

Energiebedarf im Sport

Position der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE)

Hans Braun, Anja Carlsohn, Mareike Großhauser, Daniel König, Alfonso Lampen, Stephanie Mosler, Andreas Nieß, Helmut Oberritter, Klaus Schäbenthal, Alexandra Schek, Peter Stehle, Kiran Virmani, Rainer Ziegenhagen, Helmut Heseke

Abstract

SportlerInnen haben bedingt durch das Training einen gesteigerten Energieverbrauch. Dieser ist jedoch im Verlaufe eines Wettkampffjahres variabel und wird unter anderem von der Trainingsdauer und -intensität beeinflusst. Die Messung des Energieverbrauchs ist komplex und erfolgt häufig über eine indirekte Kalorimetrie. Eine Berechnung ist unter Berücksichtigung bestimmter Einschränkungen möglich. Der Energieverbrauch entspricht dem Energiebedarf. Der Energiebedarf sollte durch eine angepasste Energiezufuhr gedeckt werden. Eine geringe Energiezufuhr kann zu einer reduzierten Energieverfügbarkeit führen. Eine niedrige Energieverfügbarkeit hat nicht nur negative Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel und den Menstruationszyklus, sondern es ist auch mit hämatologischen, metabolischen, psychologischen, gastrointestinalen und immunologischen Konsequenzen zu rechnen. Daraus resultieren negative Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit, Trainingsanpassung, Konzentration, Koordination und ein erhöhtes Verletzungsrisiko. Eine dem Energieverbrauch angepasste Energiezufuhr ist ein wichtiger Eckpfeiler in der Ernährung von SportlerInnen und eine wesentliche Voraussetzung für Gesundheit und Leistungsfähigkeit.

Schlüsselwörter: Sporternährung, Energiebedarf, Energieverfügbarkeit, Energieverbrauch im Training

Einleitung

SportlerInnen haben besondere Ernährungsbedürfnisse. Das Internationale Olympische Komitee (IOC) erklärt in einem Konsensus-Statement zur Sporternährung, dass Ernährung die Leistungsfähigkeit beeinflusst, und empfiehlt AthletInnen vor, während sowie nach Training und Wettkampf angepasste Ernährungsstrategien anzuwenden, um ihre körperliche und mentale Leistungsfähigkeit zu maximieren [1]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass SportlerInnen keine homogene Gruppe darstellen, sondern sich in zahlreichen Faktoren, die Einfluss auf den Energie- und Nährstoffbedarf haben, unterscheiden (z. B. Körpergewicht, Körpergröße, Körperzusammensetzung, Trainingsinhalte, -dauer, -intensität). Ebenso ist zu berücksichtigen, dass SportlerInnen je nach Trainings- und Wettkampfphase innerhalb des Jahreszyklus, aber auch innerhalb einer Woche die Intensität und Dauer einer Trainingsbelastung sehr unterschiedlich gestalten [2–4].

Zudem hat der/die jugendliche LeistungssportlerIn noch zusätzlich einen wachstumsbedingt erhöhten Energie- und Nährstoffbedarf [5, 6]. Des Weiteren können im Leistungssport und insbesondere im Nachwuchssport das Körpergewicht und die Körperzusammensetzung von AthletInnen auch innerhalb der gleichen Sportart stark variieren [7, 8]. Besonders deutlich wird das in der Sportart Leichtathletik, in der AthletInnen im Ausdauerbereich 50–60 kg wiegen und WerferInnen bis zu 130 kg schwer sein können [9].

Zitierweise

Braun H, Carlsohn A, Großhauser M, König D, Lampen A, Mosler S, Nieß A, Oberritter H, Schäbenthal K, Schek A, Stehle P, Virmani K, Ziegenhagen R, Heseke H (2019) Energy needs in sports. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau* 66(8): 146–153
The English version of this article is available online:
DOI: 10.4455/eu.2019.040

Peer-Review-Verfahren

Begutachtet im Zuge der Erstellung

Energiebedarf

Während sich die Energiezufuhr des Menschen auf die Mahlzeiten und ggf. das Trinken beschränkt, ist der Energieverbrauch ein kontinuierlicher Vorgang, um zahlreiche Prozesse und Funktionen in unserem Körper aufrechtzuerhalten. Der tägliche Energiebedarf entspricht dem Energieverbrauch

pro 24 Stunden [10]. Dementsprechend ist eine bedarfsgerechte Energiezufuhr ein zentraler Faktor in der Ernährung des Menschen. Im Idealfall entspricht die Energiezufuhr dem Energiebedarf. Das ist die Menge an Nahrungsenergie, die ein stabiles Körpergewicht gewährleistet und die Gesundheit und Leistungsfähigkeit fördert [10]. Der Energiebedarf ist jedoch keine fixe Größe, sondern wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Dazu gehören z. B. Körpergewicht, Körperzusammensetzung, körperliche Aktivität, Wachstum, Schwangerschaft und Stillzeit. Hierbei stellt die körperliche Aktivität die variabelste Komponente für den Energiebedarf dar [10, 11].

