

## 1. EINLEITUNG

Der Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) legt mit diesem Buch grundlegend überarbeitete Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen vor. Diese berücksichtigen den aktuellen Stand der internationalen Forschung und beinhalten neue Datenauswertungen, die mit dem Ziel der Quantifizierung von Einflussfaktoren auf den Bedarf vorgenommen wurden. Die vorausgegangenen Empfehlungen (GfE 2001) und damit verknüpfte Vorgehensweisen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie (ME; Metabolisable Energy) und der Nettoenergie aus Nährstoffkonzentrationen in Futtermitteln für Wiederkäuer (GfE 2004, 2008, 2009, 2017, 2020) werden hiermit abgelöst.

Die neuen Empfehlungen sind mit konzeptionellen Innovationen bei der Energie- und Proteinbewertung verbunden. Bei der Entwicklung dieser Konzepte wurde besonderer Wert darauf gelegt, die Einflussfaktoren, die auf den Futterwert und den Bedarf des Tieres wirken, voneinander zu entkoppeln. Infolgedessen wird es zukünftig einfacher als in der Vergangenheit sein, neues Wissen in die Bewertungssysteme zu integrieren. Die neuen Konzepte legen zudem einen besonderen Wert auf die Einbeziehung von *in-vitro*-, *in-situ*- und Laborverfahren in die Bewertungssysteme.

Das unter Verwendung von Originaldaten völlig neu entwickelte Energiebewertungssystem arbeitet mit der ME, die für die Futtermittel im sogenannten *dreistufigen Verfahren* unter Berücksichtigung der Verdaulichkeit der Organischen Masse und der Rohproteinkonzentration ermittelt wird. Bei der Berechnung des Bedarfs an ME wird berücksichtigt, dass bei laktierenden Milchkühen sowohl der Erhaltungsbedarf als auch die Verwertung der ME für die Milchbildung höher sind, als es ältere Auswertungen zum großen Teil nahegelegt hatten, auf denen das bislang verwendete Nettoenergiesystem (GEH 1986, GfE 2001) basierte. Die Berücksichtigung solcher und weiterer Veränderungen ist auf der Basis der ME einfacher möglich und mit weniger Aufwand bei der praktischen Umsetzung verbunden als auf der Basis der Nettoenergie.

Das neue Proteinbewertungssystem verwendet das dünn darmverdauliche Protein und die dünn darmverdaulichen Aminosäuren als die Schnittstelle zwischen dem Bedarf und der Versorgung des Tieres. Die Faktoren des Bedarfs und die Einflüsse auf den Proteinwert der Futtermittel werden dementsprechend neu zugeordnet und quantifiziert. Während im System des nutzbaren Rohproteins am Duodenum (GfE 1997, 2001) von einer konstanten Verdaulichkeit der in den Dünndarm gelangenden Proteinquellen ausgegangen wurde, berücksichtigt das neue System die wachsende Zahl an Daten zur Variation der Dünndarmverdaulichkeit des Proteins und der Aminosäuren zwischen verschiedenen Proteinquellen. Eine wesentliche Neuerung besteht auch darin, dass der Bedarf und die Versorgung in Ergänzung zum dünn darmverdaulichen Protein auch für einzelne essenzielle Aminosäuren kalkuliert werden.

Für die Mineralstoffe und Vitamine bestand keine Notwendigkeit zur Entwicklung grundlegend neuer Konzepte. Allerdings führten die Auswertungen neuerer Daten zu Anpassungen bei einzelnen Faktoren des Bedarfs, z. B. beim Phosphor, oder bei den empfohlenen Konzentrationen im Futter, z. B. Vitamin D.

Die Herangehens- und Darstellungsweisen wurden so gewählt, dass eine Anwendung der Empfehlungen in der gesamten Vielfalt der Praxis unter mitteleuropäischen Verhältnissen möglich ist. Dies schließt unterschiedlich intensive Produktionssysteme und Futtergrundlagen ebenso wie verschiedene Leistungsniveaus von Milchkühen ein. Gleichwohl wird herausgearbeitet, dass die Gesundheit der Tiere eine wesentliche Voraussetzung für angestrebte Leistungen ist. Dieses Buch

beinhaltet daher auch Kapitel zur artgerechten Ernährung, zur Gesunderhaltung und zu Sonderwirkungen bestimmter Futtermittel und Futtermittelzusatzstoffe. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Ableitung von Orientierungswerten für die Futterraufnahme und auf die Erläuterung von auf die Futterraufnahme wirkenden Einflussgrößen gelegt. Die Erörterungen in diesen Kapiteln sollen dabei helfen, möglichen Zielkonflikten zwischen Gesundheit und Leistung von Tieren vorzubeugen.

