



Energieverbrauch durch Muskeltraining

© romanolobchev

Berechnung für Trainingsempfehlung und Gewichtsmanagement

Vor allem langfristig werden die Effekte sehr deutlich: Eine größere, stoffwechselaktive Muskelmasse erhöht den Grundumsatz und „verbrennt“ mehr Kalorien. Das haben wir in der F&G Ausgabe 3/2015 nachgewiesen. Mit diesen Erkenntnissen ist aber noch nicht der gesamte Komplex Kalorien-Mehrverbrauch durch Bewegung und (Muskel-) Training erklärt. In den bisherigen Betrachtungen haben wir den Energieverbrauch während einer körperlichen Belastung vernachlässigt, der aber in Trainingsempfehlungen berücksichtigt werden soll. Prof. Dr. Theodor Stemper stellt Berechnungsmethoden vor, die wissenschaftlich gesichert und in Fitness- & Gesundheitsanlagen durchführbar sind.



Prof. Dr. Theodor Stemper
Sportwissenschaftler an der Bergischen Universität Wuppertal, 1. Stellvertretender Vorsitzender des Bundesverbandes Gesundheitsstudios Deutschland e.V. (BVGSD) und Ausbildungsdirektor des DFAV e.V.

Mit der Frage der Erhöhung des Grundumsatzes durch Muskeltraining haben wir uns in der letzten Ausgabe der F&G (Heft 3/2015, S. 86-91) ausführlich befasst. Dort haben wir die Idee „Kalorienverbrauch 24 Stunden am Tag“ auf den Prüfstand gestellt. Steigert sich der Energieverbrauch dauerhaft, den ganzen Tag (und auch die Nacht) hindurch allein schon durch Erhöhung der Muskelmasse? Gerade im Zusammenhang mit dem Gewichtsmanagement ist das ein nicht unerhebliches Phänomen.

Im Fazit ergab sich eine verlässlich berechnete Erhöhung des Energieumsatzes um täglich 13 kcal pro kg Muskelmasse.

Erhöhter Grundumsatz langfristig mit enormen Effekten

Was sich zunächst wenig anhört, hat langfristig sehr klare Effekte, wenn man berechnet, dass schon 2 kg mehr Muskeln den Jahresverbrauch um $365 \times 26 \text{ kcal/Tag} = 9.490 \text{ kcal/Jahr}$ erhöht. Das entspricht etwa dem Brennwert von immerhin 1,2 kg Fettmasse.

Über die Lebensspanne gesehen, liegt hier die eigentliche Rechtfertigung für die nachdrückliche Empfehlung eines regelmäßigen, gezielten Trainings zum Erhalt der Muskelmasse. Denn im 10-Jahres-Trend garantieren die beispielhaften 2 kg

Muskelmasse schon eine Steigerung des Grundumsatzes in Höhe eines Brennwertes für $10 \times 1,2 \text{ kg}$, also 12 kg Fettmasse.

Umgekehrt erklärt die Bewegungsarmut bzw. der sog. „Bewegungsmangel“ das Gegenteil, nämlich die Zunahme an Fettmasse, u. a. auch schon durch den Verlust an Muskelmasse, und das bei gleichbleibender Ernährungsweise. Denn so wie die Muskeln den Grundumsatz erhöhen, verringern 2 kg weniger Muskeln diesen im Umfang der oben berechneten Größenordnung – mit der Folge von schlimmstenfalls mehreren kg mehr Fett nach 10 Jahren!

Diese langfristige Veränderung der Energiebilanz erklärt schon einen guten Teil der Körpergewichtsschwankungen. Und in Verbindung mit dem durch Muskeltraining einhergehenden Wachstum des Herzmuskels – der wiederum 1 kg „Fett-Brennwert“ pro Jahr ausmacht – und des jeweils nach Belastung noch erhöhten Energieumsatzes (EPOC) im gesamten Körper – nochmals summa summarum in der Bilanz etwa 1,5 kg „Fett-Brennwert“ pro Jahr – wird noch verständlicher, wie einflussreich diese „chronischen Trainingsanpassungen“ für die Körperformung sind.