Erwachsene AusdauerleistungssportlerInnen berichten von Trainingsumfängen von 500 bis 1 000 Stunden pro Jahr [4] oder einer Laufrundstrecke von > 150 km pro Woche [2, 4]. In Extremsituationen wie der *Tour de France* oder dem *Race Across America* kann dadurch der Energieverbrauch auf das 5-fache des Ruheenergieverbrauchs ansteigen [12, 13]. Das kann bei einzelnen Langdistanzrennen einen Energieverbrauch > 10 000 kcal pro Tag bedeuten [14]. Im Gegensatz dazu ergeben sich im Verlauf eines Trainingsjahres auch Phasen mit geringer körperlicher Aktivität, in der dann der tägliche Energiebedarf aufgrund einer potenziellen Trainingsdauer von weniger als 2 Stunden pro Woche auf einem geringen Niveau liegt und damit vergleichbar ist mit einer Person mit freizeitsportlicher Belastung [2–4].

Auf Basis der genannten Faktoren, die den Energieverbrauch beeinflussen, liegt der Energiebedarf bei den meisten SportlerInnen zwischen 1 500 kcal und 6 000 kcal pro Tag und kann z. B. im Saisonverlauf für eine Person mit 70 kg auf 2 000 kcal bis 5 000 kcal pro Tag geschätzt werden [3].

Diese Variation im individuellen Energiebedarf gilt es bei der Ernährungsberatung zu berücksichtigen. Für Fachkräfte in der Ernährungsberatung ist es daher notwendig, sich mit der Sportart/Disziplin und den dadurch bedingten Trainings- und Wettkampfbelastungen auseinanderzusetzen, um eine genauere Schätzung des (aktuellen) Energiebedarfs vornehmen zu können.

Messung und Schätzung des Energiebedarfs

Der Energieverbrauch kann mithilfe verschiedener Methoden ermittelt werden (z. B. direkte Kalorimetrie, indirekte Kalorimetrie, Herzfre-

quenz) [10]. Unter Laborbedingungen wird häufig die indirekte Kalorimetrie verwendet. Dabei werden mittels Spirometrie die Sauerstoffaufnahme (VO_2) und die Kohlendioxidabgabe (VCO_2) jeweils in Liter pro Minute gemessen und mittels der Formel nach Weir [15] berechnet.

Formel nach Weir: Energie (kcal/min) =
 $3,9 \times \text{VO}_2 \text{ (L/min)} + 1,1 \times \text{VCO}_2 \text{ (L/min)}$

Mithilfe der indirekten Kalorimetrie können im Labor der Ruheenergieverbrauch, der Grundumsatz, aber auch der Gesamtenergieverbrauch ermittelt werden. Darüber hinaus können mit mobilen Geräten VO_2 und VCO_2 bei ausgewählten körperlichen Aktivitäten auch im Feld erfasst werden. So konnte mit Einsatz einer portablen Spirometrie bei einem Fußball-Trainingsspiel aufgezeigt werden, dass über 90 Minuten ein mittlerer Energieverbrauch von 1 340 kcal vorliegt, jedoch große Unterschiede im Energieverbrauch zwischen den untersuchten Spielern (1 050–1 750 kcal) bestehen [16]. Bei der Messung des Energieverbrauchs über Spirometrie ist weiterhin zu berücksichtigen, dass das mit zunehmender Belastungsintensität über die Bicarbonatpufferung zusätzlich gebildete CO_2 die Genauigkeit der über die indirekte Kalorimetrie ermittelten Werte für den Energieverbrauch und Substratutilisation einschränkt. Dies gilt insbesondere für Belastungen oberhalb eines respiratorischen Quotienten (RQ)¹ von 1,0.

Trotz dieser Einschränkungen ist es möglich, über spirometrische Daten den Energieverbrauch bei körperlichen Aktivitäten orientierend zu erfassen. Die Ergebnisse aus zahlreichen Studien zur Erfassung der Sauerstoffaufnahme (VO_2) bei ausgewählten körperlichen Aktivitäten wurden im *Compendium of Physical Activities* zusammengefasst [18–20] und werden über die Website des Compendiums regelmäßig aktualisiert [21]. Das Compendium hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einer weitverbreiteten und akzeptierten Quelle zur Abschätzung des Energieverbrauchs etabliert [6, 20]. Die Angaben im Compendium erfolgen als sogenanntes „Metabolisches Äquivalent (MET)“ (♦ Kasten).

