter anderem aufgrund des zunehmenden Flächenanspruchs zur bioenergetischen Nutzung einerseits und des Grünlandumbruchverbotes andererseits

in etlichen Regionen zunehmend in Monokultur angebaut, womit die Probleme bezüglich einer ausgeglichenen Humusbilanz ebenso steigen wie die Probleme im Bereich der Maispathogene (Maiswurzelbohrer, Maiszünsler), so dass Mais vornehmlich in einer Fruchtfolge kultiviert werden sollte. Auch diese Option wurde im N-Projekt Karkendamm geprüft, indem in orthogonalem Versuchansatz eine vollständige Rotation mit den Fruchtfolgegliedern Weißklee-Gras – Mais- Triticale (Nutzung als Ganzpflanzensilage) über 3 Jahre und einen entsprechenden N-Düngungsgradienten abgebildet wurde mit dem Ergebnis, dass eine solche Rotation im Energieertrag der Maismonokultur nahe kommt (-15% Energieertrag im Vergleich zu Mais-Monokultur), unter anderem deshalb, weil der Mais in Fruchtfolge um etwa 15% höhere Erträge liefert als der Mais in Monokultur. Vor diesem Hintergrund sollten die Regeln der guten fachlichen Praxis (CC) dahingehend modifiziert werden, dass Silomais in Monokultur ein Ausschlusskriterium darstellt – was bisher nicht der Fall ist.

#### N-Bilanz und Nitrat-N-Austräge/Wasserschutz

In den obigen Ausführungen wurde die relative Vorzüglichkeit verschiedener Futterbausysteme bezüglich der agronomischen Leistungen gezeigt. Diese müssen jedoch verschiedene Randbedingungen erfüllen, u.a. die Einhaltung eines akzeptablen Stickstoffbilanzsalden, um die Kriterien der guten fachlichen Praxis zu erfüllen. Während in der Düngemittelanwendungsverordnung nach Abzug so genannter unvermeidbarer Verluste eine Größenordnung von +60 kg N/ha als akzeptabel gilt, hat uns die Berücksichtigung aller N-Flüsse ohne die Berücksichtigung der administrativ festgelegten "unvermeidbaren Verluste" interessiert. Darüber hinaus bestand eine zentrale Fragestellung darin, die Beziehung zwischen dem so ermittelten N-Saldo und den Nitrat-N-Austrägen über den Pfad Sickerwasser zu dokumentieren. Die Abbildung 2 zeigt die diesbezüglichen Ergebnisse für die geprüften Grünlandnutzungen und Silomais (Wachendorf et al., 2004, 2005, 2006a, 2006b) mit dem Ergebnis, dass jeweils eine hoch gesicherte und enge

Beziehung zwischen dem N-Saldo und den Nitrat-N-Austrägen abzusichern ist in der Weise, dass bei einer Überschreitung der N-Salden von ca. +50 kg N/ha eine Überschreitung der N-Frachten entsprechend dem Trinkwassergrenzwert (50ppm Nitrat) zu erwarten ist.

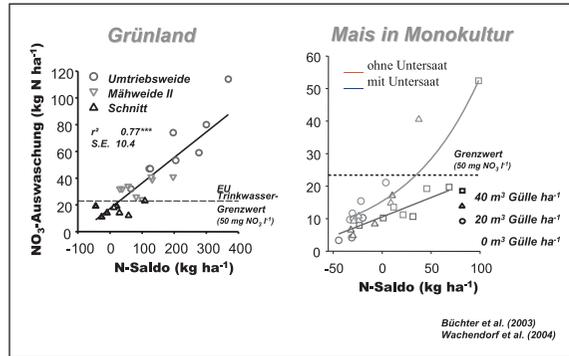


Abbildung 2: Beziehungen zwischen N-Saldo und NO<sub>3</sub>-N Auswaschung unter Grünland und Mais (Karkenkamm 1997-2001)

Die Abbildung zeigt weiterhin, dass nur reine Schnittnutzungssysteme auf dem Grünland eine Unterschreitung des Trinkwassergrenzwertes sicherstellen, während insbesondere intensive Weidesysteme als problematisch einzustufen sind. Beim Mais besteht zusätzlich die Option, durch Untersaaten von Deutschem Weidelgras zwischen die Maisreihen die Problematik der N-Verluste zu minimieren. Diese N-Austräge bezogen auf die Flächeneinheit (ha) sind im lokalen/regionalen Kontext (z.B. Wasserschutzgebiete) relevant, soll hingegen die relative Vorzüglichkeit von Landnutzungssystemen im Hinblick auf die Belastung mit Nährstoffverlusten im globalen Kontext gewürdigt werden, so sind vor allem solche Systeme überlegen, die eine geringe Belastung bezogen auf die produzierte Futtereinheit induzieren, d.h. die Produktivität des Standortes geht in die Bewertung ein und die "funktionelle Einheit", also Bezugsgröße, ist die Nitrat-N-Belastung je GJ NEL produziertes Futter von einer Fläche. Nur so können weltweit

im Vergleich von Milchproduktionssystemen die relativen Belastungen verglichen werden, also gewissermaßen die "Eutrophierungs-Fußabdrücke" je kg Milch bzw. je Energieeinheit Futter ermittelt werden. Dies dokumentiert die Abbildung 3, die die Nitrat-N-Auswaschung der geprüften Varianten je GJ NEL produziertes Futter aufzeigt. Dabei wird deutlich, dass nur die Weidenutzung mit steigender N-Düngungsintensität zusätzliche N-Belastungen der Gewässer induziert, während alle anderen Systeme nicht von der Intensität der Düngung beeinflusst werden. Besonders frappierend ist der Vergleich von Mais und Weide: eine Energieeinheit Futter von der Weide ist um den Faktor 5-6 höher mit Nitrat-N belastet, als eine solche aus Silomais bei optimaler Intensität. Leider ist jedoch bezüglich der Repräsentativität dieser Daten einzuschränken, dass Silomais in der landwirtschaftlichen Praxis häufig jenseits des Optimums mit N versorgt ist und die N-Auswaschungen dementsprechend höher anzusetzen sein dürften als im dargestellten Experiment (Azzaroli Bleken et al., 2009).

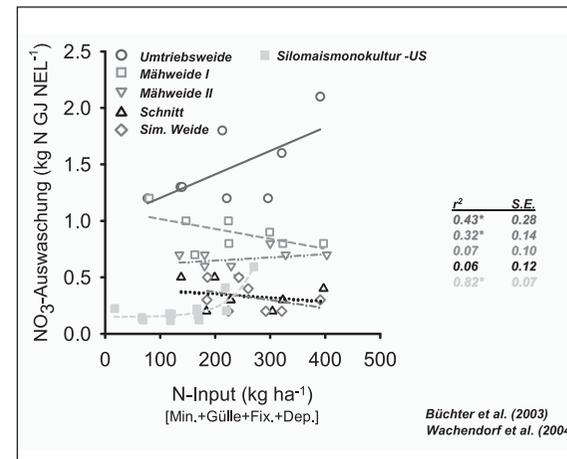


Abbildung 3: Beziehungen zwischen N-Düngungsintensität und NO<sub>3</sub>-N Auswaschung unter Grünland und Mais je produzierte Einheit Futterenergie (GJ NEL)

### **Emissionen Klima relevanter Gase /Klimaschutz**

Vor dem Hintergrund der Diskussionen um den Klimawandel rücken zunehmend auch die landwirtschaftliche Produktion und die damit verbundenen Emissionen Klima relevanter Gase in den Fokus der Diskussion. Laut Umweltbundesamt trägt die landwirtschaftliche Produktion inklusive der Landnutzungsänderungen in Deutschland etwa zu 13% zu den nationalen Emissionen bei, wobei etwa 70% auf die Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft inklusive der dazugehörigen Flächenbindung zur Futtererzeugung entfallen. Das wiederum bedeutet, dass die Futterproduktion (Grünland, Ackerfutterbau) zur Wiederkäuerernährung mit einem Flächenanspruch von durchschnittlich knapp 40% der LN in Deutschland eine erhebliche Komponente für die Emissionen darstellen kann und als wesentliches Element in den "carbon footprint" der Milchproduktion eingeht. Die Klima relevanten Gase mit jeweiligen Klimaschädigungsfaktor (in Klammern) sind: Kohlendioxid (1), Methan (24) und Lachgas (296). Während die Methanemissionen primär den Verdauungsvorgängen im Wiederkäuer zuzuordnen sind, sind die Kohlendioxid- und Lachgasemissionen vornehmlich an die Bodennutzung (pflanzliche Produktion) gekoppelt, wobei Kohlendioxid vor allem durch Landnutzungsänderungen (z.B. Grünlandumbruch) und zusätzlich auch über die so genannten betriebsbedingten Emissionen anfällt (z.B. Energieverbrauch in Form von Diesel, Düngemittelherstellung usw.). Aufgrund der sehr hohen Klimaschädlichkeit des Lachgases konzentriert sich Forschung in der Futtererzeugung vornehmlich auf diesen Bereich. Im N-Projekt Karkendamm und in einem Folgeprojekt wurden dazu verschiedene Messserien unter Grünland- und Maisnutzung durchgeführt, die sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

Aufgrund des sandigen und gut durchlüfteten Oberbodens am Standort Karkendamm ist das Niveau der Lachgasemissionen je ha vergleichsweise gering (2-4 kg N<sub>2</sub>O-N/ha), auf dem Grünland wiederum unabhängig von der N-Düngungsintensität, weil der langfristige Boden-N-Pool überwiegend zu

den aktuellen Emissionsraten beiträgt und weniger die aktuelle N-Düngungsaktivität (Lampe et al., 2006; Dittert et al., 2006). Daraus resultiert bezogen auf die Energieeinheit Futter ähnlich wie bei den Nitratbelastungen des Sickerwassers keine Beziehung zur N-Düngungsintensität. Silomais weist zwar je Flächeneinheit höhere Emissionen auf als Grünland, aufgrund der höheren Flächenproduktivität verschwinden diese Unterschiede jedoch bei Bezug auf die produzierte Einheit Futter (GJ NEL). Bezogen auf die Belastungen mit Klima relevanten Gasen kann die Futterproduktion auf den sandigen Böden Norddeutschlands damit als außerordentlich günstig eingestuft werden, während tonreiche Böden z.B. in Irland oder entwässerte Moorböden die produzierte Futtereinheit und damit auch die produzierte Milch wesentlich stärker mit Emissionen belasten.

### **Systemanalyse - Modellierung**

Um die gewonnenen Daten der Futterproduktion auf das Niveau des landwirtschaftlichen Betriebes hoch zu skalieren, wurden die Daten des N-Projektes Karkendamm für das Betriebsmodell IFSM (Integrated farming systems modelling), entwickelt vom USDA, State College, USA, kalibriert und Simulationen für verschiedene Futterproduktionsstrategien zur Milchherzeugung mit Witterungsdaten des Standortes Karkendamm über 20 Jahre durchgeführt, um die N-Emissionen (Nitratauswaschung, Ammoniakemissionen, Lachgasemissionen) je produzierte Tonne Milch abzuleiten. Dieses Modell wurde deshalb ausgewählt, weil sehr gut abgesicherte Algorithmen zur Simulation der Ammoniakemissionen (Düngerapplikation, Stall, Güllelagerung), die im Karkendamm-Projekt nicht gemessen wurden, in IFSM implementiert sind (Rotz et al., 2005).

Die Ergebnisse in Abbildung 4 zeigen, dass die Gesamt-N-Emissionen je Tonne produzierte Milch je nach Futterproduktionssystem und Milchleistung zwischen 8 und 18 kg/Tonne Milch schwanken und bei hohen Maisanteilen in der Futtermischung und ganzjähriger Stallhaltung vergleichsweise günstig ausgeprägt sind. Nicht berücksichtigt in diesem Ansatz,

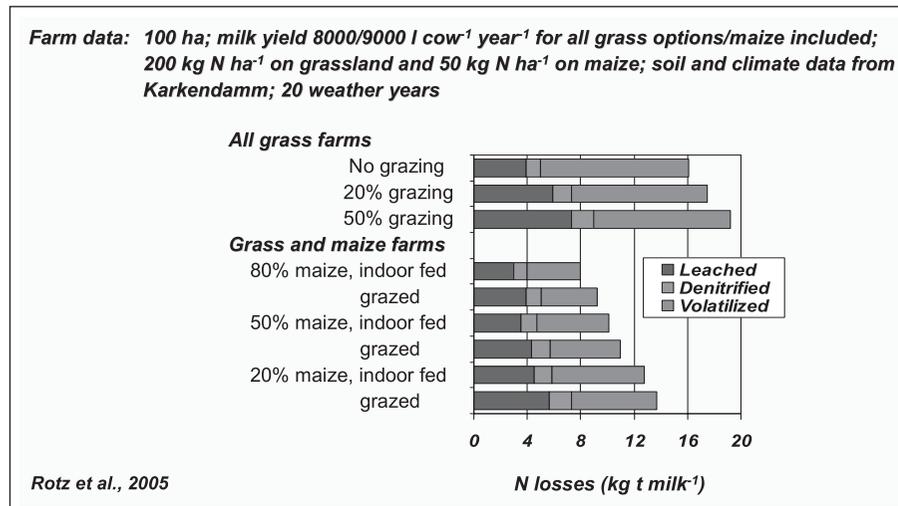


Abbildung 4: Simulation der N-Verluste je Tonne produzierte Tonne Milch mit IFSM auf Basis der experimentellen Daten des N-Projektes Karkendamm

der sich nur auf die N-Emissionen konzentrierte, sind die betriebsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und die durch Landnutzung induzierten Veränderungen des Bodenkohlenstoffhaushaltes. Während in Karkendamm die betriebsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Futterproduktionssysteme vollständig erfasst wurden (Kelm et al., 2004), die die Weide und den Silomais als günstigste Option bezüglich der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen/GJ NEL ausweisen, wurden die Bodenkohlenstoffveränderungen nicht erfasst. Diesbezüglich ist zu erwarten, dass alle Grünlandssysteme aufgrund der höheren C-Speicherpotentiale deutlich günstiger zu bewerten sind als insbesondere Maismonokulturen, die durch einen Abbau der organischen Bodensubstanz belastet sind. Diese beiden letztgenannten Aspekte machen schließlich auch deutlich, dass für die geprüften Futterproduktionssysteme bezüglich der Umwelteffekte durchaus inverse Beziehungen relevant sind, was am Vergleich Schnittnutzung – Weide deutlich wird. Während die Schnittnutzung im Hinblick auf Produktivität und Nitratbelastung der Gewässer der Weide überlegen ist, sind die betriebsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei diesem Verfahren am höchsten.

