

DER ENERGIEUMSATZ

Energie“verbrauch“ - Energiebedarf

Der Energieumsatz kann mittels *Kalorimetrie* ermittelt werden. Da die *direkte* Kalorimetrie messtechnisch sehr aufwändig ist (Messung der Wärmeabgabe des Organismus in einem Kalorimeter), wird heute in der Regel die *indirekte* Kalorimetrie angewendet. Deren Prinzip beruht darauf, dass die **Nährstoffe oxidativ zu Wasser (H₂O), Kohlendioxid (CO₂) und stickstoffhaltigen Produkten abgebaut** werden. Somit lässt sich der Nährstoffumsatz über die Atemgasanalyse (O₂-aufnahme und CO₂-abgabe) sowie die Stickstoffausscheidung im Urin erfassen und der Energieumsatz unter Verwendung der bekannten **physiologischen Brennwerte** berechnen.

Der tägliche Energieumsatz bzw. -bedarf setzt sich aus dem **Grundumsatz** (GU), der **nahrungsinduzierten Thermogenese**, dem Bedarf für körperliche Aktivität (Arbeits- bzw. Leistungsumsatz als **bewegungsabhängige Thermogenese**) sowie der **adaptativen Thermogenese** (Thermoregulation, Stress) zusammen.

Weitere energie“verbrauchende“ Faktoren sind Wachstum, Schwangerschaft und Stillperiode.

A) Der Grundumsatz (GU, engl. BMR = basal metabolic rate):

Unter dem GU versteht man den **Energieumsatz unter strikten Ruhebedingungen**. Er soll 12-14 Stunden nach der letzten Mahlzeit, kurz nach dem Aufwachen, bei völliger körperlicher Ruhe und unter thermoneutralen Bedingungen (27-31 Grad Celsius in unmittelbarer Körperumgebung) gemessen werden.

Der GU deckt den Energiebedarf aller inneren Organe, wie z.B. der stoffwechselaktiven Leber, der Nieren, des Gehirns und Nervensystems, des Herzmuskels usw. Sogar Fettgewebe “verbraucht“ etwas Energie und natürlich auch die Skelettmuskulatur, selbst wenn sie nicht “arbeitet“ (Fettverbrennung = Betaoxidation, siehe [DIE MUSKULÄRE ENERGIEBEREITSTELLUNG IM SPORT](#)). Die Muskelmasse bestimmt im wesentlichen die Höhe des Grundumsatzes, der somit auch von Geschlecht und Alter abhängt.

Nicht ganz so streng sind die Bedingungen für den **Ruhe-Nüchtern-Umsatz (RNU)**. Dieser wird auch 12 bis 14 Stunden nach der letzten Mahlzeit, morgens, bekleidet, bei 24 - 26 Grad C Raumtemperatur und bei bequemem Sitzen gemessen. Der RNU liegt ca. 5% über dem GU.

GU und RNU erfassen alle in Ruhe und postabsorptiv ablaufenden Arbeitsprozesse wie:

- Biochemische Reaktionen im Intermediärstoffwechsel für Wachstum, Umbau, Neubildung, Erhaltung und Speicherung von Körpersubstanz
- Transportprozesse: Transport von Metaboliten (Stoffwechselzwischenprodukte) und komplexen Stoffwechselprodukten über Zellmembranen sowie intrazellulär, Ionentransporte bei Nervenaktivitäten und Informationsprozessen
- unwillkürliche mechanische Arbeit: Herz-Kreislauf-Arbeit, Atmung, Erhaltung des Muskeltonus

Berechnung des GU (in kcal):

- a) **einfach**: **Frau : 700 + 7 x kg Körpergewicht**
 Mann: 900 + 10 x kg Körpergewicht

Bei Übergewicht (= erhöhter Körperfettanteil) sollte man für das Körpergewicht den Wert ansetzen, der früher als "Normalgewicht" bezeichnet wurde (Körpergröße minus 100).

