

---

## Bestimmung von Energiebedarf und Energiebilanz im Spitzensport

Evaluation im Spitzensport eingesetzter,  
für die Normalbevölkerung validierter Verfahren  
zur Bestimmung des Ruhe- und Gesamtenergieumsatzes  
sowie der habituellen Energiezufuhr und -bilanz

Frank Mayer, Anja Carlsohn, Friederike Scharhag-Rosenberger  
& Michael Cassel

Hochschulambulanz der Universität Potsdam,  
Zentrum für Sportmedizin, Freizeit-, Gesundheits- und Leistungssport,  
Professur für Sportmedizin und Sportorthopädie

### Problem

Die erhöhte metabolische Belastung im Spitzensport geht mit einem kalorischen Mehrbedarf einher, jedoch stellen Appetit und Hungergefühl der Athletinnen und Athleten keine reliablen Indikatoren des Energie- und Nährstoffbedarfs dar (Loucks, 2004). Eine energie- und nährstoffdefiziente Sportlerkost kann über verschiedene Mechanismen Adaptationen des Organismus auf Trainingsreize sowie die Leistungsfähigkeit der Athletinnen und Athleten negativ beeinflussen, sodass eine langfristig ausgeglichene Energiebilanz das primäre Ziel der Sportlerernährung darstellt (Magkos & Yannakouilia, 2003). Der Energiebedarf und die Energiebilanz von Sportlerinnen und Sportlern werden derzeit häufig zeit- und kosteneffizient in mehreren, folgenden Schritten erhoben:

- (1) Erfassung der Energiezufuhr mithilfe standardisierter Ernährungsprotokolle
- (2) Berechnung des Ruheumsatzes auf Basis individueller anthropometrischer Daten
- (3) Berechnung des Energiebedarfs anhand von Ruheumsatz und körperlicher Belastung.

Die genannten Verfahren können bei Einsatz im Spitzensport fehlerbehaftet sein, da die entsprechenden Methoden nicht für die Ebene des Spitzensports validiert wurden. Bei der Erfassung der Energiezufuhr von Spitzensportlerinnen und Spitzensportlern mithilfe standardisierter Ernährungsprotokolle werden Besonderheiten der habituellen Ernährung, beispielsweise häufiger Außer-Haus-Verzehr und eine hohe Anzahl von Mahlzeiten und Snacks während des Trainings nicht erfasst (Rodriguez et al., 2002).

Zur Berechnung des Ruheumsatzes von Leistungssportlerinnen und -sportlern werden üblicherweise für die Normalbevölkerung validierte Algorithmen eingesetzt (4). Nur unzureichend berücksichtigt bleibt hierbei die bei Athletinnen und Athleten deutlich differente Relation des Anteils an fettfreier und Muskelmasse. Die fettfreie Kör-

permasse ist jedoch eine wesentliche Determinante des Ruheumsatzes und erklärt 50-80 % der interindividuellen Variabilität (Schoeller, 1999).

Der Gesamt-Energiebedarf lässt sich basierend auf dem individuellen Ruheumsatz in Abhängigkeit der körperlichen Aktivität anhand von sog. PAL-Werten (physical activity level) bestimmen (Livingstone & Black, 2003). Allerdings kann die körperliche Beanspruchung und somit der PAL-Wert sportartspezifisch stark variieren. Internationale PAL-Wertempfehlungen verzichten auf eine sportartspezifische Differenzierung und berücksichtigen die körperliche Aktivität von Leistungssportlerinnen und -sportlern additiv zum Energieumsatz von nicht sportlich Aktiven (FAO/WHO/UNU Expert Consultation, 2005). Aufgrund der hohen Trainingsbelastung ist bei Leistungssportlerinnen und -sportlern jedoch von einem erhöhten Regenerationsbedarf (im Sinne passiver Erholungsmöglichkeiten) auszugehen. Ziel war es demnach

- (1) die Validität der Anwendung von derzeit häufig eingesetzten, jedoch nicht für den Spitzensport entwickelten Ernährungsprotokollen,
- (2) die Reliabilität von Algorithmen zur Bestimmung des Ruheumsatzes im Spitzensport und
- (3) die Validität der Anwendung von PAL-Richtwerten im Spitzensport zu prüfen.

