

## Energieumsatz des arbeitenden Menschen

Von H.-V. Ulmer (Mainz)\*

Der Energieumsatz bei körperlicher Arbeit gehört eigentlich zur „klassischen“ Arbeitsphysiologie, er galt dabei lange als Grundlage zur Bewertung des Schweregrads körperlicher Arbeit (2, 3, 9). Energetisch aufwendige Arbeit gibt es zwar immer noch im Bau- und Transportgewerbe oder in der Landwirtschaft, die „moderne“ Arbeitsphysiologie rückt jedoch andere Probleme in den Vordergrund. Wegen etlicher antiquierter Regelungen, aber auch wegen der Nahrungsenergie-Engpässe in zahlreichen Ländern der Welt und wegen der Erwartung, durch körperliche Ertüchtigung mit Sport Fettsucht abbauen zu können, sind Grundkenntnisse zum Energieumsatz für die betriebsmedizinische Betreuung und Beratung hilfreich (s. auch 10, 11, 15).

**1. Grundlagen:** Nährstoffe (Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße) werden im Körper biologisch „verbrannt“ (15). Je nach *Brennwert* resultiert dabei ein Energiebetrag, der nur teilweise als Nutzenergie zur Verfügung steht, der Rest wird als Wärme freigesetzt. Der *Wirkungsgrad* (Nutzarbeit : Gesamtumsatz) liegt für dynamische Arbeit günstigstenfalls bei 25 % (3, 5, 10). Während körperlicher Arbeit werden somit erhebliche Wärmemengen produziert, die gerade bei *Hitzearbeit* zu bedenken sind (6, 18).

**2. Meßmethoden** (11, 15, 17): Typischerweise wird der Energieumsatz indirekt anhand der Sauerstoffaufnahme ermittelt, zumeist mit offenen Systemen, bei denen Frischluft eingeatmet und die in der ausgeatmeten Luft fehlende O<sub>2</sub>-Menge errechnet wird. Viele der heutigen Meßgrößen wurden mit dem DOUGLASSack (4) ermittelt. Grundlage ist dabei das Energieäquivalent des Sauerstoffs, das mit geringen Unterschieden für die 3 Nährstoffe bei rund 20,4 kJ/l O<sub>2</sub> liegt. Für die Messung der Sauerstoffaufnahme auch am Arbeitsplatz und die darauf basierende Analyse menschlicher Arbeit besteht in der klassischen Arbeitsphysiologie eine lange Tradition: Im Gegensatz zu motorischen Aspekten wurde die Analyse beruflicher Arbeit lange von metabolisch ausgerichteten Konzepten geprägt (1, 12, 14).

**3. Beträge:** Auflistungen für verschiedenen Tätigkeiten findet man bei (9). Zur Orientierung gilt nachfolgende Tabelle (angelehnt an 15):

| Umsatzbedingungen   | Energieumsatz  |            | Entspr. O <sub>2</sub> -Aufnahme<br>ml/min |
|---|--|------------|--|
|   | kJ/Tag   | Watt       |  |
| 1. Grundumsatz eines<br>70 kg schweren Menschen   | w: 6.300<br>m: 7.100   | 76<br>85   | w: 215<br>m: 245                           |
| 2. Grundumsatz zuzüglich „Freizeitbedarf“   | w: 8.400<br>m: 9.600   | 100<br>115 | w: 290<br>m: 330                           |
| 3. Gesamtumsatz für "Schwerstarbeit" (zulässige Grenze für jahrelange Arbeit                    | w: 15.500<br>m: 20.100                                       | 186<br>240 | w: 535<br>m: 690                           |
| 4. Wie Nr. 3, jedoch bezogen auf eine<br>8h-Arbeitsschicht                                      | w:<br>m:   | 360<br>490 | w: 1.000<br>m: 1.400                       |
| 5. Grundumsatz (in kJ pro kg Körpergewicht<br>und Stunde )                                      | 4,2 kJ*h <sup>-1</sup> *kg <sup>-1</sup><br>entspr. 1,2 Watt |            | 3,5 ml*min <sup>-1</sup> *kg <sup>-1</sup> |
| 6. Gesamtumsatz für sportliche Ausdauerleistungen bei überdurchschnittlicher Leistungsfähigkeit | 4.300 kJ/h<br>entspr. 1.200 Watt                             |            | 3.600 ml/min                               |