#### Forschungsbedarf

Um den Milchproduktionsstandort “Norddeutschland” und die damit verbundenen Futterproduktionssysteme im internationalen Kontext hinsichtlich der Leistungen und ökologischen Effekte einordnen zu können und dies gegebenenfalls als zusätzliches Positiv-Attribut der Milch nutzen zu können (“Ökologischer Fußabdruck der Milch”), ist es notwendig, den dargestellten Weg der Systemanalyse von Futterproduktionssystemen um weitere Landschaftsräume zu ergänzen (Marsch, Niedermoor, Hügelland), dies mit den Kompartimenten Futterkonservierung und Fütterung/Haltung zu verknüpfen und mittels dynamischer Modelle abzubilden, um so eine regionalisierte Gesamtbewertung verschiedener Futter- bzw. Milchproduktionssysteme zu ermöglichen. Dies setzt eine intensive Kooperation der Disziplinen entlang der Wertschöpfungskette Milch voraus.

Eine zentrale Bedeutung für diese Gesamtbewertung kommt aus der Perspektive des Futterbaus der Erfassung der Kohlenstoffspeicherfunktion von Grünland insbesondere in Abhängigkeit vom Grünlandalter und von der Bodenart zu. Diesbezüglich ist die Datenbasis in Deutschland sehr begrenzt. Unter-

suchungen aus den USA zeigen, dass in Abhängigkeit vom Ausmaß dieser Kohlenstoffspeicherfunktion des Grünlands der ökologische Fußabdruck verschiedener Milchproduktionssysteme nachhaltig zugunsten des Grünlands im Vergleich zum Ackerfutterbau (Mais/Luzerne) beeinflusst werden kann. Andererseits ist für sandige Böden mit geringem Kohlenstoffspeicherpotential unter Grünland die Frage zu beantworten, ob ein generelles Umbruchverbot von Grünland gerechtfertigt ist angesichts der wesentlich höheren Produktionspotentiale des Maisanbaus, wenn dieser in angemessenen Fruchtfolgen kultiviert wird.

Ebenso fehlen bisher Daten zum Einfluss des Konzentratfuttereinsatzes auf den ökologischen Fußabdruck der Milch. Bei einem Konzentratfuttereinsatz in der Größenordnung von 2,5 t/Kuh und Jahr bedeutet dies eine Flächenbindung von ca. 0,5 ha zur Erzeugung des Futtermittels, wobei alle damit verbundenen Emissionen der Produkteinheit Milch zuzuordnen sind. Insbesondere wenn es sich bei dieser Konzentratfuttermittelerzeugung, wie z. B. Soja aus Südamerika, häufig um damit verbundene Landnutzungsänderungen (Umwandlung einer naturnahen Savanne mit ausgeprägter Biodiversitäts- und Kohlenstoffspeicherfunktion) handelt, wird die Notwendigkeit solcher Messungen evident.

Daraus resultiert die Hypothese, dass auf Gunststandorten der Weidenutzung (ausreichende Wasserverfügbarkeit, hohe Anteile Deutsches Weidelgras im Bestand, Arrondierung der Betriebsflächen) ein low-input bzw. low-cost Milchproduktionssystem auf der Weide mit sehr geringem Konzentratfuttereinsatz bezüglich des ökologischen Fußabdrucks je Einheit produzierte Milch gegenüber hoch intensiven Systemen mit ganzjähriger Stallhaltung konkurrenzfähig sein kann. Dies gilt es für entsprechende Standorte zu überprüfen.

Schließlich sollte die Futterbauforschung weitere Ansätze entwickeln, um den Einsatz von "home grown proteins" zu optimieren und damit mittelfristig die möglichen Potentiale zur Substitution von Soja

auszuschöpfen. Dies betrifft insbesondere die Futterqualitätsforschung im Bereich der Futterleguminosen, wo erhebliche Potentiale gesehen werden, durch Steigerung der Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen (kondensierte Tannine, Polyphenoloxidaseaktivität) die Stickstoffverwertungseffizienz des Wiederkäuers zu steigern.

Die Fokussierung auf Futterleguminosen wie Rotklee und Luzerne erscheint darüber hinaus auch aus zwei weiteren Gründen mittelfristig als viel versprechend: Zum einen zeigen eigene Untersuchungen mit Leguminosen-Gras Anbausystemen hohe Ertrags- und Qualitätspotentiale, die in Futterbauregionen Mais dominierte Fruchtfolgen auflockern können und aufgrund der Einsparung von Stickstoffdüngern den "carbon footprint" je Energieeinheit Futter deutlich günstiger gestalten als intensiv gedüngte Grasbestände (Schmeer et al., 2010). Zum anderen sind diese Kulturarten neben dem Mais auch vor dem Hintergrund des Klimawandels mit zu erwartenden zunehmenden Trocken- und Hitzeperioden aufgrund ihrer relativ geringen Sensitivität gegen Trockenstress eine ertragssicher Alternative mit sehr guter Vorfruchtwirkung.

#### **Fazit**

Die Systemanalyse der Futterproduktion zur Milcherzeugung hat für typische humose Sandböden Norddeutschlands gezeigt, dass intensive Anbausysteme hinsichtlich der Ressourceneffizienz vergleichsweise günstig zu beurteilen sind. Sowohl bezüglich der Landnutzungseffizienz, als auch den Belastungen je energetische Futtereinheit mit Nährstoffverlusten (Nitrat im Sickerwasser) und Klima relevanten Gasen ergibt sich kein Vorteil reduzierter Produktionsintensitäten. Der Silomais wird auf diesen Standorten aufgrund seiner relativen Vorzüglichkeit auch in Zukunft eine zentrale Rolle spielen. Umso wichtiger erscheint es vor diesem Hintergrund, die Regeln der guten fachlichen Praxis dahingehend zu verschärfen, dass Silomais in Monokultur aufgrund der zu erwartenden verschärften Pathogen- und Humusproblematik deutlich stärker als bisher eingeschränkt wird.

## Danksagung

Neben den beteiligten Akteuren des N-Projektes Karkendamm sei an dieser Stelle folgenden Institutionen für die finanzielle Unterstützung des Projektes herzlich gedankt: Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.

## Literaturverzeichnis

Azzaroli Bleken, M., Herrmann, A., Haugen L.E. and F. Taube (2009): SPN: A model for the study of soil-plant nitrogen fluxes in silage maize cultivation. *European Journal of Agronomy*, 30 (4), 283-295.

Baade, J. (2005): Untersuchungen zur Futteraufnahme, Futterqualität und -selektion auf Umtriebsweiden mittels einer pflanzenbaulichen Methode. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, 39, 1-145. Bobe, J. (2005): Nitratbelastung im Sickerwasser und Grundwasser in Futterbausystemen auf sandigen Böden Norddeutschlands. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, 42, 1-90

Büchter, M. (2003). Nitratauswaschungen unter Grünland und Silomais in Monokultur auf sandigen Böden Norddeutschlands. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, CAU Kiel, 30, 1-116.

Büchter, M., Wachendorf, M., Volkens, K., and Taube, F. (2003). Silomaisanbau auf sandigen Böden Norddeutschlands: Einfluss von Untersaat, Gülle- und Mineral-N-Düngung auf den Nitrataustrag. *Pflanzenbauwissenschaften* 7, 64-74.

Dittert, K., Lampe, C., Gasche, R., Butterbach-Bahl, K., Wachendorf, M., Papen, H., Sattelmacher, B., and Taube, F. (2005): Short-term effects of single or combined application of mineral N fertilizer and cattle slurry on the fluxes of radiatively active trace gases from grassland soil. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 1665-1674.

Ingwersen, B. (2002): Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Leistungsfähigkeit von leguminosenbasiertem Dauergrünland unter besonderer Berücksichtigung der Nährstoffbilanzierung. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, CAU Kiel, 21, 1-284.

Kelm, M. (2004): Strategies for sustainable agriculture with particular regard to productivity and fossil energy use in forage production on organic arable farming. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, CAU Kiel, 34, 1-130.

Kelm, M., Wachendorf, M., Trott, H., Volkens, K., and Taube, F. (2004): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science* 59, 69-79.

Konyali, A. (2001): Effects of synchronous and asynchronous performance and efficiency nitrogen utilization of lactating dairy cows. *Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung*, CAU Kiel, 124.

Lampe, C. (2004): Effect of nitrogen fertilizer and animal excrements on N<sub>2</sub>O emissions from permanent grassland using <sup>15</sup>N-labelling. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, CAU Kiel, 37, 1-109.

Lampe, C., Dittert, K., Sattelmacher, B., Wachendorf, M., Loges, R., and Taube, F. (2006). Sources and rates of nitrous oxide emissions from grazed grassland after application of <sup>15</sup>N-labelled mineral fertilizer and slurry. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2602-2613.

Lukas, M. (2001): Fecal crude protein as an estimate of diet digestibility in cattle. *Diss. Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie*, CAU Kiel  
Nannen, D. U. (2008): N fluxes in forage production systems as studied by <sup>15</sup>N tracer and difference method. *Kiel. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 54, 1-145

Rotz, C., Taube, F., Russelle, M., Oenema, J., Sanderson, M., and Wachendorf, M. (2005). Whole-Farm Perspectives of Nutrient Flows in Grassland Agriculture. *Crop Science* 45, 2139-2159.

Schmeer, M., Dittert, K., Loges, R. und Taube, F. (2010): Einfluss von hohen Radlasten auf Lachgasemissionen im Futterbau. *Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät*, CAU Kiel, 115 (im Druck)

Storm, W.D., (2000): Quantifizierung wirtschaftlicher Effekte von Maßnahmen zur Beeinflussung der Stickstoffflüsse im spezialisierten Milchvieh-Futterbaubetrieb. *Diss. Institut für Agrarökonomie*, CAU Kiel

Trott, H. (2003): Mittelfristige Auswirkungen einer variierten Bewirtschaftungsform und N-Intensität auf Leistungsparameter und die Stickstoffbilanz von Dauergrünland. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, CAU Kiel, 28, 1-170.

Trott, H., Wachendorf, M., Ingwersen, B., and Taube, F. (2004). Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. *Grass and Forage Science* 59, 41-55.

Volkens, K. (2005): Auswirkungen einer variierten Stickstoffintensität auf Leistung und Stickstoffbilanz von Silomais in Monokultur sowie einer Ackerfütterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Norddeutschlands. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*, CAU Kiel, 40, 1 – 192

Wachendorf, M., Büchter, M., Trott, H., and Taube, F. (2004). Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass and Forage Science* 59, 56-68.

Wachendorf, C., Taube, F., and Wachendorf, M. (2005). Nitrogen leaching from <sup>15</sup>N labelled cow urine and dung applied to grassland on a sandy soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73, 89-100.

Wachendorf, M., Volkens, K., Loges, R., Rave, G., and Taube, F. (2006). Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. IV. Impact of slurry application, mineral N fertilizer and grass understorey on yield and nitrogen surplus of maize for silage. *Grass and Forage Science* 61[3], 232-242

Wachendorf, M., Büchter, M., Volkens, K., Bobe, J., Loges, R., Rave, G., and Taube, F. (2006). Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. V. Impact of grass understorey, slurry application and mineral N fertilizer on nitrate leaching under maize for silage. *Grass and Forage Science* 61[3], 243-252.

## Diskussion



ZEHETMEIER, WEIHENSTEPHAN

Ich hätte zwei Fragen. Die erste. Sie haben schon das Kraftfutter angesprochen. Sie sagten, sie versuchen auch, das System der Milchviehhaltung abzubilden und meine Frage wäre jetzt: Wie gehen sie mit der Gülle um im Vergleich dazu, wenn jetzt das Kraftfutter in den Betrieb importiert wird oder wenn sie im Betrieb, das gibt es ja auch, dass es selbst angebaut wird als Fruchtfolge für den Mais. Dann habe ich eine andere Situation. Man kann es ja über den Stickstoff wieder zurückbringen zum Teil auf die Felder. Wenn ich jetzt das Kraftfutter zukaufe, dann muss ich es auf der Fläche, die ich habe, verteilen. Wie geht man dann modellmäßig mit dem Problem um? Es spielt ja auch bei den Klimagasen eine Rolle, weil dann natürlich das Kraftfutter mit höheren Klimagasen belastet ist als bei nur mineralischem Stickstoff, der ja energieintensiv erzeugt werden muss. Die zweite Frage wäre zur Weide. Sie haben gesagt, dass klimamäßig die Weide hier besser oder günstiger wäre und IPCC gibt ja da einen sehr hohen Faktor vor für die Ausgasungen von Lachgas, von Gülle oder von Exkrementen auf der Weide, der ist 2 % und der andere ist 1 % und das macht ja Riesenunterschiede. Wie sehen sie das?

ANTWORT

Vielleicht das Zweite zu erst. Diese IPCC-Zahlen sind ja aus der Luft gegriffen. Da steht kaum ein seriöses Datenmaterial dahinter. Das muss man so deutlich sagen. De facto ist es so, dass es viele

Messungen z.B. in Neuseeland, Australien gab, die sich dieser Problematik gewidmet haben. Da ist tatsächlich die  $N_2O$ -Emission vergleichsweise gering bei der Weidennutzung. Natürlich in Abhängigkeit vom Standort. Ich habe das hier primär auf Sandböden gezeigt, es gibt natürlich auf schwereren Böden, auch die Trittbelastung und die relative Bodenverdichtung nimmt zu. Man kann nicht sagen, dass grundsätzlich die Weide entsprechend höhere Werte liefert. Das würde ich ausschließen.

Bei der Güllendüngung kommt es sehr stark auf die tatsächlich angewandte Technologie an. Es ist ja vom Gesetzgeber untersagt, dass man eine breitflächige Gülleapplikation durchführt, um Ammoniakemission zu vermeiden. Dazu gibt es Alternativen bis zum Extrem der Gülleinjektion in den Boden. Das ist a) sehr energieaufwendig. Sie reduzieren damit die Emission auf Null und die  $N_2O$ -Emissionen schießen in die Höhe. Warum? Sie bringen in einen kleinen Boden Körper Gülle, da ist Kohlenstoff drin, da ist Nitrat drin, da sind reduzierende Verhältnisse, gerade bei feuchten Bedingungen, das heißt die  $N_2O$ -Emissionen explodieren regelrecht. Das ist also auch nicht die Lösung. Von daher hängt das sehr stark von der tatsächlich Technologie der Gülleausbringung ab, das heißt letztendlich bodennahe Applikation auf dem Acker mit Steppschlauch oder mit Steppschuh auf dem Grünland und nicht Injektion auf jeden Fall, weil dann die  $N_2O$ -Emissionen hier deutlich ansteigen.