## Methode

In die prospektive Kohortenstudie wurden 10 männliche und 9 weibliche Leistungssportler aus den Sportarten Kanu-Rennsport und Rudern sowie 11 weibliche und männliche moderat aktive Personen (Kontrollgruppe) eingeschlossen.

*Erfassung der Energiezufuhr:* Die Ernährung wurde standardisiert mittels 3d-Schätzprotokoll erfasst und anhand des Bundeslebensmittelschlüssels BLS II.3 analysiert (PRODI 5.5expert, NutriScience, Freiburg, Deutschland). Die Validität der Ernährungsdokumentation wurde mittels doppelt markiertem Wasser (s.u.) als Referenzmethode bei gewichtskonstanten Testpersonen überprüft (Livingstone & Black, 2003).

*Berechnung und Messung des Ruheumsatzes:* Zur Bestimmung des Ruheumsatzes bei Spitzensportlerinnen und -sportlern wird derzeit die Berechnung nach Cunningham (1980) oder nach Harris und Benedict (1918) empfohlen (Rodriguez et al., 2009). Daher wurde die Validität der Algorithmen nach Cunningham bzw. Harris & Benedict bei Anwendung im Spitzensport durch Vergleich mit Messwerten der indirekten Kalorimetrie geprüft.

Bei der Energieumsatz-Messung mittels indirekter Kalorimetrie werden Kalorienverbrauch und Substratumsatz aus den Atemgasen ermittelt. Um den Energieverbrauch zu bestimmen, wird die aufgenommene Sauerstoffmenge mit dem entsprechenden kalorischen Äquivalent multipliziert. Der Ruheumsatz wurde morgens im Liegen in thermoneutraler Umgebung nach 12 h Nahrungskarenz und 24 h Sportpause (Kontrollgruppe) bzw. moderatem Training am Vortag (Spitzensportler) über  $30,9 \pm 4$  min gemessen. Für die Auswertung wurde ein Zeitraum von mindestens fünf Minuten mit stabilen Messwerten ( $\Delta V_{O_2}$ : < 10 %,  $\Delta V_{CO_2}$ : < 10 %,  $\Delta RQ$ : < 5 %) zwischen der fünften und letzten Messminute herangezogen (9). Über diesen Zeitraum ( $11,2 \pm 4$  min) wurden die Daten gemittelt und der Energieumsatz nach Weir bestimmt (Weir, 1949).

*Messung des Gesamtenergieumsatzes:* Der Gesamtenergieumsatz wurde mithilfe der doubly-labelled water (DLW) Methode bestimmt, bei der stabile Isotopen von Wasserstoff ( $^2\text{H}$ ) und Sauerstoff ( $^{18}\text{O}$ ) genutzt werden, um die  $\text{CO}_2$ -Syntheserate eines Probanden zu messen und daraus anhand des kalorischen Äquivalentes von  $\text{CO}_2$  den Energieumsatz zu bestimmen. Nach Erfassung der basalen Isotopenkonzentration im Urin wird eine definierte Menge an doppelt markiertem Wasser ( $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) verabreicht (Eurisotop, Saarbrücken, Deutschland). Entsprechend der Verteilung im Wasser- bzw. Bicarbonatpool werden die Isotopen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit eliminiert. Durch Messung der Konzentrationsänderungen im Urin lässt sich die  $\text{CO}_2$ -Produktion während des Messzeitraums bestimmen (Speakman & Selman, 2003). Der Gesamtenergieumsatz während des 14-tägigen Messzeitraumes stellt sich als Funktion der  $\text{CO}_2$ -Syntheserate dar und entspricht dem Produkt aus kalorischem Äquivalent von  $\text{CO}_2$  und der  $\text{CO}_2$ -Syntheserate (Elia, 1991).