Tab. 1: PAL-Werte für verschiedene Aktivitäten

Faktor	Aktivität	Beispiel
0,95	absolute Ruhe (Ruheumsatz)	Schlafen
1,0	Wach, absolute Ruhe (Grundumsatz)	Liegen
1,2	ausschließlich Sitzen oder Liegen	Menschen mit Gebrechen
1,4 – 1,5	sitzend bei geringer körperlicher Aktivität	Schreibtischarbeit im Büro
1,6 – 1,7	sitzend, gehend und stehend	Schüler, Studenten, Busfahrer
1,8 – 1,9	hauptsächlich stehend und gehend	Verkäufer, Kellner, Handwerker
2,0 – 2,4	körperlich anstrengende Arbeit	Bauarbeiter, Landarbeiter, Hochleistungssportler

Aktivitäts- bzw. Leistungsumsatz

Haben wir mit diesen Erkenntnissen schon den gesamten Komplex Kalorien-Mehrverbrauch erklärt? Oder muss hinsichtlich der Gesamt-Energiebilanz nicht doch auch noch ein weiterer Aspekt erörtert werden?

In den bisherigen Betrachtungen haben wir einen Aspekt vernachlässigt, der aber in vielen Trainingsempfehlungen zu Recht berücksichtigt wird: Der Energieverbrauch WÄHREND einer körperlichen Belastung, der sog. Aktivitäts- oder Leistungsumsatz. Damit ist die gesamte Energiemenge angesprochen, die der Körper innerhalb eines Tages benötigt, um Arbeit verrichten zu können – und zwar jegliche Form von Arbeit in Beruf, Freizeit, Sport oder Fitnesstraining.

Wir wollen klären, wie hoch der Beitrag des Aktivitäts- oder Leistungsumsatz hinsichtlich der Gesamt-Energiebilanz einzuschätzen ist.

Dazu soll zunächst das Konzept der PAL-Werte näher beleuchtet werden.

Physical Activity Level (PAL)

Als Leistungsumsatz („aktivitäts- oder bewegungsbedingte Thermogenese“) bezeichnen wir den Energieverbrauch über den Ruheumsatz hinaus, also den Umsatz, wenn körperliche Arbeit verrichtet wird.

In geringerem Maße steigt der Energieverbrauch auch noch durch den Verdauungsprozess (die sogenannte „nahrungsinduzierte Thermogenese“) sowie durch die „adaptive Thermogenese“, mit der Anpassungen an veränderte Temperaturbedingungen (Hitze, Kälte, Feuchtigkeit), Stress oder auch geistige Arbeit gemeint sind (u.U. nicht ganz unerheblich, wenn man z. B. an das Zuckerbedürfnis nach langer Schreibtisch-tätigkeit denkt).

Bei der Berechnung des Leistungsumsatzes sind alle körperlichen Aktivitäten im Laufe eines Tages zu berücksichtigen. Das ist aber gar nicht so einfach zu erfassen und geschieht deshalb in der Regel auch nur durch grobe Überschlagsrechnungen, in denen das

übliche Aktivitätsniveau einer Person über eine gewisse Zeitdauer berücksichtigt wird. Dieses durchschnittliche Aktivitätsniveau wird in Form des immer noch sehr häufig verwendeten PAL-Faktors (physical activity level = Aktivitätsniveau) ausgedrückt.

Der PAL-Faktor sagt aus, mit welcher Zahl der Grundumsatz multipliziert werden muss, um den tatsächlichen Energieverbrauch auszurechnen. Da es aber im Verlaufe eines Tages zu zahlreichen Aktivitätsschwankungen kommt, müssten die jeweiligen PAL-Werte für jede Stunde (ggf. auch Minute, Sekunde) strenggenommen in einem Tagesprotokoll erfasst werden. In der Praxis ist das kaum möglich. So leisten PAL-Werte lediglich grobe Abschätzungen des aktivitätsbedingten Tages-Energieverbrauchs, was sich auch in der Spanne für die einzelnen PAL-Faktoren niederschlägt (siehe Tabelle 1).

Activity Tracker

Eine moderne Alternative zu den historischen PAL-Werten sind die momentan immer populärer werdenden Kleingeräte, zumeist Handgelenks-Armbänder, die unter dem Namen „Activity Tracker“ vertrieben werden. Activity Tracker berechnen den tat-



sächlichen Aktivitätsumsatz, allerdings auch hier wiederum nicht zu 100 Prozent, sondern mit mehr oder weniger großen Unschärfen – je nachdem, auf welcher Basis die Aktivität erfasst und berechnet wird. Üblich sind i.d.R. Bewegungssensoren, am besten dreidimensionale, die zur Optimierung der Aktivitätseinschätzung z.B. durch GPS-Daten oder körperliche Beanspruchungsreaktionen (vor allem die Herzfrequenz), ergänzt werden.