Zur ersten Frage. Wenn ein Betrieb selbst Kraftfut-

ter erzeugt, dann hat das ja nur zur Folge, dass innerhalb dieser Betriebsfläche die Emissionen auftreten. Natürlich hat man dann nicht mehr die energetischen Aufwendungen für die Produktion von Mineraldünger. Wenn man die Gülle entsprechend einsetzt, man muss dann letzten Endes „nur“ die Emission, die durch die Gülleapplikation im Einzelfall auftreten, mit berücksichtigen. Alles andere, gerade in Bezug auf Sojaimport, ist ein riesenweites Feld. Ich habe mit mehreren Kollegen in den letzten Wochen Kontakt gehabt, gerade wegen dieser Problematik. Da sind so viele Einflussfaktoren. Sie haben eine Folie gesehen – Umwandlung von Savanne in Produktion von Soja – Freisetzung von 15 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Da ist sicherlich richtig, aber es kommt ja immer auf den Benchmark an, den man dann tatsächlich setzt. Die Savannen sind erst einmal sehr extensiv bewirtschaftet worden, weil die Landwirte de facto kein Geld haben, um Dünger zu kaufen, um es einmal ganz einfach auszudrücken. Das ist dort die Situation. Wenn man dies optimiert in Bezug auf die Nährstoffversorgung haben wir noch ein wesentlich höheres Kohlenstoffspeichervermögen. Das ist die eine Seite. Was man jetzt tut, ist dass die im großen Stiel zur Erzeugung von Futter für Europa umnutzt. Wenn man das umbricht, dann hat man natürlich genau diese Emissionen. Es gibt inzwischen Untersuchungen, dass GMO-Soja mit Minimalbodenbearbeitung, gerade zu einer massiven Reduktion dieser Emission geführt hat. Dadurch, dass keine Bodenbearbeitung in der Intensität mehr durchgeführt worden ist. Da hat man zwar noch erhöhte N<sub>2</sub>O-Emissionen, aber im Vergleich zur vorherigen Situation, wird durch Energieaufwand und die Kohlenstoffspeicherung im Boden durch die Minimalbodenbearbeitung sich das Bild dramatisch verändern, das heißt, da kann man im Prinzip nur wirklich von Fall zu Fall vorgehen, um da eine seriöse Abschätzung vorzunehmen. Da muss man mit Sensitivitätsanalysen arbeiten, um dann die Szenarien abwägen zu können.

WITTKOWSKI, GRUB

Herr Taube. Können sie etwas sagen zu den Weide-

pflfemaßnahmen. Kann ich da die Nitrat- und Stickstoffbelastung des Grundwassers senken, also wenn ich jetzt die Kuhfladen verteile oder wenn ich die alten klassischen Mischweidesysteme mit mehreren Tierarten mache und das gleichmäßig verteile, könnte ich mir dort noch erhebliche Optimierungspotentiale in dieser Richtung überlegen.

ANTWORT

Wir haben in dem Versuchsansatz im Karkendamm-Projekt, als wir das planen, festgelegt, wir werden alles tun, um der Grünlandbewirtschaftung, gerade auch um die Potentiale aufzuzeigen im Sinne eines optimalen Managements der Bestände. Das heißt, wir haben nach jedem Weidezyklus nachgemäht, gemulcht, wir mussten dann auf diesen Sandböden, bei diesem Low-input-System zwei-, dreimal mit Herbiziden eingreifen, weil die Bestände sonst extrem degradiert wären in Richtung Löwenzahn, in den geringen Intensitäten, nicht in den hohen und entsprechende Nachsaaten durchführen. Von daher haben wir da schon alles gemacht. Das Problem ist einfach der Aspekt der punktuellen Belastung, gerade in den Spätsommern aufwachsen. Man kann jetzt zwischen jedem Weidezyklus gewissermaßen sehen. Sandige Substrate, die haben kein Generierungspotential im Unterboden. Das ist hier auch ein erhebliches Problem und wir haben das auch überprüft mit den Nitratkonzentrationen an der Saugkerze und dem oberflächennahen Grundwasser, das sind fast identische Werte, d. h., das läuft durch diesen Sandkörper hindurch bis ins Grundwasser. Und da muss man natürlich sehr stark differenzieren von Standort zu Standort, vor allen Dingen auch von den klimatischen Situationen im Winter. Wir haben sicherlich mehr Frosttage als im Norden, auch die Wassermengen können durchaus einiges verändern. Aber in Bezug auf die Optimierung des Projektes haben wir eigentlich alles gemacht.

SUSENBETH, KIEL

Eine Frage zu den Grünlandssystemen. Du hast sehr schön dargestellt, dass durch einen höheren Le-

guminosenanteil positive Effekte da sind, Stickstoffproduktion und der Energieaufwand und dann auch die Art der Stickstoffbindung, dass weniger Lachgas nebenbei entsteht. Die Frage ist natürlich, wenn so ein Grünlandbestand, ich habe die Zahl noch richtig in Erinnerung hoffentlich 200 bis 300 kg N pro Jahr fixiert, dann ist es ja zunächst mal schön, aber wie sieht es mit der Nachhaltigkeit aus, wenn das 10 - 20 Jahre läuft. Kann sich dieser Stickstoff nicht anhäufen, er wird irgendwann mal unter irgendwelchen Bedingungen freigesetzt werden. Das hat Nitrat, das hat vielleicht auch Lachgas zur Folge. Wie sieht es mit einer Nachhaltigkeitsbetrachtung dieser hohen Stickstoffkombinationen aus?

ANTWORT

Vielen Dank für die Frage, weil ich damit noch die Möglichkeit habe, noch etwas klar zu stellen, was ich gerade nicht deutlich genug gesagt habe.

Diese Endfixierung von 300 kg, die ich hier angeführt habe, das war Ackerfutterbau bzw. Wechselgrünland, d. h., das ist ein dreijähriger Versuch gewesen mit Luzerne. Luzerne werden wir in der Regel auf dem Dauergrünland nicht haben. Es gibt zwar da auch einige Ansätze mit Weideluzerne, die sich aber bei Intensivweidesystem nicht hält. Das bedeutet, auf dem Dauergrünland reden wir von ganz anderen Zahlen. Da liegt es in einer Größenordnung von etwa 100 bis 150 kg N, wenn es ganz gut geht vielleicht 200. Und auf dem Dauergrünland haben wir damit ja auch immer wesentlich geringere Leguminosenanteile, im Idealfall streben wir 30 - 35 % im Durchschnitt des Jahres an. Dann haben wir eine Situation, dass die fixierten N-Mengen da relativ schnell wieder frei werden und dann haben wir einen Transferstickstoff, das bedeutet, dass dieser freigesetzte Stickstoff vom Partner der Leguminosen, nämlich von den Gräsern, aufgenommen wird. Das heißt wir haben am Ende der Vegetationsperiode dann auch durch abnehmende Temperaturen eine abnehmende Infizierungsleistung und dann zu Vegetationsende, eigentlich, wenn man die N-Min-Untersuchung durchführen würde, wie hoch ist der Anteil an mineralisiertem Stickstoff, zu

Vegetationsende dann sind da eigentlich keine Unterschiede mehr, d. h., das System ist nachhaltig.

SCHENKEL, HOHENHEIM

Zwei kurze Fragen, noch mal zurück zu diesen Rahmenrichtlinien. Es sind gezeigt 50 kg Saldo bringt schon die Grundwasserwerte zum wackeln. Nun steht ja in der Düngemittelverordnung 51 kg Saldo. Das sind aber zwei Paar Stiefel. Ich glaube, das sollte man klar herausstellen, dass da ein deutlicher Unterschied ist. Ich nehme an, dass bei dir der Saldo, den du dargestellt hast, nur eine Flächenbilanz war oder? In der Düngerverordnung steht natürlich etwas anderes dahinter. Das sollte man glaube ich, um politischen Wirrnissen vorzubeugen, noch mal klar stellen. Andere kurze Frage. Ihr sprecht euch aus für Wechselgrünlandnutzung. Hast du eine Idee? Du hast bloß gesagt, die Fruchtfolgen sollten dann vorgeschrieben werden. Wie fängt man den enormen Mineralisationspeak nach dem Grünlandumbruch dann ab, damit ich nicht einen Teil dieses Stickstoff im Grundwasser wieder finde?

ANTWORT

Die letzte Frage wieder zu erst. Wir haben diesen Vorschlag, den ich da gemacht habe, natürlich vorher abgesichert. Wir haben gerade auf diesen Sandstandorten die Situation, dass wir es mit einem ganz kurzfristigen Mineralisierungsschub zu tun haben. Das heißt, wir haben jeweils im ersten Winter nach dem Umbruch deutlich erhöhte Peaks an Nitratkonzentration. Danach sind die weg. Die hat man, das ist richtig. Nur dann muss man sich immer vor Augen führen, dass, wenn wir da N-Auswaschung-Frachten in der Größenordnung von 80 bis 90 kg haben die einmal auftreten, wir aber auch vereinzelt diese Werte beim Raps, und da regt sich keiner auf, dann muss man das im Verhältnis sehen. Wenn wir hinterher dann erhöhte Produktivität haben und reduzierte Austräge, dann ist das durchaus eine Option. Wir haben in der Fruchtfolge außerdem gesagt, wenn wir dann Gras dann nur ein- oder zweijährig nutzen, dann habe ich auch ganz andere Optionen mit den Herbstaufwüch-

sen. Wenn ich sie nicht mehr brauche, weil ich in der Hochleistungsfütterung den vierten Aufwuchs nicht mehr verwerten kann, dann lasse ich ihn einfach stehen über Winter und nutze ihn als Vorfrucht-N, zum Beispiel für den nachfolgenden Mais. Das haben wir getan. Wir haben die N-Austräge auf ein Minimum runtergedrückt, obwohl vorher geweidet worden war, war der letzte Aufwuchs als sogenannte Catchgröbstand und den gesamten Stickstoff gesammelt hat und wir brauchten im nächsten Jahr zu Mais nicht ein Kilogramm zusätzlichen Stickstoff. Wir haben den Maximalertrag nur mit den pflanzlichen Reserven der Vorfrucht erreicht. Da gibt es erhebliche Optionen. Ich bedanke mich für die Frage zur Düngeverordnung. Natürlich sind das nicht Zahlen, die 1 : 1 über die Düngeverordnung zu übertragen sind, sondern wir haben hier natürlich sämtliche Flüsse erfasst, inklusive den Mulchstickstoff, der ja mit ins System rein gegangen ist. Wir haben dann mit der Formel für Jungvieh auch die Retention von Stickstoff gemessen bzw. die N-Ausscheidung in Abhängigkeit vom Besatz und damit haben wir eine komplette Bilanzierung auf der Fläche inklusive der Tiere mit gehabt. Düngeverordnung, das ist ja inzwischen so, wenn ich das mal so ein bisschen sarkastisch sagen darf. Man hat beim Ausfüllen der Formulare für die Düngeverordnung im Augenblick als Milchviehfutterbaubetrieb mehr Möglichkeiten im dem Programm als ein reiner Ackerbaubetrieb. Wir haben dies überprüft in einem Projekt: KOMPASS steht auch im Internet, obwohl wir 32 Betriebe in Schleswig-Holstein auf Nährstoffbilanzen überprüft haben und dann tatsächlich einmal brutto und nach wirklich wissenschaftlich seriösen Ansätzen Nettobilanzen gerechnet haben. Das weicht dann doch erheblich von den tatsächlich eingetragenen Daten ab. Diese Zahlen in der Düngeverordnung sind meines Erachtens nicht wohl durchdacht. Die ganze Düngeverordnung, auch in Bezug auf die Gülleapplikation halte ich nicht für korrekt, wie man dort mit Grünland umgeht und mit Mais, beim Mais vollkommen klar die 170 kg N und beim Gründland halte ich dies für nicht angemessen, weil die Landwirte aufgrund von Flächenknappheit dann

zusätzlich Dünger kaufen und das ist vollkommen unsinnig, auch in einer ökosystematischen Betrachtung und da ist noch einiges zu tun.

JANKNECHT, WAHLSTEDT

Wie hoch würden sie das Potential einschätzen, wenn sie am Anfang gezeigt haben, wieviel Gesamtenergie sie praktisch bei entsprechenden Düngeungsstufen pro Hektar geerntet haben, bei bis zu vier Schnitten, wir haben ja in Wahlstedt einen vergleichbaren Standort und sehe da einen deutlich höheren Jahresschnitt über gewogene Mengen, vielleicht wegen „besserer“ Sorten. Wie groß würden sie das Potential einschätzen?

ANTWORT

Diese Flächen in Karkendamm haben 20 oder 25 Bodenpunkte. Da ist ein Tiefumbruch gewesen, auf dem Betrieb wurde 1978 in großes Areal tief umgebrochen. Wir haben inzwischen auch den zweiten Datensatz, der sich aber nicht wesentlich davon unterscheidet. Wenn man das in Trockenmasse ausdrückt, kommen wir kaum über 8 - 9 t hinaus. Das ist in etwa das, was dort realistisch ist. Und das macht auch wieder deutlich. Von daher danke ich für die Frage, dass man das immer sehr standortabhängig betrachten muss. Wir brauchen nur in Schleswig-Holstein in die Marsch zu gehen, da ist das Gras dem Mais überlegen. Gar keine Frage und da gehört das Gras hin. Da ernten wir 13 t Gras, weil kein Wassermangel da ist. Ich glaube es lag nicht an Sorten, wir haben aktuelle Sorten, aktuelle Mischungen da eingesetzt und wir haben das auch mit entsprechenden Sortenversuchen überprüft, da ist die Variation vergleichsweise gering.

# Entwicklungsperspektiven für Milchviehbetriebe



## 1 Einleitung

Mit der Liberalisierung des EU-Milchmarktes und der bevorstehenden Abschaffung der Milchquote ändern sich die Rahmenbedingungen für die Milcherzeugung in Europa grundlegend. Eine der Folgen ist ein zunehmender Wettbewerb um Absatzmärkte zwischen Regionen, die Kostenvorteile in der Milchproduktion aufweisen. Gleichzeitig verschärft sich wegen des starken Ausbaus der Bioenergieproduktion der Wettbewerb um die benötigten Produktionsfaktoren. Besonders auf dem Pachtmarkt ist die Konkurrenzfähigkeit der Milchviehhalter nur noch bei hohen Bodenrenten gewährleistet (KREINS & GÖMANN 2008). Für den Milchsektor ist es daher von großer Bedeutung, Rationalisierungsreserven zu mobilisieren. Ziel dieses Beitrags ist es, die wichtigsten Stellschrauben für die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung zu identifizieren und deren Einfluss auf Produktionskosten und Unternehmergewinn zu quantifizieren. Des Weiteren sollen aus der Gesamtschau der wichtigsten Stellgrößen Entwicklungsstrategien für einen typischen nordwestdeutschen Milchviehbetrieb mit 90 Kühen entwickelt werden. Diese Entwicklungsstrategien werden anschließend herangezogen, um Zielbetriebstypen der Zukunft zu definieren. Diese Zielbetriebstypen werden dann hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Nachhaltigkeit analysiert. Damit sollen Wege für die strategische Unternehmensentwicklungen aufgezeigt werden. Der Beitrag beginnt mit einer Status-quo-Analyse eines 90-Kuh-Familienbetriebes, wie er für die Milchpro-

duktion in der norddeutschen Tiefebene typisch ist. Als methodischer Ansatz dient die Vollkostenanalyse. Mit dem IFCN-Konzept typischer Betriebe wird für die Region ein typischer Betrieb erarbeitet und auf seine Kosten- und Leistungsstruktur hin im Detail analysiert. Die Wettbewerbsfähigkeit dieses Betriebes wird dadurch überprüft, dass ihm typische Betriebe aus anderen Regionen Deutschlands und dem benachbarten EU-Ausland gegenüber gestellt werden. So werden die spezifischen Stärken und Schwächen des typischen Betriebs Nordwestdeutschlands aufgezeigt. Im dritten Abschnitt werden verschiedene Entwicklungsszenarien für den Beispielbetrieb entwickelt und in ihren Einfluss auf Produktionskosten und Unternehmergewinn untersucht. Im vierten Abschnitt werden aus den einzelnen Szenarien Zielbetriebstypen modelliert, die anschließend betriebswirtschaftlich analysiert werden. Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

## 2 Status-Quo-Analyse des typischen nordwestdeutschen Milchviehbetriebes

Das Kernelement der folgenden Kapitel bildet die Produktionskostenanalyse nach der Methodik des IFCN. Diese ist speziell für die Analyse der Vollkosten der Milchproduktion entwickelt worden. Grundlage hierfür ist das auf Microsoft Excel basierende Kalkulationsmodell TIPI-CAL 5.0 (Technology Impact and Policy Impact Calculation Model) (HEMME 2000). Modelliert wird ein 90-Kuh-Familienbetrieb, wie er für die Milcherzeugung in der norddeutschen

Küstenregion charakteristisch ist. Es handelt sich um einen Betrieb durchschnittlicher Größe, Struktur und Leistung. Die Generierung des Betriebes DE-90N erfolgte im Rahmen von Experten-Panels und in Anlehnung an die Vollkostenauswertungen der Rinderspezialberatungsringe Schleswig-Holsteins aus dem Jahr 2008 (LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN 2008).