*Bestimmung des PAL-Wertes:* Der Aktivitätsfaktor (PAL-Wert) ergibt sich aus  $\text{PAL} = \text{TEE}/\text{REE}$ . Der PAL-Wert wurde für die Athletinnen bzw. Athleten und die Kontrollgruppe aus den individuell gemessenen Ruhe- und Gesamtenergieumsätzen berechnet. Die Datenanalyse erfolgte deskriptiv (Mittelwert  $\pm$  SD, 95 % Konfidenzintervall) und hypothesenprüfend (einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung,  $\alpha = 0,05$ ). Für die Methodenvergleiche wurden die 95 % limits of agreement (LOA) und der Bias berechnet (Bland & Altman, 1986).

## Ergebnisse

Athletinnen bzw. Athleten und Kontrollgruppe unterschieden sich im Alter und BMI nicht, jedoch zeigten die Spitzensportlerinnen bzw. -sportler eine signifikant höhere fettfreie Körpermasse (FFM, Tab.1).

*Validität standardisierter Ernährungsdokumentationen im Spitzensport:* Sowohl bei den Athletinnen und Athleten ( $p = 0,006$ ) als auch in der moderat aktiven Kontrollgruppe ( $p = 0,018$ ) weichen die Ernährungsdokumentationen signifikant vom gemessenen Energieumsatz ab. Hierbei unterschätzt das Ernährungsprotokoll den Energiebedarf um  $17 \pm 21$  %, wobei im Ausmaß des Underreportings kein Unterschied zwischen Spitzensportlerinnen bzw. -sportlern und moderat Aktiven besteht ( $p = 0,361$ ). Im Mittel weichen Dokumentation der Energiezufuhr und gemessener Energieumsatz bei den Athletinnen bzw. Athleten um  $-867 \pm 1471$  kcal/d (95 % limits of agreement, LOA:  $-3808$  und  $2074$  kcal/d, Abb. 1 links) ab, in der Kontrollgruppe beträgt der Bias  $-513 \pm 673$  kcal/d (95 % LOA  $-1860 \pm 834$  kcal/d, Abb. 1 rechts). Hierbei ist ein Zusammenhang zwischen Energieumsatz und Underreporting zu beobachten ( $R^2 = 0,52$ ;  $p < 0,001$ ). Mit zunehmendem Energieverbrauch steigt die Differenz zwischen Energieumsatz und dokumentierter Energiezufuhr, d. h. bei Testpersonen mit hohem Energieumsatz unterschätzt das Ernährungsprotokoll die Energiezufuhr in höherem Ausmaß als bei Testpersonen mit geringem Energieumsatz.

Tab. 1. *Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer*

	weiblich		männlich	
	Athleten	Kontrollgruppe	Athleten	Kontrollgruppe
Alter [Jahre]	23,3 ± 3	23,5 ± 2	23,0 ± 5	25,8 ± 1
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	22,5 ± 2	22,1 ± 3	25,0 ± 2	23,7 ± 2
FFM [kg]	56,1 ± 7	50,5 ± 7	81,0 ± 8*	67,5 ± 9*

\*Athleten und Kontrollgruppe unterscheiden sich signifikant in Merkmalen der gleichen Zeile ( $p < 0.05$ ).