Die Einflüsse der Fütterung auf die Zusammensetzung und Qualitätseigenschaften der Milch werden in einem separaten Kapitel erläutert. An verschiedenen Stellen des Buches wird zudem auf die Umweltwirkungen der Milchkuhfütterung eingegangen, die mit Fütterungsmaßnahmen beeinflusst werden können. Der Abgabe von Methan wird ein eigenes Kapitel gewidmet, mit dem zur Versachlichung der Debatten um die Klimarelevanz der Rinderhaltung in Fachkreisen und darüber hinaus beigetragen werden soll.

Nicht zuletzt ist es ein wichtiges Anliegen des Buches, noch bestehende Schwachstellen bei der Formulierung von Versorgungsempfehlungen zu benennen und zu bewerten sowie weitere Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Diese schließen auch Hinweise auf fehlende Daten und einen Arbeitsbedarf ein. Somit verfolgt dieses Buch ebenfalls das Ziel, Forschende zur weiteren Befassung mit Themen des Bedarfs und der Futtermittelbewertung anzuregen und damit die nächste Fassung dieses Buches mit vorzubereiten.

#### Literatur (1)

- GEH (1986): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 3 Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GfE (1997): Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 6, 217–236.
- GfE (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GfE (2004): Prediction of metabolisable energy (ME) in total mixed rations (TMR) for ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 13, 195–198.
- GfE (2008): New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17, 191–198.
- GfE (2009): New equations for predicting metabolisable energy of compound feeds for cattle. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 18, 143–198.
- GfE (2017): Equations for predicting metabolisable energy and digestibility of organic matter in forage legumes for ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 26, 186–193.
- GfE (2020): Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie und der Verdaulichkeit der Organischen Masse von Maisprodukten für Wiederkäuer. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 29, 171–175.

## 2. ENERGIE

### 2.1 VORBEMERKUNGEN

Neuere Untersuchungen zum Energieumsatz von Milchkühen sowie Auswertungen älterer Daten zeigen, dass die von der GfE (2001) gegebenen Empfehlungen zur Energieversorgung auf der Basis der Nettoenergie-Laktation (NEL), insbesondere hinsichtlich der zugrunde liegenden Bedarfswerte für Erhaltung und Milchleistung, nicht mehr dem heutigen Kenntnisstand entsprechen. Diese Werte wurden aus der Publikation im Jahr 1986 (GEH 1986) nahezu unverändert übernommen und beruhen in wesentlichen Teilen auf den Experimenten der Arbeitsgruppe um Van Es (1975), die in den 1960er Jahren durchgeführt wurden.