Metabolisches Äquivalent (*metabolic equivalent of task; MET*)

Ein MET entspricht dem Energieverbrauch in Ruhe und ist definiert als 1 kcal pro kg Körpergewicht pro Stunde (kcal/kg KG/Std). Entsprechend stehen die MET-Werte für einen Multiplikationsfaktor des Ruheenergieverbrauchs (vgl. die Beispiele 1 und 2). Dies ist vergleichbar mit den Angaben zum *Physical Activity Level* (PAL). Er ist definiert als das Verhältnis von Gesamtenergieverbrauch zu Ruheenergieverbrauch, im Gegensatz zu MET allerdings innerhalb von 24 Stunden. Der PAL-Wert bezeichnet also den für körperliche Aktivitäten relativ zum Ruheenergieverbrauch aufzuwendenden täglichen Energiemehrverbrauch [10, 22].

¹ Als RQ wird der Quotient des pro Zeiteinheit abgegebenen Kohlendioxidvolumens (VCO_2 L/min) zum aufgenommenen Sauerstoffvolumen (VO_2 L/min) bezeichnet. Bei hohen Belastungsintensitäten übersteigt die CO_2 -Produktion die O_2 -Aufnahme, sodass der RQ auf Werte über 1 ansteigt [17].

Alltagsaktivitäten	METs	Code
Schlafen	0,95	07030
Ruhig sitzend, z. B. vor dem TV	1,3	07020
Meeting, sitzend	1,5	11585
Büroarbeit	1,5	11580
Bügeln	1,8	05070
Gehen, gemütlich (< 3,2 km/h)	2,0	11791
Kochen, Essen vorbereiten	2,0	05050
Einkaufen im Supermarkt	2,3	05060
Hausarbeit, aufräumen	2,5	05040
Gartenarbeit (gemütlich)	3,0	08260
Gartenarbeit (anstrengend)	6,0	08262
Sportliche Aktivitäten	METs	Code
Badminton (allgemein)	5,5	15020
Badminton (wettkampfnah)	7,0	15030
Basketball (allgemein)	6,0	15050
Basketball (wettkampfnah)	8,0	15040
Boxen (am Boxsack)	5,5	15110
Boxen (Sparring)	7,8	15120
Darts	2,5	15180
Fußball (allgemein)	7,0	15610
Fußball (wettkampfnah)	10,0	15605
Golf	4,3	15265
Jogging (6,4 km/h)	6,0	12029
Jogging (8 km/h)	8,3	12030
Jogging (11,2 km/h)	11,0	12070
Jogging (16 km/h)	14,5	12120
Jogging (22,4 km/h)	23,0	12135
Radfahren (9 km/h)	3,5	01018
Radfahren (18 km/h)	6,8	01020
Radfahren (24 km/h)	10,0	01040
Schwimmen Brust (allgemein)	5,3	18255
Schwimmen Brust (intensiv)	10,3	18260
Schwimmen Freistil (allgemein)	5,8	18240
Schwimmen Freistil (2:10 min/100m)	8,3	18290
Schwimmen Freistil (intensiv)	9,8	18230
Squash (allgemein)	7,3	15652
Tai Chi, Qi Gong	3,0	15670
Tennis (allgemein)	7,3	15675
Tischtennis (allgemein)	4,0	15660
Volleyball (allgemein)	4,0	15710
Volleyball (wettkampfnah)	6,0	15711

Tab. 1: Ausgewählte Alltagsaktivitäten und sportliche Aktivitäten mit den zugehörigen METs und Codes

Die MET-Werte beschreiben konkrete Aktivitäten, zu denen dann aktivitätsbezogene Daten vorliegen (♦ Tabelle 1). Dabei liegen die MET-Werte des Compendiums im Bereich von 0,95 (Schlafen) und 23 (Laufen bei 22,4 km/h) [20].

Auf Basis der Kenntnis des Ruheenergieverbrauchs (Formel zur Berechnung s. S. M463) lässt sich der Energieverbrauch für verschiedene Aktivitäten berechnen (♦ Beispiel 1 und 2).