Der Betrieb DE-90N ist ein Familienbetrieb mit 3,3 AK (davon 1,5 Familien-AK), der 90 Kühe hält. Das Jungvieh wird selbst aufgezogen. Die im Betrieb geborenen männlichen Kälber werden aufgezogen und gemästet. Der Betrieb bewirtschaftet 95ha LF, die sich in 50ha Ackerland und 45ha Grünland aufteilen. 52% des Ackerlandes wird zur Grundfutterproduktion für die Kühe inklusive Nachzucht genutzt, 10% zur Silomaisproduktion für die Bullen und die restlichen 38% werden mit Roggen bestellt. Die Rechtsform ist das Einzelunternehmen. Das Ertragsniveau wird mit 6 t/ha Getreide und 10 t TM je Hektar Grünland vergleichsweise niedrig angesetzt, da der Betrieb annahmegemäß an einem Geeststandort wirtschaftet. Die durchschnittlich gezahlten Pachtpreise liegen bei 300€ für Grünland und bei 350€ für Ackerland. Die 1,8 Fremd-AK sind Auszubildende oder Niedriglohnkräfte. Für sie wurde ein Personalaufwand von 10.000€/Jahr angesetzt (vgl. SCHULTE-BORIES 2009). Zur Ermittlung der Opportunitätskosten der Arbeit wurde für die Familienarbeitskräfte ein kalkulatorischer Stundenlohn von 14€ veranschlagt. Die Milchleistung im typischen 90-Kuh-Betrieb beträgt 8.500kg bei 4,23% Fett und 3,42% Eiweiß. Dem Betrieb stehen 689 t Milchquote zur Verfügung, von denen 55 t gepachtet sind. Die Kosten für den Kauf bzw. die Pacht von Quote sind mit 0,35€/kg bzw. 0,08€/kg angesetzt. Für die Milch erhielt der Betrieb laut Experten-Panel einen Bruttomilchpreis (inkl. MwSt.) von 38 Euro/100kg im Schnitt des Jahres 2008. Nach Abzug der Mehrwertsteuer und dem Bonus für erhöhte Inhaltsstoffgehalte ergibt sich ein Grundausschlagungspreis von 33,08 Euro/100kg ECM. Abbildung 1 zeigt die Kosten- und Erlösstruktur des Betriebes DE-90N bei schlechtem, mittlerem und

überdurchschnittlichem Management. Die Bezugsgröße ist stets Euro/100kg ECM.

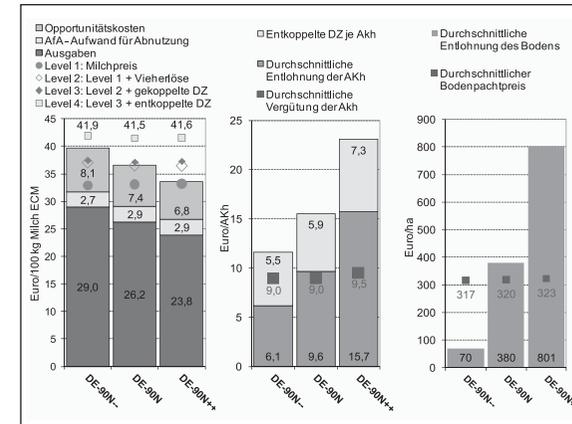


Abbildung 1: Rentabilität der Milchproduktion im Betrieb DE-90N bei unterschiedlicher Managementqualität (-- unterdurchschnittlich, ++ überdurchschnittlich) im Jahr 2008

Die linke Grafik stellt die Kosten der Milchproduktion dem Milcherlös gegenüber. Den ersten Kostenblock bilden die pagatorischen Direktkosten und anteiligen Gemeinkosten der Milcherzeugung, entnommen aus der Gewinn- und Verlustrechnung (GuV), abzüglich der Erlöse von Nebenprodukten und der gekoppelten Direktzahlungen. Der zweite Kostenblock stellt die Opportunitätskosten der Milcherzeugung (d.h. kalkulatorische Entlohnungsansätze für die betriebseigenen Produktionsfaktoren Arbeit, Fläche und Kapital) dar. Abschreibungen für Maschinen und Gebäude werden gesondert ausgewiesen. Sie machen knapp 3 Cent je kg Milch aus. Die mittlere und rechte Grafik der Abbildung 1 stellen die Verwertung der Produktionsfaktoren Arbeit und Fläche den jeweils gezahlten Löhnen bzw. Pachten gegenüber. Es zeigt sich, dass der schlecht geführte Betrieb trotz der vergleichsweise hohen Milchpreise des Jahres 2008 auf dem Pachtmarkt nicht wettbewerbsfähig war.

Um die Wettbewerbsfähigkeit des Betriebes DE-90N national und international einordnen zu können,

wurden die Produktionskosten dieses Betriebes denen anderer Betriebe gegenübergestellt. Abbildung 2 zeigt den Vergleich mit zwei größeren Betrieben Norddeutschlands (DE-120N, DE-240N), drei sächsischen Milchviehbetrieben (Endung SN) und zwei bayerischen Betrieben (Endung BY), allesamt Modellbetriebe des IFCN-Netzwerkes bei Annahme einer durchschnittlichen Managementqualität. Die Abbildung verdeutlicht, dass der norddeutsche 90-Kuh-Betrieb im Vergleich zu den beiden größeren norddeutschen Betrieben nur unwesentlich höhere Produktionskosten hat, jedoch deutliche Produktionskostenvorteile gegenüber den bayerischen Betrieben aufweist. Auch gegenüber den sächsischen Betrieben bestehen leichte Produktionskostenvorteile. Selbst der LPG-Nachfolgebetrieb mit 1150 Kühen produziert die Milch zu leicht höheren Kosten als DE-90N.

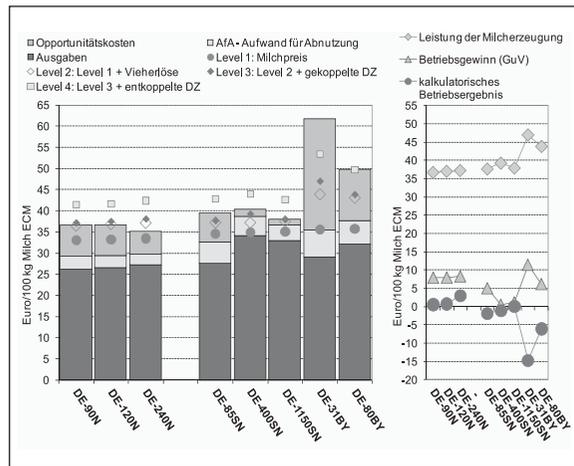


Abbildung 2: Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion in verschiedenen Produktionsregionen Deutschlands im Jahr 2008

Die Abbildung 3 zeigt den Vergleich der Produktionskosten zwischen ausgewählten typischen Betrieben Europas. Auch diese Betriebe sind dem IFCN-Netzwerk entnommen. Der typische 90-

Kuh-Betrieb Norddeutschlands liegt im Mittelfeld der untersuchten Betriebe. Er produziert die Milch zu höheren Kosten als der 235-Kuh-Betrieb im Südwesten Großbritanniens, der irische 110-Kuh-Betrieb und der polnische 65-Kuh-Betrieb. Gegenüber allen anderen untersuchten Betrieben liegt er zum Teil mit deutlichem Abstand im Vorteil.

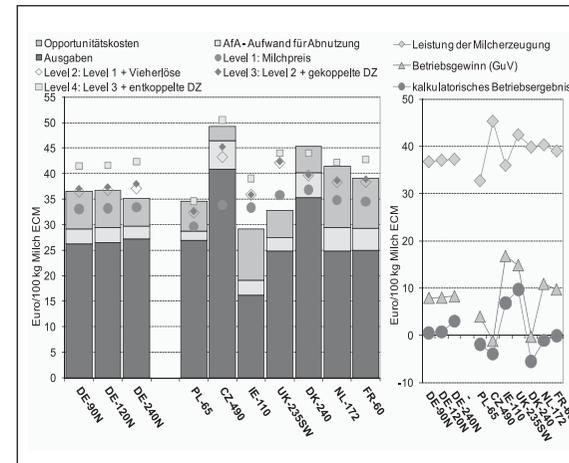


Abbildung 3: Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion in verschiedenen Produktionsregionen der Europäischen Union im Jahr 2008

Damit lässt sich als Zwischenfazit festhalten, dass die Wettbewerbsfähigkeit des typischen 90-Kuh-Betrieb Norddeutschlands innerhalb Deutschlands und der EU gegeben ist.

### 3 Entwicklungsstrategien für den typischen nordwestdeutschen Milchviehbetrieb

Die untersuchten Entwicklungsstrategien werden in drei Kategorien unterteilt: (1) Managementmaßnahmen, (2) Umstrukturierungsmaßnahmen und (3) Wachstumsmaßnahmen. Für die betriebswirtschaftliche Analyse der Entwicklungsstrategien gelten die folgenden Annahmen:

- Betrachtungszeitpunkt 2015 (also nach Ende der Quotenregelung)
- Grundauszahlungspreis 27,8 ct/kg FCM (ohne MwSt.)
- Betriebsmittelpreise steigen um 3% p.a.
- Wachstumsinvestitionen in Gebäude und Maschinen werden fremdfinanziert, Viehbestandswachstum aus eigenen Mitteln
- Entkoppelte Direktzahlungen 359 €/ha
- Mengenrabatt bei Kraftfutter und Dünger nach Wachstum

Tabelle 1 zeigt den Einfluss verschiedener **Managementmaßnahmen** auf den Unternehmergewinn je 100 kg FCM sowie die Steigerung des Unternehmergewinns je Kuh und Jahr. Es zeigt sich, dass ein verbessertes Management mit zwei Ausnahmen keine wesentliche Gewinnsteigerung erwarten lässt. Lediglich drei Maßnahmen führen zu spürbaren Gewinnsteigerungen: eine Milchleistungssteigerung um 1000 kg je Kuh und Jahr und die Anwendung der Leistungsparameter der 25% besten Betriebe aus der Rinderspezialberatung sowie der Spitzenbetriebe der DLG (Top insgesamt).

Parameter der Herdenleistung	Auswirkungen	
	Unternehmergewinn pro 100kg ECM	Unternehmergewinnsteigerung je Kuh und Jahr
Referenzbetrieb (DE-90N, 2015)	- 1,67 €	0
-6% Reproduktionsrate	-1,34 €	28,05 €
-12% Reproduktionsrate	-1,02 €	55,69 €
-3% Kälberverluste	-1,46 €	17,41 €
-5% Kälberverluste	-1,33 €	29,09 €
-5 Tage Zwischenkalbezeit	-1,60 €	5,49 €
-15 Tage Zwischenkalbezeit	-1,42 €	21,20 €
-1,5 Monate Erstkalbealter	-1,52 €	12,63 €
-4,5 Monate Erstkalbealter	-1,33 €	29,14 €
+1000kg Milchleistung	0,81 €	223,85 €
25% Beste insgesamt	1,47 €	287,34 €
Top insgesamt	2,20 €	358,97 €

Tabelle 1: Wirtschaftlichkeit ausgewählter Managementmaßnahmen (Betrachtungszeitpunkt 2015)

