

# Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen

Ausschuss für Bedarfsnormen

## **Energiebewertung und Energieversorgung**

Federführend: A. Susenbeth & Chr. Böttger

## Energetische Futterbewertung und Energiebedarf auf der Basis der Umsetzbaren Energie (ME)

---

**Das bisherige NEL-System hat keine grundsätzlich andere Basis, denn**

- der als NEL ausgedrückte Futterwert wird aus der ME abgeleitet
- alle NEL-Bedarfswerte (außer für Milch) sind aus der Verwertung der ME abgeleitet

**Hingegen ist das neue System gekennzeichnet durch**

- eine grundsätzlich andere Vorgehensweise zu Ermittlung der ME
- eine präzisere Bestimmung des Bedarfs
- eine klare Trennung von Futterbewertung und Bedarfsermittlung
- eine Offenheit für Weiterentwicklung, auch in Einzelbereichen

**Die energetische Futterbewertung und die Bedarfsbestimmung haben beide die Aufgabe, die **Energieverluste** zu schätzen/quantifizieren, die von der Aufnahme über das Futter bis zum Produkt auftreten.**

## Energieumsatz Milchkuh

- Keine Regulierung der Verluste  
(Verdauung, Verwertung, Verwendung)
- Ziel der Tieres:  
maximal mögliche Ausnutzung
- keine tierbedingte Variabilität

**Methan: 5–7**

**Futter: 100**

**Wärme: 33**  
Erhaltung: 18, Milchbildung 15

**Kot: 25–30**

**Harn: 3**



# Übersicht - Energiehaushalt

**Energie-  
stufen**

GE	Kot, FE					
DE	Harn, UE					
	Methan, CH <sub>4</sub> -E					
ME	H <sub>m</sub>	Thermoregulation, ETH	H <sub>a</sub>	H <sub>p</sub>	H <sub>f</sub>	H <sub>l</sub>
NE	Grundumsatz, H <sub>b</sub> (= - RE)		Bewegung	Protein, RPE	Fett, RFE	Milch, LE
	ME <sub>m</sub>		ME <sub>a</sub>	ME <sub>p</sub>	ME <sub>f</sub>	ME <sub>l</sub>

**Teilbedarfe für ...**

(Nach Menke 1987, ergänzt)