Da von den nun erforderlichen Änderungen auch die Höhe der Verwertung der Umsetzbaren Energie (ME; Metabolisable Energy) für die Milchbildung ( $k_l$ ) betroffen ist, würde dies innerhalb eines Nettoenergie-Systems zu anderen in NEL ausgedrückten Futterwerten führen. Die Eigenschaften der Futtermittel hinsichtlich ihres Energielieferungsvermögens werden auf der Stufe der ME abgebildet, die Verwertung der ME für die Milchbildung und für andere Leistungen ist hingegen weitgehend von der Zusammensetzung der Ration unabhängig. Daher sind notwendige Änderungen, welche die Höhe der postabsorptiven Verwertung und damit den Bedarf betreffen, sinnvollerweise auf der Stufe der ME vorzunehmen. Zudem wird durch die Verwendung der ME sichergestellt, dass zukünftig neue Erkenntnisse auf der einen Seite zum Bedarf und auf der anderen zur Futterbewertung unabhängig voneinander und in einfacher Weise berücksichtigt werden können, da mit der ME eine klare Trennung von Futterbewertung und Bedarfsableitung vorgenommen ist. Die Verwendung der ME bietet darüber hinaus den Vorteil, dass der Futterwert für alle Nutztierwiederkäuer und Leistungsrichtungen auf der gleichen Bewertungsstufe ausgedrückt wird und die in vorhandenen Tabellenwerken angegebenen ME-Werte für Futtermittel ihre Gültigkeit unabhängig von vorgenommenen Änderungen aufseiten des Bedarfs grundsätzlich behalten.<sup>1</sup> Der ME-Gehalt einer Ration bzw. der ME-Bedarf des Tieres wird in Stoffwechselversuchen bestimmt, sodass in Zukunft neue, aus Experimenten abgeleitete Erkenntnisse im Bereich der Futterbewertung bzw. des Bedarfs genutzt und berücksichtigt werden können. Darüber hinaus stellt die ME die Basis vieler internationaler Futterbewertungs- und Bedarfssysteme dar. Diese Gründe haben den AfBN bewogen, die Empfehlungen zur Versorgung mit Energie und die energetische Futterbewertung auf der Stufe der ME vorzunehmen. Die Umstellung vom bisherigen NEL-System auf die ME ist relativ unproblematisch, da auch die NEL die ME zur Grundlage hat und die etablierten Verfahren zur routinemäßigen Bestimmung des Futterwerts ihre Gültigkeit behalten.

Eine weitere Änderung betrifft die Vorgehensweise bei der Ermittlung der ME-Konzentration der Futtermittel, die bisher auf der Basis der Konzentration an verdaulichen Rohnährstoffen berechnet wurde (GfE 2001). Anstelle dieser wird ein *dreistufiges Verfahren* angewandt, das von der Verdaulichkeit der Organischen Masse (OMD; Organic Matter Digestibility) ausgeht und aufgrund der konstanten Differenz zur Verdaulichkeit der Energie (ED; Energy Digestibility) die

<sup>1</sup> Gewisse Änderungen in der ME-Konzentration der Futtermittel ergeben sich für eine Reihe von Futtermitteln jedoch aufgrund der Ableitung nach dem neuen, hier eingeführten dreistufigen Verfahren.

Verdauliche Energie (DE; Digestible Energy) ableitet; die Energieverluste über Harn und Methan (CH<sub>4</sub>) werden jeweils gesondert geschätzt und vom Gehalt an DE abgezogen, um zum ME-Wert zu gelangen.

Bei der Neukonzeption der energetischen Futterbewertung und der Überarbeitung der Bedarfsfaktoren waren folgende übergeordnete Leitmotive maßgebend: (1) Es sollte eine klare Struktur durch die jeweils gesonderte Erfassung der bei der Futterbewertung zu berücksichtigenden Verluste, die Trennung von Futterbewertung und Bedarfsableitung sowie eine eindeutige Definition der einzelnen Bedarfsfaktoren erreicht werden. (2) Es sollte eine möglichst große Flexibilität gewährleistet sein, um neue wissenschaftliche Erkenntnisse in Einzelbereichen integrieren zu können, ohne das Gesamtsystem ändern zu müssen. (3) Es sollten diejenigen Bereiche erkennbar sein, wo sich bei Vorliegen entsprechender gesicherter Kenntnisse weitere Einflüsse auf Futterwert bzw. Bedarf berücksichtigen lassen (beispielsweise Futterinhaltsstoffe mit spezifischen Wirkungen, Einfluss der Rationszusammensetzung und damit verbundener Effekte des Futteraufnahmelevels auf Verdaulichkeit und CH<sub>4</sub>-Abgabe, möglicher Einfluss der Körperzusammensetzung auf den Bedarf für Körpermasseänderung und Erhaltung). (4) Das System sollte auf Ergebnissen einer präzisen, mit vertretbarem Aufwand durchzuführenden Analytik und zu erfassenden biologischen Messgrößen beruhen, und nicht auf durch das System festgelegten Berechnungswegen, um Eindeutigkeit, Nachvollziehbarkeit und größtmögliche internationale Kompatibilität zu gewährleisten. (5) Es sollte ein System geschaffen werden, das einen einfach anzuwendenden, sicheren und gut zu vermittelnden Orientierungsrahmen für die Fütterungspraxis bietet.