Abbildung 4 zeigt die Wirtschaftlichkeit ausgewählter **Umstrukturierungsmaßnahmen**. Dort sind die Vollkosten der Milchproduktion den gesamten Erlösen gegenübergestellt. Der erste Balken stellt die Referenzsituation dar, anhand der die folgenden Umstrukturierungsszenarien bewertet werden. Im zweiten Szenario wurden die laktierenden Kühe in zwei Leistungsgruppen unterteilt. Dadurch ist eine besser an die Leistung angepasste Versorgung der Kühe möglich. Somit ist es möglich, ohne höhere Futterkosten eine Milchleistungssteigerung (+ 250 kg/Kuh und Jahr) zu erreichen. Im dritten und vierten Szenario wurde der Betriebszweig der Bullenmast eingestellt. Bei durchschnittlich 18 Monaten Mastdauer und 42 geborenen Bullenkälbern im Jahr waren 63 Mastplätze erforderlich, die nun durch 30 Kuhplätze ersetzt werden. Im dritten Szenario erfolgt dies ohne weitere Kosten, wohingegen im vierten Umbaukosten von 500 /Platz berücksichtigt werden. Die zusätzlich erforderliche Futterbaufläche wird durch eine Einschränkung des Roggenanbaus auf 15ha bereitgestellt. Durch die Einstellung der Bullenmast werden 7,5 AKh/Mastplatz bzw. 525 AKh insgesamt jährlich freigesetzt, allerdings werden je Kuhplatz bei der aktuellen Betriebsorganisation 60 AKh benötigt. Damit entsteht ein Defizit von 1.275 AKh jährlich, welches durch 0,6 neu einzustellende Arbeitskräfte zu decken ist. Insgesamt kann durch diese Umstrukturierungsmaßnahme das kalkulatorische Betriebszweigergebnis in der Milchproduktion auf 2,05 bzw. 1,86 €/100kg ECM gesteigert werden. In den nächsten beiden Szenarien wurde nicht die Bullenmast eingestellt, sondern die Jungviehaufzucht ausgelagert. Alle weiblichen Kälber werden kurz nach der Geburt verkauft und als tragende Färsen kurz vor der Kalbung zurückerworben. Dieser Vorgang führt zu den in Abbildung 4 ersichtlichen höheren Ausgaben gegenüber den beiden vorherigen Szenarien. Die ehemals 90 Jungtierplätze werden zu 45 Kuhplätzen umfunktioniert und zwar im fünften Szenario ohne und im sechsten mit Umbaukosten von 500 /Platz. Ein Viertel der 2,8 in der Milchproduktion beschäftigten Arbeitskräfte war bisher in der Jungviehaufzucht

beschäftigt. Diese 0,7 AK reichen jedoch nicht ganz aus, um den zusätzlichen Arbeitsaufwand für 45 weitere Kühe zu decken, so dass 0,35 AK neu eingestellt werden müssen. Zur Grundfutterproduktion wird ein Großteil des Weidelandes in die intensivere Schnittnutzung überführt. Des Weiteren wird der Roggenanbau um 6 ha für die Silomaisproduktion eingeschränkt. In diesen Szenarien wird mit der Milchproduktion bei Vollkosten von 30,9 bzw. 30,6 €/100kg ECM ein Unternehmervorgewinn von 1,69 € bzw. 1,44 €/100kg ECM erwirtschaftet. Im siebten Szenario wird der Marktfruchtbau eingestellt. Die nicht für den Futterbau benötigten Flächen werden nicht mehr gepachtet. Stroh muss dann zugekauft werden. Die freiwerdenden Arbeitskraftkapazitäten (~0,2 AK) werden in der Milchproduktion für eine intensivere Betreuung der Tiere eingesetzt. Es wird angenommen, dass dadurch eine Leistungssteigerung von 5 % sowie eine Verringerung der Tierarzt- und Besamungskosten um 5 % erreicht werden. Auch der Anteil der Tiere, die gemerzt werden oder sterben, sinkt um insgesamt 5 %. Das kalkulatorische Betriebsergebnis kann auf -0,23 /100kg ECM verbessert werden. Dieses spiegelt sich auch in dem um 17.645 € gesteigerten kalkulatorischen Gesamtbetriebsergebnis (incl. DZ) wider. In Szenario acht wurden sämtliche Feldarbeiten an einen Lohnbetrieb vergeben. Für diese Arbeiten wurden bisher 25 % aller Arbeitskräfte des Betriebes benötigt. 5 % werden nun zusätzlich im Herdenmanagement eingesetzt, woraus die gleichen angenommenen Leistungssteigerungen wie im vorherigen Szenario hervorgehen. Die anderen 20 % können ebenso wie Aufwendungen für Diesel und Maschinen eingespart werden. Die Kosten für die Lohnarbeiten belaufen sich auf durchschnittlich 473 /ha bzw. insgesamt 45.000€ (KTBL S.119ff). Mit 31,8 €/100kg ECM Vollkosten in der Milchproduktion wird bei dieser Betriebsorganisation ein Unternehmervorgewinn von 0,5 €/100kg ECM erzielt. In den nächsten beiden Szenarien wurden Investitionen in eine Automatisierung von Arbeitsabläufen getätigt. Zum einen handelt es sich hierbei um ein AMS und zum anderen um ein automatisches Fütterungssys-

tem. Das AMS verursacht Maschinenkosten von 135.000 € und 15.000 € Gebäudekosten und hat eine geschätzte Nutzungsdauer von 12 Jahren. Durch die erhöhte Melkfrequenz kann mit einer Milchleistungssteigerung von 7 % gerechnet werden. Weiterhin kann im Vergleich zum Gruppenmelkstand in der Referenzsituation 50 % des Arbeitsaufwandes für das Melken eingespart werden (FÜBBEKER 2008; LÜHRMANN 2007). Insgesamt können somit nur 0,5 AK eingespart werden und das kalkulatorische Betriebszweigergebnis bleibt mit einer Steigerung von lediglich 0,49 €/100kg ECM weiterhin negativ. Das automatische Fütterungssystem in Szenario zehn verursacht Investitionskosten von 150.000 € und hat eine geschätzte Nutzungsdauer von 12 Jahren. Nach der Investition kann mit einer Arbeitszeiterparnis von 15 % im Betriebszweig Milchproduktion kalkuliert werden (FÜBBEKER 2009). In diesem Szenario werden 5 % hiervon zur Intensivierung des Herdenmanagements eingesetzt, was die gleichen Leistungssteigerungen wie in den Szenarien 7 und 8 nach sich zieht. Die anderen 10 % werden eingespart. Trotz der Leistungssteigerungen und den Arbeitskrasteinsparungen steigen die Vollkosten der Milchproduktion im Vergleich zur Referenzsituation um 0,25 /100kg ECM, weshalb sich das kalkulatorische Betriebszweigergebnis auf -1,99 €/100kg ECM verschlechtert. Im elften Szenario werden sowohl die Feldarbeiten als auch die Jungviehaufzucht ausgelagert und die Bullenmast eingestellt. Des Weiteren wird der Roggenanbau für den Futterbau auf 9 ha eingeschränkt. Die Bullen- und Jungviehplätze werden entsprechend Szenario 4 und 6 für 500 €/Platz zu insgesamt 75 Kuhplätzen umgerüstet. Zur Betreuung dieser Kühe werden die gesamten, in den anderen Bereichen eingesparten Arbeitskraftstunden benötigt, ohne dass dabei die Intensität des Herdenmanagements gesteigert werden kann. Trotzdem sinken die Vollkosten größtenteils auf Grund der günstigen Stallplätze um 4,7 €/100kg ECM auf 29,3 €/100kg ECM. Das letzte Szenario ist auf möglichst geringe pagatorische Kosten ausgelegt. Ziel ist es, in Zeiten sinkender Erlöse bei konstanten oder steigenden Aufwendungen in der Milchpro-

duktion die Liquidität zu sichern. Allerdings führen der sinkende Einsatz von Leistungsfutter sowie eine intensivere Jungrinderaufzucht und Einsparungen in den meisten Kostenstellen der Milchproduktion zu einem Leistungsabfall, der die Rentabilität belastet. Die Vollkosten der Milchproduktion steigen auf 35,2 €/100kg ECM, was einen Unternehmerverlust von 3,07 €/100kg ECM zur Folge hat.

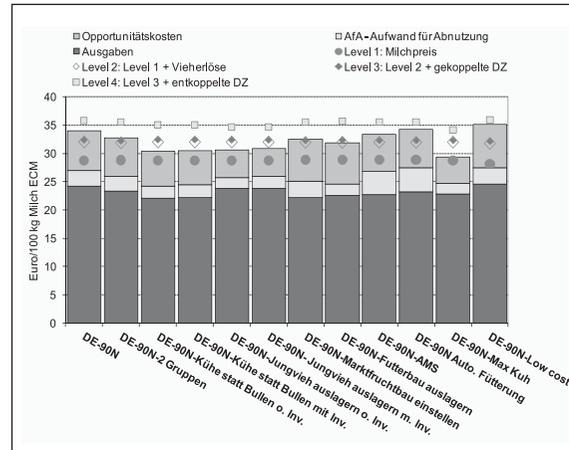


Abbildung 4: Einfluss ausgewählter Umstrukturierungsmaßnahmen auf die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung (Betrachtungszeitpunkt 2015)

Abschließend kann festgehalten werden, dass in der Umstrukturierung des Betriebes ein erhebliches Potential zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion liegen kann. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn durch Auslagerung eines Betriebszweiges günstig neue Kuhplätze geschaffen werden können.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse für ausgewählte **Wachstumsstrategien**. Die Wachstumsstrategien sind dadurch gekennzeichnet, dass der Betrieb die Milchproduktion im Zeitraum von 2008 bis 2015 stark ausdehnt. Das erste Szenario in Abbildung 5 stellt erneut die Vollkosten und gesamten Erlöse der Milchproduktion in der Referenzsituation dar.

Im zweiten Szenario werden der Kuhstall und der Jungviehstall eines aufgebenden Nachbarbetriebes mit jeweils 90 Plätzen gepachtet. Dadurch kann der Kuh- und Rinderbestand verdoppelt werden. Die für den Futterbau erforderlichen 112ha werden durch Einstellung des Marktfruchtbaus und die Pachtung weiterer Flächen erreicht. Genauso wird auch in den weiteren Szenarien eine ausreichende Futterbaufläche sichergestellt. Insgesamt werden 4,15 Fremdarbeitskräfte in der Milchproduktion beschäftigt. Vor allem durch eine bessere Auslastung der Maschinen und eine gesteigerte Flächenproduktivität lassen sich die Vollkosten der Milchproduktion von 34 € auf 30,1 €/100kg ECM senken, was zu einem Unternehmerngewinn von 2,31 €/100kg ECM führt. Im Vergleich mit den folgenden Wachstumsszenarien muss allerdings beachtet werden, dass das Wachstum ohne größere Investitionen in Altgebäuden stattfindet. Somit wird eine Wettbewerbsfähigkeit vorgetäuscht, die langfristig nicht gegeben ist, da Re-Investitionen erfolgen müssen. In den nächsten drei Szenarien wird ein schrittweises Wachstum in den Jahren 2010, 2011 und 2014 simuliert. Das Wachstum fand nur im Bereich der Kühe statt, so dass mit jedem Bauabschnitt ein größerer Anteil der Jungviehaufzucht ausgelagert wurde. Im ersten Bauabschnitt wurde an den vorhandenen Boxenlaufstall eine Liegeboxenreihe mit 30 Plätzen angebaut. Die Kosten hierfür wurden im Panel mit 1.500€/Platz angesetzt. Im zweiten Bauabschnitt wurde in einen Doppel-14-Fischgrätenmelkstand für die gesamte Herde und einen Boxenlaufstall für weitere 60 Kühe investiert. In dem neuen Melkstand können, unterstützt durch zahlreiche technische Ausrüstungen (z.B. Abnahmeautomatik und Nachtreibehilfe), 96 Kühe statt bisher 54 Kühe je Stunde gemolken werden. Dadurch können 0,9AK eingespart werden. Im dritten Bauabschnitt werden für 199.560 € weitere 60 Plätze an den Boxenlaufstall des letzten Bauabschnittes angebaut. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, sinken die Vollkosten der Milchproduktion mit den Bauabschnitten stufenweise auf letztendlich 29,5 €/100kg ECM. Damit wird nach Abschluss des gesamten Wachstumsschrittes

ein Unternehmerngewinn von 2,77 €/100kg ECM erwirtschaftet. In den beiden folgenden Szenarien wird die alte Melktechnik beibehalten und lediglich ein neuer Boxenlaufstall gebaut. Der alte Stall wird für die Jungrinderaufzucht genutzt. Die Vollkosten können durch die Investition nur geringfügig auf 33,4 /100kg ECM gesenkt werden, weshalb auch das kalkulatorische Betriebszweigergebnis mit -1,11 €/100kg ECM negativ bleibt. Im achten und neunten Szenario wird jeweils in einen Stall und ein Melkgebäude mit Karussell investiert, im ersten Fall in einen Stall mit 180 Plätzen und ein 24er Karussell, im zweiten Fall in einen Stall mit 700 Plätzen und ein 40er Melkkarussell. In beiden Szenarien wird durch die Investitionen eine Rationalisierung in der Milchproduktion erreicht, weshalb 10 % des Gesamtarbeitsaufwandes eingespart werden können. Die Vollkosten der Milchproduktion werden auf 30,9 bzw. 29,4 €/100kg ECM gesenkt und der Unternehmerngewinn beträgt 1,49 € bzw. 3,09 €/100kg ECM. In den Szenarien 10 und 11 wird in zwei bzw. vier AMS und in einen Stall für 130 bzw. 270 Kühe investiert. Die Arbeitszeit für das Melken kann auf 8 AKh pro Kuh und Jahr gesenkt werden (LÜHRMANN 2007). Dadurch können bei 130 bzw. 270 Kühen im Vergleich zum Melken in einem Gruppenmelkstand 1,16 AK bzw. 2,4 AK eingespart werden. Weitere 10 % Arbeitszeiteinsparung bringt der rationalisierte Arbeitsablauf im neuen Stall mit sich. Die erforderlichen 2,44 AK bzw. 4,66 AK produzieren die Milch zu Vollkosten von 33,9 bzw. 30,3 €/100kg ECM. Damit verschlechtert sich das kalkulatorische Betriebsergebnis im Szenario 10 trotz einer Milchleistungssteigerung von 7 % auf -1,99 €/100kg ECM. In Szenario 11 dagegen wird ein Unternehmerngewinn von 1,62 /100kg ECM erzielt. Im letzten Szenario wird davon ausgegangen, dass die Nachzucht bisher zum Teil im Boxenlaufstall der Kühe gehalten wurde. Um 30 Plätze für weitere Kühe zur Verfügung zu stellen, wird ein Jungviehstall für 60 Plätze gebaut. Dadurch sinken die Vollkosten der Milchproduktion aber nur geringfügig auf 32,6 €/100kg ECM, so dass kein positiver Unternehmerngewinn erreicht wird.

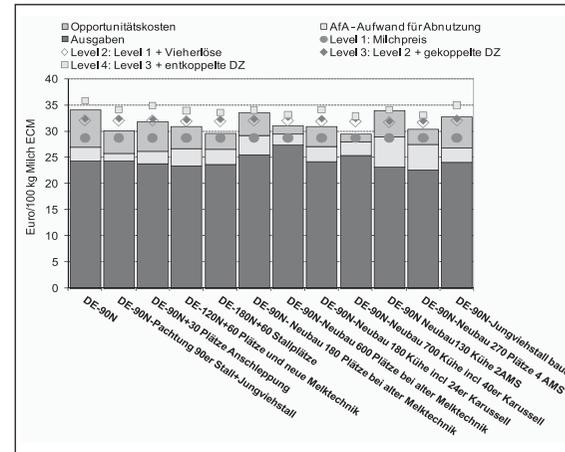


Abbildung 5: Einfluss ausgewählter Wachstumsstrategien auf die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung (Betrachtungzeitpunkt 2015)

#### 4 Zielbetriebstypen

Insgesamt wurden für den Betrieb DE-90N drei Zielbetriebstypen erstellt. Die Betriebs- und die Leistungsstruktur dieser Betriebe sollen für den typischen nordwestdeutschen Milchviehbetrieb das anzustrebende Ziel für das Jahr 2015 darstellen. Daher wird allen drei Betrieben das Spitzenmanagement-Szenario (DE-90N ++ ) zu Grunde gelegt. Weiterhin wird in allen drei Betrieben die Bullenmast eingestellt. Der Marktr Fruchtbau wird zu Gunsten des Futterbaus ebenfalls eingestellt. Der größte Unterschied zwischen den drei Betrieben liegt in der jeweiligen Wachstumsstrategie. Der erste Betrieb (DE-240N FGM) baut die Milchproduktion entsprechend der Wachstumsszenarien 3-5 in drei Schritten auf 240 Kühe aus, die in einem relativ hoch technisierten 2x14 FGM gemolken werden. Die Arbeit wird von 4,75 AK erledigt, für den Futterbau werden 127 ha benötigt. Der zweite Betrieb (DE-270N AMS) erweitert die Milchviehhaltung in zwei Schritten auf 270 Kühe, die in 4 AMS-Stationen gemolken werden. Zur Versorgung der Tiere sind 4,6 AK und eine Grundfutterfläche von 159 ha erforderlich. Der dritte Betrieb

(DE-700N Kar) baut in einem Bauabschnitt einen Boxenlaufstall mit 700 Plätzen und ein Melkhaus mit einem 40er Karussell. Nur in diesem Betrieb wird für die Bestandsaufstockung Fremdkapital in Höhe von 500.000 € berücksichtigt, in den anderen beiden Betrieben erfolgt die Bestandsaufstockung aus Eigenmitteln. Der Futterbau erfolgt auf 355 ha Fläche und es werden inklusive Herdenmanager 12,05 AK im Betrieb beschäftigt. Um den Einfluss der Arbeitsverfassung zu untersuchen, werden die drei Betriebe jeweils zweimal modelliert: Einmal als Familienbetrieb, in dem 1,5 familieneigene Arbeitskräfte in der Produktion mitwirken und ein Teil der Fremdarbeitskräfte Niedriglohnarbeitskräfte und Auszubildende sind. Im zweiten Fall werden die Betriebe als Lohnbetrieb geführt, in denen die gesamte Produktionsarbeit von qualifizierten Fremdarbeitskräften inklusive Herdenmanager erledigt wird. Der Unternehmer kümmert sich hier nur um das strategische und operative Management.