Auch wenn diese Einschätzungen viel differenzierter und präziser sind, als die nur grob geschätzten PAL-Werte – ein letztlich ganz exakter „Goldstandard“ hat sich auch hiermit noch immer nicht endgültig etabliert.

Den eigenen Energieumsatz abschätzen

Zur Abschätzung des Gesamt-Energieumsatzes muss neben dem Grundumsatz (Faustformel: 1 kcal / kg KG / Stunde; d. h. pro Tag: 24 x Körpergewicht in kg (Frauen: –10%) jede weitere Form von Energie, die der Körper zusätzlich verbraucht, berücksichtigt werden (siehe oben; vgl. auch F&G, Heft 03/2015).

Wie groß in diesem Zusammenhang der Arbeits- bzw. Leistungsumsatz ist, der durch körperliche Aktivität entsteht, hängt von der Art der ausgeübten Tätigkeit ab. Genau dafür sind, für überschlagsartige Berechnungen, die PAL-Faktoren erdacht worden. Je nach Schwere der Arbeit entspricht dann der Gesamtenergieumsatz dem mit dem passenden Faktor für den Arbeitsumsatz (1,2 bis 2,4) multiplizierten Grundumsatz.

Allerdings sind mit dem PAL-Faktor die kürzeren, meist auch intensiveren Sport- oder Fitness-Aktivitäten noch nicht berücksichtigt. Weil diese i.d.R. nicht über viele Stunden ausgeführt werden, erhöhen sie auch nicht unbedingt diesen mittelfristig ausgelegten, grundsätzlichen PAL-Wert. Doch auch bei kurzer Belastungsdauer und -intensität kann der Energieverbrauch erheblich sein und ein Vielfaches des Grundumsatzes betragen. Wie aber lässt sich dieser Kalorienverbrauch beziffern?

Beispielrechnung zum Kalorienverbrauch

- Ein 40-jähriger Mann hat bei 80 kg Körpergewicht und 1,80 m Körpergröße einen Grundumsatz von ca. 1.920 kcal (24 kcal x 80 kg).
- Als Büroangestellter wird seine Berufstätigkeit mit „leicht“ eingestuft, sein Grundumsatz deshalb lediglich mit 1,2 multipliziert.
- Der so ermittelte Tages-Gesamtumsatz beträgt demnach 2.304 kcal, wenn sportliche Aktivitäten noch unberücksichtigt sind.
- Wenn an einem Tag z. B. noch 45 min Joggen in einem Tempo von 8 km/h dazu kommen, dann werden zusätzlich 8 kcal x 80 kg = 640 kcal/Stunde, bzw. für die 45 Minuten ¾ davon, also 480 kcal, dazu addiert.
- Inklusive Sport liegt sein Tages-Gesamtumsatz daher dann bei 2.304 (PAL-Wert) + 480 (Sport-MET-Wert) = 2.784 kcal. Allerdings wohl wissend, dass dies nur eine indirekte und damit auch nur ungefähre Schätzung sein kann.

Tab. 2: Kalorienverbrauch auf Basis von METs (Ausdauertraining)

(nach Ainsworth et al., 2011)

ID	Aktivität: Radfahren im Freien	MET (kcal/kg/Stunde)	Kcal/h (Person 80 kg, 60 Minuten)
1020	15–18,5 km/h, Trekking, Belastung langsam, leichte	6,0	480
1030	18,5–21 km/h, Trekking, mäßige Belastung	8,0	640
1040	21–24 km/h, Rennstil oder Trekking, schnell, stärkere Belastung	10,0	800
1050	24–28 km/h, Rennstil, nicht im Windschatten oder > 28 km/h, Rennstil, im Windschatten	12,0	960
1060	> 30 km/h, Rennstil, nicht im Windschatten	16,0	1.280
ID	Aktivität: Radfahren im Studio (Ergometer)	MET (kcal/kg/Stunde)	Kcal/h (Person 80 kg, 60 Minuten)
2011	50 Watt, sehr leichte Belastung	3,0	240
2012	100 Watt, leichte Belastung	5,5	440
2013	150 Watt, mäßige Belastung	7,0	560
2014	200 Watt, starke Belastung	10,5	840
2015	250 Watt, sehr starke Belastung	12,5	1.000
ID	Aktivität: Rudern im Studio (Ergometer)	MET (kcal/kg/Stunde)	Kcal/h (Person 80 kg, 60 Minuten)
2070	Rudern, stationärer Ergometer, allgemein	7,0	560
2071	Rudern, stationär, 50 Watt, leichte Belastung	3,5	280
2074	Rudern, stationär, 200 Watt, sehr starke Belastung	12,0	960
ID	Aktivität: Aerobic	MET (kcal/kg/Stunde)	Kcal/h (Person 80 kg, 60 Minuten)
2110	Unterricht einer Aerobic-Klasse	6,0	480
2120	Wasseraerobic, Wasseracalsthenics	4,0	320
3015	Aerobic, allgemein	6,5	520
3016	Stepaerobic, mit 15–20 cm Steps	8,5	680
3017	Stepaerobic, mit 25–30 cm Steps	10,0	800
3020	Aerobic, ‚leichte‘ Belastung	5,0	400
3021	Aerobic, ‚starke‘ Belastung	7,0	560
ID	Aktivität: Laufen	MET (kcal/kg/Stunde)	Kcal/h (Person 80 kg, 60 Minuten)
12030	Laufen ca. 8 km/h (7:30 min/km)	8,0	640
12050	Laufen ca. 9,5 km/h (6:19 min/km)	10,0	800
12060	Laufen ca. 11 km/h (5:27 min/km)	11,0	880
12080	Laufen ca. 12 km/h (5:00 min/km)	12,5	1.000
12100	Laufen ca. 13 km/h (4:36 min/km)	14,0	1.120
12110	Laufen ca. 14 km/h (4:17 min/km)	15,0	1.200
12120	Laufen ca. 15 km/h (4:00 min/km)	16,0	1.280
12170	Laufen, Treppauf	15,0	1.200
12140	Laufen, querfeldein	9,0	720
17170	Walking, ca. 4 km/h, stabiler Untergrund	3,0	240
17180	Laufen/Walking, ca. 4 km/h, bergab	2,8	224
17190	Laufen/Walking, ca. 4,5 km/h, ebenerdig, stabiler Untergrund	3,3	264
17200	Laufen/Walking, ca. 5,5 km/h, ebenerdig, zügig, stabiler Untergrund, Herz-Kreislauftraining.	3,8	304
17210	Laufen/Walking, ca. 5,5 km/h, bergauf	6,0	480
17220	Laufen/Walking, ca. 6 km/h, ebenerdig, sehr zügig, stabiler Untergrund	5,0	400

MET-Tabellen

Die Basis für die Berechnung des Kalorienverbrauchs bei allen körperlichen Aktivitäten sind die Metabolischen Äquivalente (METs), die von der University of South Carolina dafür ermittelt worden sind. Mit den METs wird die Sauerstoffaufnahme für all diese Aktivitäten ausgedrückt.

Als Basis für die Höhe der Sauerstoffaufnahme dient 1 MET, das etwa 3,5 ml O₂/kg KG/min beträgt und der Sauerstoffaufnahme beim ruhigen Sitzen entspricht (vgl. ausführlicher dazu frühere Ausgaben von F&G). Der Kalorienverbrauch wiederum ist direkt von der Sauerstoffaufnahme abhängig, so dass man für ein MET definitionsgemäß auch angeben kann: 1 MET = 1 kcal/kg KG/Stunde. Ein MET entspricht damit in etwa dem Grundumsatz.

Doch **wie präzise ist dieser Kalorienrechner** über die von Ainsworth et al. (2011) bestimmten METs?

Die Antwort lautet: Relativ präzise!

Zum einen kommt eine kleine Unschärfe dadurch zustande, dass das metabolische Äquivalent einen linearen Zusammenhang zwischen Kalorienverbrauch und Sauerstoffaufnahme unterstellt. In der Realität ist dies aber nicht ganz der Fall. Denn je nachdem, ob vorwiegend Fette oder Kohlenhydrate zur Energiegewinnung genutzt werden, wird auch ein unterschiedliches Volumen an Sauerstoff benötigt, um eine gegebene Energiemenge bereitzustellen. Um eine kcal aus Fett zu gewinnen, werden ca. 211 ml Sauerstoff benötigt, für eine kcal aus Kohlenhydraten dagegen nur 198 ml. Im Extremfall also eine Differenz von etwa 5%. Die MET-Tabellen gehen hier i. d. R. von einem mittleren Wert aus.