### Das dreistufige Verfahren: die Konstanten

---

1. Differenz zwischen der Verdaulichkeit der Organischen Masse (OMD) und der Energie (ED) beträgt konstant

$$\text{OMD (\%)} - \text{ED (\%)} = 3,3$$

2. Harnenergieverluste (UE) betragen

$$3,7 \text{ kJ/g Rohprotein (CP)}$$

3. Methanenergieverluste betragen:

$$\text{CH}_4\text{-E (MJ/kg OM)} = 0,7 + 0,014 \text{ OMD (\%)}$$

---

## 2. Energetische Futterbewertung

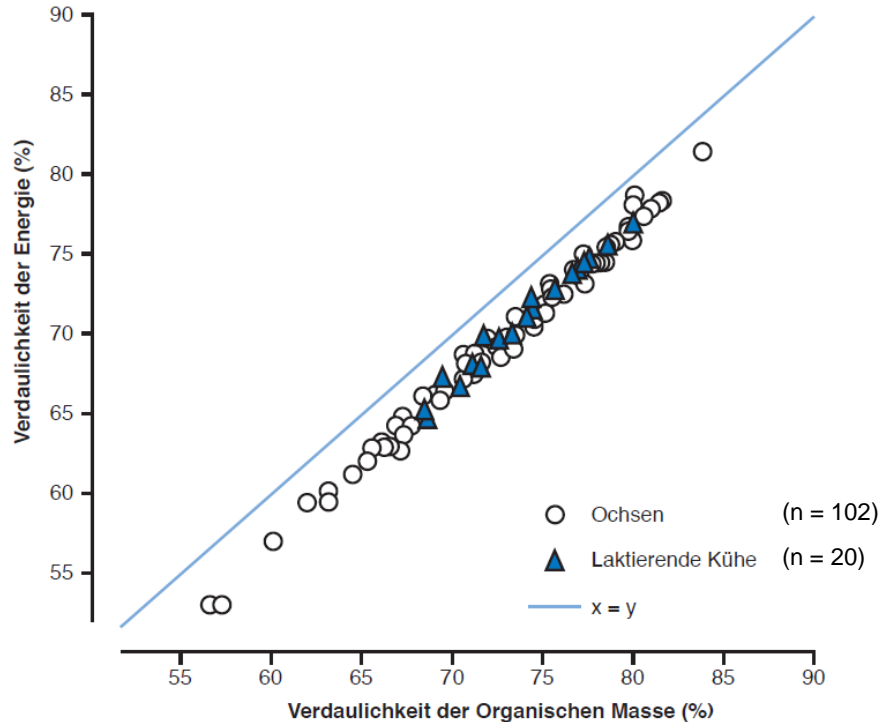
### Die Datengrundlage

---

- Stoffwechselversuche des Oskar-Kellner-Instituts, Rostock, an Ochsen  
Publikation 1962–1992
  - Ausschlusskriterien für Daten
  - 102 Rationen, die den gesamten Variationsbereich abbilden  
(Futtermittel, Rationeigenschaften, insb. Verdaulichkeit)
  - Außergewöhnlich geeignetes Datenmaterial, da für alle Rationen alle relevanten Parameter  
vorliegen (TM-Aufnahme, GE, Inhaltsstoffe, OMD, ED, UE, CH<sub>4</sub>-E)
  - Kritische Überprüfung der Ergebnisse mit der Literatur und anderen Systemen
-

## 2. Energetische Futterbewertung

### a) Energieverluste über den Kot



mittlere Differenz

$$\text{OMD \%} - \text{ED \%} = 3,3$$

(n = 102; SD = 0,52)



### 3. Energetische Futterbewertung

#### a) Energieverluste über den Kot

Die mittlere Differenz **OMD % – ED % = 3,3**

- weist eine sehr geringe Streuung auf (geringe Variation der GE-Werte in Futter und Kot)
- ist unabhängig von der Höhe der OMD
- ist unabhängig von der Futteraufnahme/Leistung
- ist aber beeinflusst durch den CP-Gehalt, dennoch ist diese konstante Differenz auch auf Einzelfuttermittel unabhängig vom CP-Gehalt anzuwenden.

## 2. Energetische Futterbewertung

### b) Energieverluste über CH<sub>4</sub>

$$\text{CH}_4\text{-E (MJ/kg OM)} = 0,7 + 0,014 \text{ OMD (\%)}$$

(n = 94; SD = 0,12)

---

OMD (%)	60	80
CH <sub>4</sub> -E (MJ/kg OM)	1,5	1,8

---

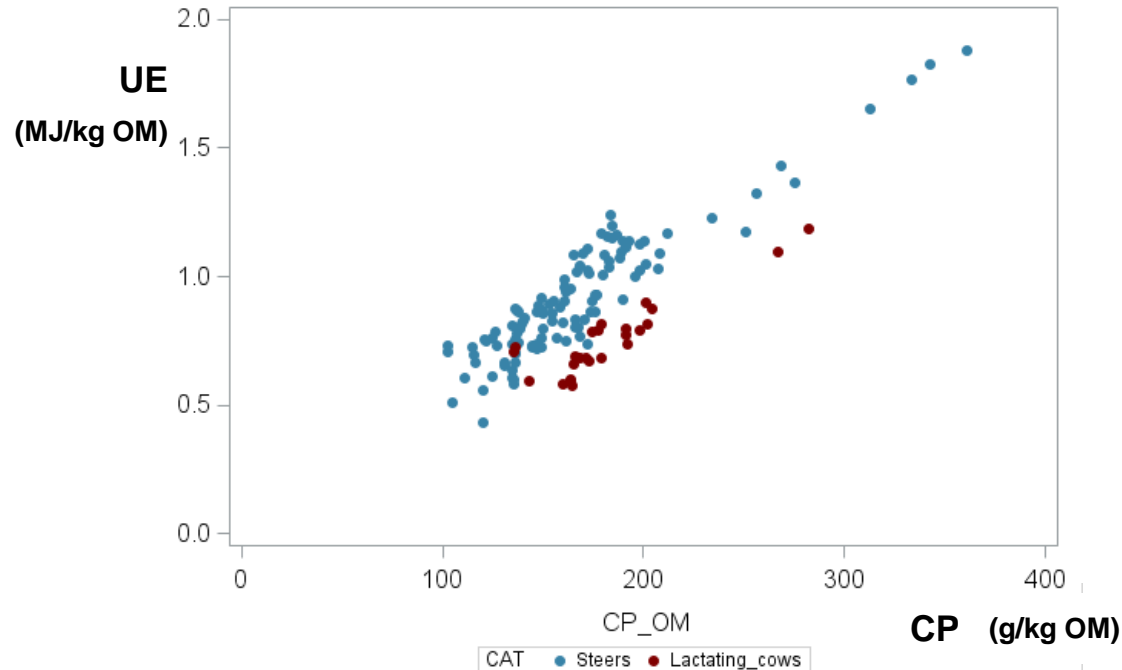
### b) Energieverluste über CH<sub>4</sub>

