



Wer nicht kann,
was er will,
der möge das wollen,
was er kann.
Leonardo da Vinci

Energiebilanz

Dr. med. et Dr. scient. med. Jürg Eichhorn

CH-9100 Herisau
drje49@gmail.com
www.ever.ch

Energie: Definitionen u. Einheiten

- Frühere Masseinheit: Kalorie (cal)

1 Kalorie = Wärmemenge, die nötig ist, um die Temperatur von 1 g Wasser bei Normaldruck von 14,5°C auf 15,5°C zu erhöhen

- Heutige Masseinheit: Joule (J)

1 Joule = die Arbeit, die verrichtet wird, wenn die Kraft 1 Newton [N] um 1 Meter [m] bewegt wird (SI-Einheit)

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,239 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ MJ} = 1000 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ MJ} = 239 \text{ kcal}$$

Definition: Brennwerte

Physikalischer Brennwert

Der physikalische Brennwert gibt die Wärmemenge an, die bei der vollständigen Verbrennung einer Substanz zu CO₂, H₂O und Stickoxiden im Bombenkalorimeter frei wird.

Physiologischer Brennwert

Der physiologische Brennwert bezieht sich auf den Energiegewinn aus der Oxidation der zugeführten Nahrung im Intermediär Stoffwechsel des Körpers und wird mit Hilfe der direkten oder indirekten Kalorimetrie bestimmt.

Energiegehalt einzelner Substrate

Substrat	Verbrennungswärme ¹ [kcal/g]	Verdaubare Energie [kcal/g]	Metabolisierbare Energie ² [kcal/g] ([kJ/g])
Kohlenhydrate	4,10	4,0	4,0 (17)
Fette	9,45	9,0	9,0 (38)
Eiweiss	5,65	5,2	4,0 (17)
Alkohol	7,10	7,1	7,0 (29)

¹: Durch Bombenkalorimeter bestimmt (vollständige Oxidation);
sog. Bruttoenergie

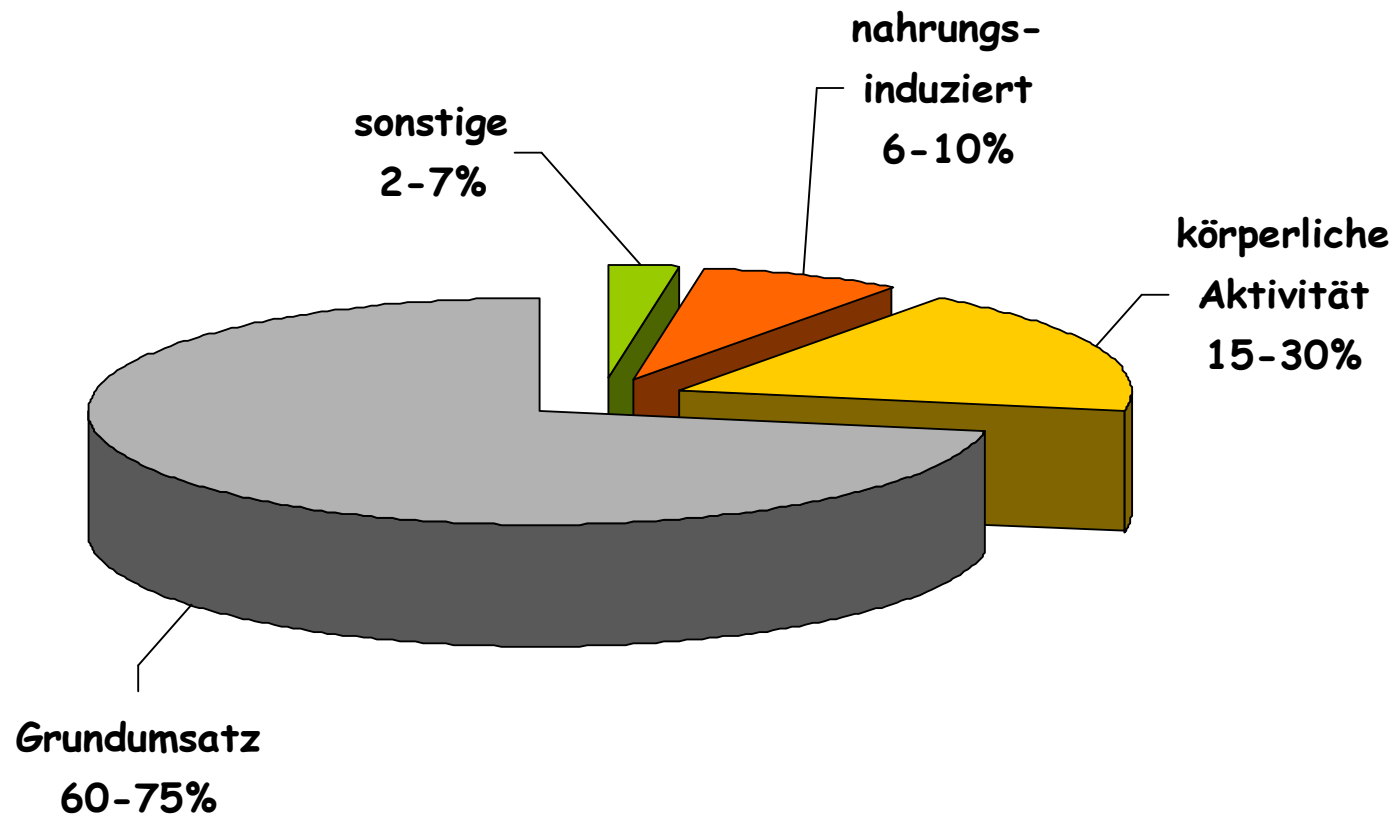
²: Für den Praxisalltag empfohlene Durchschnittswerte