Diese Vorgehensweise hat sich für die Schätzung des Energieverbrauchs bei körperlicher Aktivität etabliert, beinhaltet jedoch ein paar Limitationen, die berücksichtigt werden müssen [6, 20]. So gelten die METs nur für Personen ohne geistige und körperliche Behinderung im Alter von 18–65 Jahren. Zu beachten ist auch, dass Personen mit einer höheren körperlichen Fitness bei gleicher relativer Belastungsintensität einen höheren Energieumsatz pro Zeiteinheit erreichen [23]. Insbesondere die Intensitätsangaben (z. B. locker, allgemein, anstrengend) bei den METs können zu Fehleinschätzungen führen. Eine sportliche Aktivität (z. B. Fußball) kann subjektiv (z. B. aufgrund schlechter Fitness) als sehr anstrengend empfunden werden. Es ist jedoch gut möglich, dass ein trainierter Mitspieler objektiv mehr gelaufen ist und damit auch einen höheren Energieverbrauch aufweist, die Aktivität jedoch „nur“ als moderat anstrengend empfunden hat.

Darüber hinaus ist ein zentraler Faktor bei der Schätzung des Energieverbrauchs der Ruheenergieverbrauch. Dieser kann, wie oben beschrieben, über eine indirekte Kalorimetrie ermittelt werden. Dieses Verfahren ist jedoch aufwendig und wird in der Routine nur selten eingesetzt. Daher wird der Ruheenergieverbrauch im Regelfall über verfügbare Formeln berechnet.

Anmerkung: Tabelle 1 zeigt ausgewählte Aktivitäten aus dem *Compendium of Physical Activities*. Eine vollständige und aktuelle Übersicht der verfügbaren METs ist unter <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/Activity-Categories> zu finden. Über die in Tabelle 1 angegebenen Codes können die Aktivitäten im Compendium wiedergefunden werden.

Beispiel 1: Berechnung des Energieverbrauchs bei Büroarbeit

Erwachsener mit einem Körpergewicht von 75 kg
Ruheenergieverbrauch (REE) ca. 1 800 kcal pro Tag oder 75 kcal pro Stunde
METs für „Büroarbeit“ (*sitting tasks, light effort [e.g., office work...] Code 11580*) = 1,5
REE pro Stunde x METs = Energieumsatz pro Stunde
75 kcal x 1,5 METs = 112,5 kcal pro Stunde Büroarbeit

Beispiel 2: Berechnung des Energieverbrauchs beim Fußball

Fußballspieler mit 75 kg
Ruheenergieverbrauch (REE) ca. 1 800 kcal pro Tag oder 75 kcal pro Stunde
METs für „Fußball wettkampfnah“ (*soccer competitive, Code 15605*) = 10
REE pro Stunde x METs = Energieumsatz pro Stunde
75 kcal x 10 METs = 750 kcal pro Stunde
Entspricht einem geschätzten Energieverbrauch von 750 kcal pro Stunde Fußball bzw. 1 125 kcal für 90 Minuten

Gängige Formeln zur Berechnung des Ruheenergieumsatzes (REE) sind:

Harris und Benedict (1918) [24]

Männer: REE [kcal/Tag] = 66,5 + 13,8 x Gewicht [kg] + 5,0 x Größe [cm] – 6,8 x Alter [Jahre]
Frauen: REE [kcal/Tag] = 655 + 9,6 x Gewicht [kg] + 1,8 x Größe [cm] – 4,7 x Alter [Jahre]

Cunningham (1980) [25]

REE [kcal/Tag] = 500 + 22 x LBM (Lean Body Mass = fettfreie Masse)

Müller (2004) [10]

REE [MJ/Tag]* = 0,047 x Gewicht (kg) + 1,009 x Geschlecht (Frauen = 0, Männer = 1) – 0,01452 x
Alter (Jahre) + 3,21

*Umrechnung von MJ in kcal durch Multiplikation mit 239

Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die berechneten Werte nicht immer mit den gemessenen Werten übereinstimmen [26, 27]. Außerdem kann zwar eine gute Übereinstimmung im Bereich der Mittelwerte vorliegen, im Einzelfall jedoch trotzdem eine deutliche Abweichung zwischen dem gemessenen und berechneten Ruheenergieverbrauch existieren [26, 27]. Da die fettfreie Körpermasse einen wesentlichen Einfluss auf den Ruheenergieverbrauch hat und diese bei SportlerInnen im Regelfall höher liegt als bei NichtsportlerInnen, ist die Anwendung einer entsprechenden Berechnungsformel, die die fettfreie Körpermasse berücksichtigt, nachvollziehbar. Diesbezüglich wird häufig die Berechnungsformel nach Cunningham (1980) genutzt. Untersuchungen zum Vergleich der Cunningham-Formel mit gemessenen Ruheenergieverbrauchdaten zeigen jedoch uneinheitliche Ergebnisse [27, 28]. Darüber hinaus variiert der Ruheenergieverbrauch und darf nicht als feste Größe verstanden werden. In manchen Sportarten (z. B. Gewichtsklassensport, Skisprung, Ausdauersport) wird mittels einer chronisch geringen