## 2.2 ENERGETISCHE FUTTERBEWERTUNG

### Kurzbeschreibung des *dreistufigen Verfahrens* zur Bestimmung der Umsetzbaren Energie

Das neue, hier vorgestellte Verfahren zur Bestimmung des Gehalts an ME von Rationen und Futtermitteln unterscheidet sich grundsätzlich von der bisherigen Vorgehensweise (GfE 2001), bei der diese Zielgröße aus dem Gehalt an verdaulichen Rohnährstoffen berechnet wird. Zentraler Ausgangspunkt ist nun die OMD. Da sich die ED durch eine konstante Differenz von der OMD unterscheidet, lässt sich der Gehalt an DE aus dem Brennwert (GE; Gross Energy, auch als Bruttoenergie bezeichnet) bestimmen. Die Verluste an Harnenergie (UE; Urinary Energy) werden aus dem Rohproteingehalt (CP; Crude Protein) und die Verluste an CH<sub>4</sub>-Energie (CH<sub>4</sub>-E) aus der OMD abgeleitet, um vom DE- zum ME-Gehalt zu gelangen. Ausgehend vom GE-Wert der Futtermittel beinhaltet das *dreistufige Verfahren* die folgenden Berechnungsschritte:

$$\begin{aligned} \text{ED (\%)} &= \text{OMD (\%)} - 3,3 \\ \text{UE (MJ/kg OM)} &= 0,0037 \text{ CP (g/kg OM)} \\ \text{CH}_4\text{-E (MJ/kg OM)} &= 0,7 + 0,014 \text{ OMD (\%)} \end{aligned}$$

Die Gleichung zur Berechnung des ME-Gehalts in der Trockenmasse (TM) lautet damit:

$$\begin{aligned} \text{ME (MJ/kg TM)} &= [(\text{GE (MJ/kg OM)} \cdot (\text{OMD (\%)} - 3,3) / 100 - 0,0037 \cdot \text{CP (g/kg OM)} \\ &\quad - (0,7 + 0,014 \text{ OMD (\%)}))] \cdot (1 - \text{CA (g/kg TM)/1000}) \end{aligned}$$

## 2.2 Energetische Futterbewertung

wobei CA (Crude Ash) Rohasche bedeutet. Der ME-Gehalt einer Ration ist damit allein aufgrund der Bestimmung des Brennwertes, der Verdaulichkeit der Organischen Masse und des Rohproteingehalts ableitbar. Dieser ME-Wert repräsentiert den standardisierten (d. h. bei einem Futteraufnahme-niveau im Bereich des energetischen Erhaltungsbedarfs) beim Rind oder Schaf ermittelten und bei einer N-Verwertung von 1/3 vorliegenden energetischen Futterwert.

### 2.2.1 Hintergrund zur Einführung des *dreistufigen Verfahrens*

Der energetische Futterwert wird in vielen Energiebewertungssystemen mithilfe von Gleichungen berechnet, denen der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen zugrunde liegt (GfE 2001, Beyer et al. 2003, DJF 2003, CVB 2016). Wird hierbei jedem zu berücksichtigenden verdaulichen Nährstoff (oder einer Nährstoffgruppe) ein Energiewert zugewiesen, führt dies zum Gehalt an DE. In den regressionsanalytisch abgeleiteten Gleichungen zur Bestimmung der ME werden die Energieverluste über Harn und CH<sub>4</sub> dadurch abgebildet, dass die Koeffizienten für die jeweiligen verdaulichen Nährstoffe gegenüber ihrem DE-Wert reduziert sind. Jedoch weisen solche Schätzgleichungen trotz ihrer hohen Genauigkeit und Zuverlässigkeit Unterschiede und insbesondere hinsichtlich ihrer praktischen Anwendung Begrenzungen auf. So stehen die für eine routinemäßige Bestimmung des Futterwerts notwendigen Informationen über die Verdaulichkeit der einzelnen Nährstoffe in der Regel nicht zur Verfügung, da sie über einen Verdaulichkeitsversuch am Tier bestimmt werden müssen. Die OMD als zentrale Bestimmungsgröße des energetischen Futterwerts lässt sich jedoch mit verschiedenen *in-vitro*-Verfahren zuverlässig schätzen. Die ED kann aus der OMD abgeleitet werden, da diese beiden Größen sich durch eine konstante Differenz unterscheiden. Nach der jeweiligen Bestimmung der Energieverluste über Harn und CH<sub>4</sub> lässt sich dann der ME-Gehalt eines Futters berechnen. Der Gehalt an verdaulicher OM (DOM; Digestible Organic Matter) als zentrale Größe dient darüber hinaus auch als Schlüsselinformation zur Abschätzung der im Pansen gebildeten Menge an mikrobiellem CP (MCP) (siehe Kapitel 3.3.2).