oder: **GU pro Stunde = ca. 40 kcal pro m² Körperoberfläche** (die Körperoberfläche spielt eine große Rolle bei der Wärmeabgabe. Sie lässt sich aus Körpergröße und -gewicht berechnen bzw. sehr einfach anhand eines Nomogramms ablesen)

b) komplizierter:	Frau:	10 - 18 Jahre:	kg x 0.056 + 2.898
		19 - 30 Jahre:	kg x 0.062 + 2.036
		31 - 60 Jahre:	kg x 0.034 + 3.538
		über 60 Jahre:	kg x 0.038 + 2.755
	Mann:	10 - 18 Jahre:	kg x 0.074 + 2.754
		19 - 30 Jahre:	kg x 0.063 + 2.896
		31 - 60 Jahre:	kg x 0.048 + 3.653
		über 60 Jahre:	kg x 0.049 + 2.459

Werte in MJ/d (x 239 → kcal/d)

Berechnung nach HARRIS und BENEDICT(in kcal):

$$\text{BMR (Mann)} = 66.5 + (13.75 \times w) + (5.003 \times h) - (6.775 \times a)$$

$$\text{BMR (Frau)} = 655.1 + (9.563 \times w) + (1.850 \times h) - (4.676 \times a)$$

w: weight (Körpergewicht in kg)

h: height (Körpergröße in cm)

a: age (Alter in Jahren)

Der Grundumsatz ist aber bei körperlich inaktiven Menschen niedriger, als die Berechnungen erwarten würden! [siehe [FETTVERBRENNUNG IM SPORT: MYTHOS UND WAHRHEIT](#)].

Die oben unter a) aufgeführte einfache Formel ist für die Praxis nicht nur ausreichend, sondern erfahrungsgemäß sogar am zweckmäßigsten.

Der Grundumsatz macht 50 bis 75% des Energieumsatzes aus.

B) Die nahrungsinduzierte (= postprandiale) Thermogenese:

Die **nahrungsinduzierte Thermogenese** (thermogene Wirkung der Nahrung) entspricht der **Steigerung des Energieumsatzes nach Nahrungsaufnahme**. Körpertemperatur und Wärmeabgabe an die Umgebung steigen nach Nahrungsaufnahme. Die postprandiale (=nach Nahrungsaufnahme) Thermogenese beruht darauf, dass für Verdauung, Resorption und Transport der Nährstoffe Energie benötigt wird und dass die diskontinuierliche Nahrungsaufnahme eine zwischenzeitliche Speicherung von Nährstoffen erfordert, um eine kontinuierliche Energieversorgung aller Körperzellen zu gewährleisten. Der Energieaufwand für diese Leistungen bewirkt eine postprandiale Steigerung des Grundumsatzes.

Die **postprandiale Thermogenese ist geschlechts- und altersunabhängig und hängt nur von Art und Menge der aufgenommenen Nahrung ab**.

Sie macht (bei der üblichen Mischkost) **durchschnittlich 10%** (8 bis 15%) **des täglichen Energieumsatzes** aus und entspricht 2 bis 4% der mit Fett, 4 bis 7% der mit Kohlenhydraten und 18 bis 25% der mit Protein aufgenommenen Energiemenge.

Die postprandiale Thermogenese hält nach einer proteinreichen Mahlzeit ca. doppelt so lange an wie nach einer kohlenhydrat- oder fettreichen Mahlzeit gleichen Energiegehaltes.

C) Die bewegungsabhängige Thermogenese = Arbeitsumsatz, Leistungsumsatz:

Der thermische Effekt durch Bewegung (Muskelarbeit) ist der variabelste Anteil am Energieumsatz. Der Energieaufwand für körperliche Aktivität und damit auch der tägliche Gesamtenergiebedarf lässt sich abschätzen bzw. aus dem Grundumsatz mit einem Multiplikationsfaktor je nach Belastungsintensität halbwegs genau ermitteln. Dieser Multiplikator wird als **PAL-Wert (physical activity level)** bezeichnet.

Für den Zeitraum leichter körperlicher Aktivität kann man **GU x 1.5 - 2**, bei mittelschwerer körperlicher Aktivität **GU x 2 - 4** und bei schwerer körperlicher Aktivität je nach Intensität **bis zum 6-fachen des GU** (bei intensivem Sport bis zum 10-fachen und mehr) veranschlagen.

Der Energieumsatz bei körperlicher Belastung hängt wesentlich vom Ausmaß der eingesetzten Muskelmasse ab (je mehr Muskeln arbeiten müssen, desto höher der Energieumsatz) und natürlich von der Intensität der Muskelarbeit.