Komponenten des Energieumsatzes

Der über einen bestimmten Zeitraum ablaufende Total- oder Gesamtenergieumsatz setzt sich aus unterschiedlichen energieumsetzenden Prozessen zusammen:

- Grundumsatz oder Ruheenergieumsatz
- Physikalische Aktivität
- Thermoregulation
- Energie, die durch extern oder intern induzierten Schmerz verursacht wird
- Nahrungsinduzierte Thermogenese

Anteil Komponenten am E-Verbrauch



Energie Umsatzgrössen

Der Gesamtenergiebedarf (GEB) setzt sich zusammen aus:

Grundumsatz



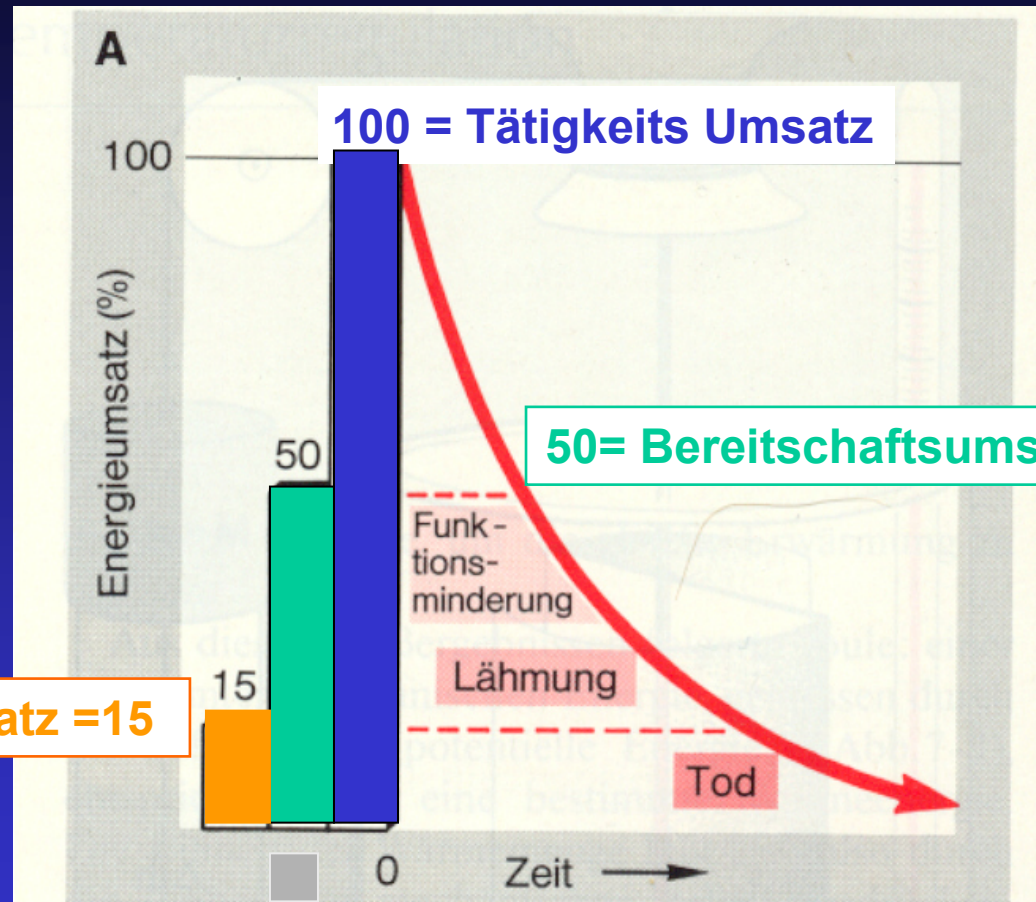
**Arbeitsumsatz
Freizeitumsatz
Leistungsumsatz
Thermogenese**