### 2.2.2 Übersicht über die der Auswertung zugrunde liegenden Daten

Die in den folgenden Abschnitten dargelegten drei Berechnungsschritte basieren auf der Auswertung eines umfangreichen Datenmaterials aus Stoffwechselversuchen an Rindern. Die zugrunde liegenden Versuche wurden am Oskar-Kellner-Institut, Rostock durchgeführt und in den Jahren 1962 bis 1993 veröffentlicht und sind zum großen Teil in dem Werk *Energetische Futterbewertung und Energienormen* (Schiemann et al. 1971b) zusammengestellt und ausgewertet. Eine detaillierte und umfassende Beschreibung der Rationen sowie der Vorgehensweise bei der Auswertung des gesamten Datenmaterials ist bei Böttger et al. (2023) zu finden, die dort abgeleiteten Konstanten und Gleichungen sind mit den hier angegebenen identisch. Die mittleren Energie- und Nährstoffgehalte der untersuchten Rationen, deren Verdaulichkeiten sowie die Streuungen sind in Tabelle 2.1 aufgeführt. Um eine rein auf unterschiedliche CA-Gehalte zurückgehende Streuung in den Nährstoffgehalten zu vermeiden, ist der Bezug zur OM gewählt. In Tabelle 2.2 sind weitere Angaben zur Körpermasse, Futteraufnahme sowie zu den relevanten Daten der Stoffwechsellmessungen gemacht. Grundsätzlich wurden für diese Auswertung keine Einzeltierwerte, sondern Mittelwerte von Rationen verwendet, die jeweils an mehreren Tieren geprüft

wurden. Des Weiteren wurden eine Einschränkung auf Versuche an Ochsen vorgenommen und Rationen außerhalb des Bereichs zwischen 100 und 200 g CP/kg TM und mit Gehalten an Rohfett (CL; Crude Lipid) über 70 g/kg TM nicht berücksichtigt (n = 102 ausgewertete Rationen). Der Ausschluss bestimmter weiterer Versuchsdaten ist bei Böttger et al. (2023) begründet. Insgesamt basiert die hier vorgelegte Auswertung auf über 621 Einzeltierbeobachtungen, wobei pro Ration im Mittel 6,1 Beobachtungen zugrunde liegen. Obwohl die Versuche zeitlich weit zurückliegen, stellt dieses Datenmaterial aufgrund seines Umfangs, der großen Streubreite in der Zusammensetzung der Rationen, die auch heutige Rationen abdeckt, der Präzision der Messungen sowie der nach wie vor gültigen Vorgehensweise zur Bestimmung von Verdaulichkeit und Energieabgabe über Harn und CH<sub>4</sub> eine ausnehmend wertvolle Grundlage dar.

Tabelle 2.1: Mittelwerte und Streuung der Gehalte an Nährstoffen und Energie sowie deren Verdaulichkeit der 102 ausgewerteten Rationen bei Ochsen<sup>1</sup>

Inhaltsstoffe	CA	OM	CP	CL	CF	NfE	ST	ZU	OR	GE	DE	ME
Gehalte	g/kg TM	g/kg TM	g/kg OM	g/kg OM	g/kg OM	g/kg OM	g/kg OM	g/kg OM	g/kg OM	MJ/kg OM	MJ/kg OM	MJ/kg OM
Mittelwert	68	932	157	21	256	566	117	100	604	19,6	13,9	11,3
SD	14	14	25	7	58	59	90	52	94	0,30	1,04	0,93
Minimum	34	879	105	8	146	415	0	11	377	18,8	10,5	8,3
Maximum	121	966	212	51	413	680	355	311	843	20,4	15,7	12,8
Verdaulichkeit		%	%	%	%	%	%	%	%	%	ME/DE, %	ME/GE, %
Mittelwert	–	74,0	66,3	59,2	65,9 <sup>2</sup>	78,8	99,4	99,6	67,1	70,8	81,6	57,8
SD	–	5,64	7,97	11,5	6,17	6,80	–	–	6,77	5,69	1,70	5,14
Minimum	–	56,6	35,8	19,6	51,8	61,8	94,0	93,4	48,7	53,0	78,8	41,9
Maximum	–	83,9	81,9	79,6	76,1	89,2	100	100	79,2	81,5	86,3	66,2

