

# Berechnungsmethoden für den Energiegehalt von Futtermitteln und Richtwerte für den Energiebedarf von Wiederkäuern

**Methods of calculating the energy content of feed stuffs and standards for the energy requirements of ruminants.**

Von Johann Ganser\*)

## 1. Einleitung

In den Ländern, in denen Projekte der Deutschen Technischen Zusammenarbeit laufen, werden unterschiedliche Futterbewertungssysteme verwendet, die meist noch auf älteren, vor Jahrzehnten erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen, beruhen.

So ist die früher in den USA und ihrem Einflußbereich maßgebliche Futtereinheit TDN (Total Digestible Nutrients; in Südamerika NDT = Nutriente Digestibles Totales) wissenschaftlich längst überholt. Trotzdem wird sie auch heute noch verwendet, z.T. wohl, weil ihre Handhabung in der Praxis einfacher ist als die der modernen Futterwerteinheiten. Ähnliches gilt für die Stärkeeinheit (StE), welche in Europa und Übersee weite Verbreitung gefunden hatte. Jetzt kommen aber zunehmend neue Bewertungssysteme zur Anwendung.

Das Rostocker Futterbewertungssystem (DDR) stellt eine Weiterentwicklung der Kellner'schen Stärkewertlehre dar. Dabei wird der Futterwert in Nettoenergie Fett (NEF) bzw. in daraus abgeleiteten Energetischen Futtereinheiten (EF) ausgedrückt. Je nach Tierart wird unterschieden zwischen EFr (Rind), EFs (Schwein) und EFh (Geflügel). Die EFr wird für alle Leistungen von Wiederkäuern (Erhaltung, Milchproduktion, Gewichtszunahme etc.) verwendet.

In der Bundesrepublik Deutschland ist vor wenigen Jahren ein Bewertungssystem auf der Basis der Nettoenergie Laktation (NEL) eingeführt worden, welches für Milchkühe und Jungrinderaufzucht Verwendung findet. Dagegen wird der Energiebedarf für die Wiederkäuermast weiterhin in StE bemessen, weil man die bis zum jetzigen Zeitpunkt entwickelten und vorgeschlagenen Nettoenergiesysteme Mast noch für unzureichend hält.

Die Niederlande, die Schweiz und Frankreich benutzen heute bereits zweigeteilte Nettoenergiesysteme, d.h. der Energiebedarf von Muttertieren (Kühe, Ziegen, Schafe) sowie wachsenden Jungtieren wird auf andere Weise berechnet als derjenige von Masttieren. Diese Systeme, wie auch das in der Bundesrepublik verwendete NEL-System, beruhen

---

\*) Dipl.-Ing. agr. Johann Ganser, Leiershohlstr. 20 D-6236 Eschborn

auf den gleichen wissenschaftlichen Grundlagen. Die Berechnung der Nettoenergie Laktation bzw. Mast stützt sich dabei auf eine von van ES in den Niederlanden entwickelte Gleichung.

Die zwischen den einzelnen Ländern bestehenden Bewertungsunterschiede sind sehr geringfügig.

In den USA orientiert sich die Futterbewertung für Milchkühe heute ebenfalls an der Verwertung der Energie für die Milchbildung.

Die Vielfalt der heute gebräuchlichen Futterbewertungssysteme führt gerade bei einer Tätigkeit in Entwicklungsländern oft zu Verwirrung und Problemen. Ob nun ein entsandter Sachverständiger das Gastland wechselt oder ob er Fachliteratur konsultiert, meistens wird er sich mit voneinander abweichenden Bewertungssystemen konfrontiert sehen. Direkte Umrechnungsmöglichkeiten bestehen meistens nicht, es sei denn, zwischen Futterwerteinheiten, die auf der gleichen Grundlage beruhen, also zwischen StE und den daraus abgeleiteten Skandinavischen (S.E.), Sowjetischen (SFE) und Französischen (UF) Futtereinheiten. Bedeutend schwieriger wird es mit anderen Futterwerteinheiten, bedingt durch unterschiedliche Bewertungsfaktoren für die einzelnen Nährstoffe und Korrekturfaktoren für die Wertigkeit bzw. den Rohfasergehalt der Futtermittel. Hierzu wird auf die Konversionstabellen von Kielanowsky (1972) verwiesen.