Den Arbeitsumsatz kann man kalorimetrisch (mit tragbaren Geräten oder mittels Telemetrie) ermitteln.

Am praktikabelsten lässt sich der Energieumsatz bei einer bestimmten Belastungsintensität mittels einer *Spiroergometrie* bestimmen (Fahrrad oder Laufband), und zwar nach der Formel

$$\text{kcal pro Minute} = \text{VO}_2 \text{ (Sauerstoffaufnahme in Liter pro Minute)} \times 5$$

Faktor 5 = Umrechnung Liter O₂ → kcal

$$\text{kcal pro Stunde} = \text{VO}_2 \text{ (Sauerstoffaufnahme in Liter pro Minute)} \times 5 \times 60$$

wobei man für jede Belastungsstufe entsprechend der jeweiligen O₂-Aufnahme den Kalorienverbrauch errechnen kann, oder, wenn man nur die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max, siehe [DIE MAXIMALE SAUERSTOFFAUFNAHME...](#)) kennt, den Energieverbrauch prozentuell davon ermitteln kann:

$$\text{z.B. bei 70\% VO}_2\text{max} \rightarrow \text{kcal/h} = \text{VO}_2\text{max} \times 0.7 \times 5 \times 60$$

Eine noch einfachere Ermittlung des Energieumsatzes ermöglicht eine Software, die bei jeder Belastungsstufe anhand der Sauerstoffaufnahme (VO₂) auch das metabolische Äquivalent "**MET**" (*metabolic equivalent of task*) errechnet:

**1 MET ist die O₂-Aufnahme einer erwachsenen Person im Sitzen
= 3.5 (Mann) bzw. 3.15 (Frau) ml VO₂ pro Minute und kg Körpergewicht**

aus den obigen Umrechnungsfaktoren ergibt sich: $\text{kcal/min} = [\text{MET} \times 3.5 \text{ (bzw. 3.15)} \times \text{kg Körpergewicht}] \times 5/1000$
 $\text{kcal/h} = [\text{MET} \times 3.5 \text{ (bzw. 3.15)} \times \text{kg Körpergewicht}] \times 5/1000 \times 60$

$$\Rightarrow \text{kcal/min} = [\text{MET} \times 3.5 \text{ (bzw. 3.15)} \times \text{kg Körpergewicht}] / 200$$
$$\text{kcal/h} = [\text{MET} \times 3.5 \text{ (bzw. 3.15)} \times \text{kg Körpergewicht}] \times 0.3$$

Das Energieäquivalent von **1 MET in kcal pro Minute beträgt somit ca. 1 kcal pro kg u. Stunde** (Mann: 1.05 kcal/h, Frau: 0.95 kcal/h) und liegt ca. 5 % über dem Grundumsatz

Beispiel: Körpergewicht von 70 kg → 1 MET = ca. 70 kcal/h (Mann: 73 kcal/h, Frau 66 kcal/h) = ca. 1.1 kcal/min

Man braucht also nur die MET der jeweiligen Belastungsintensität, die einen interessiert (bei der Ergometrie ist das die entsprechende Wattleistung), mit dem Körpergewicht zu multiplizieren, um den Kalorienverbrauch pro Stunde für diese Belastungsintensität zu ermitteln.

Eine andere Definition der metabolischen Einheit bezieht sich auf die Körperoberfläche:

$$1 \text{ MET} = 50 \text{ kcal/m}^2 / \text{h} = 58 \text{ Watt/m}^2$$

Zur Veranschaulichung des metabolischen Äquivalents (MET):

• Sitzen	1 MET
• In der Wohnung oder im Büro umhergehen	2 MET
• Gehen mit ca. 5 km/h	3 MET
• Hausarbeit (Staubsaugen, Bodenwischen)	3 bis 5 MET
• Rasenmähen	3 bis 6 MET
• Tanzen	3 bis 8 MET
• Langsames Schwimmen	6 MET
• Joggen (= langsames Laufen)	6 bis 8 MET
• Bergwandern mit Gepäck	7 bis 9 MET
• Fahrradfahren	bis 12 MET
• Schnelles Schwimmen	bis 12 MET

Aus präventivmedizinischer Sicht ("um der Arteriosklerose davonzulaufen") sollte man jede Woche zumindest 450 bis 750 MET (physikalisch richtig: MET-Minuten) erreichen.