<sup>1</sup> CA: Rohasche; CF: Rohfaser; CL: Rohfett; CP: Rohprotein; DE: Verdauliche Energie; DOM: Verdauliche OM; GE: Bruttoenergie; ME: Umsetzbare Energie; NfE: N-freie Extraktstoffe; OM: Organische Masse; OR: Organischer Rest (= OM - CP - CL - ST - ZU); SD: Standardabweichung; ST: Stärke; TM: Trockenmasse; ZU: Zucker

<sup>2</sup> n = 84

## 2.2 Energetische Futterbewertung

Tabelle 2.2: Körpermasse und Futtermittelaufnahme der Ochsen sowie Energieverluste über Harn und CH<sub>4</sub> bei den 102 ausgewerteten Rationen<sup>1</sup>

Einheit	Körpermasse	Futtermittelaufnahme pro Tag		Harnenergie		CH <sub>4</sub> -Energie		
	kg	kg TM	g TM/kg <sup>0,75</sup>	kJ/g OM	kJ/g CP	kJ/g OM	kJ/g DOM	% GE
Mittelwert	714	7,70	56	0,87	5,53	1,67	2,27	8,5
SD	115	1,41	10	0,18	0,61	0,15	0,20	0,8
Minimum	461	4,43	39	0,43	3,60	1,26	1,63	6,4
Maximum	924	11,0	78	1,24	6,76	2,11	2,71	11,0

<sup>1</sup> CP: Rohprotein; DOM: Verdauliche OM; GE: Bruttoenergie, kg<sup>0,75</sup> Einheit der metabolischen Körpergröße; OM: Organische Masse; SD: Standardabweichung; TM: Trockenmasse

### 2.2.3 Beziehung zwischen der Verdaulichkeit der Organischen Masse und der Verdaulichkeit der Energie

Wie aus Abbildung 2.1 ersichtlich ist, besteht eine sehr enge Beziehung zwischen der OMD und der ED, da die Fettgehalte von Rationen für Wiederkäuer i. d. R. niedrig sind und daher die Brennwerte der OM im Futter nur in geringem Umfang streuen. Da die Steigung einer entsprechenden Regressionsgeraden nicht von eins verschieden ist, kann der Zusammenhang über die Angabe der mittleren Differenz angegeben werden, sie beträgt:

$$\text{OMD (\%)} - \text{ED (\%)} = 3,3 \quad (\text{SD} = 0,52; n = 102) \quad [2.1]$$