Schmerz, Stress

Wie berechne ich
den Grundumsatz?

Wie berechne ich
den zusätzlichen
Energieumsatz?

Energieumsatz der lebenden Zelle



Erhaltungsumsatz = 15

Funktionseinschränkungen von Körperzellen bei Sauerstoff- oder Nahrungsmangel

Bemerkung: Es gibt jedoch auch andauernd aktive Zellen, z.B. Herzmuskel, Atemmuskulatur. Ebenso sind Gehirn, Leber und Nieren auch bei Körperruhe tätig. Daher ist der Energieumsatz eines ruhenden Organismus **nicht** gleich der Summe der Bereitschaftsumsätze aller Zellen,

Definition Grundumsatz - GU

Der Grundumsatz umfasst die gesamte Energie, die für die Aufrechterhaltung der normalen Körperzusammensetzung und Funktionen erforderlich ist:

- Mechanische Arbeit, die durch die Herz- und Atemmuskulatur, die Darmmotilität und den Grundtonus der Muskulatur geleistet wird
- Funktionen der permanenten Zellerneuerung wie Neusynthese von Zellstrukturen, Proteinen etc.
- Transportprozesse über die Zellmembranen
- Aufrechterhaltung der Membranpotentiale

Messung des Grundumsatzes

Grundumsatz = Ruheumsatz unter definierten Randbedingungen:

1. Am frühen Morgen nach ausreichender Nachtruhe
2. Liegend, ohne körperliche Bewegung, aber wach
3. Nüchtern, mindestens 12 h nach der letzten Nahrungsaufnahme
4. Frei von Schmerzen oder psychischer Belastung
5. Bei indifferenter Körpertemperatur, ohne zu frieren oder zu schwitzen

Einflussfaktoren auf den GU

Der Grundumsatz ist abhängig von:

- ➔ Alter
- ➔ Geschlecht:

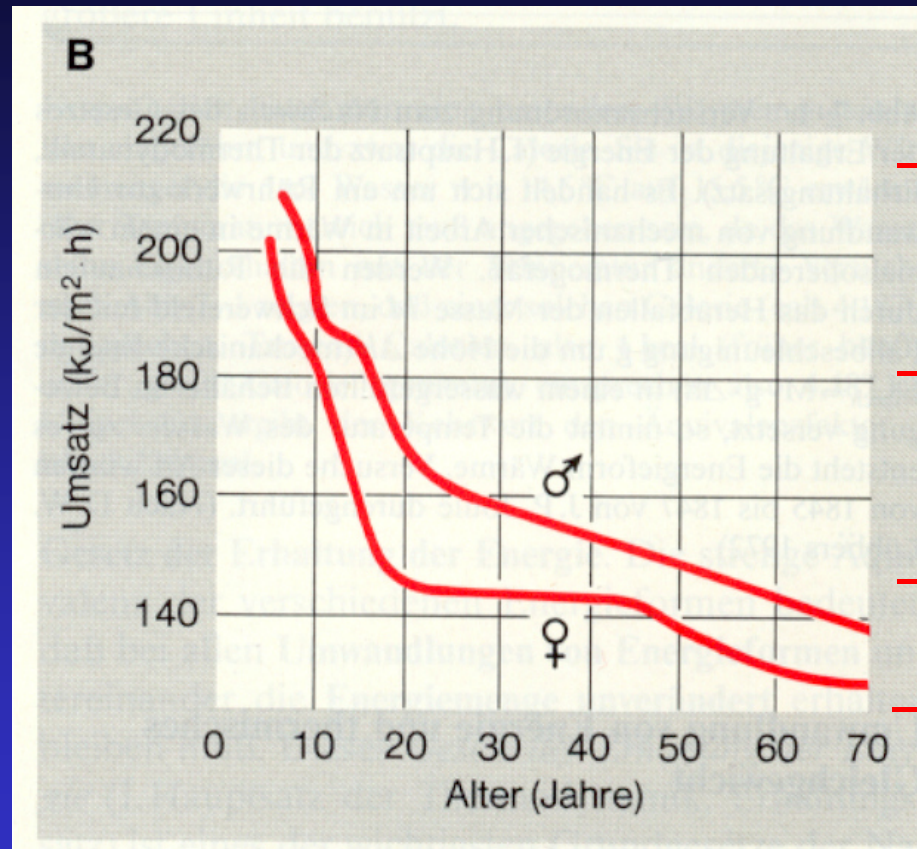
Frau	6.300 kJ/Tag = 100%
Mann	7.300 kJ/Tag = 116%
- ➔ Körperoberfläche (Grösse, Gewicht)
- ➔ Körpermasse
- ➔ Hormone: Schilddrüsenhormon, Adrenalin, u.a.
- ➔ Klima
- ➔ Höhenlage

Weitere Einflüsse auf den GU

- Tageszyklische Schwankungen
(Anstieg am Vormittag, Abfall während der Nacht)
- Körperlicher oder geistiger Tätigkeit
- Verdauungstätigkeit und anschließende Stoffwechselprozesse
Kalte Umgebung führt zu Muskelzittern
- In zu warmer Umgebung benötigt die aktive Wärmeabfuhr zusätzliche Energie infolge Schwitzen und vermehrter Kreislaufleistung durch vermehrte Hautdurchblutung

Fieber führt infolge von Stoffwechselsteigerung zu einer Energie-Umsatzsteigerung von 14% pro K Temperaturanstieg

Grundumsatz Mann - Frau



Spezifischer Grundumsatz, bezogen auf 1 m² Körperoberfläche, in [W/m^2], als Funktion des Lebensalters bei Männern und Frauen

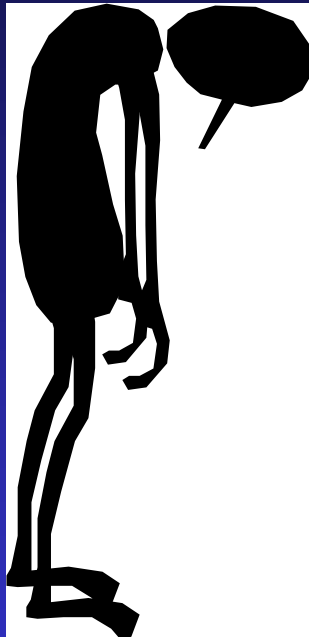
Bem: Man beachte den ausgeprägten Rückgang des Grundumsatzes nach Abschluss des Wachstums. Dem sollte durch Änderung der Essgewohnheiten Rechnung getragen werden.

Umsatzanteil Organe am GU

Die einzelnen Organe haben unterschiedlichen Anteil am Grundenergieumsatz, für welchen der Sauerstoffverbrauch ein Mass darstellt

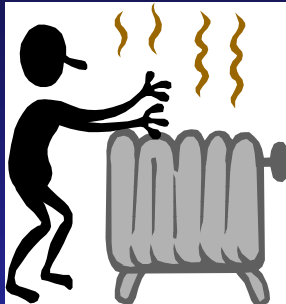
	Anteil am Grundenergieumsatz [%]	O ₂ -Verbrauch [mol/d]
Leber	25	4
Gehirn	25	4
Muskeln	18	2,8
Nieren	10	1,6
Herz	6	1
Übrige Organe	16	2,6

Psyche, Schmerz, Stress und GU



- Neben der körperlichen Aktivität führt auch Aufregung, psychische Belastung oder Schmerz zu einer Steigerung des Energieumsatzes
- Für diese Komponenten des Gesamtenergieumsatzes wurde bisher kein eigener Begriff geprägt
- In der Literatur liegen bislang jedoch wenig Daten vor, aus denen sich die Grössenordnung der Steigerung abschätzen liesse

Thermoregulation und GU



- In thermoneutraler Umgebung (29-32°C) muss keine zusätzliche Energie für die Thermoregulation aufgebracht werden
- Muskelzittern führt zu einer deutlichen Steigerung des Energieumsatzes und damit auch zur Wärmeproduktion
- Säuglinge können im Gegensatz zum Erwachsenen zusätzlich durch adrenerge Stimulation des braunen Fettgewebes Wärme direkt ohne motorische Aktivität erzeugen
- Das braune Fettgewebe ist in der Lage durch die mitochondriale Oxidation von Fettsäuren Wärme zu produzieren. Daher ist es bei Säuglingen und winterschlafenden Säugetieren stärker entwickelt

Die postprandiale Thermogenese

- Die Zufuhr von Energieträgern führt zu einer Steigerung des Energieumsatzes (Digestion, Absorption, Umwandlung und Speicherung → Energieverbrauch)

- 8-15% des täglichen Energieumsatzes

Dies entspricht 2-5% der mit Fett, 4-7% der mit Kohlenhydraten und 18-25% der mit Protein aufgenommenen Energiemenge

- Die postprandiale Thermogenese hält nach proteinreichen Mahlzeiten etwa doppelt so lange an wie nach kohlenhydrat- und fettreichen Mahlzeiten gleichen Energiegehaltes

Sonstige Thermogenese Mechanismen

- Unwillkürliche kurzzeitige Muskelaktivitäten (nonexercise activity thermogenesis, NEAT): z.B. unruhig sein (zappeln), erhöhter Muskeltonus, Körperhaltung
- Coffein, Polyphenole, Paprika (Capsaicin),
- Rauchen
- Schilddrüsenhormone
- Sympathomimetika (z.B. Ephedrin), Antiadiposita (z.B. Sibutramin)

Berechnung des Grundumsatzes

1. Aus Tabelle

Alter	Körpergewicht (kg)		Grundumsatz [kcal/Tag]		Grundumsatz [MJ/Tag]	
	m	w	m	w	m	w
15 bis unter 19 Jahre	67	58	1820	1460	7,6	6,1
19 bis unter 25 Jahre	74	60	1820	1390	7,6	5,8
25 bis unter 51 Jahre	74	59	1740	1340	7,3	5,6
51 bis unter 65 Jahre	72	57	1580	1270	6,6	5,3
65 Jahre und älter	68	55	1410	1170	5,9	4,9

m = männlich; w = weiblich
Quelle: DGE 2000, S. 25

Berechnung des Grundumsatzes

2. Normogramm

GU = ca. 40 kcal pro m² Körperoberfläche und Stunde
Die Körperoberfläche lässt sich aus Körpergröße und -gewicht berechnen bzw. sehr einfach anhand eines Normogrammes ablesen)

3. Einfache Formel

Frau: $700 + 7 \times \text{kg Körpergewicht}$

Mann: $900 + 10 \times \text{kg Körpergewicht}$

Berechnung des Grundumsatzes

4. Genauere Formel

Frau: 10-18 Jahre: $\text{kg} \times 0,056 + 2,898$
19-30 Jahre: $\text{kg} \times 0,062 + 2,036$
31-60 Jahre: $\text{kg} \times 0,034 + 3,538$
über 60 Jahre: $\text{kg} \times 0,038 + 2,755$

Mann:

10-18 Jahre: $\text{kg} \times 0,074 + 2,754$
19-30 Jahre: $\text{kg} \times 0,063 + 2,896$
31-60 Jahre: $\text{kg} \times 0,048 + 3,653$
über 60 Jahre: $\text{kg} \times 0,049 + 2,459$

Werte in MJ/d (x 239 => kcal/d)

Berechnung des Grundumsatzes

5. Formel nach Harris-Benedict (Werte wahrscheinlich zu hoch!)

Eine der bekanntesten Formeln zur Berechnung des Grundumsatzes ist die Harris-Benedict-Formel (Ergebnis kcal bzw. kj):

Männer:

$$\text{GU} = 66 + (13.7 \times \text{Gewicht in kg}) + (5 \times \text{Grösse in cm}) - (6.8 \times \text{Alter in Jahren})$$

Frauen:

$$\text{GU} = 655 + (9.6 \times \text{Gewicht in kg}) + (1.8 \times \text{Grösse in cm}) - (4.7 \times \text{Alter in Jahren})$$

Berechnung des Grundumsatzes

6. **GU = 1 kcal/Stunde pro kg Körper-Magergewicht**

Mittels einer Körperfettmessung kann das Körperfettgewicht (%) und auch das Körper-Magergewicht berechnet werden. Anhand des ermittelten Körper-Magergewichts kann der Energie-Grundumsatz berechnet werden.