---

- relativ geringer Einfluss der OMD
  - Schätzfehler ist mit 0,12 MJ/kg OM gering
  - keine Abhängigkeit vom Gehalt (g/kg OM) an
    - Stärke: 0 – 330
    - Zucker: 10 – 288
    - Organischem Rest: 350 – 774
    - Rohfett: 7 – 35
  - 8 Rationen mit nativer Kartoffelstärke wiesen 12 % weniger CH<sub>4</sub>-E auf und wurden daher in dieser Gleichung nicht berücksichtigt.
  - Ein Einfluss von Maisstärke oder best. FM (Klee) zeigte sich nicht.
-

### 3. Energetische Futterbewertung

#### c) Energieverluste über den Harn (UE)



## 2. Energetische Futterbewertung

### c) Energieverluste über den Harn (UE)

N-Verwertung = <0,05 (Erhaltungsniveau)

$$\text{UE (kJ) / CP (g)} = 5,5 \quad (n = 102; \text{SD} = 0,61)$$

## 2. Energetische Futterbewertung

### c) Energieverluste über den Harn (UE)

N-Verwertung = <0,05 (Erhaltungsniveau)

$$\text{UE (kJ) / CP (g)} = 5,5 \quad (n = 102; \text{SD} = 0,61)$$

N-Verwertung (LN\*/IN) = 1/3

$$\text{UE (kJ) / CP (g)} = 3,7$$

CP	(g/kg OM)	120	180
UE	(MJ/kg OM)	0,44	0,66

Für abweichende N-Verwertung:

$$\text{UE (kJ) / CP (g)} = 5,5 \cdot (1 - \text{LN}^*/\text{IN})$$

### 3. Energetische Futterbewertung

## Übersicht über das *Dreistufige Verfahren*

### Erforderliche Bestimmungen

---

- Brennwert und Rohasche  
→ Energie in der Organischen Masse
- Rohprotein  
→ Energie im Harn
- Verdaulichkeit der Organischen Masse  
→ Energie in Kot und CH<sub>4</sub>

### Genauigkeit\*

---

- SD = 0,16 MJ ME/kg OM;      SD% = 1,4

\* bei *in vivo* bestimmter OMD

## Einfluss der Höhe der Futteraufnahme (FAN) auf die Umsetzbarkeit der Energie

---

### Ursachen:

**Mit steigender Futteraufnahme verringert sich die Verweildauer des Futters aufgrund der höheren Passagerate**

- **Verringerung der OM-Verdaulichkeit**
  - **Verringerung der Methanbildung pro kg verdaute OM**
    - Abnahme der im Pansen fermentierten OM an der DOM
    - Änderung des Fermentationsmusters
-