Abbildung 6 zeigt die Erlös- und Kostenstruktur der Zielbetriebe im Vergleich zum Ursprungsbetrieb DE-90N und einem entsprechenden 90-Kuh-Betrieb, der in eine 500 KW Biogasanlage investiert hat. Betrachtungszeitpunkt ist jeweils das Jahr 2015.

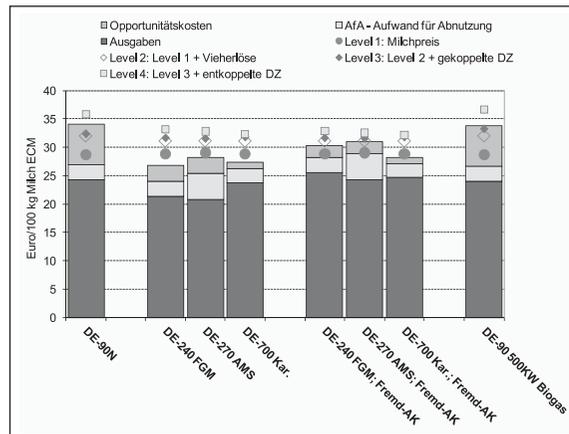


Abbildung 6: Erlös- und Kostenstruktur der Zielbetriebe (Betrachtungszeitpunkt 2015)

Es wird ersichtlich, dass die Produktionskosten im Vergleich zur Referenzsituation deutlich niedriger sind, wohingegen die Erlösstruktur, abgesehen von den entkoppelten Direktzahlungen, weitgehend konstant bleibt. Die Vollkosten konnten mit den Entwicklungsstrategien der Zielbetriebstypen (DE-240 FGM; DE-270 AMS; DE-700 Kar.) um 7,3€ / 5,8€ / 6,7€ je 100 kg ECM auf 26,7€ / 28,2€ / 27,3€ je 100 kg ECM gesenkt werden. Damit zeigt sich, dass die Ergebnisse im Vergleich zu einer getrennten Betrachtung der einzelnen Strategien (Abschnitt 3) nochmals gesteigert werden konnten. Weiterhin wird aus Abbildung 6 die wirtschaftliche Überlegenheit von Familienbetrieben mit Auszubildenden gegenüber reinen Lohnarbeitsbetrieben ersichtlich. Die Umstellung vom Familienbetrieb zum reinen Lohnarbeitsbetrieb führt besonders in den Betriebstypen, in denen ein Großteil der Arbeit bisher von Familienarbeitskräften erledigt wurde, zu erheblichen Ausgabensteigerungen, die sich einem spürbaren Anstieg der Produktionskosten niederschlagen.

## 5 Zusammenfassung

Die Produktionskostenanalyse nach dem Konzept des IFCN im Kalkulationsmodell TIPI-CAL hat gezeigt, dass die typischen Milchviehbetriebe Nordwestdeutschlands im Jahr 2008 trotz der relativ hohen Milchpreise ohne Berücksichtigung der entkoppelten Direktzahlungen nur knapp wettbewerbsfähig auf dem Faktormarkt waren. Bei Vollkosten von 36,5 €/100kg ECM konnte lediglich ein Unternehmergewinn von 0,5 €/100kg ECM erwirtschaftet werden. Der nationale und internationale Vergleich hat für die typischen nordwestdeutschen Betriebe eine gute Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Produktionsregionen in Deutschland und der EU ergeben. Nur in England und Irland wurden deutlich bessere Ergebnisse erzielt.

Der Milchsektor Norddeutschlands muss die Wirtschaftlichkeit und damit auch die Verwertung der Faktoren steigern, um auch bei niedrigeren Erzeugerpreisen zukünftig konkurrenzfähig zu sein und Marktanteile auf den zunehmend liberalisierten

Märkten behaupten zu können. In den Entwicklungsstrategien konnten hierzu einige vielversprechende Ansätze aufgezeigt werden. So wurden in den Managementstrategien die bereits heute vorhandenen großen Unterschiede in den Betriebsgrößenklassen bezüglich der Wirtschaftlichkeit aufgegriffen. Durch eine Orientierung an den Leistungsparametern der deutschen Spitzenbetriebe kann unter den gemachten Annahmen im Jahr 2015 ein Unternehmergewinn von 2,2 €/100kg ECM anstatt eines Unternehmerverlustes von 1,67 €/100kg ECM in der abwartenden Referenzstrategie generiert werden. Die Umstrukturierungsszenarien wiesen ein Potenzial zur Steigerung des kalkulatorischen Betriebsergebnisses von bis zu 4,56 €/100kg ECM durch die Aufgabe von Betriebszweigen und die Ausweitung der Milchproduktion mit verhältnismäßig günstig zu erstellenden Stallplätzen bei weitgehend konstanter Faktorausstattung aus. Die untersuchten Wachstumsstrategien unterscheiden sich sowohl in der Größenordnung als auch in den Baukosten je Stallplatz und dem Technisierungsgrad. Bereits bei Wachstumsschritten auf 240 Kühe lassen sich im Vergleich zur Referenzsituation 4,44 €/100kg ECM mehr an Unternehmergewinn erzielen. Aus den drei Strategietypen wurden drei Zielbetriebstypen mit unterschiedlichen Wachstumsstrategien erstellt, denen das Leistungsniveau der Spitzenbetriebe zu Grunde gelegt wurde. Es hat sich gezeigt, dass im Vergleich zur Referenzsituation sowohl in einer Größenordnung von 700 Kühen als auch von 240 Kühen deutliche Steigerungen in der Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion (bis zu 6,61 €/100kg ECM mehr Unternehmergewinn) erzielt werden können. Weiterhin erfolgte die Analyse jeweils in der Form des Familienbetriebes und als reiner Lohnarbeitsbetrieb, die einen erheblichen wirtschaftlichen Vorteil der Familienbetriebe zum Ergebnis hat.

Grundsätzlich haben die Entwicklungs- und Zielstrategien gezeigt, dass es bei einer aufgeschlossenen Risiko-, Änderungs- und Anpassungsbereitschaft möglich ist, auch künftig rentabel Milch in Norddeutschland zu erzeugen. Wenn es den Milcherzeugern gelingt, die Vollkosten gemäß den Zielbetrieb-

stypen zu senken und die Produktivität entsprechend zu steigern, kann sowohl auf den Faktormärkten als auch am globalen Milchmarkt wettbewerbsfähig agiert werden.

#### *Literaturverzeichnis*

DIERCKS, O. (2009): Evaluierung von Entwicklungsalternativen für den typischen 90-Kuhbetrieb in Nordwestdeutschland, Masterarbeit im Studiengang Agrarwissenschaften, Kiel

FÜBBEKER, A. (2009): Melkkarussell oder Gruppenmelkstand? In: Landpost, 33-34.

IFCN (2009a): International Farm Comparison Network, Dairy Report 2009. Kiel.

KREINS, P. & H. GÖMANN (2008): Modellgestützte Abschätzung der regionalen landwirtschaftlichen Landnutzung und Produktion in Deutschland vor dem Hintergrund der "Gesundheitsüberprüfung" der GAP. In: Agrarwirtschaft, Jg. 57 - 3/4, 195-206.

LÜHRMANN, B. (2007): Moderne Melksysteme: Ein ökonomischer und arbeitswirtschaftlicher Vergleich zwischen AMS und Gruppenmelkstand. [http://www.lwkrp.de/bilder/mediafile\\_6878\\_VortragLuehrmann.pdf](http://www.lwkrp.de/bilder/mediafile_6878_VortragLuehrmann.pdf), Stand: 12.12.2009.

LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (2008): Ergebnisse der Vollkostenauswertung der Rinderspezialberatungsrings in Schleswig-Holstein Auswertungsjahr 2007/2008. Kiel: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.

SCHULTE-BORIES, B. (2009): Vergütung von Auszubildenden und Löhne für Landarbeiter in der Landwirtschaft. Internet: <http://www.schulteboories.de/Ausbildung/tarife.htm>, Stand: 10.01.2010.

## Diskussion



BERG, BONN

Eigentlich weniger eine Frage, sondern ein Kommentar dazu. Ich unterstütze das, was sie gesagt haben, weitgehend, was im Klartext heißt, für die Zukunft reden wir von wettbewerbsfähigen Milchkuhbetrieben mit Bestandsgrößen 300+, das ist die Linie, dort wird es sich hin entwickeln. Dazu bedarf es eines Strukturwandels. Wenn wir ins Land gehen, dann stellen wir fest, dass das ja stattfindet. Ich habe einige Vorträge im Sauerland gehalten und das ist nicht norddeutsche Tiefebene, sondern das ist von der Topografie schon ein bisschen anders gelagert und ich habe dort vier, fünf Betriebe, junge Betriebsleiter getroffen, die alle vor Investitionen stehen, die so aussehen, dass sie von Beständen unter 100 Kühen auf 300 und mehr gehen, meistens mit zwei, drei anderen zusammen, auch mit riesigen Schritten nach vorne. Und wir wissen, dass dort Kostendegressionseffekte liegen. Die Kostenkurven der Milchviehhaltung sind L-förmig, irgendwo bei 200 Kühen, sind wir in einem relativ niedrigem Bereich angekommen, aber dort, wo wir dann auf einem niedrigem Niveau der Stückkosten sind, dort beginnt es eigentlich erst, spannend zu werden, weil da kann man Gewinne akkumulieren und dort wird man erst wettbewerbsfähig und in diese Richtung wird das gehen und das sind schon andere Größenordnungen als die, die wir gewöhnt sind. Ein 700-Kuh-Betrieb hat noch ein ganz anderes Problem. Das haben die Kollegen aus den USA vor einigen Jahren gesagt. Die sagten so bis 350 Kühe ist das Managen o.k., wenn es darüber hinaus geht ist das

Managen anspruchsvoller und dann müssen unsere Betriebsleiter umdenken, dann gehören sie entweder nicht mehr in den Stall oder wenn sie im Stall bleiben, müssen sie sich einen Manager kaufen. Und dieser Schritt, der fällt vielen schwer. Bis dort hin kommen die meisten schon alleine deshalb besser klar mit größeren Beständen, weil man dann eine Arbeitsteilung, eine Spezialisierung durchführen kann und dann sind die Betriebe in aller Regel wesentlich besser organisiert, weil sie den Tag nicht mehr zerreißen, arbeitsmäßig. Arbeitsproduktivität – da unterscheiden sich ja die Betriebe, die Spanne ist ja riesig, wenn man in die Praxis hineingeht. Aber ich denke, wir müssen in der Zukunft mit anderen Größenordnungen umgehen als die, die wir in der Vergangenheit gewohnt waren.

ANTWORT

Das war ein Kommentar, da stimme ich ihnen voll zu. Vor allen Dingen, um vielleicht auch noch mal an das anzuknüpfen, was Enno Bahrs sagte. Wir müssen vielleicht auch mal über neue Finanzierungsmodelle nachdenken. Das Kapital zusammen zu bekommen für so einen riesigen Entwicklungssprung ist nicht einfach. Ich möchte nicht sagen, dass die Chinesen uns so etwas vormachen, aber die entwickeln ganz innovative Modelle, die sie in einem Betrieb, den ich ihnen gerade gezeigt habe, diesen CN340-Betrieb, in China mit 340 Kühen. Das sind Betriebe, die in Einheiten von 17 Kühen, die von jeweils einem Fremdinvestor dahin gebaut worden sind, und dann

an einzelne kleine Landwirte verpachtet worden sind, werden aber gemeinsam gemanagt. Das ist also eine Art von Kleinaktionärsrum. Ich möchte nicht sagen, dass das eine Vorlage für uns ist, aber wir müssen einmal kreativ darüber nachdenken, über alternative Formen der Beteiligungsfinanzierung, auch im Bereich der Landwirtschaft.

ZEHETMEIER, WEIHENSTEPHAN

Ich hätte zwei Anmerkungen und eine Frage. Die erste Anmerkung wäre. Sie haben ja schon darauf hingewiesen, ich möchte es noch einmal deutlich machen, dass das Jahr 2008 wirklich extrem war vom Milchpreis, ein wirkliches Ausnahmejahr. Wenn man dann den Unternehmensgewinn sieht, so würde man es sich wünschen, aber es war tatsächlich ein richtiges Ausnahmejahr und in den letzten Jahren war es nie so und jetzt ist es bei weitem nicht mehr so.

Das Zweite zur Gülle, mit Biogas. Sie haben da einen Pachtpreis von 200, 300 oder 400 Euro genannt. Wenn man jetzt diese kleineren Biogasanlagen und den Güllebonus mit berechnet, kommen wir immer so auf gute 800 Euro, was da an Pacht als Spannbreite möglich wäre. Ich traue es mir fast nicht zu sagen. Ich komme aus einem bayerischen Milchviehbetrieb. Anhand von den vernichtenden Zahlen traut man sich schon nicht mehr, etwas zu sagen. Meine Schwester ist Besamungstechnikerin und wir fahren oft am Wochenende 150 bis 200 Betriebe ab, im tiefsten Bayern natürlich, das sieht man die Wachstumsbetriebe momentan, die bauen für 60 - 80 Milchkühe. Das sind so die Wachstumsbetriebe. Anhand von den Zahlen und den Prognosen 300er Einheiten, da muss man ja denken, warum machen die das?