Beispiel: Ein Mensch mit 55 kg Körper-Magergewicht benötigt:

$$\begin{aligned} & 55 \times 1 \text{ kcal} \times 24 \text{ Stunden} \\ & = 55 \times 24 = 1320 \text{ kcal Grundumsatz} \end{aligned}$$

Zusätzlicher Energiebedarf im Alltag

Schätzung des **Energiebedarfs im Alltag** bei

- a) leichter körperlicher Aktivität und
- b) Normalgewicht (Normalgewicht=Körpergröße [cm] – 100):
Übergewichtige rechnen vom Normalgewicht aus!

Männer: Energiebedarf [kcal/d] = Körpergewicht [kg] x 35 kcal

Frauen: Energiebedarf [kcal/d] = Körpergewicht [kg] x 30 kcal

Modern: Leistungsumsatz, Freizeitumsatz und Arbeitsumsatz
ersetzt durch: **PAL-Wert**

Physical Activity Level - PAL

- ➔ Der **Gesamtenergieumsatz** wird als Vielfaches vom Grundumsatz gesehen.
- ➔ Das Vielfache wird als PAL-Wert bezeichnet.
- ➔ Je nach Arbeitsgruppe wird ein PAL zwischen 1,4 – 2,4 angenommen

Beispiel:

Eine Büroangestellte, die hauptsächlich sitzende Tätigkeit ausübt, hat einen PAL-Wert von 1,4.

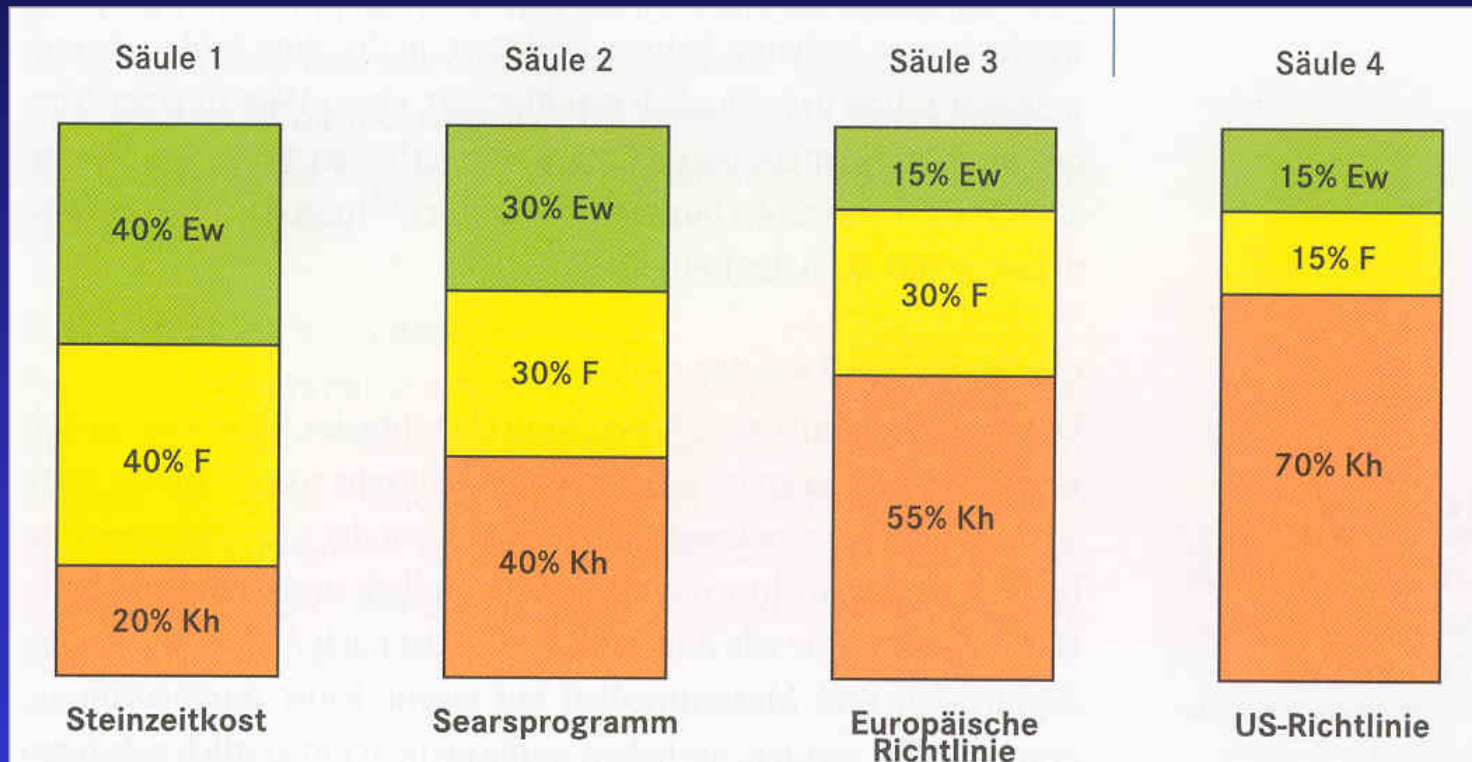
Berechnung des Gesamtenergiebedarfs (GEB):