### 3. Futteraufnahmeniveau und ME-Gehalt

#### Einfluss des Futteraufnahmeniveaus (FAN) auf den **ME-Gehalt** (MJ/kg OM)

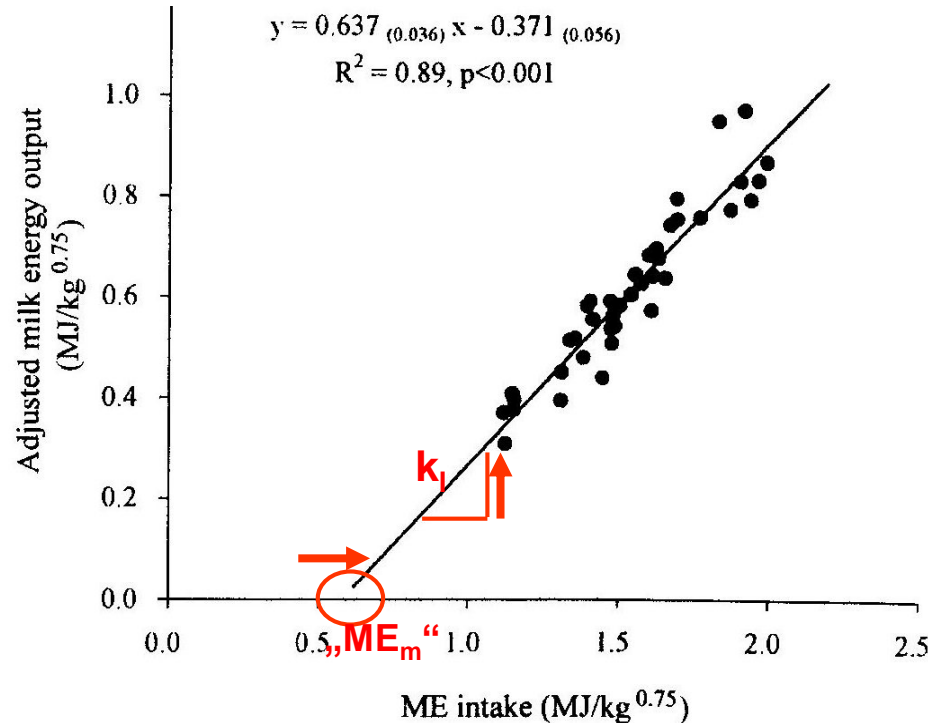
OMD <sub>FAN1</sub>	FAN						
	1	2	2,5	3	3,5	4	4,5
	entspr. 6,5	13		19,5		26*	kgTM/d (650 kg)
85	13,5	13,5	13,4	13,2	13,0	12,8	12,6
80	12,6	12,6	12,5	12,4	12,2	12,0	11,8
75	11,7	11,7	11,6	11,5	11,3	11,2	
70	10,8	10,8	10,8	10,6	10,5		
65	9,9	10,0	9,9	9,8			

- Bis mittlerem FAN kompensieren sich beide Einflüsse.
- ME-Wert ist sehr robust gegenüber der Schätzung des FAN-Effekts
- Beurteilung von Höchstleistungen: Beachte Abnahme des ME-Werts
- Reduktion von CH<sub>4</sub>/kg Milch bei steigender Leistung: 2 Ursachen

### Die Komponenten des Energie-Bedarfs

- „Erhaltung“  $ME_m$  (m = maintenance)
- Milchleistung  $ME_l$  (l = lactation)
- Trächtigkeit  $ME_{pr}$  (pr = pregnancy)
- Körpermasseänderung  $ME_g$  (g = growth),  $ME_{tl}$  (tissue to lactation)
- Bewegung  $ME_a$  (a = activity)
- Thermoregulation  $ME_{th}$  (th = thermoregulation)

## 4. ME-Bedarf



Relationship between ME intake and milk energy output adjusted to zero energy balance  
(data published since 1976, experimental means  $n = 42$ ) (Agnew and Yan, 2000)

### „Erhaltungsbedarf“

$$\text{ME}_m = 0,64 \text{ MJ/kg}^{0,75}$$

$$\text{ME}_m = 0,49 \text{ MJ/kg}^{0,75} \text{ (NEL-System, 2001)}$$

Ursachen (u.a.):