## 2. Berechnung des Energiegehaltes von Futtermitteln

Um Unklarheiten bezüglich der Futterwertberechnung nach verschiedenen Systemen wenigstens teilweise auszuräumen, ist in Tabelle 1 der Rechengang für eine Reihe von gebräuchlichen Futterwerteinheiten am Beispiel einer irakischen Luzerne demonstriert.

Ausgangspunkt für alle Berechnungsverfahren sind die verdaulichen Nährstoffe je kg Trockensubstanz. Abhängig von der zu berechnenden Futterwerteinheit werden die einzelnen Nährstoffe mit unterschiedlichen Faktoren multipliziert. Von der Summe werden ggfs. noch Abzüge (z.B. für Rohfasergehalt) vorgenommen, die je nach Art und Inhaltsstoffen des Futtermittels besonderen Tabellen zu entnehmen sind.

Die in Tabelle 1 dargestellte Berechnungsweise für die Skandinavische Futtereinheit (S.E.) gilt nur in Dänemark. In Norwegen und Finnland verwendet man den Proteinfaktor 0,94. Somit ist dort der erste Rechenschritt völlig identisch mit der Berechnung der StE. Das Ergebnis (praktisch die kStE) wird sodann mit dem Faktor 1,43 multipliziert. In dieser Form ist die S.E. in Frankreich unter der Bezeichnung "Unite Fourragere" verwendet worden (Menke/Huss, 1980). Nach Angaben von Breirem wird die nach der sogenannten Kellner-Methode berechnete Skandinavische Futtereinheit auch als "reformierte S.E." bezeichnet. Diese sei u.a. in Frankreich, Israel, Italien, Portugal und Spanien benutzt worden (Lenkeit, u.a.; Handbuch der Tierernährung, S. 660).

Die alte französische UF wurde nach folgender Formel von Breirem-Lehmann berechnet (INRA, 1978):

$$UF = \frac{2,36 \text{ verdaul. OS} - 1,20 \text{ unverdaul. OS}}{1650}$$

Darin gibt die Zahl im Nenner die Nettoenergie von 1 kg Gerste in Kellner-NKf bei der Fettmast von Rindern an.

Ab dem Jahre 1954 ist die von Leroy entwickelte Formel eingeführt worden, in der die Nettoenergie von 1 kg Gerste mit 1883 kcal für die Milcherzeugung eingesetzt wird (INRA).

$$UF = \frac{(DP + (DL \times 2,25) + DF + DX) \times 3,65 - TS}{1883}$$

Für die Luzerneherkunft der Tabelle 1 ergeben sich mit den drei unterschiedlichen Berechnungsweisen nahezu gleiche UF-Werte:

kStE x 1,43 0,826 UF  
nach Breirem 0,842 UF  
nach Leroy 0,835 UF

Bei höheren Anteilen an unverdaulicher organischer Substanz können die Werte jedoch stärker differieren.

Die vor wenigen Jahren in Frankreich eingeführten Futterwerteinheiten Unite Fourragère Lait (UFL) und Unité Fourragère Viande (UFV) werden auf etwa umständlichere Weise berechnet, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Eine vergleichende Gegenüberstellung für einige Futtermittel, in der die UF nach Leroy gleich 100 gesetzt wurden, findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 1: Berechnung verschiedener Futterwerteinheiten je kg Trockensubstanz am Beispiel von Luzerne  
(Ausgangspunkt für alle Verfahren sind die verdaulichen Nährstoffe je kg TS)

Verdaul. Nährstoffe je kg TS,	TDN		ME		StE		S.E.		EFr		
	g	Faktor	g	Faktor	kcal	Faktor	StE	Faktor	MPW	Faktor	EFr
Rohprotein	147	1	147	4,3	632	0,94	138	1,43	210	0,68	100
Rohfett	16	2,25	36	7,8	125	1,91	31	1,91	31	3,01	48
Rohfaser	132	1	132	2,9	383	1,00	132	1,00	132	0,80	106
N-freie E-Stoffe	390	1	390	3,7	1443	1,00	390	1,00	390	0,8	312
			705		2583		691		763		566
Rohfaserabzug (n. Tabelle) 19,4% x 5,8			—		—		113		113		---
							578	1,33 x	650		
Gehalt je kg TS			705	kcal=2583 MJ =10,81			578		865 S.E.=0,865	EFr= 566 NEF(MJ) = 5,92	