**4. Energieumsatz bei leichter und schwerer körperlicher Arbeit:** Nimmt die Intensität dynamischer Arbeit zu, steigt der Energieumsatz annähernd proportional an, solange ein Stoffwechselgleichgewicht als Ausdruck „leichter“ Arbeit vorliegt. Konsequenterweise wurde der Energieumsatz daher lange als Maß des *Schweregrads* körperlicher Arbeit gehandhabt, obgleich aus ärztlicher Sicht gesundheitliche *Beschwerden* infolge körperliche Arbeit bei ausgeglichener Energiezufuhr nur selten metabolisch bedingt sind, sondern motorisch. Vor allem Fehlmotorik durch energetisch belanglose Zwangshaltungen und mechanische Überlastungen des Skelett-Muskel-Systems sowie Vibrationen (2, 4) führen zu den bekannten arbeitsbedingten Beschwerden, und nicht der Stoffwechsel (1, 7).

**5. Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz:** Zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz (z.B. über EKG gemessen - Pulsfrequenz: über periphere Pulsabnehmer gemessen) besteht während dynamischer Arbeit eine annähernd proportionale Beziehung, solange der Herzfrequenz-Maximalbereich (ca. 220 minus Lebensalter) nicht erreicht wird (10, 16). Der Proportionalitätsfaktor schwankt jedoch interindividuell erheblich. Da die Messung der Herzfrequenz heutzutage einschließlich Speicherung über ganze Arbeitsschichten methodisch recht einfach geworden ist, sind Herzfrequenz-Untersuchungen sehr beliebt. Den energetischen Anteil körperlicher Arbeit kann man damit aber nur bedingt ermitteln (s.o.), hinzu kommt die Problematik von Einflüssen auf die Herzfrequenz durch statische Arbeit, mental/emotionale Arbeit, Lagewechsel und Klima (4). Lediglich die individuelle Dauerleistungsgrenze (Bereich um 120/min) läßt sich anhand der Herzfrequenz abschätzen (10, 16).

**6. Messung von Energieumsatz und Herzfrequenz als Testfetischismus:** *Miß, was meßbar ist und das Nichtmeßbare mache meßbar* (12). Nach dieser Devise wird oft genug nur das als "wissenschaftlich" akzeptiert, was auf "harten Daten" beruht. Dabei wird übersehen, daß die Interpretation das entscheidende ist, und dazu gehört ein erhebliches Maß an Erfahrung - also Subjektivität. Unerfahrene können mit harten Daten erheblichen Unsinn anstellen, z.B. durch Vernachlässigung der biologischen Streuung (13) oder im blinden Vertrauen auf harte Daten; beispielsweise können sie als Arbeitsmediziner für den Erfahrenen nicht nachvollziehbare Laufbahnknicks bis zur permanenten Arbeitslosigkeit verursachen (Stichwort "Untersuchungsmedizin"). Bei Arbeitsanalysen zeigt gerade die Fixierung auf den metabolischen Anteil mit Vernachlässigung komplexer (7, 14), objektiv schwer faßbarer motorischer Komponenten, in welche Irre der Glaube an "harte Daten" (wie Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktatanalysen) führen kann: Ärztlich relevante körperliche Beschwerden durch berufliche Arbeit werden bei ausreichender Energiezufuhr **nicht** durch hohe Stoffwechselintensitäten ausgelöst (1).

**7. Fazit:** Energetische Schwerarbeit ist nicht gleichzusetzen mit Beschwerden auslösender Arbeit. Arbeitsanalysen müssen - auch hinsichtlich gesundheitlicher Störungen - komplexer angelegt werden.