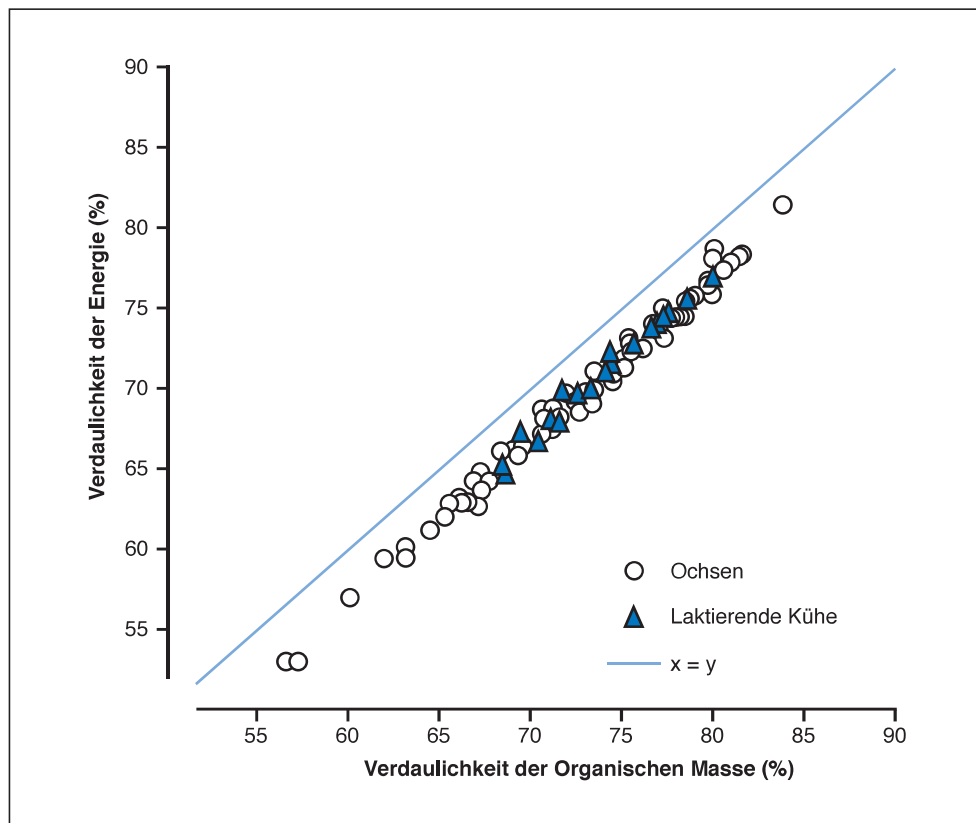


Abbildung 2.1: Beziehung zwischen der Verdaulichkeit der Organischen Masse (%) und der Verdaulichkeit der Energie (%) bei Ochsen (n = 102 Rationen, mittleres Futteraufnahme-niveau<sup>2</sup> 1,1) und laktierenden Kühen (n = 20 Rationen, mittleres Futteraufnahme-niveau 2,4). Es ist deutlich erkennbar, dass die Differenz zwischen der Verdaulichkeit der Organischen Masse und der Verdaulichkeit der Energie eine sehr geringe Streuung aufweist, über den gemessenen Bereich der Verdaulichkeit konstant ist und nicht vom Futteraufnahme-niveau beeinflusst wird.

Eine große Bedeutung kommt der Tatsache zu, dass diese Differenz über den erfassten Bereich von 57–84 % OMD konstant ist. Der höhere Brennwert der Kot-OM ist vor allem durch deren Gehalt an mikrobieller Substanz und den gegenüber der Futter-OM höheren Gehalt an Lignin verursacht und nimmt mit ansteigender OMD zu. Der Brennwert der Kot-OM beträgt 21,7 kJ/g bei 65 % OMD und 22,5 kJ/g bei 80 % OMD und weist einen mittleren Wert von 22,1 kJ/g auf. Die Standardabweichung (SD; Standard Deviation) der mittleren OMD-ED-Differenz von 0,52 ist gering, was zeigt, dass sich die ED aus der OMD mit hoher Genauigkeit ableiten lässt. Die Höhe der Futteraufnahme verändert diese Differenz nicht, wie die Einbeziehung von 20 weite-

<sup>2</sup> Siehe Fußnote 3.



## 2.2 Energetische Futterbewertung

ren Rationen zeigt, die an Milchkühe bei einem Futteraufnahmeniveau (FAN)<sup>3</sup> im Mittel von 2,4 verabreicht wurden. Der Wert für die Differenz war für diese Daten mit 2,9 nur geringfügig niedriger (Abbildung 2.1). Die von Sauvant und Giger-Reverdin (2009) vorgenommene Auswertung eines umfangreichen Datenmaterials sowie Ergebnisse von Rationen mit CL-Gehalten unter 30 g/kg TM aus Untersuchungen von Schiemann et al. (1971a) und Steingaß et al. (1994) bestätigen diesen Befund: Die jeweilige mittlere Differenz betrug 3,2, 3,2 bzw. 3,3 %-Einheiten bei einem FAN von 3. Die Differenz von 3,3 erwies sich innerhalb der hier zugrunde liegenden Auswertung auch unabhängig vom Gehalt an Stärke (ST) und Zucker (ZU). Allerdings nahm die Differenz mit steigendem CL-Gehalt tendenziell ab, was sich jedoch aufgrund der kleinen Variation des CL-Gehalts (nur 2 Rationen wiesen einen CL-Gehalt über 35 g/kg OM auf) nicht zuverlässig beschreiben ließ und aufgrund des geringen Ausmaßes nicht relevant ist. Ein Einfluss ist insbesondere bei Rationen mit hohen CL-Gehalten zu erwarten, die durch Zulage von CL-Quellen mit hoher CL-Verdaulichkeit erreicht werden, was durch Untersuchungen von Schiemann et al. (1971a) und Steingaß et al. (1994) bestätigt wird. Jedoch unterschreitet beispielsweise eine energiereiche Ration mit 70 g CL/kg OM und einer CL-Verdaulichkeit von 75–80 % die Differenz von 3 %-Einheiten nur unwesentlich. Damit wird die ED von Rationen auch mit höheren CL-Gehalten und hoher OMD bei Zugrundelegung einer Differenz zwischen OMD und ED von 3,3 %-Einheiten weitgehend zutreffend eingeschätzt.