- gewisse Bewegung, „Verdauungsarbeit“ (Kauen, Motorik des GIT)
- v. a. deutlich höherer Grundumsatz bei Milchrassen

### „Erhaltungsbedarf“

$$ME_m = 0,64 \text{ MJ/kg}^{0,75}$$

#### Hinweise:

**Dieser Wert, ist unabhängig von der Höhe der Milchleistung, tritt aber nur bei Milchleistung auf.**

- Gilt für eine laktierende Kuh einer auf Milchleistung gezüchteten Rasse
- Kühe von Mastrassen weisen einen Wert im Bereich von  $0,45 \text{ MJ/kg}^{0,75}$  auf
- Werden Kühe über längere Zeit auf niedrigem Niveau ernährt, sinkt der  $ME_m$
- Während der Trockenstehzeit ist von einem ca. 20 % geringeren Wert auszugehen =  $0,50 \text{ MJ/kg}^{0,75}$  (experimentelle Absicherung erforderlich)

### Bedarf für Milchleistung

#### a) Energiegehalt der Milch

$$\text{LE (kJ/kg)} = 38,5 \cdot \text{Fett} + 24,2 \cdot \text{Protein [N} \cdot 6,38] + 16,5 \cdot \text{Laktose}$$

(Gehalte in g/kg)

$$\text{LE (kJ/kg)} = 38,5 \cdot \text{Fett} + 24,3 \cdot \text{Protein}_{\text{Harnstoff-frei}} + 16,5 \cdot \text{Laktose}$$

$$\text{wobei Protein}_{\text{Harnstoff-frei}} = (\text{Gesamt-N} - \text{Harnstoff-N}) \cdot 6,49$$

(Gehalte in g/kg)

### Bedarf für Milchleistung

#### b) Verwertung der ME für die Milchbildung ( $k_l$ )

$$k_l = 0,66$$

ist neben  $ME_m$  die wichtigste Größe  
und weist eine hohe Konstanz auf:

- unabhängig vom Leistungsniveau und Genotyp
- Verwertung hängt nicht von der Rationszusammensetzung und dem Fermentationsmuster ab
- Einfluss der Umsetzbarkeit liegt nicht vor (wie dies das NEL-System nahelegt)

### Bedarf für Milchleistung

#### c) Bedarf pro kg Milch

$$\text{LE (40 g Fett, 34 g Protein, 48 g Lactose)} = 3,15 \text{ MJ/kg}$$

$$3,15 / 0,66 = 4,8 \text{ MJ ME/kg}$$

---

$$\text{NEL-System: } 3,15 / 0,60 = 5,2 \text{ MJ ME/kg}$$

(ohne Zuschlag für die Reduktion der Umsetzbarkeit mit steigender Futteraufnahme)



### Die Komponenten des Bedarfs

- „Erhaltung“  $ME_m$  (m = maintenance)
- Milchleistung  $ME_l$  (l = lactation)
- Trächtigkeit  $ME_{pr}$  (pr = pregnancy)
- Körpermasseänderung  $ME_g$  (g = growth),  $ME_{tl}$  (tissue to lactation)
- Bewegung  $ME_a$  (a = activity)
- Thermoregulation  $ME_{th}$  (th = thermoregulation)

### Bedarf für körperliche Aktivität

- Stehen gegenüber Liegen: **0,55 kJ/(kg · h)**
- Positionswechsel (Stehen – Liegen – Stehen): **135 J/kg**
- Gehen in der Horizontalen: **1,8 kJ/(kg · km)** (bei günstigem Untergrund)
- Überwinden eines Höhenunterschieds: **30 J/kg und Höhenmeter**
- Zugarbeit: **0,33 absoluter Wirkungsgrad**
- Tragen von Lasten (erhöht Energieumsatz proportional zur Traglast)
- Kauarbeit: Fresskauen: **125 J/(kg<sup>0,75</sup> · min)** (für frisches Gras erhöhter Bedarf um 75 %)  
Wiederkauen: **35 J/(kg<sup>0,75</sup> · min)**