Quelle: LEGEL (1981)

Übersicht 1: Berechnung weiterer Futterwerteinheiten für Luzerne

DE	= TDN x 4,409 = 705 x 4,409 = 3108 kcal bzw. 13010 kJ*
S.E. (reform)	= kStE x 1,43 = 0,578 x 1,43 = 0,826
SFE	= kStE x 1,67 = 0,578 x 1,67 = 0,965
UF (alt)	= kStE x 1,43 = 0,578 x 1,43 = 0,826
NEL MJ	= 0,6 [1 + 0,004 (g-57)] x ME MJ
	= 0,6 [1 + 0,004 (62,2-57)] x 10,81 = 6.63

Formel für Umrechnung auf Nährstoff-  
gehalt in der Originalsubstanz:

$$\frac{FWE/kg TS \times g TS/kg OrS}{1000} = FWE/kg OrS$$

\* 1 kcal = 4,186 kJ

Weitere Erläuterungen siehe Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 2:

Futtermittel	verdaul. OS, %	UF LEROY	UF BREIREM	UFL	UFV
Mais, Körner	--	100	--	99	100
Hafer, Körner	--	100	--	102	97
Luzerne, in d. Knospe	71	100	97	114	105
Raygras vor dem Schossen	82	100	97	104	101
Wiesenheu, gut	60	100	92	120	104
Maissilage	72	100	95	105	98

Quelle: INRA (1978)

In Übersicht 1 ist die Berechnung einiger weiterer Futterwerteinheiten dargestellt. Im Falle von DE, S.E. (reform.), UF und SFE erfolgt dies einfach durch Multiplikation der aus Tabelle 1 zu entnehmenden Werte mit bestimmten Faktoren.

Etwas komplizierter ist die auf einer Formel von van Es (zitiert bei Kirchgessner) basierende Berechnung der Nettoenergie Laktation (NEL), deren Menge in Mega-Joule angegeben wird. Näheres findet sich in den DLG-Futterwert-Tabellen (1982), bei Menke/Huss (1980) und bei Kirchgessner (1982). Hier sei nur gesagt, daß es sich im Falle tierischer Leistungen um die Energiemenge handelt, die im Produkt wieder erscheint, d.h., wenn beispielsweise 1 kg Milch 3,1 Mega-Joule Energie enthält, so sind zu seiner Erzeugung 3,1 MJ NEL erforderlich gewesen.

Die in der Schweiz mit der gleichen Bezeichnung NEL verwendete Energieeinheit ist praktisch identisch mit der deutschen.

Die wechselseitige Konvertierbarkeit der neueren französischen, niederländischen und schweizer Energiebewertungsmaßstäbe wird von Vermorel (1978) wie folgt angegeben.

	Frankreich	Niederlande	Schweiz
für Laktation und langsames Wachstum	1 UFL	1000 VEM	6,9 NEL MJ
für schnelles Wachstum	1 UFV	1060 VEVI	7,3 NEW MJ

Es sei noch bemerkt, daß die Bewertung des Nettoenergiegehaltes von Futtermitteln eine sehr umfangreiche und komplexe Materie ist, die im Rahmen des vorliegenden Artikels nur in groben Zügen erläutert werden kann.

### 3. Energiebedarf von Wiederkäuern

Bedarfsnormen bzw. Richtwerte für den Energiebedarf von Wiederkäuern finden sich in zahlreichen Veröffentlichungen. Eine Aufschlüsselung nach Erhaltungs- und Leistungsbedarf erfolgt meistens nur für adulte weibliche Tiere, während für wachsende Jung- und Masttiere fast immer der Gesamtbedarf für Erhaltung und Gewichtszunahme angegeben ist. Dabei sind für bestimmte Altersstufen und Gewichtsabschnitte feste tägliche Zunahmen unterstellt, die meist weit über den in Entwicklungsländern erzielbaren liegen. Außer-

dem stimmen vielfach die den Altersstufen zugeordneten Lebendgewichte nicht mit den in Entwicklungsländern anzutreffenden Gegebenheiten überein.