Energiezufuhr versucht, die Körpermasse in ausgewählten Phasen einer Saison zu reduzieren oder niedrig zu halten. Dies kann zu einem Absinken des Ruheenergieverbrauchs im Saisonverlauf führen. Dieser Effekt scheint sich jedoch nach Ende der Saison durch die entsprechend höhere Energiezufuhr wieder aufzuheben [29]. Möglicherweise ist es insbesondere im Leistungssport nicht möglich, eine allgemeingültige Formel zur Berechnung des Ruheenergieverbrauchs zu etablieren. Dies liegt in den großen Abweichungen im Bereich der anthropometrischen Daten, Phasen der restriktiven Energiezufuhr, mit einem einhergehenden Absinken des Ruheenergieumsatzes [29], aber auch generell wechselnden Trainingsphasen mit unterschiedlichen Belastungsintensitäten und -umfängen begründet. Trotz der beschriebenen Einschränkungen wird der Einsatz von Formeln zur Berechnung des Ruheenergieverbrauchs unter Ergänzung des MET-Konzepts zur Schätzung des Energiebedarfs als sinnvoll betrachtet [6]. Das berechnete Ergebnis sollte jedoch immer mit Augenmaß und Sorgfalt bewertet werden.

Energieverfügbarkeit

In einigen Sportarten oder Disziplinen (z. B. Skisprung, Hochsprung, Marathonlauf) kann ein geringes Körpergewicht einen Leistungsvorteil bringen oder es kann aufgrund des Reglements in

Beispiel 3: Berechnung der Energieverfügbarkeit

Sportlerin mit 60 kg Körpergewicht, 20 % Körperfettanteil, 80 % FFM (= 48,0 kg FFM)
Energiezufuhr 2 600 kcal, Energieverbrauch im Training 400 kcal
EV = 2 600 kcal – 400 kcal = 2 200 kcal
2 200 kcal / 48 kg FFM = 45,8 kcal / kg FFM

Beispiel 4: Energieverfügbarkeit einer Sportlerin bei geringer Energiezufuhr und erhöhtem Energieverbrauch im Training

Sportlerin mit 60 kg Körpergewicht, 20 % Körperfettanteil, 80 % FFM (= 48,0 kg FFM)
Energiezufuhr 1 800 kcal, Energieverbrauch im Training 600 kcal
EV = 1 800 kcal – 600 kcal = 1 200 kcal
1 200 kcal / 48 kg FFM = 25 kcal / kg FFM

Gewichtsklassensportarten notwendig sein, zum Wettkampftag ein bestimmtes Körpergewicht zu haben. Um ein geringes Körpergewicht zu erreichen, neigen AthletInnen zu einer chronisch geringen Energiezufuhr oder falls möglich einer Steigerung des Energieverbrauchs im Training [30, 31]. In diesem Zusammenhang wird einerseits von einer negativen Energiebilanz, andererseits aber auch von einer geringen Energieverfügbarkeit (EV) gesprochen.

Die Energieverfügbarkeit ist definiert als:

$$\text{Energieverfügbarkeit} = \frac{\text{Energiezufuhr} - \text{Energieverbrauch im Training}}{\text{FFM}}$$

Ausgedrückt wird die EV in kcal pro kg fettfreie Masse (FFM) (♦ Beispiele 3 und 4).

Das Konzept der Energieverfügbarkeit ist v. a. in der Sporternährung verbreitet und bewertet weniger die klassische Energiebilanz, sondern betrachtet vielmehr die zugeführte Energiemenge abzüglich der durch den Sport verbrauchten Energie. Daraus resultiert die Energiemenge, die für den Organismus verfügbar ist, um seine grundlegenden Funktionen aufrechtzuerhalten [6, 32].

Untersuchungen an Athletinnen zeigen, dass eine geringe Energieverfügbarkeit (< 30 kcal pro kg FFM) ein erhöhtes Risiko für Müdigkeits- und Übertrainingserscheinungen, Immunschwäche, Menstruationsstörungen und Stressfrakturen bedeutet [32, 33]. So wird die geringe Energieverfügbarkeit auch in einem engen Zusammenhang mit der Entstehung der *Female Athlete Triad* gesehen. Dabei handelt es sich um einen Symptomenkomplex von Zyklusstörungen, gestörtem Essverhalten und verringerter Knochendichte bei Sportlerinnen [34, 35].