$$\text{GEB} = \text{GU} * \text{PAL}$$

Physical Activity Level - PAL

Arbeitsschwere	PAL	Beispiele
Ausschliesslich sitzende oder liegende Lebensweise	1,2	Alte, gebrechliche Menschen
Ausschliesslich sitzende Tätigkeit mit wenig oder keiner anstrengenden Freizeitaktivität	1,4-1,5	Büroangestellte, Feinmechaniker
Sitzende Tätigkeit, zeitweilig auch zusätzlicher Energieaufwand für gehende und stehende Tätigkeiten	1,6-1,7	Studierende, Fließbandarbeiter Laboranten
Überwiegend gehende und stehende Arbeit	1,8-1,9	Hausfrauen Kellner, Verkäufer Handwerker
Körperliche anstrengende berufliche Arbeit	2,0-2,4	Bau-, Wald-, Bergarbeiter, Landwirte

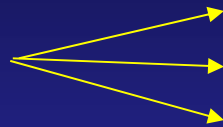
Mengenverteilung der Makronährstoffe



Energiequellen: Empfohlene Anteile

55 % Kohlenhydrate

30 – 35 % Fette



1/3 gesättigte Fette (z.B. Palmitinsäure)
1/3 einfach ungesättigte (z.B. Ölsäure)
1/3 mehrfach ungesättigte Fette
(Linolsäure)

10 – 15 % Eiweiss

bzw. 0.8 g / kg Körpergewicht/Tag:

50% tierischer Herkunft

50% pflanzlicher Herkunft

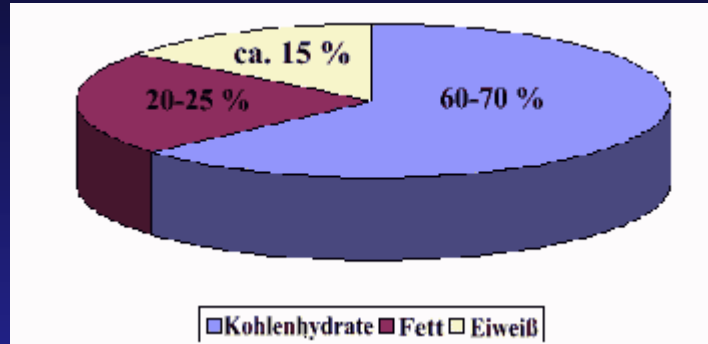
Essentielle Nährstoffe:

Essentielle Aminosäuren

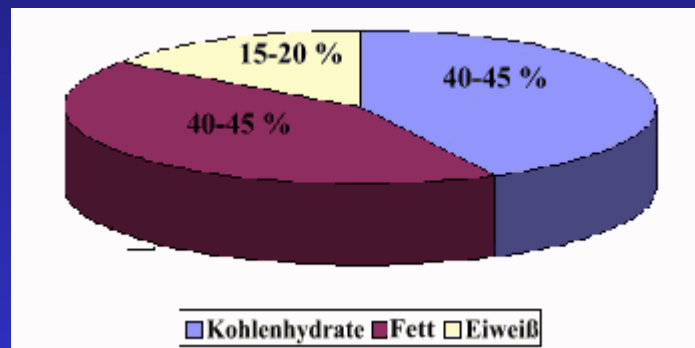
Vitamine

Spurenelemente

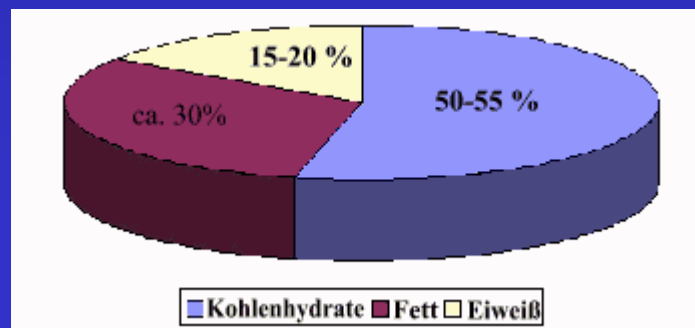
Energiequellen: Empfohlene Anteile



Zusammensetzung der Nahrung
um 1900



Zusammensetzung der Nahrung
heute



Zusammensetzung der Nahrung
bei idealer Ernährung

Energielieferanten

Den täglichen Energiebedarf deckt der Organismus aus Verbrennung von Fetten und Kohlenhydraten, im Bedarfsfall auch aus Eiweiss

1 g Eiweiss	liefert	4 kcal
1 g Kohlenhydrate	liefert	4 kcal
1 g Fett	liefert	9 kcal
1 g Alkohol	liefert	7 kcal („leere Kalorien“)
1 g Wasser	liefert	0 kcal

Fette: Tagesbedarf

Empfohlene tägliche Fettzufuhr: ca. 1.0 – 1.2 g/kg KG (72g max.)

davon

- 1/3 mehrfach ungesättigte Fettsäuren (24g)
- 1/3 einfach ungesättigte Fettsäuren (24g)
- 1/3 gesättigte Fettsäuren (24g)

Die durchschnittliche Fettzufuhr liegt bei uns jedoch bei ca. **130 g/Tag**
„versteckte Fette“: Wurst, Fleisch, Käse, Milch und Milchprodukte,
Nüsse, Süßigkeiten, Chips

EFA insgesamt: 3.5% = 9.4g

Omega-6-FS : Omega-3-FS

(Linol-, Arachidonsäure) : (EPA, DHA, α -Linolensäure)

5 : 1

8g : 1.3g

Kohlenhydrate: Tagesbedarf

Empfohlene tägliche Kohlenhydratzufuhr: ca. 4.0 – 5.0 g/kg KG

Alle Zuckerarten, Stärke

- In erster Linie energiespendende Nährstoffe
- Das Gehirn verstoffwechselt ausschliesslich Glucose

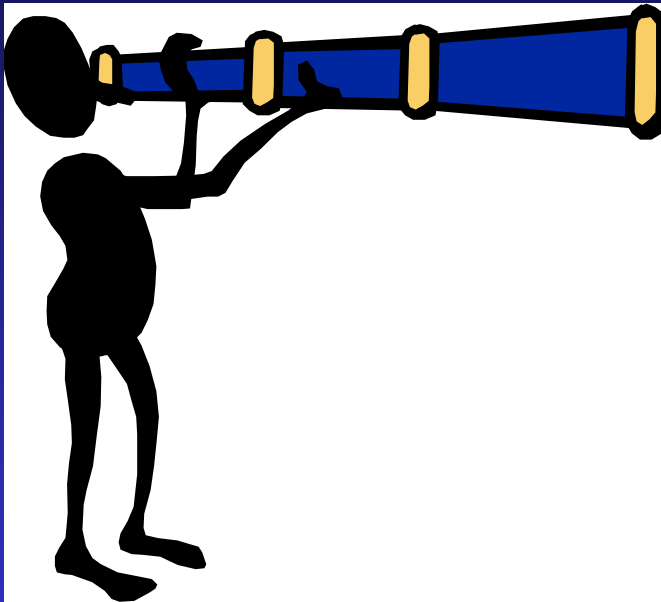
Proteine: Tagesbedarf

Empfohlene tägliche Kohlenhydratzufuhr: ca. 0.8 g/kg KG (3.5<)

- Durch Messung der Stickstoffausscheidung im Harn kann durch Multiplikation mit 6.25 (Kjeldahl-Faktor) die abgebaute Proteinmenge ermittelt werden.
- Steigerung des Energieumsatzes nach Nahrungsaufnahme, bes. bei Proteinen (**30 %**)

N-Ausscheidung:	Hunger-Minimum	5g N (32 g Protein)
	Absolutes Minimum	2.5g N (15 g Protein)
	Bilanz-Minimum	15 g N (80 g Protein)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dr. med. et Dr. scient. med. Jürg Eichhorn

CH-9100 Herisau
drje49@gmail.com
www.ever.ch