Aus den angegebenen Gründen sind Literaturangaben über den Energiebedarf von wachsenden Wiederkäuern nur bedingt auf die Verhältnisse in den Tropen und Subtropen übertragbar. Es erscheint daher dringend geboten, auch für Jungtiere den Energiebedarf in einen solchen für Erhaltung und Zuwachsleistung aufzuteilen. Die dabei in Kauf zu nehmenden Ungenauigkeiten werden durch die Erleichterung in der praktischen Handhabung wettgemacht.

In Tabelle 3 sind die der verfügbaren Literatur entnommenen bzw. in Anlehnung an Literaturangaben berechneten Richtwerte für den Energiebedarf, ausgedrückt in einigen gebräuchlichen Futterwerteinheiten, zusammengestellt.

Für Rinder wurde der Erhaltungsbedarf in MJ NEL nach den vom Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie festgelegten Richtlinien wie folgt berechnet:

Lebendgewicht kg  $^{0,75} \times 0,293$  MJ (Kühe)

Lebendgewicht kg  $^{0,75} \times 0,317$  MJ (Jungvieh)

Der Erhaltungsbedarf in StE wurde nach einer von Kirchgessner (1982) angegebenen Formel, die den Bedarf einer 550 kg schweren Kuh mit 3000 StE festgelegt, für alle übrigen Gewichtsklassen errechnet:

(Lebendgewicht kg  $^{0,75} : 550^{0,75}$ )  $\times$  3000 StE

Für Jungtiere wurden diesen Werten, analog zur Bedarfsermittlung in NEL, jeweils 8 Prozent zugeschlagen. Der so ermittelte Erhaltungsbedarf von Aufzuchtieren wurde von dem in der Literatur gefunden Gesamtbedarf subtrahiert und das Ergebnis durch die Einheiten (a 100 g) der täglichen Zunahme dividiert, womit sich der Leistungsbedarf je 100 g täglicher Zunahme ergibt.

Die Bedarfswerte in TDN wurden, soweit sie nicht der Literatur entnommen werden konnten, mit Hilfe der von Nehring (1972) angegebenen, für die gesamte Futterration gültigen Näherungsgleichung (1 kg TDN = 725 StE) aus den Stärkeeinheiten ermittelt. Umgekehrt wurden die StE aus den TDN berechnet, wenn für letztere Literaturangaben vorlagen und für erstere nicht. Dieses Vorgehen weist zwar gewisse Mängel auf, da die Gleichung je nach Zusammensetzung einer Ration Variationen unterworfen ist, kann aber für die praktische Verwendung als ausreichend angesehen werden.

Der Energiebedarf in UF wurde nach der Formel  $kStE \times 1,43$  ermittelt.

Die in Tabelle 3 ausgewiesenen zusätzlichen Bedarfswerte für tragende Kühe werden von Morrison (in TDN) und Kirchgessner (in NEL für eine 600 kg schwere Kuh) angegeben. Der NEL-Bedarf für leichtere Kühe wurde in Anlehnung an die Literatur geschätzt.

Die niedrigere Zahl in der Tabelle bezieht sich auf den Bedarf ab der 6. Woche, die höhere auf den ab der 3. Woche vor dem Kalben.

Der für Rinder angegebene zusätzliche Leistungsbedarf je kg erzeugter Milch kann gleichermaßen für Büffel, Schafe und Ziegen angesetzt werden, da in dieser Beziehung zwischen den Tierarten nur geringfügige Unterschiede bestehen.

Tabelle 3: Energiebedarf von Wiederkäuern  
Angaben je Tier und Tag bzw. je Leistungseinheit