Bei Männern ist dieses Phänomen noch nicht systematisch untersucht, jedoch sind vergleichbare Konsequenzen anzunehmen [36–38]. Da eine geringe Energieverfügbarkeit geschlechterübergreifend vorkommen kann, wurde vorgeschlagen, den Begriff *Female Athlete Triad* durch den Begriff *Relative Energy Deficiency in Sports* (RED-S) abzulösen [39]. Zudem soll damit berücksichtigt werden, dass sich eine niedrige Energieverfügbarkeit nicht nur auf den Knochenstoffwechsel und Zyklusstörungen begrenzt, sondern auch hämatologische, metabolische, psychologische, gastrointestinale und immunologische Konsequenzen haben kann. Damit

verbunden werden negative Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit, Trainingsanpassung, Konzentration und Koordination und ein erhöhtes Verletzungsrisiko [6]. Vertiefende Information zur Thematik finden sich in den frei zugänglichen Übersichtsarbeiten von Nattiv et al. (2007) [34], De Souza et al. (2014) [35], Mountjoy et al. (2014) [39], Mountjoy et al. (2018) [31] und in einem Sonderheft des *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* (Volume 28, Issue 4, July 2018).

Risikogruppen für eine geringe Energieverfügbarkeit sind SportlerInnen, die selbst auf ein niedriges Körpergewicht achten (z. B. Gewichtsreduktionsphase, dauerhaft geringes Körpergewicht) oder dem Druck unterliegen, ein niedriges Körpergewicht halten zu müssen. Zudem können aber auch SportlerInnen von einer geringen Energieverfügbarkeit betroffen sein, die z. B. aus zeitlichen Gründen zu wenig essen und/oder den eigenen Energiebedarf unterschätzen. Dies liegt möglicherweise auch darin begründet, dass sportbedingt zunächst der Hunger unterdrückt ist und so eine ausreichende Energiezufuhr nicht erreicht wird [33]. In Phasen der Gewichtsreduktion sollte darauf geachtet werden, dass trotz reduzierter Energiezufuhr eine Energieverfügbarkeit von 30–45 kcal pro kg FFM gewährleistet wird [33].

Für die Anwendung des Konzepts der Energieverfügbarkeit in der Beratungspraxis muss berücksichtigt werden, dass Informationen zur Energiezufuhr, dem Energieverbrauch im Training und Daten zur fettfreien Masse benötigt werden.

Limitationen bei der Erfassung des Energieverbrauchs sind oben beschrieben. Allgemeine Herausforderungen bei der Erfassung der Ener-

giezufuhr über die verschiedenen Systeme der Ernährungserhebung sind nicht Bestandteil dieses Positionspapiers, aber an anderer Stelle umfassend beschrieben [40–42].

Bei Ernährungserhebungen mit SportlerInnen ist darüber hinaus darauf zu achten, dass eine einmalige Dokumentation der Ernährung (z. B. einmal pro Jahr) zu einer fehlerhaften Bewertung der Ernährungssituation führt, da die Energiezufuhr aufgrund der unterschiedlichen Trainings- und Wettkampfbelastungen stark variieren kann. Zudem treten auch bei dieser Gruppe die Phänomene des *Underreporting*, *Underrecording* oder *Underestimation and Overestimation* auf [40–43]. Als wesentliche Ursachen werden Änderung des Essverhaltens während der Protokollphase, fehlerhafte Angaben aufgrund sozialer Erwünschtheit und Dokumentationsfehler hinsichtlich Menge und Beschreibung der verzehrten Lebensmittel genannt [41]. So scheinen SportlerInnen bei Ernährungserhebungen u. a. zu „vergessen“ die Snacks zwischendurch oder auch Getränke zu notieren, was zu einer fehlerhaften Bewertung der Energiezufuhr führen kann [41, 43]. In der Summe kann das zu einer Fehleinschätzung der Energiezufuhr im Bereich von 10–45 % [41] und im Einzelfall zu einem kalorischen Fehlbetrag > 1 500 kcal pro Tag führen [27].

Des Weiteren ist eine Messung der Körperzusammensetzung notwendig, um Informationen zur fettfreien Masse zu erhalten. Je nach Messverfahren ergeben sich jedoch unterschiedliche Ergebnisse [44], was wiederum Einfluss auf die Berechnung der Energieverfügbarkeit hat.

Trotz der beschriebenen Einschränkungen wird empfohlen, sich mit dem Thema Energiebedarf im Sport intensiver zu beschäftigen, um Warnsignale für eine niedrige Energieverfügbarkeit und die damit verbundenen negativen Konsequenzen für Gesundheit und Leistungsfähigkeit frühzeitig zu erkennen.