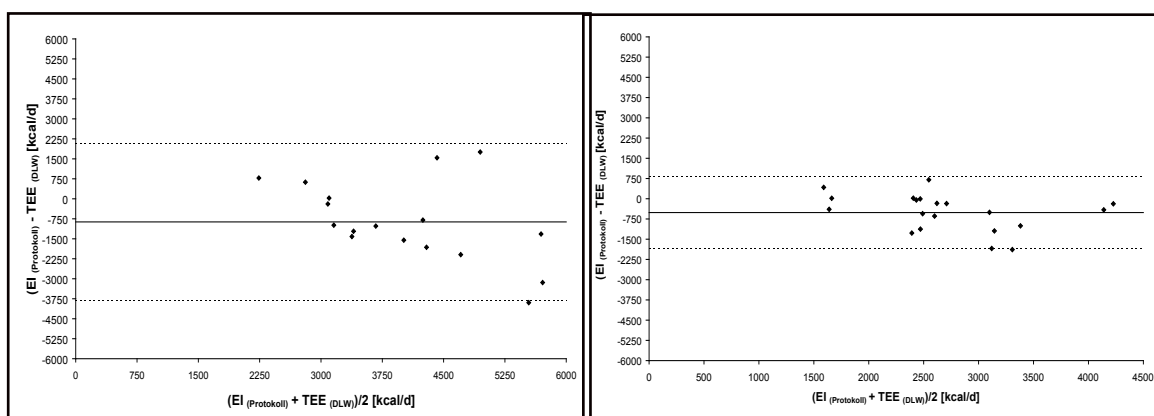


Abb. 1. Bland-Altman Analyse des Bias zwischen dokumentierter Energiezufuhr und gemessenem Energieumsatz bei Sportlerinnen und Sportlern (links) und moderat aktiver Kontrollgruppe (rechts)

*Validität von Algorithmen zur Ruheumsatzbestimmung im Spitzensport:* Der Ruheumsatz der Spitzensportlerinnen bzw. -sportler war verglichen mit der Kontrollgruppe signifikant erhöht (Tab. 2,  $p = 0,039$ ). In der Kontrollgruppe beträgt der Bias zwischen gemessenem und berechnetem Ruheumsatzes (Harris & Benedict, 1918)  $39 \pm 273$  kcal/d, die 95 % LOA liegen bei -506 und 584 kcal/d. Wird der Ruheumsatz nach Cunningham (1980) berechnet, liegt der Bias bei  $5 \pm 223$  kcal/d (95 % LOA: -443 und 452 kcal/d). In der Kontrollgruppe bestehen keine Unterschiede zwischen gemessenem Ruheumsatz und den Berechnungen nach Harris und Benedict ( $p = 0,99$ ) bzw. nach Cunningham ( $p = 1,00$ ). In der Athletengruppe dagegen weichen Messwert und berechneter Ruheumsatz mit  $202 \pm 461$  kcal/d (Harris & Benedict, LOA -720 und 1123 kcal/d) bzw.  $134 \pm 415$  kcal/d (Cunningham, LOA -697 und 963 kcal/d) stärker voneinander ab als in der Kontrollgruppe. Die Bestimmung des Ruheumsatzes nach Harris und Benedict unterschätzt den Ruheumsatz bei Spitzensportlerinnen bzw. -sportlern signifikant ( $p = 0,041$ ). Bei Anwendung des Cunningham-Algorithmus wurden keine Unterschiede zwischen geschätztem und gemessenem Ruheumsatz bei Athletinnen und Athleten beobachtet ( $p = 0,424$ ).

*Körperliche Aktivität und PAL-Werte von Spitzensportlerinnen bzw. -sportlern:* In der vorliegenden Untersuchung betrug der PAL-Wert in der Kontrollgruppe  $1,70 \pm 0,3$  (95 % CI 1,52 - 1,88), bei den Athletinnen und Athleten wurde ein mittlerer Wert von  $2,09 \pm 0,5$  (95 % CI 1,88 - 2,30) beobachtet ( $p = 0,009$ ).

Tab. 2. *Gemessene und geschätzte Ruheumsätze*

	weiblich		männlich	
	Athleten	Kontrollgruppe	Athleten	Kontrollgruppe
RMR Messung [kcal/d]	$1579 \pm 286$	$1508 \pm 166$	$2675 \pm 525^{a,b}$	$2062 \pm 360^c$
RMR nach Harris-Benedict [kcal/d]	$1779 \pm 205$	$1675 \pm 179$	$2133 \pm 187^a$	$1879 \pm 163^c$
RMR nach Cunningham [kcal/d]	$1765 \pm 155$	$1627 \pm 189$	$2260 \pm 181^b$	$1999 \pm 195$