	Lebend- masse kg	TDN kg	StE	UF (kStEx1,43)	NEL MJ
<b>1. Rinder</b>					
<b>1.1 Kühe</b>					
Erhaltung	200	2,1	1405	2,01	15,5
	250	2,3	1660	2,37	18,4
	300	2,5	1900	2,72	21,1
	350	2,8	2140	3,06	23,7
	400	3,1	2360	3,37	26,2
	450	3,4	2580	3,69	28,6
	500	3,7	2790	3,99	31,0
	550	4,0	3000	4,29	33,3
	600	4,2	3200	4,57	35,5
	650	4,5	3400	4,86	37,7
Trächtigkeit					
(zusätzlich	400	2,5	1800	2,57	10,0 - 14,0
in den letz-	500	2,7	1950	2,79	12,5 - 17,0
ten 6 Wochen)	600	3,1	2250	3,22	15,0 - 20,0
Leistung					
je kg Milch					
Fettgehalt %					
3		0,28	225	0,32	2,77
4		0,32	275	0,39	3,17
5		0,37	325	0,46	3,57
6		0,42	375	0,53	3,97
7		0,46	425	0,60	4,37
8		0,48	450	0,64	4,57
<b>1.2 Jungrinder</b>					
Erhaltung	50	0,74	535	0,76	6,0
	75	1,00	725	1,04	8,1
	100	1,24	900	1,29	10,0
	150	1,69	1225	1,75	13,6
	200	2,09	1520	2,17	16,9
	250	2,47	1790	2,56	19,9
	300	2,83	2050	2,93	22,8
	350	3,18	2310	3,30	25,6
Leistung	75	0,14	100	0,14	0,9
(zusätzlich	100	0,18	130	0,18	0,9
je 100 g täg-	200	0,22	160	0,23	0,9
liche Zu-	300	0,27	200	0,28	1,1
nahme)*	350	0,30	220	0,31	1,2
<b>2. Büffel</b>					
Erhaltungsbedarf ca. 15% über dem gleichgewichtiger Rinder. Für Milchleistung gelten die weiter oben angegebenen Werte					
<b>3. Schafe</b>					
Erhaltung	20	0,34	250	0,36	
	30	0,45	330	0,47	Stall - Weide
	40	0,55	400	0,57	3,7 - 4,4
	50	0,63	460	0,66	4,3 - 5,2
	60	0,73	530	0,76	4,9 - 5,9
	70	0,83	600	0,86	5,5 - 6,6

Fortsetzung Tabelle 3

	Lebend- masse kg	TDN kg	StE	UF (kStEx1,43)	NEL MJ	
Trächtigkeit (einschl. Erhaltung)	40	letzte 6 Wochen, Einling-Zwillinge			1.-3. Mon.4.-5.	
	50	0,77-0,96	560- 700	0,80-1,00	4,3 - 5,8	
	60	0,90-1,13	650- 820	0,93-1,17	5,0 - 6,6	
	70	1,03-1,28	750- 930	1,07-1,33	5,7 - 7,4	
Laktation (einschl. Erhaltung)	40	erste 6 Wochen - weitere Säugezeit			1.Mon. 2.-4.	
	50	1,42-1,17	1300- 850	1,47-1,21	7,8 - 6,0	
	60	1,88-1,25	1360- 910	1,94-1,30	9,3 - 7,5	
	70	1,97-1,35	1430- 980	2,04-1,40	10,8 - 9,0	
Aufzucht (zusätzlich zu Erhaltung)	20	je 100 g	tägliche	Zunahme	Gesamtbedarf bei 100g Zunahme	
	30	0,18	130	0,18	4,9	
	40	0,22	160	0,23	5,6	
	50	0,26	190	0,27	6,3	
<u>4. Ziegen</u> Erhaltung	20	0,37	(270)	0,39	<u>Stall</u> - <u>Weide</u>	
	30	0,54	390	0,56		
	40	0,67	484	0,69	4,3 - 5,2	
	50	0,78	569	0,81	4,9 - 5,9	
	60	0,90	653	0,93	5,6 - 6,7	
Trächtigkeit (einschließl. Erhaltung)	30	letzte zwei Monate			1.-3. Mon.5.-6.	
	40	1,00	730	1,04	5,0 - 7,5	
	50	1,14	824	1,18	5,7 - 8,2	
	60	1,25	908	1,30	6,4 - 8,9	
Laktation Aufzucht (zusätzlich zu Erhalt.)	10	Erhaltung + Bedarf für Milch (s. 1.1) je 100 g tägliche Zunahme			ØZu- nahme (g)	Ge- samt- bedarf
	15	0,17	120	0,17	180	3,5
	20	0,18	130	0,18	180	3,8
	25	0,21	150	0,21	120	4,0
	30	0,25	180	0,26	100	4,5
		0,32	230	0,33	90	5,4