Fazit

Der Energiebedarf von SportlerInnen gestaltet sich je nach Trainings- und Wettkampfphase innerhalb des Jahreszyklus sehr unterschiedlich. Die genaue Erfassung des Energieverbrauchs ist nicht einfach, jedoch näherungsweise möglich. Eine angepasste Energiezufuhr

stellt einen zentralen Eckpfeiler in der Sporternährung dar. Generell sollte daher auf eine ausreichende, der Situation angemessene Energiezufuhr geachtet werden, um den trainings- und ggf. wachstumsbedingten Bedarf zu decken. Eine unzureichende Energiezufuhr kann zu einer geringen Energieverfügbarkeit mit den beschriebenen Konsequenzen für Gesundheit und Leistungsfähigkeit führen.

Danksagung

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts bedanken sich die AutorInnen bei Dr. Angela Bechthold und Birte Peterson-Sperlich vom Referat Wissenschaft der DGE.

Interessenkonflikt

Die AutorInnen erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht

Korrespondierender Autor:

Klaus Schäbethyl
schaebethyl@dge.de

Hans Braun¹

Prof. Dr. Anja Carlsohn²

Dr. Mareike Großhauser³

Prof. Dr. Daniel König⁴

Prof. Dr. Dr. Alfonso Lampen⁵

Dr. Stephanie Mosler⁶

Prof. Dr. Andreas Nieß⁷

Dr. Helmut Oberritter⁸

Klaus Schäbethyl⁸

Dr. Alexandra Schek⁹

Prof. Dr. Peter Stehle¹⁰

Dr. Kiran Virmani⁸

Dr. Rainer Ziegenhagen⁵

Prof. Dr. Helmut Hesecker¹¹

¹ Institut für Biochemie

Deutsches Forschungszentrum für Leistungssport –
momentum; Deutsche Sporthochschule Köln

² Fakultät Life Sciences/Department Ökotrophologie
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

³ Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland

⁴ Institut für Sport und Sportwissenschaft

Arbeitsbereich Ernährung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

⁵ Abteilung Lebensmittelsicherheit (Abt. 5)

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

⁶ Institut für Gesundheitswissenschaften

Abteilung Ernährung, Konsum und Mode

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Olympiastützpunkt Stuttgart

⁷ Abteilung Sportmedizin

Medizinische Klinik

Universitätsklinikum Tübingen

⁸ Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE)

⁹ Redaktion Leistungssport (DOSB)