Beispiel.: vier Mal 30 Minuten langsames Laufen = $4 \times 30 \times 6 = 720$ MET-Minuten

[siehe [DIE PRÄVENTIVMEDIZINISCHE BEDEUTUNG KÖRPERLICHER AKTIVITÄT...](#)]

D) Die adaptive Thermogenese:

Darunter versteht man die Energiebereitstellung für die Anpassung an veränderte Bedingungen wie z.B. Stress, intensive geistige Arbeit oder Temperaturveränderungen.

Zur **Thermoregulation**: Unter thermoneutralen Bedingungen (27 – 31°C nahe der Körperoberfläche) ist keine zusätzliche Wärmeproduktion zur Erhaltung der Körpertemperatur notwendig. Bei Erhöhung der Körpertemperatur, die mit einem Einsetzen der Transpiration einhergeht (Schwitzen als sichtbares Zeichen der Wärmeabgabe) kommt es zu einem höheren Energieumsatz (pro Grad Körpertemperatur um ca. 13%). Ebenso bedingen Temperaturen unterhalb der thermoneutralen Zone eine Zunahme des Energieumsatzes, zunächst durch zitterfreie Thermogenese (braunes Fettgewebe, Muskulatur, Leber, UCP = uncoupling proteins 1,2,3), bei stärkerem Absinken der Körpertemperatur durch muskuläre Kontraktionen, die sog. Zitterthermogenese, die den Energieumsatz vorübergehend auf das doppelte des GU ansteigen lassen können.

Der **Energieumsatz für die Thermoregulation** beträgt unter normalen Lebensbedingungen **maximal 5% des täglichen Energieumsatzes**.

Der durchschnittliche tägliche Energieumsatz (**total energy expenditure = TEE**) kann vom Grundumsatz ausgehend bestimmt werden. In Abhängigkeit von der körperlichen Aktivität wird er mittels PAL (siehe oben) als Mehrfaches des Grundumsatzes angegeben.

Den täglichen Energieumsatz und damit Energiebedarf kann man im Falle nur leichter körperlicher Arbeit mit **GU x 1.5**, bei mittelschwerer körperlicher Aktivität mit **GU x 1.8** und bei schwerer körperlicher Arbeit mit **GU x 2** grob abschätzen.

Eine weitere Berechnungsmethode für den täglichen Energieumsatz ist der **Energiequotient nach ROBBERS und TRAUMANN**. Dieser ist die Energiemenge, die der Mensch pro kg Körpergewicht und Tag verbraucht bzw. benötigt. Dieser Berechnung wird das Sollgewicht (entsprechend BMI 20 -24.9) zugrunde gelegt.

Der Energiequotient beträgt

- bei Bettruhe 24-26 kcal/kg/Tag
- bei leichter körperlicher Arbeit ca. 32 kcal/kg/Tag
- bei mittelschwerer körperlicher Arbeit ca. 37 kcal/kg/Tag
- bei schwerer körperlicher Arbeit 40 bis 50 kcal/kg/Tag

Daneben lässt sich mittels **BIA** (Bioelektrische Impedanzanalyse, aber nicht mit den sog. "Körperfettwaagen", die sind in jeder Hinsicht ungenau und auch zur Verlaufskontrolle der Körperfettmessung nicht geeignet) der Grundumsatz sowie der tägliche Gesamtenergieumsatz anhand der Körpergewebszusammensetzung in Verbindung mit dem Ausmaß der körperlichen Aktivität annähernd genau ermitteln.

Generell wird der individuelle Energie"verbrauch" bzw. -bedarf gerne überschätzt, sowohl der Arbeitsumsatz bei sportlicher Betätigung als auch der tägliche Gesamtenergieumsatz (So wie das Ausmaß der Energiezufuhr erfahrungsgemäß gerne unterschätzt wird).

Dr. Kurt A. Moosburger
www.dr-moosburger.at

Juli 2001 (überarbeitet im Februar 2008)

veröffentlicht auf <http://de.fitness.com/exercise/articles/energieumsatz.php>