**Literatur:** **1. Frauendorf, H.,** H. Krueger, H.-J. Naumann, E. Pfister, K. Scheuch, H.-V. Ulmer und D. Wirth: Körperliche Arbeit - aktuelle Gegenstandsbestimmung. In: Münzberger, E., Hrsg.: Verh. Dt. Ges. Arbeitsmed. Umweltmed. 36. Jahrestagung, 81 - 84, DGAUM. Lübeck: im Selbstverlag 1996. **2. Grandjean, E.:** Physiologische Arbeitsgestaltung - Leitfaden der Ergonomie (4. Aufl.). Landsberg: ecomed 1991 **3. Lehmann, G.:** Praktische Arbeitsphysiologie (2. Aufl.), Stuttgart: Thieme 1962. **4. Reichel, G.,** H. M. Bolt, Th. Hettinger, F. Selenka, H.-V. Ulmer und W. T. Ulmer, Hrsg.: Grundlagen der Arbeitsmedizin. Stuttgart - Berlin - Köln - Mainz: Kohlhammer 1985. **5. Rohmert, W.** und J. Rutenfranz, Hrsg.: Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart - New York: Thieme 1983. **6. Ruppe, K.:** Arbeitsmedizin systematisch. Lorch: UNI-MED, 1995. **7. Scheuch, K.** und E. Münzberger: Grundlagen der Arbeitsmedizin. Berlin: Volk und Gesundheit 1988. **8. Schmidt, R. F.,** G. Thews und F. Lang: Physiologie des Menschen. Berlin - Heidelberg - New York: Springer 2000. **9. Spitzer, H.,** Th. Hettinger und G. Kaminsky: Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. Berlin - Köln: Beuth 1982. **10. Stegemann, J.:** Leistungsphysiologie - Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports. Stuttgart: Thieme 1991. **11. Ulmer, H.-V.:** Zur Methodik, Standardisierung und Auswertung von Tests für die Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit. In: Bundesinstitut f. Sportwiss., Hrsg.: Schriftenreihe Medizin, Bd. 1. Köln-Lövenich: Ärzte-Verlag 1975. **12. Ulmer, H.-V.:** Metaboliker und Motoriker: Paradigma für die quantitative und qualitative Arbeitsweise in der Physiologie. Dt. Physiolog. Ges., Hrsg.: Physiologie - Forschung, Lehre, Öffentlichkeitsarbeit, Heft 8, 10 - 12, 1997. **13. Ulmer, H.-V.:** Zur Bedeutung der biologischen Streuung bei der arbeitsmedizinischen Gefährdungsbeurteilung anhand physiologischer Schwellenwerte. In: Rettenmeier, A.W. und C. Feldhaus, Hrsg.: Verh. Dt. Ges. Arbeitsmed. Umweltmed. 39. Jahrestagung, 223 - 226, DGAUM. Lübeck: im Selbstverlag 1999. **14. Ulmer, H.-V.:** Zur "sogenannten" körperlichen Leistungsfähigkeit und deren Bedeutung für die betriebsärztliche Praxis. Z. Arb. Wiss. 53 (25. NF), 80 - 82, 1999. **15. Ulmer, H.-V.:** Energiehaushalt. In Nr. 8, S. 641 - 648. **6. Ulmer, H.-V.:** Arbeits- und Sportphysiologie. In Nr. 8, 672 - 696. **17. Valentin, H** und K. P. Holzhauser: Funktionsprüfungen von Herz und Kreislauf. Köln-Lövenich: Deutscher Ärzteverlag 1976. **18. Wenzel, H. G.** und C. Piekarski: Klima und Arbeit. Bayerisches Staatsministerium f. Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.). München: im Selbstverlag 1982.

\*Prof. Dr. med. H.-V. Ulmer, Sportphysiologische Abt., FB 26, Universität 55099 Mainz, Saarstr. 21, E-Post über: [sportphysiologie@mail.uni-mainz.de](mailto:sportphysiologie@mail.uni-mainz.de) - <http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio>