
Physikalische Medizin Balneologie Med. Klimatologie

Prävention · Diagnostik · Therapie · Rehabilitation

Herausgeber:

**Deutsche Gesellschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation
Verband Deutscher Badeärzte**

Organ der Vereinigungen:

**Österreichische Gesellschaft für Physikalische Medizin,
Rehabilitation und Grenzgebiete**

Verband Österreichischer Kurärzte

**Österreichische Gesellschaft für Balneologie
und Medizinische Klimatologie**

**Österreichische Ärztliche Gesellschaft für Physiotherapie
- Kneippärztebund -**

Schweizerische Gesellschaft für Physikalische Medizin

Schweizerische Gesellschaft für Balneologie und Bioklimatologie

Arbeitsgemeinschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation

Hauptschriftleiter:

Prof. Dr. R. FRICKE, Klinik für Rheumatologie, St.-Josef-Stift, 4415 Sendenhorst,
Telefon 02526/300241

Schriftleitung:

Dr. W. BRÜGGEMANN, Münster
Dipl.-Phys. K. DIRNAGL, München
Doz. Dr. H. GRÜNBERG, Bad Reichenhall
Prof. Dr. R. GÜNTHER, Innsbruck
Prof. Dr. H. JANTSCH, Wien
Prof. Dr. H. JUNGSMANN, Hamburg
Prof. Dr. V. R. OTT, Zürich †
Dr. H. J. REICHEL, Bad Salzuflen

Wissenschaftlicher Beirat:

W. Amelung, Königstein · H. Baatz, Bad Pyrmont · F. Becker, Bad Homburg · H. E. Bock,
Tübingen · A. Böni, Zürich · H. Drexel, München · A. Evers, Bad Nenndorf · M. Franke, Baden-
Baden · H. Göpfert, Freiburg i. Br. · D. Gross, Zürich · G. Hildebrandt, Marburg · O. Hillebrand,
Bad Schallerbach · K. Inama, Salzburg · K. A. Jochheim, Köln · H. Krammer, Baden bei
Wien · K. Pirlet, Frankfurt · W. Schmidt-Kessen, Freiburg · E. Senn, München · W. Teich-
mann, Bad Wörishofen · G. Weimann, Höxter · K. Widmer, Stuttgart · E. A. Zysno, Hannover.



DEMETER VERLAG D-8032 GRÄFELFING

Physikalische Medizin Balneologie Med. Klimatologie

INHALT

Prävention · Diagnostik · Therapie · Rehabilitation

VII	Kongreßkalender
IX	In memoriam Professor Dr. V. R. Ott

ORIGINALARBEITEN

1	C. Mucha	Ergebnisse einer kontrollierten Vergleichsuntersuchung zur Effizienz physikalischer Kombinationstherapien in der postoperativen Frührehabilitation nach Meniskektomie Results of a controlled trial on efficiency of physical combinationtherapy in early rehabilitation of meniscectomy
12	R. Becker B. Esser	Zur Prophylaxe des M. Sudeck Prevention of M. Sudeck
15	K. Kaemmerer	Betrachtungen zur biologischen Wirkung von Pflanzeninhaltsstoffen Aspects of biological effects from plant ingredients
32	F.-C. Czygan	Arzneipflanzen und Phytotherapie Medicinal plants and phytotherapy
35	A. Schuh	Zur Problematik der Bestimmung des Energieumsatzes im Labor und im Gelände Problems to estimate metabolism of energy in laboratory and in terrain
43	G. Trnavsky	Die Bewertung verschiedener Durchblutungsmeßmethoden in der Physikalischen Medizin The evaluation of different methods of blood flow measurements in physical medicine
48	H. Jungmann A. Junghans W. Scheibe	Einfluß des Übungseffektes auf spiographische Verlaufskontrollen und Therapieerfolgsbeurteilungen The influence of learning and training on spiographic follow up studies and controls of therapeutic effects
51	C. Mucha	Ergebnisse einer kontrollierten Studie zur funktionellen Übungsintensität in der postoperativen Frührehabilitation von Luxationsverletzungen des Ellbogens – II. Teil Result of a control study on the rate of functional exercise in postoperative early rehabilitation of luxation lesions of the elbow – Part II

- 59 W. Jäckel
R. Cziske
E. Jacobi
- Einfluß balneophysikalischer Maßnahmen während einer stationären Rehabilitation auf den Gesundheitszustand von Patienten mit chronischen Kreuzschmerzen**
Health status assessment after balneophysical therapy during in-patient rehabilitation care in chronic low back pain
- VERBANDSNACHRICHTEN
- XI–XV Verband Deutscher Badeärzte – Protokoll
- XVI Deutsche Gesellschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation – Protokoll

Dieser Ausgabe liegt eine Beilage der Firma **Medizin Elektronik Lüneburg**, Industriegebiet Lüner Heide, Lüner Rennbahn 28, 2120 Lüneburg, bei.

Bitte beachten Sie die dem Heft beiliegende Einladung zum

**92. Kongreß der Deutschen Gesellschaft
für Physikalische Medizin und Rehabilitation**

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München
(Direktor: Prof. Dr. med. E. Senn)

Zur Problematik der Bestimmung des Energieumsatzes im Labor und im Gelände

A. SCHUH

Anschr. d. Verf.: Frau Dr. rer. biol. hum. A. Schuh, Institut für Medizinische Balneologie und
Klimatologie der Universität München, Marchioninstr. 17, 8000 München 70

Eingang der Arbeit: 18. 9. 85

Zusammenfassung

In der Literatur der letzten 30 Jahre finden sich viele Angaben und Berechnungsmöglichkeiten des Energieumsatzes beim Gehen in der Ebene und bei verschiedenen Steigungsgraden. Sie basieren meist auf Sauerstoffverbrauchsmessungen im Labor; Daten für das Gelände sind bisher nicht experimentell erarbeitet worden. Bei eigenen Untersuchungen während Terrainkuren benötigten wir eine Schätzmöglichkeit des Umsatzes der einzelnen Patienten. Deshalb wurde aus dem Vergleich der Literaturangaben, die auf unsere Geländebedingungen übertragen wurden, eine mittlere Gleichung zur Umsatzabschätzung im Gelände gebildet. Auf diese Weise kann die Güte der Vorhersage von physischer Leistung und thermischem Empfinden deutlich verbessert werden.

Summary

Problems to estimate metabolism of energy in laboratory and in terrain.

In the literature of the last 30 years there is a lot of informations and possibilities to calculate the metabolism of patients walking in the plain or upwards in different degrees. Mostly they are based on measurements of O₂-consumption in laboratories; data for open-air treatment are not estimated experimentally until now.

In our experiments during terrain-treatments we needed an estimation for the individual turnover of the patients. Therefore we formed an equation by combining equations from the literature, inserting the conditions of our open-air treatments. So the quality of prediction in physical work and thermal sensation PMV (= Predicted Mean Vote) can be improved significantly.

1. Einleitung:

Zu den Präventiv- und Rehabilitationsmaßnahmen zahlreicher Erkrankungen gehört die Bewegungstherapie. Bei geeigneter Umgebung wird sie in Gestalt von Terrainkuren, d. h. systematisch nach Trainingsgesichtspunkten dosierten Begehungen von Kurübungswegen durchgeführt.

Zur Dosierung der Terrainkur können verschiedene Kriterien herangezogen werden:

- a) Die Dosierung der physischen Leistung. Der abhängige Parameter ist dabei die Pulsfrequenz, die nach Maßgabe ergometrischer Untersuchungen (z. B. Trainingspuls 130 Schläge/min) vorgegeben wird.
- b) Die Dosierung der thermischen Bedingungen. Dabei soll Überwärmung vermieden und das Thermoregulationssystem trainiert werden. Als Hilfsmittel wird hier das thermische Empfinden des Patienten während der Übung in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen verwendet.

In der Praxis der Terrainkur ist das thermische Empfinden (Pkt. b) mit der erbrachten Leistung (Pkt. a) über die Stoffwechselrate und den Wirkungsgrad verknüpft, denn das

thermische Empfinden ist bei vorgegebenen Bedingungen für die Wärmeabgabe eine Funktion der Wärmebilanz des menschlichen Körpers. Bei einem Wirkungsgrad von annähernd Null ist die Wärmeproduktion mit dem Energieumsatz bzw. der Stoffwechselrate gleichzusetzen.

Um das subjektive thermische Empfinden als Dosierungskriterium in der Bewegungstherapie einzusetzen, ist es nötig, den Zusammenhang mit den Größen der Wärmebilanzgleichung zu quantifizieren. FANGER (11) hat zur Vorhersage des thermischen Empfindens aus der Wärmebilanzgleichung seine PMV-Gleichung entwickelt. PMV ist das Kürzel zu „Predicted Mean Vote“, zu deutsch etwa „vorhergesagte mittlere Aussage“. Für sein Modell hat Fanger Schätz- und Erfahrungswerte für die in der Regel nicht durch Messung bestimmbareren Terme der Wärmebilanzgleichung angegeben und einen Bezug zwischen den Ergebnissen der Gleichung und dem skalierten Wert des subjektiven thermischen Empfindens PMV hergestellt. Fangers Hypothese über die Beziehung zwischen Wärmebilanz und thermischem Empfinden gilt nur in einem begrenzten Bereich des Umsatzes. Sein Modell, das für Innenräume gedacht ist, wurde von JENDRITZKY/SÖNNING (19) durch Abschätzung der Strahlungsflüsse der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen kurz- und langwelligen Strahlungskomponenten in Abhängigkeit von Sonnenhöhe und Bewölkung auf das Freiland übertragen: Daraus entstand das „Klimamichelmodell“. JENDRITZKY/SCHMIDT-KESSEN (20) vereinfachten das Klimamichelmodell für den Gebrauch am Kurort. HÖPPE (16) erstellte ebenfalls ein Verfahren zur Erfassung der Wärmebilanz, wobei er die metabolische Rate als Funktion der Tätigkeit, der Körpermasse, Körpergröße, des Alters und des Geschlechts eines Menschen ansetzt. In eigenen Untersuchungen (30) haben wir ein empirisches, aus Feldversuchen abgeleitetes Verfahren zur Dosierung der thermischen Bedingungen über das Empfinden bei Bewegungstherapie im Freien entwickelt.

Alle oben aufgezählten Verfahren weisen als Gemeinsamkeit den Zusammenhang des thermischen Empfindens mit der Wärmebilanz, also der Differenz zwischen Energieumsatz und Wärmeabgabe des menschlichen Körpers, auf.

Die Bedeutung einer möglichst genauen Kenntnis des Energieumsatzes unterstreicht eine Veröffentlichung von ROSE und HÖSCHELE (29), die sich mit dem Einfluß der Parameter der PMV-Gleichung nach Maßgabe ihrer Meß- oder Schätzgenauigkeit befaßt. Die beiden Autoren bildeten das totale Differential der PMV-Gleichung und stellten fest, daß die Unsicherheiten in der Schätzung der Stoffwechselrate wesentlich stärker ins Gewicht fallen als die typischerweise zu erwartenden Fehler bei der Bestimmung von Größen der Wärmeabgabe. Es zeigt sich bei den Autoren, daß bei dem nicht ungewöhnlichen Schätzfehler der Stoffwechselrate von 20% die Änderung im Bereich einer PMV-Stufe liegt, während sich der Einfluß einer Änderung der Lufttemperatur von 1°C im Bereich von Zehntel PMV bewegt. Auch die Fehler, die durch unvermeidliche Unsicherheiten bei anderen Größen der Wärmeabgabe hervorgerufen werden, sind gering (Hundertstel bis Zehntel PMV).

Auf die Problematik der Bestimmung des Energieumsatzes – vor allem im Gelände – wird im folgenden näher eingegangen.

2. Formeln und Tabellen

In der Literatur der letzten 30 Jahre finden sich viele Angaben und Berechnungsmöglichkeiten über Energieumsatzwerte beim Gehen im Gelände oder auf dem Laufbandergometer. In der *Tabelle 1* sind Autoren aufgeführt, die über eigene, im Labor experimentell gewonnene Daten berichten. Neben einigen Details aus der Methodik dieser Arbeiten werden die Meßgröße und die Art der Darstellung aufgelistet. In *Tabelle 2* werden die Verfasser aufgeführt, die vielgebrauchte Zusammenfassungen der Weltliteratur über Energieumsatzbestimmungen erarbeitet haben.

Autor	Methodik	Vp	Bedingung	Meßgröße	Bezug	Darstellung
*BOBBERT 1960 (3)	Laufb.- Erg.	2, ♂, 75 u. 83 kg 25 u. 32 Jahre trainiert	v = 2,1–6,9 km/h Ebene u. Steig.	VO ₂	Geschw. Steig. Gewicht	Gleichung
CON- SOLAZIO 1963 (5)	Fahrrad- Erg.	7, ♂	3 Geschw. 3 Temp.	VO ₂	Geschw. Temp.	Tabelle
COTES 1960 (7)	Laufb.- Erg.	11, ♂	v = 1,6–6,4 km/h Ebene u. Steig.	VO ₂	Geschw.	Gleichung
*MARGARIA 1963 (22)	Laufb.- Erg.	2, ♂ u. ♀, 70 kg	v = 0–5 km/h	VO ₂	Geschw.	Diagramm
RALSTON 1960 (28)	Laufb.- Erg.	6 ♀ u. 6 ♂	v = 3 u. 6 km/h	VO ₂	Geschw. Gewicht	Tabellen
*RALSTON 1958 (27)	Laufb.- Erg.	19, 48–90 kg 22–51 Jahre untrainiert	v = > 1,5 km/h Ebene	VO ₂	Geschw.	Gleichung
SOULE 1972 (34)	Freiland Laufb.- Erg.	8, 21 Jahre 74 kg, mittel	v = 2,4–5,6 km/h Gewichte	VO ₂	Geschw. Boden- bed.	Tabelle
TYDSKRIF 1971 (42)	Laufb.- Erg.	25, 21–54 Jahre 61–112 kg	v = 4,8–6,4 km/h Ebene	VO ₂	Geschw. Gewicht	Diagramm
*Van der WALT 1973 (38)	Laufb.- Erg.	6, ♂, 63–102 kg untrainiert	v = 3,2–12,9 km/h Ebene	VO ₂	Geschw. Gewicht	Gleichung
WIRTHS 1963 (39)	Laufb.- Erg.	146, >65 Jahre	verschiedene Belastungen	VO ₂	Alter Gewicht	Tabellen Diagramme
*WYNDHAM 1971 (41)	Laufb.- Erg. Straße	8, 54–66 Jahre	v = 3,2–6,4 km/h Ebene	VO ₂	Geschw. Gewicht	Gleichung

Tab. 1:

Übersicht über experimentelle Energieumsatzuntersuchungen. Die erste Spalte enthält Autor und Erscheinungsjahr, die nächsten drei Spalten die Methodik der Arbeiten (Laufb. = Laufbahn), die Anzahl der Versuchspersonen (Vp) und die Bedingungen, unter denen die Untersuchungen stattfanden. Zusätzlich werden die Meßgröße (VO₂ = Sauerstoffverbrauch), der Bezug und die Darstellung der Ergebnisse aufgeführt.

Autor	Darstellung	Autor	Darstellung
*ASTRAND 1977 (2)	Diagramm	HOLLMANN 1976 (17)	Tabellen
*CORCORAN 1971 (2)	Tabellen	LEHMANN 1953 (21)	Tabellen
DEAN 1965 (8)	Gleichung	*McDONALD 1961 (23)	Gleichung
*DI PRAMPERO 1970 (11)	Gleichung	PASSMORE 1955 (26)	Tabellen Diagramme
*FANGER 1972 (11)	Tabellen	*SPITZER 1982 (35)	Tabellen
GIVONI 1971 (13)	Gleichung	WIRTHS 1977 (40)	Tabellen

Tab. 2:

Zusammenfassungen von Energieumsatzuntersuchungen

Zusätzlich finden sich in der Literatur zahlreiche Untersuchungen, die sich bevorzugt mit dem Einfluß spezieller Nebenbedingungen auf den Energieumsatz beschäftigen, wie z. B. Körpertemperatur (4), Umgebungstemperatur (5), Wegbeschaffenheit (34, 17) und Wegneigung bzw. Steigung (18).

Am stärksten ist der Energieumsatz beim Gehen neben der Gehgeschwindigkeit mit dem Körpergewicht korreliert (24), denn höhere Gewichte tragen, gleiche Gehbedingungen vorausgesetzt, stark zur Steigerung des Energieumsatzes bei. Dagegen spielt der Einfluß des Alters (30, 10) nur eine geringe Rolle.

3. Zum Energieumsatz im Gelände

Messungen des Energieumsatzes im Gelände, z. B. bei Terrainkuren, lassen sich mit den im Labor verfügbaren Methoden nicht einfach praktizieren. Deshalb basieren fast alle in *Tabelle 1 und 2* aufgeführten Veröffentlichungen auf Laufband- oder Fahrradergometerbelastungen. Nach Untersuchungen von HILLE et al. (15) können aber die auf dem Ergometer erzielten Ergebnisse nicht ohne weiteres auf das Gelände übertragen werden. Die zahlreich vorhandenen Literaturangaben können daher nur als grobe Abschätzung des Umsatzes im Gelände herangezogen werden.

3.1 Material und Methoden

In eigenen Studien (30, 31, 32), die sich mit der Wärmebilanz und dem thermischen Empfinden während Terrainkuren beschäftigen, benötigen wir für jede einzelne Testperson einen Schätzwert für den Energieumsatz im Gelände.

Bei unseren Untersuchungen wurden in Garmisch-Partenkirchen vier verschiedene Wege begangen, die hinsichtlich Steigung und Höhenlage so ausgewählt wurden, daß die Anforderungen an die Patienten allmählich gesteigert werden konnten. Auf allen Kurwegen wurde eine festgelegte Schrittfolge (1,6 oder 2,4 km/h) vorgegeben. Diese Gehgeschwindigkeit wurde so niedrig angesetzt, damit auf den ansteigenden Teilstrecken für die teilweise herzkranken Patienten keine Überlastung auftrat.

3.2 Auswertung

Zur Prüfung der Literaturangaben wendeten wir die Berechnungsvorschriften aus den in *Tabelle 1 und 2* mit * versehenen Quellen auf unsere eigenen Untersuchungen an.

Dazu wurden mit unseren Testbedingungen (Gehgeschwindigkeit, Steigung der Wege und Gewicht der Probanden) und aus den in der Literatur angegebenen Diagrammen, Tabellen oder Gleichungen die Energieumsätze, die unsere Probanden nach Angabe der jeweiligen Autoren haben sollten, bestimmt.

3.3 Ergebnisse

In den *Abbildungen 1 bis 3* kann man die Energieumsätze, die auf die oben beschriebene Art aus der Literatur entnommen und auf unsere Bedingungen angewandt wurden, für das Gehen in der Ebene (*Abb. 1*) und auf 5 % bzw. 20 % steilen Wegen (*Abb. 2 und 3*) ablesen. Die Umsätze sind in Watt angegeben und für unsere Gehgeschwindigkeiten bestimmt.

Beim Gehen in der Ebene ergeben sich bei beiden Gehgeschwindigkeiten nach allen Definitionen Gesamtenergieumsätze, die für den „mittleren Patienten“ relativ eng zusammenliegen. Nach SPITZER/HETTINGER finden sich die höchsten Ergebnisse. Alle anderen hier durchgeführten Berechnungsmethoden liegen im Mittel maximal 20 Watt, das sind 11 % des größten Wertes, auseinander. Man kann also von einer brauchbaren kollektiven Übereinstimmung der in der Literatur zu findenden Schätzmethode des Umsatzes beim Gehen in der Ebene sprechen (*Abb. 1*). Die Angaben für den Einzelprobanden mit dem größten Gewicht unterscheiden sich jedoch um rund 100 Watt (32 %), die für das geringste

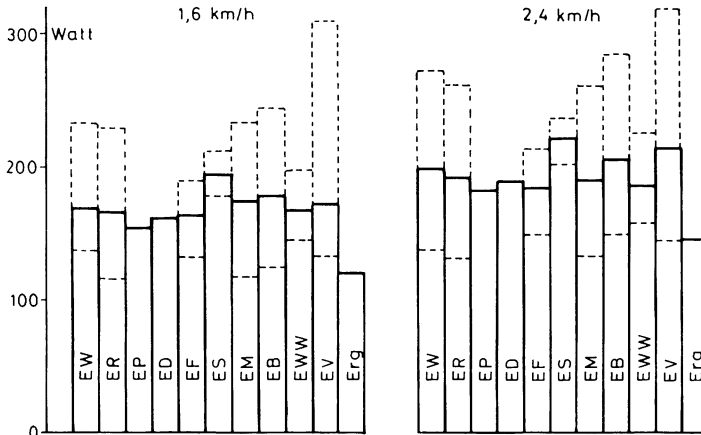


Abb. 1

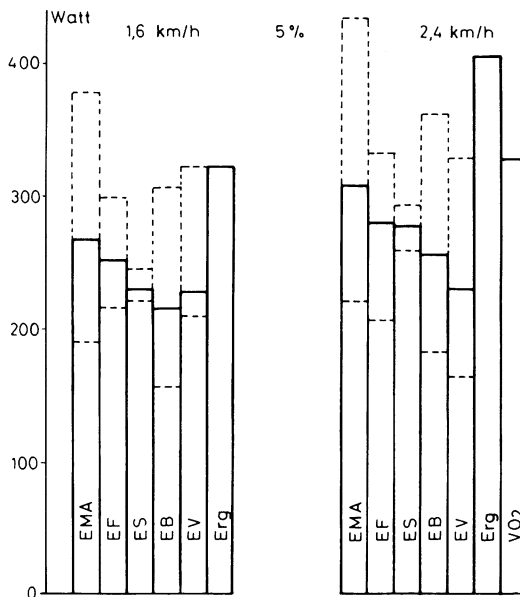


Abb. 2

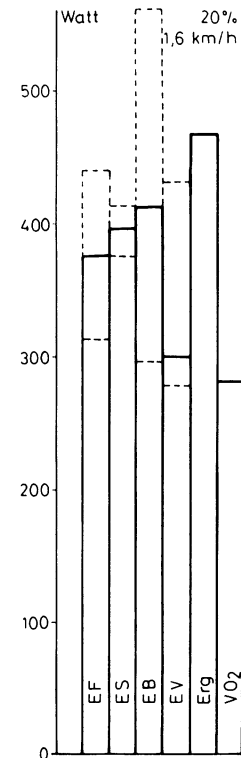


Abb. 3

Abb. 1–3:

Dargestellt sind die berechneten (aus Literaturangaben geschätzten) Gesamtenergieumsätze unserer Probanden beim Gehen in der Ebene mit 1,6 km/h bzw. 2,4 km/h, bei einer Steigung von 5 % mit 1,6 km/h und 2,4 km/h und bei einer Steigung von 20 %, die nur mit 1,6 km/h begangen wurde. Die Ergebnisse wurden für einen mittleren Menschen mit 72,4 kg (Ebene) bzw. 70,7 kg (Steigung) berechnet. Zusätzlich sind mit den gepunkteten Quadraten die Gesamtenergieumsätze für den Probanden mit dem geringsten bzw. größten Gewicht (51 kg bzw. 100 kg) eingezeichnet. Dabei gilt: EW = WALT (38), ER = RALSTON (27), EP = DI PRAMPERO (9), ED = CORCORAN (6), EF = FANGER (11), ES = SPITZER/HETTINGER (35), EM = McDONALD (23), EB = BOBBERT (3), EMA = MARGARIA (22), EWW = WYNDHAM (41), EV = aus Aussagen der Probanden, eigene Untersuchungen (30).

Gewicht um etwa 30 Watt (20 %). Bei einer Steigung von 5 % ergibt sich ein anderes Bild. Bei beiden vorgegebenen Geschwindigkeiten unterscheiden sich die Ergebnisse der verschiedenen Autoren für den Durchschnittsmenschen um bis zu 50 Watt; für den schwersten und leichtesten Patienten um jeweils 30 %. Besonders wird die starke Abhängigkeit vom Körpergewicht nach den Angaben von MARGARIA (EMA) deutlich. Die Steigung von 20 % wurde nur mit 1,6 km/h begangen. Es zeigt sich ein Unterschied von nur rund 30 Watt, also 7 %, für den Durchschnittsmenschen bei den Autoren FANGER, SPITZER/HETTINGER und BOBBERT (EF, ES und EB), wobei nochmals darauf hingewiesen werden muß, daß die beiden ersten Autoren nur Zusammenfassungen der Weltliteratur vorlegen und deshalb Übereinstimmungen naheliegen. BOBBERT dagegen gelangte auf experimentellem Weg zu seinen Ergebnissen. Der Energieumsatz, der aufgrund der Aussagen von Patienten über ihr thermisches Empfinden in einer Rückrechnung nach dem Modell von FANGER von uns angenommen wurde, liegt im Mittel bei allen untersuchten Steigungen und Gehgeschwindigkeiten um rund 80 Watt unter den Literaturwerten. Bei dieser Rückrechnung haben wir die tatsächliche Aussage der Patienten (PMV) während der Begehung in die Fanger-Gleichung eingesetzt und sie nach der Stoffwechselrate aufgelöst, wobei der Energieumsatz in jeden Parameter der PMV-Gleichung eingeht. Beim schwersten Probanden unterscheiden sich die Ergebnisse von denen der anderen Autoren jeweils um 25 %. Zu bedenken ist, daß bei den Bedingungen während einer Begehung im Prinzip zwischen dem Gehen in der Ebene und dem auf ansteigenden Wegen unterschieden werden muß. In der Ebene entspricht der Energieaufwand der produzierten Wärme, weil der Wirkungsgrad $\eta = 0$ ist. Auf Steigungsstrecken entsteht dagegen nicht nur Wärme, sondern es wird auch noch potentielle Energie abgegeben. Im Fall eines 5 % steilen, mit 1,6 km/h begangenen Weges beträgt der Wirkungsgrad ungefähr 7% und damit die abgegebene potentielle Energie rund 17 Watt. Sie nimmt mit wachsender Steigung zu.

4. Gleichung als Annäherung zur Umsatzbestimmung im Freien

Um eine möglichst genaue Abschätzung des Energieumsatzes im Gelände zu gewährleisten, bildeten wir unter Verwendung der uns zuverlässig erscheinenden Literaturangaben eine „mittlere Gleichung“. Dabei wurde die Abhängigkeit des Energieaufwandes vom Körpergewicht berücksichtigt. Unser Funktionsansatz basiert auf dem Grundgedanken, daß der Gesamtenergieumsatz in drei Ausdrücke aufgeteilt werden kann: Eine Größe beschreibt den Ruheumsatz, ein Term beschreibt das Gehen an sich und ist proportional zur Gehgeschwindigkeit und dem Gewicht, der dritte Ausdruck vertritt die Hebearbeit, also das Gehen auf ansteigendem Weg. Er besteht aus einer Verbindung von Gehgeschwindigkeit, Gewicht und Steigung. Man kann also schreiben:

$$E = a + b \cdot (v \cdot w) + c \cdot (v \cdot w \cdot \alpha)$$

wobei E = Gesamtenergieumsatz, v = Gehgeschwindigkeit, w = Gewicht und α = Steigung. a , b und c sind Konstanten. Aus den Ergebnissen der Autoren VAN DER WALT, RALSTON, FANGER, SPITZER/HETTINGER, MARGARIA, BOBBERT und WYNDHAM (vgl. *Abb. 1–3*) wurden mit Hilfe einer Regressionsrechnung die Koeffizienten des Gleichungsansatzes ermittelt:

$$E = 128 + 0,41 \cdot (v \cdot w) + 0,10 \cdot (v \cdot w \cdot \alpha) \quad [\text{Watt}] \quad (1)$$