Der CP-Gehalt hat innerhalb des ausgewerteten Bereichs von 100 bis 200 g/kg TM einen Einfluss auf diese Differenz, der sich mit der Gleichung:  $OMD - ED (\%) = 5,0 - 0,0113 \text{ CP (g/kg OM)}$  (RSD = 0,43) beschreiben lässt und sich auch unterhalb und oberhalb dieser Grenzen fortsetzt. Dieser Einfluss ist dadurch bedingt, dass Proteine einen höheren Brennwert als Kohlenhydrate aufweisen, wodurch der Brennwert der Futter-OM mit steigendem CP-Gehalt zunimmt, jedoch, da insbesondere bei einem CP-Überschuss eine hohe Verdaulichkeit des CP eintritt, die CP-Konzentration und damit der Brennwert des Kots durch die CP-Konzentration im Futter kaum beeinflusst ist. Entsprechend dieser Gleichung ist der Einfluss auf die OMD-ED-Differenz für die energetische Bewertung einer Ration mit einer CP-Konzentration im Bereich bedarfsangepasster Versorgung ohne Bedeutung und lässt sich insbesondere für die Daten des Bereichs 120–170 g CP/kg OM kaum aufzeigen. Die angegebene Gleichung kann jedoch auf Gesamtrationen angewendet werden, die einen ausgeprägten Überschuss an CP aufweisen. Die Anwendung auf Einzelfuttermittel ist nicht zulässig.<sup>4</sup>

Aus den bei Schiemann et al. (1971b) zusammengestellten Stoffwechselversuchen an Schafen ergibt sich, wenn dieselben Grenzen für den CP- und CL-Gehalt der Rationen wie bei den Rindern gezogen werden, eine nahezu gleich große mittlere OMD-ED-Differenz von 3,2 %-Einheiten (n = 63 Rationen<sup>5</sup>; SD = 0,70; Spanne 58–85 % OMD) (Böttger et al. 2021). Diese Differenz weist

<sup>3</sup> Das Futteraufnahmeniveau 1 (FAN1) ist hier definiert als 50 g TM-Aufnahme pro Einheit metabolischer Körpergröße ( $\text{kg}^{0,75}$ ) und deckt bei mittlerer Grobfutterqualität etwa den energetischen Erhaltungsbedarf, wenn dieser mit 0,45–0,50 MJ ME/kg<sup>0,75</sup> angenommen wird. Die vielfach verwendete Größe Ernährungsniveau (EN) wird hier nicht verwendet, da es hier nicht um die Beschreibung des Versorgungsniveaus geht, sondern um die Wirkung der Futteraufnahmemenge, die als zentrale Ursache einer beschleunigten Passage und infolgedessen einer Verringerung der Verdaulichkeit anzusehen ist. Außerdem erfordert die Angabe des EN die Festlegung des energetischen Erhaltungsbedarfs (der aber häufig in der Literatur nicht mitgeteilt ist), setzt die Kenntnis des Energiegehalts der Ration voraus und führt bei gleichem EN je nach Energiegehalt zu einer unterschiedlich hohen TM-Aufnahme.

<sup>4</sup> Eine nähere Begründung ist in Abschnitt 2.2.8 gegeben.

<sup>5</sup> Es wurde 1 Ration aufgrund eines nicht plausiblen UE- und CH<sub>4</sub>-Werts aus dem Datensatz entfernt.