Außerdem sind die hier angegebenen metabolischen Äquivalente nur empirische Mittelwerte. Individuelle

Unterschiede werden nicht berücksichtigt. Insbesondere aber die Werte in der Nähe des Grundumsatzes unterliegen großen individuellen Schwankungen. Je höher jedoch die Belastung – und damit die Menge an METs –, desto höher ist auch die Präzision.

Last but not least ist letztlich auch noch zu bedenken, dass für viele Aktivitäten keine eindeutige Ausführung unterstellt werden kann, wie dies in der Regel beim Gehen und Laufen noch der Fall ist. Fußball zum Beispiel kann man im Stand oder mit großem Einsatz spielen – der MET-Faktor dafür ist aber der gleiche. Ähnliches gilt für viele Fitnessaktivitäten, die mit mehr oder weniger Engagement oder aber viel Power ausgeführt werden können – von der flüssigen versus unpräzisen Koordination und den damit dann einhergehenden, kalorisch auch relevanten Mit-Bewegungen ganz zu schweigen.

Diese Ungenauigkeiten sind bei der Bewertung der auf Basis der MET-Tabellen errechneten Ergebnisse immer zu berücksichtigen. Auch die Kalorienberechnung auf Basis von MET-Tabellen kann also nur einen ungefähren Eindruck über die Größenordnung des Kalorienverbrauchs geben, wenngleich sie diesen differenzierter als die PAL-Faktoren erfassen kann.

Beispiele für den Kalorienverbrauch durch typische Fitnessaktivitäten finden sich in der Tabelle 2 und 3.

Fazit

Ganz exakt lässt sich der Energieverbrauch nur in direkter Form über aufwendige Apparaturen berechnen, was als ‚direkte Kalorimetrie‘ bezeichnet wird. Dazu muss eine Person in einem speziellen ‚Messkäfig‘ eingesperrt bleiben, der mithilfe von Sensoren die verbrauchte Energie erfasst – im Wesentlichen in Form der produzierten Wärmeabgabe.



Annähernd so exakt ist die sog. indirekte Kalorimetrie, bei der der Sauerstoffverbrauch mit einem Maskensystem erfasst und in den Kalorienverbrauch umgerechnet wird (s. o.). Formeln, die die Sauerstoffbilanz berücksichtigen, erlauben dabei auch eine Abschätzung darüber, ob es sich hierbei eher um Kohlenhydrat- oder Fettkalorien handelt, was dann in Form des ‚respiratorischen Quotienten (RQ)‘ ausgedrückt wird – Werte zwischen 0,7 (Fett) und 1,0 (Kohlenhydrate).

Die in dem hier vorliegenden Artikel vorgestellten Berechnungen des Kalorienverbrauchs über verschiedene Formeln können logischer Weise die Präzision der Kalorimetrie nicht erreichen. Sie basieren zwar darauf, stellen jedoch lediglich Mittelwerte dar. Dennoch erlauben sie die näherungsweise Abschätzung des Kalorienverbrauchs und können damit die Beratung im Bereich des Gewichtsmanagements sinnvoll unterstützen.

Prof. Dr. Theodor Stemper

Literatur

Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett Jr DR, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. (2011). *Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2011, 43(8):1575-1581.
 Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett Jr DR, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. *The Compendium of Physical Activities Tracking Guide. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University.* (Zugriff am 20.04.2015 unter <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/home>).

Tab. 3: Kalorienverbrauch auf Basis von METs (Muskeltraining)

(nach Ainsworth et al., 2011)

ID	Beispiel Fitnesstraining	MET (kcal/kg/Stunde)	Kcal/h (Person 80 kg, 60 Minuten)
2020	Kraftgymnastik (z.B. Push-Ups, Situps, Pull-ups, etc.), sehr starke Belastung	8,0	640
2030	Kraftgymnastik, Übungen zu Hause, leichte oder mäßige Belastung, allgemein (z.B. Rückenübungen), vom Boden aufstehen und hinsetzen	3,5	280
2040	Zirkeltraining, einschließlich einiger Aerobic-Übungen, mit minimalen Pausen, allgemein	8,0	640
2050	Gewichtheben (freies Gewicht, Nautilus oder Universal), Schwergewicht oder Bodybuilding, starke Belastung	6,0	480
2090	Schlankheitsgymnastik, Jazzgymnastik	6,0	480
2100	Stretching, Hatha Yoga	2,5	200
2101	leichtes Stretching	2,5	200
2130	‚Gewichtheben‘ (freies Gewicht, geführte Gewichte), leichte oder mäßige Belastung, leichtes Workout, allgemein	3,0	240