Der Energieumsatz ergibt sich in Watt, wenn das Gewicht w in kg, die Geschwindigkeit v in km/h und die Steigung α in % eingegeben werden. Die Gleichung ist für das Gehen in der Ebene und Steigungen bis zu 5 % für die Geschwindigkeiten zwischen 1,6 und 2,5 km/h, bei der Steigung 20 % nur für 1,6 km/h abgeleitet worden. Größere Steigungen und Gehgeschwindigkeiten wurden nicht untersucht. *Abbildung 4* zeigt die Abhängigkeit des Umsatzes vom Gewicht bei unseren Untersuchungen, berechnet nach Gleichung (1). Mit dieser Gleichung bieten wir eine Möglichkeit an, den Energieumsatz im Gelände anzunähern.

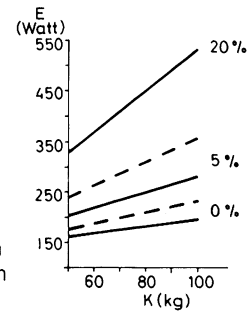


Abb. 4:

Abhängigkeit des Energieumsatzes vom Körpergewicht für die untersuchten Steigungen und Gehgeschwindigkeiten (durchgezogene Linie = 1,6 km/h und gestrichelte Linie = 2,4 km/h) nach Gleichung (1).

Bei der Berechnung des PMV mit Gleichung (1) zur Abschätzung des Energieumsatzes konnten wir im Mittel die Abweichung zwischen dem berechneten PMV und dem beobachteten thermischen Empfinden vom Kurpatienten vernachlässigbar gering halten, wie auch die starke individuelle Streuung im Vergleich zu den bereits erwähnten Modellen zur PMV-Berechnung oder -Abschätzung verringern.

Da der größte Unsicherheitsfaktor beim Energieumsatz liegt, wird die Gleichung (1) aufgrund von Sauerstoffverbrauchsmessungen im Gelände überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden. In einer folgenden Veröffentlichung werden die Ergebnisse dargestellt. Auf diese Weise kann die bestehende Unsicherheit bei der Energieumsatzbestimmung im Gelände weiter verringert werden.

Literatur

1. *Aschoff, J.*: Temperaturregulation. In: Gauer, Kramer, Jung (Hrsg.): Physiologie des Menschen, Bd. 2, Urban und Schwarzenberg, München, 1971
2. *Astrand, P., Rodahl, K.*: Textbook of Work Physiology. McGraw-Hill Book Company, New York, 1977
3. *Bobbert, A. C.*: Energy expenditure in level and grade walking. *J. Appl. Physiol.* 15, 1015–1021, 1960
4. *Brown, A. C., Brengelmann, G.*: Energy metabolism. In: Ruch, T. C., Patton, H. D.: Physiology and Biophysics, 1030–1049, 19th es. Philadelphia, W. B. Saunders Company, 1965
5. *Consolazio, C. F., et al.*: Environmental temperature and energy expenditures. *J. Appl. Physiol.* 18, 65–68, 1963
6. *Corcoran, P. J.*: Energy expenditure during ambulation. In: Downey, J. A., Darling, R. C.: Physiological Basis of Rehabilitation Medicine. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1971
7. *Cotes, J. E., Meade, F.*: The energy expenditure and mechanical energy demand in walking. *Ergonomics* 3, 97–119, 1960
8. *Dean, G. A.*: An analysis of energy expenditure in level and grade walking. *Ergonomics* 8, 31–47, 1965
9. *Di Prampero et al.*: A biomechanical analysis of rowing. *Proc. Reg. Congr. I.U.P.S.*, No. 132, Brasov, 1970
10. *Durnin, J. V. G. A.*: Age, physical activity and energy expenditure. *Proc. Nutr. Soc.* 25, 107–113, 1966
11. *Fanger, P. O.*: Thermal Comfort. McGraw-Hill Book Company, New York, 1972
12. *Ganong, W. F.*: Medizinische Physiologie. Springer Verlag, Berlin, 1972
13. *Givoni, B., Goldman, R. F.*: Predicting metabolic energy cost. *J. Appl. Physiol.* 30, 429–433, 1971
14. *Givoni, B., Goldman, R. F.*: Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing. *J. Appl. Physiol.* 32, 812–822, 1972
15. *Hille, H., Kienle, D., Kienle, H.*: Leistung, Puls- und Stoffwechsel von Kurpatienten beim Gehen und Ergometertraining. *Med. Welt* 28, 1119–1122, 1981

16. *Höppe, P.*: Die Energiebilanz des Menschen. Dissertation, Münchner Uni-Schriften, München, 1984
 17. *Hollmann, W.*: Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen. F. K. Schattauer Verlag, Stuttgart, 1976
 18. *Jung, K.*: Der Terraintest. *Ther. d. Gegenw.* 119, 168–184, 1980
 19. *Jendritzky, G., Sönnig, W., Swantes, H. J.*: Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung („Klimamichelmodell“). Beiträge Akademie für Raumforschung und Landschaftsplanung, Bd. 28, Hermann Schröder Verlag, Hannover, 1979
 20. *Jendritzky, G., Schmidt-Kessen, W.*: Bewegungstherapie im heilklimatischen Kurort. Schriftenreihe des Dt. Bäderverbandes 43, 116–138, 1981
 21. *Lehmann, G.*: Praktische Arbeitsphysiologie. Thieme Verlag, Stuttgart, 1953
 22. *Margaria, R.*: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18, 367–370, 1963
 23. *McDonald, I.*: Statistical studies of recorded energy expenditure of man. II. Expenditure on walking related to weight, sex, age, height, speed and gradient. *Nutr. Abstr. Rev.* 31, 739–762, 1961
 24. *Miller, A. T., Blyth, C.*: Influence of Body Type and Body Fat Content on the Metabolic Cost of Work. *J. Appl. Physiol.* 8, 139–141, 1955
 25. *Morehouse, L. E., Miller, A. T.*: Physiology of Exercise, 1959
 26. *Passmore, R., Durnin, J.*: Energy, work and leisure. Heinemann, London, 1967
 27. *Ralston, H. J.*: Energy speed relation and optimal speed during level walking. *Intern. Z. Angew. Physiol.* 17, 277–283, 1958
 28. *Ralston, H. J.*: Effects of immobilization of various body segments on energy cost of human locomotion. *Prog. Intern. Congr. Ergonomics Assoc.*, Dortmund, 53–60, 1964
 29. *Rose, L., Höschele, K.*: Die Empfindlichkeit der Berechnung von Maßzahlen für das thermische Milieu gegenüber Abweichungen der Eingangsgrößen am Beispiel der Methode nach Fanger.
 30. *Schuh, A.*: Klimatische Einflüsse auf die Bewegungstherapie. Dissertation, München, 1984
 31. *Schuh, A., Schnizer, W., Dirnagl, K.*: Zur bioklimatischen Beurteilung von Terrainkurwegen. *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 13, 244–248, 1984
 32. *Schuh, A., Dirnagl, K.*: Voraussage und tatsächliche Aussage über das thermische Empfinden bei standardisierter Freiluft-Bewegungstherapie. *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 14, 294–299, 1984
 33. *Soule, R. G., Goldman, R. F.*: Energy cost of loads carried on the head, hands or feet. *J. Appl. Physiol.* 27, 687–690, 1969
 34. *Soule, R. G., Goldman, R. F.*: Terrain coefficients for energy cost prediction. *J. Appl. Physiol.* 32, 706–708, 1972
 35. *Spitzer, H., Hettinger, Th., Kaminsky, G.*: Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1982
 36. *Teitlebaum, A., Goldman, R. F.*: Increased energy cost with multiple clothing layers. *J. Appl. Physiol.* 32, 743–744, 1972
 37. *Ulmer, H. V.*: Zur Methodik, Standardisierung und Auswertung von Tests für die Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Dt. Ärzteverlag, Lövennicht, 1975
 38. *Van der Walt, W. H., Wyndham, C. H.*: An equation for prediction of energy expenditure of walking and running. *J. Appl. Physiol.* 5, 559–563, 1973
 39. *Wirths, W.*: Die Relation von Arbeits- und Grundumsatz zum Grundumsatz bei älteren Personen mit körperlicher Belastung. *Gerontologia* 8, 209–232, 1963
 40. *Wirths, W.*: Energieumsatz bei muskulärer Arbeit. *Akt. Ernährung* 2, 46–50, 1977. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
 41. *Wyndham, C. H.*: The influence of Body Weight on Energy Expenditure on an Road and on a Treadmill. *Int. Z. angew. Physiol.* 29, 285–292, 1971
 42. *Wyndham, C. H., Strydom, N. B., Tydskif, M.*: Walk or jog for health I. *S. A. Medical Journal* 45, 50–53, 1971
-