¹⁰ Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften

Ernährungsphysiologie

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

¹¹ Institut für Ernährung, Konsum und Gesundheit

Fakultät für Naturwissenschaften

Universität Paderborn

Literatur

1. IOC Consensus Conference on Nutrition in Sport, 25–27 October 2010, International Olympic Committee, Lausanne, Switzerland. *J Sports Sci* 29, Suppl 1 (2010) S1
2. Stellingwerff T, Boit MK, Res PT (2007) Nutritional strategies to optimize training and racing in middle-distance athletes. *J Sports Sci* 25: S17–S28
3. Stellingwerff T, Maughan RM, Burke LM (2011) Nutrition for power sports: Middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *J Sports Sci* 29: S79–S89 [doi:10.1080/02640414.2011.589469]
4. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y et al. (2017) Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: systematic review. *Sports Med Open* 3: 8 [https://doi.org/10.1186/s40798-017-0076-1]
5. Desbrow B, McCormack J, Burke LM et al. (2014) Sports Dietitians Australia position statement: sports nutrition for the adolescent athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 24: 570–584
6. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM (2016) American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 48: 543–568
7. van Erp-Baart AM, Saris WH, Binkhorst RA et al. (1989) Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. Part I. Energy, carbohydrate, protein, and fat intake. *Int J Sports Med*: S3–S10
8. Santos DA, Dawson JA, Matias CN et al. (2014) Reference values for body composition and anthropometric measurements in athletes. *PLoS ONE* 9: e97846 [doi:10.1371/journal.pone.0097846]
9. O'Connor H, Olds T, Maughan RJ (2007) Physique and performance for track and field events. *Journal Sports Sci* 25: S49–S60
10. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (Hg). Energie. In: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 2. Aufl., 1. Ausgabe, Bonn (2015), S. 1–20
11. Westerterp KR (2015) Daily physical activity as determined by age, body mass and energy balance. *Eur J Appl Physiol* 115: 1177–1184 [doi 10.1007/s00421-015-3135-7]
12. Westerterp KR, Saris WH, van Es M et al. (1986) Use of the doubly labeled water technique in humans during heavy sustained exercise. *J Appl Physiol* 61: 2162–2167
13. Hulston AT, Lahart I, Williams KL et al. (2010) Energy expenditure in the Race Across America (RAAM). *Int J Sports Med* 463–467 [doi: 10.1055/s-0030-1251992]
14. Geesmann B, Mester J, Koehler K (2014) Energy balance, macronutrient intake, and hydration status during a 1,230 km ultra-endurance bike marathon. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 24: 497–506 [doi: 10.1123/ijsem.2013-0169]
15. Weir JB (1949) New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 109: 1–9
16. Ferrauti A, Giesen HT, Merheim G et al. (2006) Indirekte Kalorimetrie im Fußballspiel. *Dtsch Z Sportmed* 57: 142–146
17. Spomedial (Hg): Der respiratorische Quotient (RQ). http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e3862/e4009/e4038/index_ger.html Zugriff 12.07.19
18. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS et al. (1993) Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 25: 71–80
19. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC et al. (2000) Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 32, Suppl 9: S498–S516
20. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD et al. (2011) Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1575–1581
21. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD et al. The Compendium of physical activities tracking guide. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University. URL: <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/> Zugriff 12.07.19
22. Institute of Medicine. 2006. Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements. Washington, DC: The National Academies Press. [https://doi.org/10.17226/11537]
23. Norton K, Norton L, Sadgrove D (2010) Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *J Sci Med Sport* 13: 496–502
24. Harris JA, Benedict FG (1918) A biometric study of basal metabolism in man. *Proc Natl Acad Sci U S A* 4(12): 370–373 [doi: 10.1073/pnas.4.12.370]
25. Cunningham JJ (1980) A reanalysis of the factor influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr* 33: 2372–2374
26. Hasson RE, Howe CA, Jones BL et al. (2011) Accuracy of four resting metabolic rate prediction equations: effects of sex, body mass index, age, and race/ethnicity. *J Sci Med Sport* 14: 344–351
27. Carlsohn A, Rosenberger F, Schapp L et al. (2012) Validität der Energiezufuhrbestimmung mittels Ernährungsprotokoll bei Normalgewichtigen in Abhängigkeit von der Höhe der Energiezufuhr. *Ernahrungs Umschau* 59: 572–577
28. Thompson JL, Manore MM (1996) Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *J Am Diet Assoc* 96: 30–34
29. Melby CL, Schmidt WD, Corrigan D (1990) Resting metabolic rate in weightcycling collegiate wrestlers compared with physically active, noncycling control subjects. *Am J Clin Nutr* 52: 409–414
30. Logue D, Madigan SM, Delahunt E (2018) Low energy availability in athletes: a review of prevalence, dietary patterns, physiological health, and sports performance. *Sports Med* 48: 73–96 [https://doi.org/10.1007/s40279-017-0790-3]
31. Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM et al. (2018) IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br J Sports Med* 52: 687–697 [doi: 10.1136/bjsports-2018-099193]
32. Loucks AB (2004) Energy balance and body composition in sports and exercise. *J Sports Sci* 22: 1–14
33. Loucks AB, Kiens B, Wright HH (2011) Energy availability in athletes. *J Sports Sci Suppl* 1: S1–S14
34. Nattiv A, Loucks AB, Manore MM et al. (2007) American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1867–1882
35. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E et al. (2014) 2014 Female Athlete Triad coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st Inter-

- national Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med* 48: 289
36. Degoutte F, Jouanel P, Bègue RJ et al. (2006) Food restriction, performance, biochemical, psychological, and endocrine changes in judo athletes. *Int J Sports Med* 27: 9–18
37. Karila TAM, Sarkkinen P, Marttinen M et al. (2008) Rapid weight loss decreases serum testosterone. *Int J Sports Med* 29: 872–877
38. Koehler K, Achtzehn S, Braun H et al. (2013) Comparison of self-reported energy availability and metabolic hormones to assess adequacy of dietary energy intake in young elite athletes. *Appl Phys Nutr Metab* 38: 725–733
39. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L et al. (2014) The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med* 48: 491–497
40. Black AE (2001) Dietary assessment for sports dietetics. *Nutrition Bulletin* 26: 29–42
41. Magkos F, Yannakoulia M (2003) Methodology of dietary assessment in athletes: concepts and pitfalls. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 6: 539–549
42. Straßburg A (2010) Ernährungserhebungen – Methoden und Instrumente. *Ernährungs Umschau* 10: 422–430
43. Larson-Meyer DE, Woolf K, Burke L (2018) Assessment of nutrient status in athletes and the need for supplementation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 28: 139–158 [<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0338>]
44. Ackland TR, Lohman TG, Sundgot-Borgen J et al. (2012) Current status of body composition assessment in sport. Review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med* 42: 227–249

DOI: 10.4455/eu.2019.040