<sup>a, b, c</sup> Buchstaben symbolisieren signifikante Differenzen zwischen gemessenem und geschätztem Ruheumsatz ( $p < 0,05$ )

## Diskussion und Schlussfolgerung

Die Erfassung von Energiezufuhr und Energiebedarf zur Beurteilung der Energiebilanz auf der Ebene des Spitzensports ist bei Anwendung nicht für den Spitzensport validierter Erfassungsinstrumente fehlerbehaftet. Ernährungs-Schätzprotokolle weisen eine unzureichende Validität auf und unterschätzen die tatsächliche Energiezufuhr um durchschnittlich 17 %. Zur Beurteilung von Energiezufuhr und Energiebilanz sollten neben Ernährungsprotokollen weitere diagnostische Verfahren (z. B. anthropometrische Messungen) durchgeführt werden. Im Einzelfall kann die Anwendung von Wägeprotokollen erforderlich sein.

Zur Schätzung des Ruheumsatzes ist die Cunningham-Gleichung für den Spitzensport geeignet, welche die fettfreie Körpermasse als wesentliche Komponente des Ruheumsatzes berücksichtigt. Die Anwendung der Harris und Benedict Gleichung dagegen unterschätzt den Ruheumsatz von Athletinnen und Athleten signifikant. Aufgrund der großen Streuung der Differenzen von Mess- und Schätzwerten kann bei speziellen Fragestellungen die Messung des Ruheumsatzes einer Athletin bzw. eines Athleten notwendig sein.

Zur Ableitung des Gesamtenergiebedarfs einer Athletin bzw. eines Athleten anhand von PAL-Werten sollten anstelle der WHO- oder DGE-Richtwerte die ACSM-Empfehlungen mit einem PAL- Richtintervall von 1,8 bis 2,3 herangezogen werden. Im Einzelfall sind bei Spitzensportlerinnen bzw. -sportlern sowohl höhere als auch niedrigere PAL-Werte zu erwarten. Daher ist eine sorgfältige Anamnese der körperlichen Aktivität (Trainingsbelastung und Freizeitaktivität) im Rahmen der Ernährungsbetreuung von Sportlergruppen im Spitzensport notwendig.

## Literatur

- Bland, J.M. & Altman, D.G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1, 307-310.
- Cunningham, J.J. (1980). A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *The American journal of clinical nutrition*, 33 (11), 2372-2374.
- Elia, M. (1991). Energy equivalents of CO<sub>2</sub> and their importance in assessing energy expenditure when using tracer techniques. *The American journal of physiology*, 260 (1), E75-88.
- FAO/WHO/UNU Expert Consultation (2005). Human energy requirements. Scientific background papers from the Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. *Food and Nutrition Technical Report Series*, 35ff.
- Harris, J.A. & Benedict, F.G. (1918). A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4 (12), 370-373.
- Livingstone, M.B. & Black, A.E. (2003). Markers of the validity of reported energy intake. *The Journal of nutrition*, 133 (3), 895S-920S.
- Loucks, A.B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of sports sciences*, 22 (1), 1-14.
- Magkos, F. & Yannakoulia, M. (2003). Methodology of dietary assessment in athletes: concepts and pitfalls. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 6 (5), 539-549.
- Rodriguez, G., Moreno, L.A., Sarria, A., Fleta, J. & Bueno, M. (2002). Resting energy expenditure in children and adolescents: agreement between calorimetry and prediction equations. *Clinical nutrition*, 21, 255-60.
- Rodriguez, N.R., DiMarco, N.M. & Langley, S. (2009). Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *Journal of the American Dietetic Association*, 109, 509-27.
- Schoeller, D.A. (1999). Recent advances from application of doubly labeled water to measurement of human energy expenditure. *Journal of nutrition*, 129, 1765-1768.
- Speakman, J.R. & Selman, C. (2003). Physical activity and resting metabolic rate. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 621-634.
- Weir, J.B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*, 109, 1-9.