ANTWORT

Vielleicht darf ich auf die letzte Frage zu erst antworten. Wachstum in Bayern bedeutet für sie schon wie sie sagten Wachstum in anderen Dimensionen. Kleinere Dimensionen als Wachstum in Norddeutschland. Da wachsen wir dann in den Bereich 60 bis 80

Kühe, vielleicht auch 100 Kühe. So einen Betrieb hatte ich ja auch, einen 80-Kuh-Betrieb aus Bayern mit in meiner Liste. Aber, die Milchpreise in Bayern sind auch andere als die Milchpreise in Norddeutschland. In Norddeutschland sind die Milchpreise sehr niedrig, weil die norddeutsche Milchwirtschaft ein schlechtes Wertschöpfungsmodell betreibt. Dies sind andere Unternehmensformen hier oben, aber die haben andere strategische Entscheidungen getroffen, denn in Norddeutschland sind wir marktfremd, in Schleswig-Holstein, wir sind hafennah und da liegt es natürlich nahe Commodities für den Export zu produzieren. Die Commodities bilden aber nicht die Wertschöpfung wie Joghurt- oder Käse, was die süddeutschen Meiereien machen und deswegen können die süddeutschen Meiereien einen wesentlich höheren Milchpreis auszahlen, was sie ja auch tun. Das muss man bei der Wachstumsdiskussion mit berücksichtigen und auch berücksichtigen bei der Betrachtung der Vollkosten. Bei der Betrachtung der Vollkosten der bayerischen Zielbetriebe. So ein 80-Kuh-Betrieb hat immer noch Vollkosten in Höhe von knapp 50 Cent, aber die Milchpreise sind dementsprechend höher.

JANKNECHT, WAHLSTEDT

Vielleicht eine Anmerkung zu der Finanzierungsfrage. Das sehe ich gar nicht so problematisch, weil, wenn man sich da mal mit Bankern unterhält, dann fällt ihr erstes Szenario schon raus. Denn da gehen die nicht mit. Die wollen nicht nur 60 Kühe dazu, als Anbau an den alten Stall, das ist kein Objekt, was man nachher aus dem Gesamtbetrieb rauslösen kann und dann zum Beispiel an einen anderen Betrieb verkaufen. Also, diese 700er Variante wird auch von den Banken viel eher mitgegangen, obwohl das Investitionsvolumen deutlich höher liegt. Ich habe vier Betriebe in der Betreuung. Die sind alle diese Schritte von 100, 150 Kühe jetzt auf 500 Kühe, also etwa diese Größenordnung gegangen in Westdeutschland, Nordrhein-Westfalen. Und da ist es jedes Mal so gewesen, dass die den Stallbereich ausgegliedert haben, bis hin, dass sogar einer in der Nachbarschaft ein Grundstück

erst mal gekauft hat, um neue Verkehrswege zu schaffen, um im Prinzip nachher, wenn das Ding mal in die Hose gehen sollte, sagen zu können, hier Holländer, kannst du kaufen oder was weiß ich, sage ich jetzt mal so einfach. Das wollen die Banken sehen. Dann wird die Finanzierung möglich, weil die Zukunftschancen positiv ausfallen. Ich glaube nicht, dass sich da die Privatindustrie engagieren würde.

#### ANTWORT

Ich stimme ihnen im Großen und Ganzen zu. Ich selbst kenne einen Betrieb, der ähnlich gewachsen ist auf 650 von ziemlich klein auf 650, ganze Herden dann dazu gekauft hat, ganze Herden aufgebender Betriebe reingekauft hat, um diesen Wachstumsschritt zu realisieren. Die Banken gucken schon ganz genau auf die Betriebsleiterqualifikation in solchen Fällen. Die gucken ganz genau auf mögliche Risiken und die gucken auch ganz genau auf die Realisierbarkeit solcher Schritte im Hinblick auf Umweltauflagen. Im Hinblick auf die Düngeverordnung und da sind wir in viehstarken Regionen langsam an Grenzen angekommen. Aber das sind so die Punkte, wo die Banken bei solchen Schritten besonders intensiv hinschauen.

#### WITKOWSKI, GRUB

Ich habe da so einige Zweifel, ob das so richtig ist, was sie uns hier so vorrechnen. Das Problem ist doch, dass die Landwirte ganz etwas anderes machen. Sie beteiligen sich an Biogasanlagen, sie bauen Solardächer, sie machen Zweinutzungsstall und sie machen eigentlich das, was jeder Banker macht, sie verteilen Risiken. Sie sagen, die Volatilität wächst in dem Milchpreis. Der Landwirt, den sie sich da jetzt vorgestellt haben, der soll von einem durchschnittlichen Landwirt zu einem Spitzenlandwirt in fünf Jahren werden. Da muss ich als Tierarzt sagen, da habe ich leichte Zweifel, dass das funktioniert. Denn er macht genau dasselbe weiter, also es ist für mich so ein bisschen Tonnenideologie. Also, ich mach mehr, immer dasselbe, lineare Fortschreibung. Warum baue

ich nicht einen Putenmaststall? Da verdiene ich dann Geld, wenn der Milchpreis vielleicht mal schlecht ist und ich denke, warum mache ich nicht eine Genossenschaft und baue mir eine Biogasanlage, die dann vielleicht auch besser funktioniert und da habe ich zumindest, so lange ich dem Staat vertraue. Das ist natürlich immer eine Frage in den heutigen Zeiten, ob man das noch kann und wie lange solche Zusagen gelten. Aber ich habe damit ein Problem, dass wir hier das machen, wo die Banken genau, eigentlich im normalen Wirtschaftsleben, ganz anders gehandelt. Ich habe nichts gegen Spezialisierung, aber ich glaube nicht, dass das der Weg ist und ich habe auf der DLG-Wintertagung vor zwei Jahren neben meinen bayerischen Landwirten gesessen. Da wurde dann vorgerechnet, ich soll noch mal 100 Kühe machen, das sind so ungefähr eine Mio. Euro zum Investieren, so ungefähr, da sagen die, da baue ich doch lieber ein Einfamilien- oder Zweifamilienhaus, die Verzinsung, die dann nämlich rauskam, was 0,6 % einschließlich des Fremdarbeitsanspruches, so dass ich eigentlich investiere, um nichts zu verdienen. Da haben die gesagt, das machen wir doch in Bayern wieder anders, da machen wir höhere Hauspreise und die Sache ist erledigt. Deswegen braucht die Kollegin in Bayern nicht so viel Angst zu haben, da sind die Preise gut.

#### ANTWORT

Sie stoßen in einen Bereich, den ich ihnen verschwiegen habe. Ich habe gesagt, wir haben uns Entwicklungsstrategien angeschaut im Bereich Management, im Bereich Diversifizierung der Milchviehhaltung und im Bereich Wachstum und die vierte Strategie waren dann wirklich Diversifikationsstrategien außerhalb der Milchviehhaltung. Da haben wir uns die große Biogasanlage, die kleine Biogasanlage angeschaut, alles, was sie genannt haben, Photovoltaik. Dabei kommt das heraus, was man erwartet, nämlich dass das Risiko geringer ausfällt, aber dass die Rentabilität nicht so hoch ist wie bei einer reinen Spezialisierungsstrategie, wie ich sie jetzt dargestellt habe. Da hat man dieses Feld oft zwischen Risiko

einerseits und leicht verringerter Rentabilität andererseits. Wenn man beides im großen Stil machen möchte, Milchviehhaltung und Biogas, da muss man wirklich Spezialist auch in beiden Bereichen sein und das wird schon schwierig. Aber vom Grundsatz her

stimme ich ihnen zu, dass solche Diversifizierungsstrategien auch valide Betriebsentwicklungsstrategien sind, aber wie gesagt, den Bereich hatte ich jetzt hier aus Zeitgründen verschwiegen.

## Zusammenfassung



Die 23. Hülseberger Gespräche haben sich unter dem Begriff „Wiederkäuerernährung“ einer Thematik gewidmet, die einerseits in die Ursprünge dieser Veranstaltung zurückgeht und die andererseits durch die Einbeziehung moderner zell- und molekularbiologischer Methoden viele neuartige Versuchsansätze in den letzten Jahrzehnten erfahren hat. Ziel der Veranstaltung war es dabei, einen Bogen von den Entwicklungen in der Wiederkäuerernährung über spezifische verdauungsphysiologische Merkmale bis hin zur Ökonomie und Effizienz der Wiederkäuerhaltung zu spannen. Die Vorträge waren in die folgenden Sektionen gegliedert:

1. **Entwicklungen in der Wiederkäuerernährung**
2. **Gastrointestinal interactions between microbiota and host**
3. **Verdauung und Stoffwechselgrenzen**
4. **Ökonomie und Effizienz der Wiederkäuerhaltung**

Im einführenden Vortrag in der 1. Sektion hat **Prof. Flachowsky** für den Wiederkäuer das Spannungsfeld zwischen globaler Ernährungssicherung und Klimaschutz dargestellt. Er hat verdeutlicht, dass über eine tägliche Milchleistung von nur 10 l ca. 300 g Eiweiß bereitgestellt werden, die für ca. 15 Menschen zur täglichen Bedarfsdeckung ausreicht, aber dass das globale Verteilungsproblem Hauptursache dafür ist, dass nahezu 50 % der Weltbevölkerung an Ernährungsdefiziten leidet. Diesem Ernährungspotential

stehen die so genannten Carbon Footprints gegenüber, ein Maß für die Summe aller klimarelevanten Emissionen. Hier gilt der Emission von Stickstoff über die tierischen Ausscheidungen künftig besondere Aufmerksamkeit.

Im 2. Vortrag hat **Prof. Swalve** Zuchtstrategien mit dem Ziel von Ressourcen- und Umweltschutz erläutert und dabei besonderen Wert auf die Identifizierung neuer Indikatoren der Tiergesundheit gelegt. Die diskutierten Möglichkeiten zur Zucht auf Reduktion der Emissionen sind attraktiv aber vorerst mit Vorsicht zu diskutieren, auch da für statistische Absicherungen die Stichprobengröße hoch ist.

Im abschließenden Vortrag der ersten Sektion hat **Prof. Heißenhuber** anhand der relevanten Kriterien die ökonomische Bedeutung in Anbau und Nutzung von Biomasse diskutiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dem Dauergrünland gegenwärtig noch die größte quantitative Bedeutung zukommt.

In der 2. Sektion standen die gastrointestinalen Interaktionen zwischen Microbiota und Wirt im Fokus. Im ersten Vortrag hat **Prof. Wallace** den Zusammenhang zwischen mikrobieller Ökologie, also der Gemeinschaft aus Ciliaten, anaeroben Eubakterien, anaeroben Pilzen und Archaeen, und Ernährung bzw. Umwelt dargestellt. Überraschend war dabei, dass nur ein geringer Anteil der über 300 - 400 Bakterienspezies cellulolytische Bakterien sind, wie zum Beispiel Ruminococcus und Fibrobacter. Besonderer Schwerpunkt war die Bedeutung von Protozoen für

den mikrobiellen Proteinturnover, der mit 80 % des gesamten Proteinturnovers den Hauptanteil repräsentiert. Schließlich haben wir aus seinen Ausführungen gelernt, wie Autos im Vergleich mit Kühen im Hinblick auf die Emission klimarelevanter Gase quantitativ einzustufen sind.

**Prof. Allen** hat im zweiten Vortrag die Bedeutung der Endprodukte der mikrobiellen Fermentation und hier vor allem für Propionat für die Energieaufnahme und -verteilung erläutert. Die physiologische Ebene erstreckt sich hier vom Vormagen über Leber, vegetative Nervenfasern bis in zentralnervöse Zentren und wird über das hepatische Oxidationskonzept repräsentiert.

Im 3. Vortrag hat **Prof. Dijkstra** uns mit den gegenwärtigen mathematischen Modellen vertraut gemacht, die für die Modellierung des Pansenstoffwechsels eingesetzt werden. Hauptproblem der sogenannten empirischen Modelle sind dabei neben der hohen Ungenauigkeit die fehlende Berücksichtigung der Effizienz des mikrobiellen Wachstums, die – wie schon lange bekannt – durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden kann. Die existierenden Systeme von Differentialgleichungen sind gegenwärtig Methode der Wahl für die Modellierung.

Im abschließenden Vortrag hat **Prof. Dänicke** an einem repräsentativen Spektrum von unerwünschten Stoffen mit unterschiedlichen pharmakologischen Wirkungen die Toxifizierungs- und Detoxifizierungspotentiale des Pansenstoffwechsels dargestellt. In dieser Thematik sind die enormen Herausforderungen hinsichtlich der Analytik und in der Beurteilung der möglichen Transferraten deutlich geworden. Diese Thematik ist insbesondere auch hinsichtlich der Kommunikation in der Öffentlichkeit als sehr sensitiv zu bewerten.

In der 3. Sektion standen Aspekte der Verdauung und Stoffwechselgrenzen im Mittelpunkt. **Prof. Gäbel** hat im ersten Vortrag den gegenwärtigen Stand der Energieversorgung über ruminale und intestinale Mechanismen erläutert. Dabei wurde deutlich, dass die noch relativ jungen Forschungsergebnisse zur Stärke-

verdauung im Darm noch viel Arbeit erfordern, bei all diesen Konzepten aber die ursprüngliche Funktion der mikrobiellen Faserverdauung mit all ihren physiologischen Konsequenzen nicht aus dem Blickwinkel gelassen werden darf.

**Prof. Langhans** hat im zweiten Vortrag schwerpunktmäßig die intermediären Mechanismen der Verzehrsregulation präsentiert und diese Prozesse mit den Mechanismen in Verbindung gebracht, die vom Vormagenstoffwechsel ausgehend ihren Ursprung nehmen.

Ein wichtiger Aspekt im Vortrag von **Prof. Rehage** war es, die intermediären Prozesse, die den Reproduktionsstörungen zugrunde liegen können, zu erläutern. Dabei sind erhebliche Anforderungen an den analytischen Aufwand zu stellen, insbesondere, wenn es darum geht, Mechanismen der Insulinresistenz zu erfassen. Ein weiterer Schwerpunkt war die Problematik des geeigneten Besamungszeitpunktes. Die Zeit zwischen dem 90. und 100. Tag erfährt Konsens und die Verlängerung der Zwischenkalbezeit bis zu 1,5 Jahren wird zunehmend Realität.

Aus dem abschließenden Vortrag von **Prof. Kaspers** haben wir gelernt, dass die Bedeutung der Ernährung für die Faktoren der humoralen und zellvermittelten Immunität beim Wiederkäuer durch durchweg erhebliche Wissenslücken gekennzeichnet ist. Er hat beispielhaft anhand von Studien an anderen Spezies erläutert, wie es künftig gelingen kann, diese Zusammenhänge durch Auswahl geeigneter Parameter zu identifizieren. Zweifellos zeichnet sich diese Thematik durch das höchste innovative Potential aus.

In der abschließenden 4. Sektion standen im Vortrag von **Prof. Südekum** Gedanken zur Effizienz der Ressourcennutzung im Zusammenhang mit den Konsequenzen und Perspektiven für die Futterbewertung im Vordergrund. Auch hier sind methodische Aspekte von großer Bedeutung. Für eine höhere Datensicherheit, die insbesondere für die Bewertung postruminale Verdauungsprozesse erforderlich sind, bestehen weiterhin Defizite in der Entwicklung standardisierter und validierter Verfahren.

Der von **Prof. Taube** dargestellte Ansatz zum Projekt Karkendamm, einem landwirtschaftlichen Betrieb der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, hat Beispielcharakter für systembezogene Versuchsansätze, um Ressourcen effizient umfassend zu charakterisieren. Ziel auch künftiger Arbeiten ist dabei unter anderem der ökologische „Fußabdruck Milch“.

Im letzten Vortrag dieser Sektion hat **Prof. Latacz-Lohmann** Entwicklungsperspektiven typischer Milchviehbetriebe beispielhaft dargestellt. Wichtige Faktoren für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit von Milchviehbetrieben in norddeutscher Tiefebene sind dabei deutlich geworden. Sie ist die Situation im nationalen wie auch im EU Vergleich vorsichtig günstig zu beurteilen. Auf Weltmarktebene trifft dies eher nicht zu. Für die künftige Entwicklung sind der in Deutschland enge Pachtmarkt und das betriebliche Leistungsniveau von erheblicher Bedeutung.

Ziel der 23. Hülseberger Gespräche war es, in einem interdisziplinären Ansatz die relevanten Themenbereiche der Wiederkäuerhaltung zu präsentieren und zu diskutieren. Dies ist in überzeugender Weise durch die Ausführungen der Referenten ebenso wie durch die Diskussionsbeiträge der Zuhörer und Zuhörerinnen gelungen. Die lange Tradition der **Hülseberger Gespräche**, ausreichend Zeit für die Diskussion der Vorträge zu lassen, hat sich auch in dieser Veranstaltung erneut als sehr positiv erwiesen. Es bleibt zu hoffen, dass die diesjährige Veranstaltung zur Verbesserung der Kommunikation zwischen den einzelnen Disziplinen und auch zur Anregung für neuartige Forschungsansätze beitragen konnte.

## Schlussworte



Meine sehr verehrten Damen und Herren,

die 23. Hülsenberger Gespräche standen unter einem hochaktuellen Thema und im Namen des Vorstandes und des Kuratoriums bedanke ich mich ganz herzlich bei allen Referenten, die die neuesten Erkenntnisse fachübergreifend in verständlicher Form vorgetragen und dargestellt haben. Die lebhaften Diskussionen wurden von den Diskussionsleitern im zeitlichen Ablauf der Tagung gut geführt, so dass der Ablauf der Gespräche wie vorgegeben in dem gesetzten Zeitrahmen ablaufen konnte. Ich danke den Diskutanten, die durch ihre Wortmeldungen aktiv die Gespräche zu dem werden ließen, wie es den Zielvorgaben entspricht.

Wie bei den vorhergehenden Hülsenberger Gesprächen, so beehrten uns die Eigentümer der Schaumann Gruppe, die Brüder Charles Antoine Seiller und Olliver Seiller, sowie der Vorstand Herr Rudolf Buchleitner wieder mit ihrer steten Anwesenheit und ihrem besonderen Interesse an der Thematik. Den Mitarbeitern der Schaumann-Gruppe gebührt Dank und Anerkennung für die reibungslose Organisation der Veranstaltung.

Die Hülsenberger Gespräche 2010 setzten Schwerpunkte in der Wiederkäuerernährung und ich persönlich konnte sehr viel Forschungsbedarf erkennen. Unsere Wissenschaftler aus diesem Bereich sind gefordert hier Schwerpunktthemen aufzugreifen und

im Rahmen von so genannter Netzwerkforschung die anstehenden Fragen mit den Instrumenten der heutigen Wissenschaft zu lösen. Die jungen Absolventen suchen nach aktuellen Themen für Dissertationen, hier sind tolle Chancen, um den Bereich Tierernährung innovativ zu gestalten.

Die nächsten Hülsenberg Gespräche werden in 2012 stattfinden, wobei ich um Verständnis bitte, dass sich die Einladungen wieder an Persönlichkeiten richten werden, die dem Generalthema fachlich verbunden sind. Wer auf Einladungen nicht reagiert wird nicht wieder eingeladen! Auch die heutigen Wissenschaftler sollten die gebührende „Höflichkeit“ nicht vergessen, denn derartige Tagungen sind mit nicht unerheblichen Kosten verbunden.

Ich wünsche Ihnen eine gute und sichere Heimfahrt, freue mich auf ein Wiedersehen und schließe die 23. Hülsenberger Gespräche.

# Teilnehmer an den 23. HÜLSENBERGER GESPRÄCHEN 2010

ABEL, Prof. Dr. Hansjörg	Georg-August Universität, Göttingen
ADAM, Dr. Friedhelm	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster
ALLEN, Prof. Dr. Michael S.	Michigan State University, East Lansing, USA
BAHRS, Prof. Dr. Enno	Universität Hohenheim, Stuttgart H. Wilhelm Schaumann Stiftung
BAUER, Prof. Dr. Dr. Johannes	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan
BECKER, Dr. Susanne	Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover
BENECKE, Dieter	B. Behr's Verlag, Hamburg
BENNEWITZ, Prof. Dr. Jörn	Universität Hohenheim, Stuttgart
BERG, Prof. Dr. Ernst	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn
BERGFELDT, Dr. Uwe	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Köllitsch
BOGUHN, Dr. Jeanette	Universität Hohenheim, Stuttgart
BOLLWEIN, Prof. Dr. Heinrich	Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover
BONGARTZ, Dr. Bettina	Deutsche Gesellschaft für Züchtungskunde e. V., Bonn

BRENIG, Prof. Dr. Dr. Bertram	Georg-August-Universität, Göttingen
BREVES, Prof. Dr. Gerhard	Tierärztliche Hochschule, Hannover H. Wilhelm Schaumann Stiftung
BRUCKMAIER, Prof. Dr. Rupert M.	Universität Bern, Bern, Schweiz
BUCHLEITNER, Rudolf	Union Agricole Holding AG, Pinneberg
CERMAK, Prof. Dr. Rainer	Universität Leipzig, Leipzig
COENEN, Prof. Dr. Manfred	Universität Leipzig, Leipzig
DÄNICKE, PD Dr. Sven	Friedrich-Loeffler-Institut, Braunschweig
DEEG, Prof. Dr. Cornelia	Ludwig-Maximilians-Universität München, München
DICKHÖFER, Dr. Uta	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
DIEKMANN, Dr. Ludwig	Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg
DIJKSTRA, Prof. Dr. Jan	Wageningen University, Wageningen, Niederlande
DÖLL, Dr. Susanne	Friedrich-Loeffler-Institut, Braunschweig
EDER, Prof. Dr. Klaus Josef	Justus-Liebig-Universität, Gießen
FLACHOWSKY, Prof. Dr. Gerhard	Friedrich-Loeffler-Institut, Braunschweig
FRIES, Prof. Dr. Rudi	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan
GÄBEL, Prof. Dr. Gotthold	Universität Leipzig, Leipzig
GAULY, Prof. Dr. Dr. Matthias	Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen
GIERUS, PD Dr. Martin	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

GRAVERT, Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Otto	Kronshagen
GROSS, Josef	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan
GRUBER, Univ. Doz. Dr. Leonhard	Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Irnding, Österreich Raumberg-Gumpenstein
HAMMERER, Dr. Johann	Schaumann Agri International GmbH, Wien, Österreich
HARTUNG, Prof. Dr. Jörg	Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover
HEISSENHUBER, Prof. Dr. Dr. h.c. Alois	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan
HUMMEL, Dr. Jürgen	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn
JANDRISOVITS, Dipl.-Ing. agr. Gerald	H. Wilhelm Schaumann GmbH, Pinneberg
JANKNECHT, Dipl.-Ing. agr. Gregor	Gut Hülsenberg GmbH, Wahlstedt
JOOST, Prof. Dr. Dr. Hans-Georg	Deutsches Institut für Ernährungsforschung, Nuthetal Potsdam-Rehbrücke
JUNGE, Dr. Wolfgang	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
KALM, Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Ernst	H. Wilhelm Schaumann Stiftung, Hamburg
KANITZ, Prof. Dr. Wilhelm	Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Dummerstorf
KASPERS, Prof. Dr. Bernd	Ludwig-Maximilians-Universität München, München
KNEIFEL, Prof. Dr. Wolfgang	Universität für Bodenkultur Wien, Wien, Österreich H. Wilhelm Schaumann Stiftung
KÖTTING, Nicole	Friedrich-Loeffler-Institut, Braunschweig
KONOLD, Angelika	Universität Hohenheim, Stuttgart

KORNBLUM, Dr. Erhard	UNA-HAKRA Hanseatische, Hamburg Kraftfuttergesellschaft mbH
KRAMER, Dr. Ewald	ISF GmbH, Pinneberg
KRICK, Friederike	agrar-press, St. Goar
KRIETER, Prof. Dr. Joachim	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
KURTZ, Dr. Holger	Uetersen
LANGHANS, Prof. Dr. Wolfgang	Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Schwerzenach, Schweiz
LATACZ-LOHMANN, Prof. Dr. Uwe	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
LAUE, Prof. Dr. Hans-Joachim	Fachhochschule Kiel, Osterrönfeld
LEONHARD-MAREK, PD Dr. Sabine	Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover
LICHTENEGGER, Dipl.-Ing. agr. Johann	H. Wilhelm Schaumann GmbH, Pinneberg
LIND, Dr. Bianca	Förderverein Biotechnologieforschung e. V., Bonn
LOCHER, Dr. Lena	Stiftung Tierärztliche Hochschule, Hannover
LOGES, Dr. Ralf	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
LÜPPING, Dr. Werner	Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Blekendorf
MARTENS, Prof. Dr. Holger	Freie Universität Berlin, Berlin
MATHIES, Dr. Edmund	Union Agricole Holding AG, Pinneberg
METGES, PD Dr. Cornelia	Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Dummerstorf
MEYER, Prof. Dr. Dr. h.c. Heinrich H. D.	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

MÜLLER, Prof. Dr. Andreas	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale
PAPPRITZ, Dipl.-troph. Julia	Friedrich-Loeffler-Institut , Braunschweig
PECHER, Dr. Hans-Peter	H. Wilhelm Schaumann GmbH, Pinneberg
PFANNKUCHE, PD Dr. Helga	Universität Leipzig, Leipzig
PFEFFER, Prof. Dr. Dr. h.c. Ernst	Bonn
POLTEN, Dr. Bernhard	BMELV, Bonn
PRICKER, Dr. Hermann	H. Wilhelm Schaumann GmbH, Pinneberg
RAAB, Dr. Leonhard	ISF GmbH, Pinneberg
RAFFASER, Dr. Christian	H. Wilhelm Schaumann GmbH & Co. KG, Brunn am Gebirge, Österreich
REHAGE, Prof. Dr. Jürgen	Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover
REINSCH, Prof. Dr. Norbert	Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Dummerstorf
RESENHOEFT, Götz	Gut Hülsenberg GmbH, Wahlstedt
RICHARDT, Dr. Wolfram	Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH, Lichtenwalde
RIMBACH, Dr. Martin	ISF GmbH, Pinneberg
RODEHUTSCORD, Prof. Dr. Markus	Universität Hohenheim, Stuttgart H. Wilhelm Schaumann Stiftung
RÖHE, Prof. Dr. Rainer	Scottish Agricultural College, Edinburgh, Großbritannien
ROTH, Prof. Dr. Franz Xaver	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

SANFTLEBEN, Dr. Peter	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Dummerstorf
SAUERWEIN, Prof. Dr. Dr.habil. Helga	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn
SCHENKEL, Prof. Dr. Hans	Universität Hohenheim, Stuttgart
SCHÖPKE, Kati	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale
SCHRAMM, RA Rüdiger	H. Wilhelm Schaumann Stiftung, Hamburg
SCHWARZ, Prof. Dr. Frieder	Technische Universität München, Freising-Weihenstephan H. Wilhelm Schaumann Stiftung
SCHWERIN, Prof. Dr. Manfred	Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Dummerstorf H. Wilhelm Schaumann Stiftung
SEEMANN, Dr. Maria	Lohmann Animal Health GmbH & Co. KG, Cuxhaven
SEILLER, Dipl.-Kfm. M.B A. Charles A.	H. Wilhelm Schaumann Stiftung, Hamburg
SEILLER, M.B.A. Olivier M.	H. Wilhelm Schaumann Stiftung, Hamburg
SMIDT, Prof. Dr. Dr .h.c. Dietrich	Garbsen
SPIEKERS, Dr. Hubert	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Poing
STAMER, Dr. Eckhard	TiDaTier und Daten GmbH, Westensee/Brux
STANGASSINGER, Prof. Dr. Manfred	Ludwig-Maximilians-Universität München, München
STEFANSKI, Prof. Dr. Volker	Universität Hohenheim, Stuttgart
STEINHART, Prof. Dr. em. Hans	Buchholz/Nordheide
STÖRZEL, Dipl.-Kfm. Ing. Uwe	Huelsenberg Holding GmbH & Co. KG, Pinneberg

SÜDEKUM, Prof. Dr. Karl-Heinz	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn
SUSENBETH, Prof. Dr. Andreas	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
SWALVE, Prof. Dr. Hermann	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale
TAUBE, Prof. Dr. Friedhelm	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
TEMPEL, Dipl.-Kfm. Peter	Huelsenberg Holding GmbH & Co. KG, Pinneberg
THALLER, Prof. Dr. Georg	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
THAYSEN, Dr. Johannes	Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Rendsburg
TIEDEMANN, Msc. Torben	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
VAN DORLAND, Dr. H. Anette	Universität Bern, Posieux, Schweiz
VON BORELL, Prof. Dr. Eberhard	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale
WALLACE, Dr. R. John	The Rowett Institute of Nutrition and Health, Aberdeen, Großbritannien
WEISTHOFF, Dr. Wilhelm	H. Wilhelm Schaumann Stiftung, Hamburg
WINKELMANN, Dr. Jörg	Schaumann BioEnergy GmbH, Pinneberg
WISCHER, Gerald	Universität Hohenheim, Stuttgart
WITTKOWSKI, Dr. Gerhard	Tiergesundheitsdienst Bayern e. V., Poing
WOLFFRAM, Prof. Dr. Siegfried	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel
WÖLGER, DI Reinhold	H. Wilhelm Schaumann GmbH & Co. KG, Brunn am Gebirge, Österreich

ZEHETMEIER, Monika

Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

ZEITZ, Johanna

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,  
Zürich, Schweiz

ZEYNER, Prof. Dr. Anette

Universität Rostock, Rostock

ZOLLITSCH, Prof. Dr. Werner J.

Universität für Bodenkultur Wien, Wien, Österreich