Bei spärlichem Futteraufwuchs und dadurch bedingtem ausgedehntem Weidegang sind bei Schafen und Ziegen Zuschläge zum Erhaltungsfutter von ca. 25% erforderlich

Quellen: die in Abschnitt 3 genannten Quellen sowie auf diesen basierende eigene Berechnungen

\* NEL gelten nur für Aufzucht, nicht für Rindermast

Für die kleinen Wiederkäuer wurden die Bedarfswerte in NEL einer Veröffentlichung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für viehwirtschaftliche Produktion (1979) entnommen. Je nach Haltungform, Trächtigkeits- und Laktationsstadium sowie Anzahl der Föten bzw. Sauglämmer kann der Energiebedarf in weiten Bereichen schwanken.

Die für Schafe aufgeführten Bedarfswerte in StE sind von Mc Donald (1975) aus verschiedenen Quellen zusammengestellt worden. Eine Umrechnung in TDN und UF erfolgte hier auf die bereits oben dargelegte Weise. Die angegebenen Bereiche beziehen sich auf den Bedarf von mit Einlingen oder Zwillingen trächtigen Mutterschafen in den letzten 6 Wochen der Gravidität bzw. denjenigen in den ersten 6 Wochen der Laktation und in der weiteren Säugezeit. Für das Laktationsstadium wurde auf eine weitere Differenzierung des Bedarfs nach der Anzahl der Sauglämmer verzichtet.

Die StE-Bedarfswerte für Ziegen beruhen auf den bei Gall (1982) angegebenen Zahlen von Morand-Fehr und Sauvant. Die Angaben in TDN und UF wurden hier durch Umrechnung aus den StE ermittelt.

Manchmal wird der Energiegehalt von Futtermitteln oder der Bedarf auch in verdaulicher Energie (DE, digestible energy) oder umsetzbarer Energie (ME, metabolizable energy) ausgedrückt. Es wurde aber darauf verzichtet, diese Maßstäbe in die Tabelle aufzunehmen. Für eventuelle Umrechnungen empfehlen sich die von Nehring (1972) vorgeschlagenen Näherungswerte für ganze Futterrationen:

- 1 g TDN = 4,4 kcal verdauliche Energie (DE)
- 1 g TDN = 3,6 kcal umsetzbare Energie (ME)
- 1 g TDN = 1,75 kcal Nettoenergie Fett (NEF)
- 1 g TDN = 0,725 Stärkeeinheiten

Es sei aber betont, daß Umrechnungen immer Verallgemeinerungen sind und daher durchaus nicht für alle Rationsgestaltungen zutreffen.

Die in Tabelle 3 zusammengestellten Energiebedarfswerte, die überwiegend in den gemäßigten Breiten ermittelt worden sind, können für eine Verwendung in den Tropen nur Anhaltswerte darstellen. Gewisse Ungereimtheiten in der Tabelle sind auf die Benutzung verschiedener Quellen zurückzuführen. So steht z.B. einem Bedarf von 4,3 MJ NEL einmal ein solcher von 460 StE und ein anderes Mal von 560 StE gegenüber etc.

Der Energiebedarf landwirtschaftlicher Nutztiere ist sicherlich nach Art, Genotyp und Umweltbedingungen unterschiedlich hoch, so daß keine allgemeingültigen Regeln aufgestellt werden können. Die vorliegende Zusammenstellung verfolgt daher lediglich den Zweck, den in Projekten der Tierproduktion tätigen Sachverständigen einige Faustzahlen an die Hand zu geben.

#### **4. Zusammenfassung**

Die Berechnung des in der Tierernährung nutzbaren Energiegehalts von Futtermitteln, ausgedrückt in einigen früher und heutzutage verwendeten Futterwerteinheiten, wird an einem Beispiel erläutert.

Der Literatur entnommene bzw. auf ihrer Grundlage berechnete Richtwerte für den Energiebedarf von Rindern, Schafen und Ziegen sind in Tabellen zusammengestellt.

#### **Summary**

An example is used to illustrate the method of calculating the energy content of feedstuffs, which is of importance for livestock nutrition and is expressed in past and present feed value units.