### Bedarf für körperliche Aktivität

#### Zusätzlicher Energiebedarf eines weidenden Rinds

650 kg KM; 4 km zusätzlich zurückgelegte Strecke;  
1 Std. verlängerte Stehzeit; Höhenunterschied 40 m;  
erhöhter Kaubedarf für frisches Gras während 6 Std.;

#### Erhöhter Bedarf beträgt 11,5 MJ ME

wobei das Gehen 50 % und der erhöhte Kaubedarf 40 % dieses  
zusätzlichen Bedarfs ausmachen.

---

#### *Literatur:*

Weide erhöht Bedarf in der Größenordnung von 10-20 % des Erhaltungsbedarfs

### ME-Bedarf der Milchkuh

(ausgewachsen, Stallhaltung, Thermoneutralität)

1.  $0,64 \text{ MJ ME}_m/\text{kg}^{0,75}$

2.  $k_l = 0,66$

## 5. Anwendungsaspekte

**Konsequenzen der neuen Bedarfswerte und  
des *Dreistufigen Verfahrens* zur energetischen Bewertung  
bei deren Anwendung in der Praxis**

## 5. Anwendungsaspekte

### Konsequenzen der neuen Bedarfswerte und des *Dreistufigen Verfahrens* zur energetischen Bewertung

1. Futterwerttabellen: Da das NEL-System ebenfalls die ME zur Grundlage hat, sind diese grundsätzlich wie auch die *in vitro*-Verfahren weiterhin nutzbar (siehe auch Mastrinder u. Schafe)
2. Grobfutter, insbesondere mit hoher OMD werden energetisch relativ höher bewertet. Einzelne FM etwas geringer andere deutlich besser bewertet: z.B. Pressschnitzel
3. Werden Grobfutter mäßiger Qualität eingesetzt, ändert sich der Ergänzungsbedarf an KF kaum, d.h. berechnete Rationen unterscheiden sich nicht vom NEL-System.
4. Bei hoher bis sehr hoher Leistung ergibt sich bei gleicher Futteraufnahme nach dem NEL-System eine höhere negative Energiebilanz (NEB). Soll hierfür ein Ausgleich geschaffen werden, ist ein höherer KF-Einsatz nach dem NEL-System erforderlich.
5. **Nach dem *Dreistufigen Verfahren* kommt dem Grobfutter hoher Qualität eine größere Bedeutung zu. Damit ist rechnerisch eine Bedarfsdeckung mit geringerer KF-Menge möglich.  
Dies erleichtert ebenfalls die ausreichende Versorgung mit strukturierter Faser.**

## 6. Abschließende Anmerkungen

### Energiebedarf der Milchkuh und energetische Futterbewertung

*– ein nicht nur wissenschaftliches Fazit –*

- Nicht jedes Fortschreiten war/ist ein **Fortschritt**.
- Wir fußen auf den alten und bewährten Ergebnissen - unter einem neuen Aspekt ausgewertet.  
→ **Kein Fortschritt ohne Rückgriff auf die Grundlagen**
- Es wurde kein neues komplexes System geschaffen. Alle erforderlichen Größen der Futterbewertung sind biologisch bzw. analytisch definiert. → **Transparent und einfach**
- Einfachheit und Klarheit die eigentliche Herausforderung → **kompliziert nur scheinbar besser**
- Es können neue Erkenntnisse in Einzelbereichen einfach integriert werden, es ist damit entwicklungsfähig.  
→ **lernfähig, daher zukunftsfähig**
- Es zeichnet sich durch eine hohe Kompatibilität mit Systemen anderer Länder aus. –  
→ **ungehinderter Austausch weltweit**
- Das neue Verfahren ist leicht nachvollziehbar und gut zu vermitteln. → **Lehre**

# Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen

Ausschuss für Bedarfsnormen

## Energiebewertung und Energieversorgung

➡ ***Vielen Dank für Ihr Interesse und Ihre Geduld!***